

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO NAS VAZÕES MÁXIMAS DA BACIA DO RIO
MARRECAS**

JULIANE MÔNICA RUTHES

CASCAVEL - PR

2021

JULIANE MÔNICA RUTHES

INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO NAS VAZÕES MÁXIMAS DA BACIA DO RIO

MARRECAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Silvio César Sampaio
Coorientador: Prof. Dr. Wagner de Aguiar

CASCADEL - PR

2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Ruthes, Juliane Mônica

Influência do uso do solo nas vazões máximas da bacia do Rio Marrecas / Juliane Mônica Ruthes; orientador(a), Silvio César Sampaio; coorientador(a), Wagner De Aguiar, 2021.

96 f.

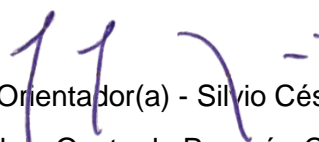
Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2021.

1. Hidrologia. 2. Recursos Hídricos. 3. Uso do Solo. 4. Modelagem Hidrológica. I. Sampaio, Silvio César. II. De Aguiar, Wagner. III. Título.

JULIANE MÔNICA RUTHES

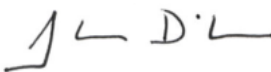
Influência do uso do solo nas vazões máximas da bacia do Rio Marrecas

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, linha de pesquisa Recursos Hídricos, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Silvio César Sampaio

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



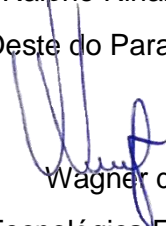
Jonathan Dieter

Universidade Federal do Paraná (UFPR)



Ralho Rinaldo dos Reis

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Wagner de Aguiar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)



Marcio Antonio Vilas Boas

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 08 de fevereiro de 2021.

BIOGRAFIA

Juliane Mônica Ruthes, nascida em 10/11/1989, natural de Ampére, Paraná. Graduada em Pedagogia pela Universidade Castelo Branco (2013) e em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, *campus* de Francisco Beltrão (2014). É mestra em Engenharia Agrícola pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE (2017) e, atualmente, é doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE.

“O mais alto de nós não é mais que um conhecedor
mais próximo do oco e do incerto de tudo”.

Fernando Pessoa

Dedico este trabalho ao meu esposo Neimar A.
Ruthes por permitir que tudo isso fosse possível...

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Professor Silvio César Sampaio, pela oportunidade e confiança a mim empregada, além de ensinamentos pessoais que contribuíram para minha evolução.

Ao coorientador, Professor Wagner de Aguiar, por todas as orientações e apoio durante o doutorado.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *campus* de Cascavel, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade para a realização do doutorado.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola por todo o conhecimento compartilhado.

Aos Professores Julio Caetano Tomazoni e Elisete Guimarães e à Ana Paula Razan por disponibilizarem os dados do estudo de classes de capacidade de uso do solo realizado na bacia do rio Marrecas.

Ao meu esposo Neimar A. Ruthes pelo auxílio, apoio incondicional, encorajamento constante e pela paciência nos momentos de estresse.

À toda minha família pelo suporte, incentivo e momentos de descontração ao longo dessa jornada.

Enfim, a todos que contribuíram para a realização deste trabalho e a conclusão do doutorado.

INFLUÊNCIA DO USO DO SOLO NAS VAZÕES MÁXIMAS DA BACIA DO RIO MARRECAS

RESUMO

Compreender as alterações no uso do solo que afetam os processos hidrológicos em bacias hidrográficas é de grande relevância para o planejamento e gerenciamento do uso dos recursos hídricos, bem como, na mitigação dos impactos negativos ocasionados por grandes cheias. O desenvolvimento da cidade de Francisco Beltrão, em torno do rio Marrecas, com intuito inicial de aproveitamento dos recursos hídricos, tornou-se um problema social devido as recorrentes inundações observadas. Com isso, esse estudo teve como objetivo analisar os impactos da adequação do solo da bacia na geração de escoamento superficial. Para o desenvolvimento deste trabalho foram gerados dois cenários de uso do solo, sendo um representativo do uso atual e outro baseado nas classes de capacidade de uso da terra. A partir desses cenários foram simulados os picos de vazão, utilizando o programa HEC-HMS, em sete probabilidades de precipitação, 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos e realizadas as análises da influência desses cenários sobre a geração de vazões máximas. Foram determinadas ainda, as vazões máximas específicas das sub-bacias para o cenário do uso atual e vazões máximas específicas toleráveis. Os resultados obtidos pelas simulações hidrológicas, mostraram que o uso atual do solo provoca vazões máximas maiores quando comparado à um cenário de uso do solo em concordância com suas capacidades de uso. Além disso, verificou-se que aproximadamente 50% dos solos da bacia se encontram em inadequabilidade ou no limite da capacidade de uso da terra. Utilizando as vazões máximas específicas do cenário ideal como uma referência da máxima produção de escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Marrecas, pode-se inferir que o atual uso do solo tem gerado vazões mais elevadas do que o ideal, para todos os períodos de retorno estudados. Esses resultados evidenciam a importância da adoção de medidas de conservação do solo e da água, com o objetivo de reduzir o escoamento e amortecer as vazões máximas e conter os eventos de inundações. Foi possível a identificação das sub-bacias com maior potencial de geração de escoamento superficial e conseqüente incremento nas vazões máximas no exutório da bacia do rio Marrecas. Os resultados alcançados contribuem para o planejamento do uso do solo e água na área rural da bacia e serve de referência na elaboração das políticas públicas ambientais do município.

Palavras-chave: manejo do solo, capacidade de uso da terra, escoamento superficial, pico de vazão, vazão máxima específica, inundação

INFLUENCE OF SOIL USE ON THE MAXIMUM FLOWS OF THE MARRECCAS RIVER BASIN

ABSTRACT

Understanding the changes in land use that affect hydrological processes in river basins is of paramount importance for planning and managing the use of water resources, as well as for mitigating the impacts caused by large floods. The development of the city of Francisco Beltrão, around the Marrecas river, with the initial intention of using water resources, became a social problem due to recurrent floods. Thus, this study aimed to analyze the impacts of the adaptation of the basin's soil on the generation of runoff. For the development of this work, two land use scenarios were generated, one representing current use, and another based on land use capacity classes. From these scenarios, peak flows were simulated, using the HEC-HMS software, in seven precipitation probabilities, 2, 5, 10, 25, 50, 100, and 200 years, and analyses of the influence of these scenarios on the generation of maximum flow rates were carried out. The specific maximum flows of the sub-basins for the scenario of current use and tolerable specific maximum flows were also determined. The results obtained by hydrological simulations showed that the current use of the soil causes higher peak flows when compared to a scenario of land use in agreement with its usage capacities. In addition, it was found that approximately 50% of the basin's soils are unsuitable or at the limit of land use capacity. Using the specific maximum flow to the ideal scenario as a reference for maximum water production in the Marrecas River watershed, it can be inferred that the current land use has generated higher flow than it would be ideal for all the return periods investigated. These results show the importance of adopting soil and water conservation measures, with the objective of reducing runoff and dampening peak flows, as well as containing flood events. It was possible to identify the sub-basins with the greatest potential for generating runoff and consequent increase in maximum flow rates in the Marrecas River basin. The results achieved contribute to the planning of land and water use in the rural area of the basin and serve as a reference in the designing of environmental public policies in the city.

Keywords: soil use, soil usage capacity, peak flow, specific maximum flow, inundation, runoff.

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE TABELAS | xii |
| LISTA DE FIGURAS | xiii |
| LISTA DE SIGLAS | xv |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 Objetivo geral | 3 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 3 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 3.1 Escoamento superficial | 4 |
| 3.2 Modelagem hidrológica | 8 |
| 3.3 HEC-HMS | 10 |
| 3.4 Influência do uso do solo no escoamento superficial | 12 |
| 3.4.1 Capacidade de uso da terra | 13 |
| REFERÊNCIAS | 15 |
| 4 ARTIGOS | 19 |
| 4.1 ARTIGO 1 INFLUÊNCIA DA ADEQUAÇÃO DO USO DO SOLO À CAPACIDADE DE USO DA TERRA SOBRE AS VAZÕES MÁXIMAS | 19 |
| 4.2 ARTIGO 2 USO DE VAZÕES MÁXIMAS ESPECÍFICAS COMO INDICADOR DE ÁREAS COM GRANDE GERAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL | 42 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 57 |
| APÊNDICES | 58 |
| APÊNDICE A Tabelas de atributos | 59 |
| APÊNDICE B Cálculo das precipitações de projeto | 65 |
| APÊNDICE C Exemplos dos resultados das simulações | 73 |
| APÊNDICE D Vazões máximas específicas | 76 |
| ANEXO | 78 |

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

| | | |
|-----------------|--|----|
| Tabela 1 | Componentes criados e especificações de controle para realizar as simulações | 30 |
| Tabela 2 | Informações dos afluentes do rio Marrecas | 34 |

ARTIGO 2

| | | |
|-----------------|---|----|
| Tabela 1 | Sub-bacias que apresentaram um comportamento discrepante na geração de vazões | 49 |
|-----------------|---|----|

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO GERAL

| | | |
|-----------------|---|----|
| Figura 1 | Esquema das categorias do sistema de capacidade de uso da terra. | 14 |
|-----------------|---|----|

ARTIGO 1

| | | |
|-----------------|---|----|
| Figura 1 | Localização do estado do Paraná (A); Localização bacia do rio Marrecas nos municípios que à englobam (B); Bacia do rio Marrecas com a rede de drenagem a montante do ponto de controle do estudo (C). | 21 |
| Figura 2 | Uso atual do solo na bacia. | 22 |
| Figura 3 | Mapa das classes de capacidade de uso da terra na bacia em estudo. | 23 |
| Figura 4 | 56 sub-bacias delimitadas pelo HEC-GeoHMS, para a bacia estudada. | 25 |
| Figura 5 | Modelo de bacia gerado pelo HEC-Geo-HMS e exportado para o HEC-HMS. ... | 28 |
| Figura 6 | Acréscimo de vazão ao longo do rio Marrecas, para os cenários estudados, nos diferentes períodos de retorno: a) Períodos de retorno de 2 e 5 anos; b) Períodos de retorno de 10 e 25 anos; c) Períodos de retorno de 50 e 100 anos; a) Período de retorno de 200 anos. | 34 |
| Figura 7 | Adequabilidade do uso atual do solo à capacidade de uso das terras. | 35 |
| Figura 8 | Diferença nas vazões máximas entre os cenários estudados nos diferentes períodos de retorno no ponto de controle. | 37 |

ARTIGO 2

| | | |
|-----------------|--|----|
| Figura 1 | Localização do estado do Paraná (A); Localização bacia do rio Marrecas nos municípios que à englobam (B); Bacia do rio Marrecas com a rede de drenagem a montante do ponto de controle do estudo (C). | 44 |
| Figura 2 | Cenários de uso do solo: a) Cenário de uso atual do solo; b) Cenário de acordo com as classes de capacidade de uso da terra. | 45 |
| Figura 3 | Correlação entre as vazões máximas específicas dos dois cenários estudados, para diferentes períodos de retorno: a) 2 anos; b) 10 anos; c) 25 anos; d) 50 anos. | 48 |

| | | |
|-----------------|---|----|
| Figura 4 | Correlação entre as vazões máximas específicas dos dois cenários estudados, para diferentes períodos de retorno: e) 50 anos; f) 100 anos; g) 200 anos; h) Todos os períodos de retorno..... | 48 |
| Figura 5 | Vazões máximas específicas entre os dois cenários de uso do solo, para os períodos de retorto estudados: a) Tr 2 anos, Cenário 1, a.1) Tr 2 anos, Cenário 2; b) Tr 5 anos, Cenário 1, b.1) Tr 5 anos, Cenário 2; c) Tr 10 anos, Cenário 1, c.1) Tr 10 anos, Cenário 2; d) Tr 25 anos, Cenário 1, d.1) Tr 25 anos, Cenário 2; e) Tr 50 anos, Cenário 1, e.1) Tr 50 anos, Cenário 2; f) Tr 100 anos, Cenário 1, f.1) Tr 100 anos, Cenário 2; g) Tr 200 anos, Cenário 1, g.1) Tr 200 anos, Cenário 2. | 51 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------------|---|
| CBERS | China-Brazil Earth-Resources Satellite |
| CN | Número da Curva |
| DOD | U.S. Department of Defense |
| HEC | Hydrologic Engineering Center |
| HEC-DSS | Data Storage System |
| HEC-GeoHMS | Geospatial Hydrologic Modeling Extension |
| HEC-HMS | Hydrologic Modeling System |
| IDF | Intensidade, Duração e Frequência |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| MDE | Modelo Digital de Elevação |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| NIMA | National Imagery and Mapping Agency |
| PAN | Pancromática |
| SCS | Soil Conservation Service |
| SIG | Sistemas de Informações Geográficas |
| SPRING | Sistema de Processamento de Informações Geográficas |
| SRTM | Shuttle Radar Topographic Mission |
| USACE | U.S. Army Corps of Engineers |

1 INTRODUÇÃO

O uso e a ocupação não planejados do solo afetam diretamente a dinâmica do ciclo hidrológico, influenciando no transporte de sedimentos e perda de solo, comprometendo a infiltração da água no solo, diminuindo a recarga subterrânea e, principalmente, agravando o processo de escoamento superficial da água, gerando vazões extremamente elevadas (PERAZZOLI; PINHEIRO; KAUFMANN, 2013). O excesso de escoamento da água sobre a superfície em dias chuvosos amplia as vazões acima da capacidade da rede de drenagem, acarretando, muitas vezes, o extravasamento da água dos corpos hídricos para áreas marginais (DEASY; TITMAN; QUINTON, 2014; SANYAL; DENSMORE; CARBONNEAU, 2014).

Em ambiente natural, os extravasamentos dos canais e a ocorrência das inundações poderiam ser minimizadas, visto que o fluxo de água, em ambiente conservado, é retido pela vegetação, potencializando a infiltração e o escoamento gradativo. No entanto, o aumento da exploração antrópica dos recursos do solo tem ocasionado a elevação substancial das vazões decorrentes do escoamento superficial, produzindo altos picos de vazão e recorrentes inundações (TUCCI, 2012; GRIBBIN, 2013). Quando as inundações afetam o perímetro urbano, suas consequências sobre a sociedade ocorrem, principalmente, devido ao processo de urbanização ou às inundações naturais da várzea, neste caso, afetará a população devido às ocupações irregulares nas áreas marginais aos corpos d'água (TUCCI, 2012).

Como auxílio para a previsão do comportamento hidrológico, a modelagem se apresenta como uma técnica de relevância significativa para a gestão e planejamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas (CABRAL; SAKURAGI; SILVEIRA, 2017). Os modelos hidrológicos além de permitir o conhecimento da dinâmica do balanço hídrico na bacia, possibilita a predição do comportamento futuro em respostas a diferentes cenários climáticos ou de modificação de uso do solo, sendo possível priorizar ações de gestão que visem à minimização dos impactos socioambientais (PAZ; COLLISCHONN; TUCCI, 2010).

O modelo hidrológico HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*), desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, foi adotado para a realização deste estudo, pois é largamente utilizado e permite simular diferentes cenários hidroclimáticos que representam a bacia hidrográfica.

Outro mecanismo utilizado para identificar áreas com maior contribuição na geração do escoamento superficial é o emprego das vazões máximas específicas, que são

encontradas em estudos que abordam os efeitos da urbanização sobre inundações, extremos de precipitação e geração de vazão de cheias (CHOUDHARI; PANIGRAHI; PAUL, 2014; OLANG; FÜRST, 2011; FANG et. al. 2018); previsões de inundações e sistemas de alerta de inundação em bacias hidrográficas (RAZI et al., 2010; WALEGA, 2013; AZAMA; KIM; MAENG, 2017); em pesquisas de simulações hidrológicas com diferentes cenários de uso do solo (SANYAL; DENSMORE; CARBONNEAU, 2014; ZOPE; ELDHO; JOTHIPRAKASH, 2016; HAILE; TEFERA; RIENTJES, 2016; SAMADI; ADROLASHRAFI; KHOLGHIC, 2019; YOUNIS; AMMAR, 2018).

Processos de inundação são observados no município de Francisco Beltrão, Paraná, onde ocorre o extravasamento recorrente do rio Marrecas, que corta a área urbana, impactando negativamente a população e acarretando perdas sociais, ambientais e econômicas de grande expressividade. O processo de colonização do município de Francisco Beltrão por imigrantes gaúchos e catarinenses se deu às margens do rio Marrecas, o qual foi sendo fortemente modificado conforme o desenvolvimento do município e a modernização da agricultura nos anos 1970 (MACHADO, 2009).

Com a alta taxa de urbanização nos anos que se seguiram, a ocupação irregular das áreas de várzea, além de morros e encostas, que alteraram a dinâmica dos fluxos d'água contribuíram para o aumento do escoamento superficial e das vazões máximas, agravando os eventos de inundações (BIGUELINI; FREISLEBEN, 2010).

Segundo Aguiar et. al. (2018), entre 2010 e 2017 foram registrados sete eventos de inundações devido ao transbordamento do rio Marrecas, com uma quantidade de pessoas afetadas e desabrigadas variando conforme o grau da inundação, sendo que a maior foi verificada em maio de 2014 com 1050 desabrigados. Ainda, o emprego de medidas estruturais no rio Marrecas, como a dragagem, adotadas com o objetivo de amenizar os casos de inundações na área urbana do município de Francisco Beltrão, apresentou-se falha, pois, após essa operação, foram observados novos episódios de inundação e de maior impacto.

No entanto, não são encontrados trabalhos que tenham realizado comparações de cenários em relação à adequação de uso da terra e nem em nível de sub-bacias. Nesse sentido, este estudo busca responder quais os efeitos da adequação do uso do solo de acordo com a capacidade de uso da terra nos picos de vazão da bacia em estudo e, por meio das vazões máximas específicas que possibilitam ações pontuais de recuperação, definir qual a influência de cada sub-bacia na geração de escoamento superficial e máximas vazões na bacia do rio Marrecas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Verificar as máximas vazões do rio Marrecas sob o cenário da bacia adequada às classes de capacidade de uso, em detrimento do cenário representativo do atual uso do solo, identificando pontualmente áreas com maior potencial de geração de escoamento superficial, a fim de subsidiar ações de mitigação das inundações no perímetro urbano do município de Francisco Beltrão, Paraná.

2.2 Objetivos específicos

1. Verificar os impactos do uso do solo sobre as vazões máximas da bacia do rio Marrecas, geradas pelos cenários baseados nas classes de capacidade de uso da terra comparado com o cenário de uso atual do solo.
2. Identificar, a partir dos cenários criados, áreas específicas com potencial de geração de escoamento superficial, por meio da avaliação das vazões máximas específicas, comparadas a valores de referência.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Escoamento superficial

A Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil é instituída por meio da Lei 9.433/1997 que define bacia hidrográfica como unidade territorial para o planejamento e gestão de recursos hídricos, pois nela ocorre o ciclo hidrológico de maneira completa, repercutindo direta ou indiretamente nos rios, uma vez que a água precipitada é transformada em vazão (BRASIL, 1997). Mudanças significativas das condições naturais da bacia e as atividades nela desenvolvidas, podem gerar alterações e trazer consequências a jusante, causando impactos econômicos, sociais e ambientais (GRIBBIN, 2013).

Dentre os processos do ciclo hidrológico, os mais expressivos na produção de vazão dentro da bacia hidrográfica são a infiltração e o escoamento superficial. Segundo Villela e Mattos (1975), a infiltração da água no solo irá depender de fatores como: o tipo de solo, suas condições físicas, existência de cobertura vegetal e condições iniciais de umidade do solo. A água infiltrada quando percolada mais profundamente, dá origem ao escoamento subterrâneo ou de base, que alimentará o lençol freático e, conseqüentemente, os rios em períodos de estiagem (VILLELA; MATTOS, 1975).

O escoamento superficial será gerado quando a intensidade da precipitação (mm/h) supera a capacidade de infiltração de água no solo ou quando ocorre um evento de precipitação sobre um solo já saturado, e sofrerá a influência de fatores como relevo, sobretudo declividade e comprimento da rampa; cobertura vegetal, pois quanto mais cobertura, maior a infiltração; tipo de solo e intensidade da precipitação (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). O escoamento superficial, que se desloca rapidamente até o canal de drenagem, é responsável por alguns prejuízos na bacia, como o processo de erosão hídrica, o assoreamento dos corpos de água e a conseqüente perda de qualidade da água, o desabastecimento dos aquíferos e eventos de cheias, devido ao aumento da vazão em curto período de tempo (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2009).

a) Erosão hídrica

A erosão é caracterizada pelo escoamento superficial da água, distribuindo-se pelas encostas de maneira dispersa ou concentrada e consiste em uma combinação da ação desagregadora do impacto das gotas de chuva com a força de arrasto causada pelo

escoamento superficial, transportando as partículas sólidas até sua deposição em áreas mais baixas ou até atingirem os corpos hídricos (CARVALHO, 2008).

Na interação entre a precipitação e a superfície do solo, as chuvas de intensidade elevada facilitam a formação de crostas e selantes na camada sub-superficial, reduzindo a taxa de infiltração e aumentando o escoamento superficial, assim, essa impermeabilização da superfície promove a erosão, uma vez que facilita o desprendimento do solo e aumenta o transporte de sedimentos conforme o fluxo superficial é acelerado (CHEN et al., 2018).

Segundo Zhao et al. (2018), em média, a transformação da água da chuva em escoamento superficial é de 70% em superfícies lisas, desprovidas de vegetação e que não apresentam resistência ao escoamento. Logo, vegetações que proporcionam maior quantidade de matéria orgânica, aumento na porosidade do solo e ofereçam cobertura vegetal elevada, reduzem a suscetibilidade aos processos erosivos, pois amenizam o processo de escoamento superficial (CHEN et al. (2018).

Ainda, juntamente com o processo de erosão há a perda de matéria orgânica e de nutrientes, pois os insumos aplicados nas lavouras muitas vezes são removidos pelo no escoamento superficial, que além da diminuição da qualidade do solo e impacto negativo na produtividade, causam também prejuízos econômicos aos agricultores (DECHEN et al., 2015).

A bacia em estudo, localizada quase totalmente em área rural, é ocupada por lavouras e pastagens e, segundo levantamento realizado em função da elaboração do Plano Municipal de Controle de Cheias da bacia do rio Marrecas, Ihlenfeld e Paula (2012) afirmam que a diminuição da conservação do solo pelos agricultores tem aumentado os processos erosivos na bacia. Foi observado que os terraços, que auxiliavam na contenção da água e solo nas lavouras, com o passar dos anos foram eliminados para facilitar a circulação de máquinas agrícolas, contribuindo para o livre escoamento da água e perda de solo. Ainda segundo esse levantamento, a realização correta do plantio direto e a permanência das curvas de nível poderiam amenizar em até 30% os problemas das cheias no município de Francisco Beltrão, pois essas ações retêm a água da chuva, evitando que chegue rapidamente ao corpo hídrico.

b) Perda de qualidade da água

Os sedimentos erodidos ao longo da encosta e que chegam aos canais de drenagem compõem a carga dendrítica dos corpos hídricos, sendo uma mistura de partículas sólidas de diferentes tamanhos e formas, distinguindo-se em carga dissolvida, sedimentos em suspensão e carga do leito do rio, que são transportados em resposta aos processos e ao estado de equilíbrio do sistema fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Os sedimentos em suspensão, partículas de granulometria reduzida como silte e argila, apesar de se manterem em suspensão devido ao fluxo turbulento do rio, ocorrido pela contribuição do escoamento superficial, também se mantêm em movimento devido ao regime perene do canal promovido pelo escoamento de base. Ao fim do escoamento superficial e diminuição do fluxo turbulento, a carga de sólidos transportada para o leito do rio tende a sedimentar, porém após o término do tempo de concentração inicia-se o escoamento subterrâneo, provocando um aumento moderado da vazão, recolocando os sedimentos em circulação e tendendo ao estado de equilíbrio do canal (CARVALHO, 2008).

Esses sedimentos, em muitos casos provenientes de áreas agrícolas, são transportados em suspensão pela contribuição do escoamento subterrâneo e são capazes de adsorver partículas e poluentes como pesticidas e metais pesados, implicando a perda de qualidade da água, a qual poderá chegar até às estações de tratamento, acarretando a dificuldade de remoção desses compostos, visto que o tratamento convencional da água não remove esses poluentes (LIBÂNIO; RISSATO; MELO, 2005).

Francisco Beltrão tem uma população de 89.942 pessoas (IBGE, 2018) , com cerca de 85% vivendo na área urbana do município, que é abastecida pelo rio Marrecas, único manancial de fornecimento de água para o município, logo a manutenção da qualidade da água na área rural da bacia, proporcionada pela diminuição dos sedimentos erodidos pelo escoamento superficial, é de extrema importância.

c) Assoreamento

Carvalho (2008), em relação aos sedimentos transportados pelos corpos hídricos, afirma que entre 70 e 90% têm sua ocorrência no período de chuvas, em decorrência da erosão e transporte ocorridos pelo escoamento superficial, assim, o aumento de sedimentos, que variam de acordo com o tamanho, o peso e a forma das partículas, quando produzidos à uma taxa maior do que a capacidade do leito em escoá-los podem resultar na sua deposição no fundo do canal.

A deposição gradual e contínua desses materiais sólidos tem como consequência o assoreamento do curso d'água, provocando a diminuição da área de drenagem do canal e reduzindo o volume de água que pode ser escoado por ele, o que pode implicar a ocorrência de inundações para as áreas de várzea quando há eventos de precipitação intensa (CARVALHO, 2008).

Visando um aumento da área de drenagem, maior capacidade de escoamento da água e diminuição nos casos de inundação do rio Marrecas, um trabalho de desassoreamento e rebaixamento da calha do rio foi realizado em 2013 pelas ações do Projeto de Fortalecimento da Gestão de Riscos e Desastres no Paraná. Com investimentos próximos a três milhões de reais, esta ação foi eficiente apenas na primeira chuva intensa

ocorrida, evitando o transbordamento do rio para fora da calha, porém, para os anos seguintes, com eventos de precipitações intensas ocorridas, a dragagem do rio Marrecas se mostrou ineficiente, ocorrendo novos episódios de inundação na Cidade.

d) Não reabastecimento dos aquíferos subterrâneos

Sabe-se que a infiltração e a percolação profunda da água no solo são os atributos principais da recarga dos aquíferos subterrâneos, os quais se mantêm elevados em períodos longos de chuva e, em períodos de estiagem, diminuem a medida em que ocorre a descarga do aquífero para a manutenção da vazão dos rios (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). Logo, como o abastecimento dos aquíferos subterrâneos depende de eventos de chuva e da quantidade de água infiltrada no solo, a redução da recarga ao longo do tempo será influenciada pelo aumento do escoamento superficial, visto que o volume escoado deixará de infiltrar no solo, diminuindo a quantidade armazenada de água subterrânea (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Muitos rios são utilizados como mananciais de abastecimento público e nos períodos secos dependem dos volumes de água armazenadas no subsolo para manter a vazão necessária para a realização da captação de água. O reabastecimento insuficiente do aquífero subterrâneo da bacia do rio Marrecas em períodos de estiagem pode afetar negativamente o abastecimento de água aos moradores do município de Francisco Beltrão, que possui 85,44% da sua população localizada na área urbana e é atendida pelo abastecimento público da Sanepar (IBGE, 2010). Além disso, com a diminuição da recarga do aquífero pressupõe-se que ocorre maior escoamento superficial dentro da bacia, o que contribui para o aumento das vazões máximas que têm como consequência os eventos de inundação.

e) Cheias

O escoamento superficial é consequência direta do excesso de precipitação, em que a água da chuva, que não penetra no solo, irá escoar e atingir os corpos d'água, aumentando sua vazão e formando os picos de vazão, que apresentam como consequência as cheias ou enchentes (COLLISCHONN, 2009). As vazões máximas ou vazões de cheia são valores que excedem à capacidade normal das seções de escoamento nos cursos d'água, ou seja, vazões que ultrapassam os valores normais para determinada bacia, provocando o extravasamento da água do leito principal. A resposta da bacia a um evento de precipitação, que poderá acarretar vazões de cheias, dependerá das suas características físicas, como forma da bacia, declividade e uso e ocupação do solo e das características da precipitação, como intensidade e duração da chuva (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

A ocorrência de vazões de cheias em uma bacia está associada há um tempo de retorno ou recorrência, em que há risco de o valor máximo de vazão ser igualado ou ultrapassado ao longo do tempo. Outro fator relacionado às vazões de cheias é o tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais remoto da bacia se desloque até a seção de saída e, então, contribua para o incremento da vazão (TUCCI, 2012).

No município de Francisco Beltrão eventos de precipitação intensa têm provocado episódios de inundações, nas regiões em que o rio Marrecas corta a área urbana do município. Essas precipitações têm gerado vazões de cheias, provocando o extravasamento recorrente do rio e impactando negativamente a população, que se vê em estado de alerta sempre que ocorrem chuvas fortes. Em vários episódios de inundação, o município foi declarado em situação de emergência e apresentou grandes prejuízos econômicos tanto ao poder público como aos moradores, que são obrigados a deixarem suas casas e se deslocarem a abrigos comunitários.

Assim, o estudo e determinação do escoamento superficial e das vazões máximas são de grande relevância, pois podem ser aplicados para determinar eventos de cheia e evitar episódios de inundação. Essa determinação irá variar conforme a disponibilidade de dados hidrológicos na área a ser estudada, sendo que diferentes métodos de quantificação podem ser empregados, de maneira direta ou indireta, no qual se destacam os modelos de simulação hidrológica (MELLO; SILVA, 2013).

3.2 Modelagem hidrológica

Os modelos hidrológicos podem ser definidos como um procedimento utilizado para representar os processos ocorridos em uma bacia hidrográfica e prever quais as implicações dessas ocorrências em relação aos valores observados (TUCCI, 2005). São ferramentas capazes de reproduzir, de maneira simplificada, situações reais, permitindo a análise do comportamento de um processo natural.

O objetivo dos modelos hidrológicos é representar os componentes do ciclo hidrológico, relacionados à porção terrestre, transformando a precipitação em vazão de uma seção específica do corpo hídrico. Assim sendo, a modelagem hidrológica exige o conhecimento do ciclo hidrológico e dos processos físicos que ocorrem durante a precipitação, dos quais podem ser representados por meio de modelos matemáticos (SANTOS, 2009).

Conforme os modelos são elaborados, estes podem ser classificados em: físicos, analógicos e matemáticos (CAMPOS, 2009):

- Os modelos físicos são os que representam o sistema por uma estrutura menor (modelo reduzido), a qual tem comportamento semelhante à estrutura em análise (sistema);
- Os modelos analógicos utilizam analogias entre equações que comandam fenômenos diferentes; e
- Os modelos matemáticos representam a natureza do sistema por meio de equações matemáticas que regem os processos no sistema. São os mais utilizados hoje em dia, devido à facilidade, rapidez e baixo custo.

Os modelos matemáticos podem ser agrupados em classes (TUCCI, 2005), de acordo com alguns aspectos, como:

- Estocásticos ou determinísticos: relacionados à ocorrência de variáveis na modelagem;
- Empíricos ou conceituais: relacionados às relações entre as variáveis utilizadas;
- Discretos ou contínuos: conforme o modo de representação dos dados;
- Concentrados ou distribuídos: se consideram ou não a variabilidade espacial da bacia;
- Estacionários ou dinâmicos: relacionados à dependência temporal.

A unidade territorial, utilizada como objeto de estudo na modelagem hidrológica, é a bacia hidrográfica e compreende as superfícies que capturam e despejam água sobre os canais de escoamento que desaguardam no exutório da bacia. A variabilidade temporal e espacial, as características físicas e climáticas da bacia em estudo devem ser consideradas para selecionar o modelo hidrológico mais adequado, além da disponibilidade de informações, uma vez que, quanto mais detalhado o modelo, melhor será o resultado da modelagem (MARINHO FILHO et al., 2012).

O surgimento desses modelos hidrológicos se deu pela necessidade de simular e prever cenários futuros, a fim de facilitar o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos. Modelos matemáticos de simulação representam um sistema por meio de equações matemáticas, isto é, o comportamento do sistema num dado intervalo de tempo, relacionado a uma entrada e a uma saída de informação (TUCCI, 2005).

Esses modelos são gerados a partir de um conjunto de dados disponíveis e da finalidade do estudo, como exemplo pode-se citar o modelo de chuva-vazão, que utiliza dados de precipitação para estimar o escoamento superficial e conseqüentemente dados de vazão do corpo hídrico, permitindo a sua utilização em dimensionamentos, previsão de enchentes, preenchimento de falhas de dados de vazão etc. Atualmente, é um dos tipos

modelos mais utilizados nas simulações hidrológicas (JIANG et al., 2015; KIM; MUHAMMAD; MAENG, 2016; NIEMI et al. 2017; LEE et al., 2019; LOTZ; OPP; HE, 2018; WATSON et al., 2018; CALDEIRA et al., 2019; GAI et al., 2019).

A simulação hidrológica de eventos futuros, normais ou extremos, relacionados ao regime hídrico, permite que os modelos hidrológicos sejam empregados na previsão de episódios que apresentem riscos potenciais à sociedade e, ainda, serve de subsídio na tomada de decisão das políticas públicas (MARINHO FILHO et al., 2012).

3.3 HEC-HMS

Considera-se a bacia hidrográfica como um sistema homogêneo, com o objetivo de simplificar a modelagem hidrológica, porém, quando se exige um maior detalhamento dos processos que ocorrem na bacia, é realizada uma discretização da área (CONCEIÇÃO et al., 2012). A maneira mais comum de discretizar a bacia hidrográfica é segmentá-la em sub-bacias, representadas por pontos e conectadas por linhas, que representam a rede de drenagem. Esse tratamento é empregado no modelo HEC-HMS.

O modelo hidrológico HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*) foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América (*US Army Corps of Engineers*). Esse programa contribui para o estudo de modelagem de bacias hidrográficas para eventos de chuvas com aplicações em estudos de cheias, simulações para estudo de planícies de inundação, problemas de operação e dimensionamento de sistemas de reservatórios, modelos estocásticos, transporte e deposição de sedimentos e qualidade de águas (FLEMING, 2013).

Conforme apresentado por Scharffenberg (2015), para a simulação do escoamento superficial na bacia hidrográfica, os componentes do programa demandam:

- Modelos de bacias: informa-se ao programa a configuração da bacia hidrográfica, as sub-bacias e suas respectivas características físicas, além dos seus elementos hidrológicos conectando-os segundo a lógica do escoamento.
- Modelos meteorológicos: introduz-se os dados relativos às formas de precipitação e informações das estações pluviométricas utilizadas.
- Especificações de controle: especifica-se um intervalo de tempo para as variáveis do modelo, para determinação dos cálculos dos hidrogramas.

O modelo HEC-HMS, desenvolvido para simular os processos de chuva-vazão em bacias hidrográficas, tem sido empregado nas simulações de cheias, previsões de

inundações e sistemas de alerta de inundação em bacias hidrográficas em todo mundo (AZAMA; KIM; MAENG, 2017, WALEGA, 2013, RAZI et al., 2010). O modelo permite simular as cheias para eventos de precipitação de curta e de longa duração (escala de dias e anos), uma vez que as vazões escoadas na bacia hidrográfica são respostas a impulsos de precipitações (CAMPOS, 2009).

Mesmo em locais com carência de dados é possível utilizar o modelo na simulação de eventos de inundação. No estudo de Samadi, Adrolashrafi e Kholghic (2019), os autores utilizaram o modelo chuva-vazão do HEC-HMS incorporado ao WMS (*Watershed Modeling System*) para simular eventos de inundação na bacia do rio Dez na Província de Khuzestan, sudoeste do Irã, que apresenta deficiência de dados de precipitação. Devido a essa condição, os autores utilizaram métodos para definição da precipitação média sobre a bacia e concluíram que, apesar da falta de dados, o modelo hidrológico apresentou bom desempenho e pode ser aplicado a bacias com características semelhantes.

Em estudo realizado na sub-bacia de Benue, um dos principais afluentes do rio Níger, Haile, Tefera e Rientjes (2016) utilizaram dados de estimativas de precipitação por satélite e dados de previsão do tempo e verificaram que o modelo HEC-HMS capturou razoavelmente o padrão e o volume da hidrograma observado para os anos normais, secos e úmidos e que a habilidade de previsão do modelo foi melhor para detectar a ocorrência de inundação do que a sua magnitude.

Um fator de grande influência na produção de escoamento superficial e consequente geração de picos de vazão é o uso e ocupação do solo (LOTZ; OPP; HE, 2018). Esse fator pode ser avaliado pelo programa HEC-HMS, por meio do método do Número de Curva (CN) do método SCS (*Soil Conservation Service*), no qual o escoamento pode ser estimado a partir dos dados de precipitação (SCHARFFENBERG, 2015). Muitos estudos mostram a adoção do modelo HEC-HMS na previsão dos impactos das mudanças de uso do solo sobre o escoamento superficial, inundações e picos de vazão em bacias hidrográficas.

Em estudo na bacia do rio Lai Nullah, em Islamabad, Paquistão, Ali et al. (2011) criaram um cenário de mudança no uso do solo baseado no Plano Diretor de Islamabad e utilizaram o modelo HEC-HMS para simular os impactos dessa mudança na geração de escoamento na bacia. Os autores concluíram que à medida que aumenta o processo de urbanização na bacia hidrográfica, o futuro cenário de uso da terra resultaria em um acréscimo do volume de escoamento maior que 51,6%, chegando até 83,3%, os picos de vazão em comparação com os valores observados no atual uso da terra.

O estudo realizado por Younis e Ammar (2018) quantificou o impacto das mudanças na cobertura do solo e do uso da terra na bacia do alto rio Indo, na província de Khyber Pakhtukhwa (KP), Paquistão, pelo modelo HEC-HMS, para calcular o escoamento superficial na área de estudo. A partir da modelagem realizada para o uso do solo no ano de

2000 e 2010, os autores concluíram que o aumento de até 40% de áreas construídas provoca um incremento de 33% na geração de vazão. Contudo, as mudanças ocorridas no uso do solo da bacia em 10 anos, não afetaram significativamente a descarga na área de estudo.

Para observar o impacto da mudança no uso do solo de 1966 a 2001 e de 2001 a 2009 sobre o hidrograma de inundação da bacia do rio Oshiwara em Mumbai na Índia, Zope, Eldho e Jothiprakash (2016) utilizaram o modelo HEC-HMS. No estudo, a precipitação foi estimada para diferentes períodos de retorno para a análise hidrológica. Os autores concluíram que as mudanças ocorridas nos 43 anos no uso do solo, expandiram a área construída em 74,84%, aumentando o volume de escoamento superficial da bacia em 4,45% para o período de retorno de 100 anos e 12,2% para o período de recorrência de 2 anos. Em relação às áreas de inundação, os resultados revelaram que houve a ampliação dessas áreas para as condições de uso do solo em 2009 comparado com 1966, elevando para 64% as zonas de alto risco de inundação.

O modelo de simulação hidrológica HEC-HMS apresenta ainda recursos que facilitam a representação da bacia hidrográfica, entre eles estão inclusas: a descrição física da bacia hidrográfica, a descrição meteorológica, a simulação hidrológica, a estimativa de parâmetros, a análise das simulações, a previsão de fluxos futuros, informações de sedimentos e qualidade da água e a integração com sistemas de informações geográficas (SIG) (SCHARFFENBERG, 2015).

Scharffenberg (2015) afirma que a ideia do HEC-HMS é tornar a forma do modelo mais fácil e simplificar a representação do fluxo, pois ajuda na eficiência do processo de computação dos resultados, permitindo que o programa conclua as simulações rapidamente e com resultados precisos.

3.4 Influência do uso do solo no escoamento superficial

As alterações ocasionadas pelo uso e ocupação do solo, à medida que a cobertura vegetal é removida e o solo é impermeabilizado, podem gerar algumas implicações no ciclo hidrológico, como: decréscimo nas taxas de infiltração da água no solo, elevação do escoamento superficial, maiores picos de vazão e rebaixamento do nível do lençol freático, entre outros (TUCCI, 2005).

Entre os processos hidrológicos, o escoamento superficial pode ser apontado como a fase que mais sofre a interferência de diversas mudanças no uso e ocupação do solo, sejam

elas áreas urbanas ou rurais. Considerando atividades de pecuária, o pisoteio dos animais promovem um aumento da densidade do solo, que irá diminuir a infiltração da água no solo e aumentar o escoamento superficial. Nas atividades agrícolas, além da compactação do solo por máquinas pesadas, há também a retirada da cobertura vegetal, que reduz a resistência ao escoamento da água, promovendo a perda de solo e água dessas áreas (KEMERICH et al., 2014).

Dias et al. (2015) afirmam que, quando eventos de precipitação intensas ocorrem em bacias desprovidas de vegetação ou com uma porção de área impermeável, há uma diminuição da infiltração da água e elevação no volume de escoamento, gerando um acréscimo nas vazões de cheia. Em um cenário com precipitações menos intensas, a intensificação do escoamento superficial também é observada, pois em superfícies impermeáveis, além de impedir a infiltração, também apresentam menos depressões, onde poderia haver retenção da água. Segundo Vanzela, Hernandez e Franco (2010), a cobertura natural do solo representa uma barreira mecânica de escoamento da água sobre a superfície, acarretando redução na velocidade de escoamento e no carreamento de sedimentos.

Logo, bacias com intensa modificação no uso do solo podem aumentar a velocidade e qualidade do escoamento, reduzir a qualidade do mesmo e, como consequência, acarretar cheias de volume mais intenso, picos de vazão mais elevados em um período curto, quando comparadas com cheias naturais (DIAS et al., 2015). Silveira, Dias e Schuch (2014) dizem que a impermeabilização do solo nas áreas urbanas acelera o escoamento e que esse volume, que atinge num mesmo momento o canal de drenagem, pode gerar inundações que não seriam verificadas se a água infiltrasse no solo.

Independentemente de quais sejam as modificações realizadas pelo uso e ocupação do solo sempre haverá alteração na dinâmica natural do escoamento superficial, logo é fundamental o planejamento e gerenciamento referentes às ações a serem realizadas na área de influência do escoamento superficial.

3.4.1 Capacidade de uso da terra

O sistema de capacidade de uso da terra foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, com o objetivo de agrupar classes homogêneas de terras para definir sua máxima capacidade de uso sem o risco de degradação do solo. Essa classificação permite que cada parcela da terra seja aproveitada de modo intensivo, porém sem que haja alterações danosas ao solo, uma vez que considera as limitações permanentes das terras e as possibilidades de utilização da mesma (LEPSCH, 1991). A

capacidade de uso da terra refere-se à habilidade de uma porção de terra tolerar a produção de culturas de forma sustentável.

Fatores econômicos, políticos e sociais influenciam na escolha das atividades que serão realizadas em um determinado local, no entanto, o planejamento do uso do solo pode ser intensificado pela definição das classes de capacidade de uso da terra, pois fornece informações que auxiliam na escolha das atividades mais convenientes a serem desenvolvidas (LEPSCH, 1991).

Aproximações do sistema original utilizado nos Estados Unidos foram criadas no Brasil, até surgir, em 1971, o Manual Brasileiro para Levantamento da Capacidade de Uso da Terra. As categorias do Sistema de Capacidade de Uso são compostas por grupos, classes, subclasses e unidades de capacidade de uso, em que, quanto maior o detalhamento, maior será a restrição ao uso do solo.

- Grupos de capacidade de uso (A, B e C): estabelecidos com base nos tipos de intensidade de uso das terras;
- Classes de capacidade de uso (I a VIII): baseadas no grau de limitação de uso;
- Subclasses de capacidade de uso (Ile, IIle, IIIa etc.): baseadas na natureza da limitação de uso;
- Unidades de capacidade de uso (Ile-1, Ile-2, IIIe-1, etc.): baseadas em condições específicas que afetam o uso ou manejo da terra.

O esquema das categorias do sistema de capacidade de uso da terra pode ser observado na Figura 1.

| | Grupo | Classes de capacidade de uso da terra | Aumento da intensidade de uso do solo → | | | | | | |
|-----------------------|-------|---------------------------------------|---|-----------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| | | | Vida silvestre e turismo | Reflorestamento | Pastoreio | | Cultivo | | |
| | | | | | Moderado | Intensivo | Restrito | Moderado | Intensivo |
| Limitações e Riscos ↓ | A | I | [Green] | | | | | | |
| | | II | | | | | | | |
| | B | III | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] |
| | | IV | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] |
| | C | V | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] |
| | | VI | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] |
| | C | VII | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] |
| | | VIII | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] | [Green] |

Figura 1 Esquema das categorias do sistema de capacidade de uso da terra.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, W.; SAMPAIO, S. C.; PAISANI, J. C.; REIS, R. R. Implications for peak flows of the Marrecas river basin due to changes in the Brazilian forest code. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 2, p. 277-283, 2018.
- ALI, M.; KHAN, S. J.; ASLAM, I.; KHAN, Z. Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan. **Landscape and Urban Planning**, v. 102, n. 4, p. 271-279, 2011.
- AZAMA, M.; KIM, H. S.; MAENGA, S. J. Development of flood alert application in Mushim stream watershed Korea. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 21, p. 11-26, 2017.
- BIGUELINI, C. P.; FREISLEBEN, A. P. Alterações da paisagem urbana em Francisco Beltrão/PR e suas consequências socioambientais. **Geoiingá**, Maringá, v. 2, n. 2, p. 74-101, 2010.
- 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, p. 470. 1997.
- CABRAL, S. L.; SAKURAGI, J.; SILVEIRA, C. S. Incertezas e erros na estimativa de vazões usando modelagem hidrológica e precipitação por RADAR. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 57-70, fev. 2017.
- CALDEIRA, T. L.; MELLO, C. R.; BESKOW, S.; TIMM, L. C.; VIOLA, M. R. LASH hydrological model: An analysis focused on spatial discretization. **Catena**, v. 173, p.183-193, 2019.
- CAMPOS, J. N. B. **Lições em modelos e simulação hidrológica**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2009. 166 p.
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- CHEN, H.; ZHANG, X.; ABLA, M.; LÜ, D.; YAN, R.; REN, Q.; REN, Z; YANG, Y.; ZHAO, W.; LIN, P.; LIU, B.; YANG, X. Effects of vegetation and rainfall types on surface runoff and soil erosion on steep slopes on the Loess Plateau, China. **Catena**, v. 170, p. 141-149, nov. 2018.
- CHOUDHARI, K.; PANIGRAHI, B.; PAUL J. C. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India. **International Journal of Geomatics and Geosciences**, v. 5, n. 2, p. 253-265, 2014.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.
- COLLISCHONN, W. **Introduzindo a hidrologia**. Porto Alegre/RS: IPH-UFRGS, 2009.
- COLLISCHONN, W; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2013.

CONCEIÇÃO, G.; KOBAYAMA, M.; BELLI FILHO, P.; MIRANDA, C. R.; MULLINARI, M. Simulação de vazão e sedimento em bacia hidrográfica rural com alta concentração de suínos e diferentes usos do solo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 5. **Anais...** Foz do Iguaçu: UTFPR, 2012. p. 1-18.

DEASY, D.; TITMAN, A.; QUINTON, J. N. Measurement of flood peak effects as a result of soil and land management, with focus on experimental issues and scale. **Journal of Environmental Management**, v. 132, p. 304-312, 2014.

DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARAES, M. F.; MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015.

DIAS, R. H. S.; SILVA FILHO, E. P.; SANTOS, A. M.; ROSA, A. L. D. Influência do uso e ocupação do solo no escoamento superficial na cidade de Ji-Paraná-RO, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 5, p. 1493-1508, 2015.

FANG, G.; YUAN, Y.; GAO, Y.; HUANG, X.; GUO, Y. Assessing the effects of urbanization on flood events with urban agglomeration polders type of flood control pattern using the HEC-HMS model in the qinhuai river Basin, China. **Water**, v. 10, n. 8, p. 1003, 2018. DOI:10.3390/w10081003.

FLEMING, M. J. **Hydrologic modeling system HEC-HMS, quick start guide**. Davis, CA, 'USA: U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC, 2013.

GAI, L.; NUNES, J. P.; BAARTMAN, J. E. M.; ZHANG, H.; WANG, F.; ROO, A.; RITSEMA, C. J.; GEISSEN, J. Assessing the impact of human interventions on floods and low flows in the Wei river Basin in China using the LISFLOOD model. **Science of the Total Environment**, v. 653, p. 1077-1094, 2019.

GRIBBIN, J. E. **Introdução a hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 4. ed. 2009.

HAILE, A. T.; TEFERA, F. T.; RIENTJES, T. Flood forecasting in Niger-Benue basin using satellite and quantitative precipitation forecast data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v. 52, p. 475-484, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico**; 2010. <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/francisco-beltrao/panorama>>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estimativa populacional**. 2018. <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/francisco-beltrao/panorama>>.

IHLENFELD, R. G. K.; PAULA, M. L. **Plano de controle de cheias na bacia do rio Marrecas**. Francisco Beltrão: Iguassu Consultoria Ambiental; Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão, 2012.

JIANG, Y.; LIU, C.; LI, X.; LIU, L.; WANG, H. Rainfall-runoff modeling, parameter estimation and sensitivity analysis in a semiarid catchment. **Environmental Modelling & Software**, v. 67, p. 72-88, 2015.

KEMERICH, P. D. C.; MARTINS, S. R.; KOBIYAMA, M.; FLORES, C. E. B.; BORBA, W. F.; FERNANDES, G. D.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R. Infiltração e escoamento superficial sob diferentes usos e ocupação em uma bacia hidrográfica. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 55-88, 2014.

KIM, H.; MUHAMMAD, A.; MAENG, S. Hydrologic modeling for simulation of rainfall-runoff at major control points of Geum river watershed. **Procedia Engineering**, v. 154, p. 504-512, 2016.

LEE, K. T.; HO, J.; KAO, H.; LIN, G.; YANG, T. Using ensemble precipitation forecasts and a rainfall-runoff model for hourly reservoir inflow forecasting during typhoon periods. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 22, p. 29-37, 2019.

LEPSCH, I. F. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1991.

LIBÂNIO, M.; RISSATO, S. R.; MELO, N. A. S. Avaliação das perspectivas de remoção de pesticidas organoclorados estações de tratamento de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005. p. 1-10.

LOTZ, T.; OPP, C.; HE, X. Factors of runoff generation in the Dongting Lake basin based on a SWAT model and implications of recent land cover change. **Quaternary International**, v. 475, p. 54-62, 2018.

MACHADO, G. **Transformações na paisagem da bacia do rio Marrecas (SW/PR) e perspectivas de desenvolvimento territorial**. 2009. 284 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2009.

MARINHO FILHO, G. M.; ANDRADE, R. S.; ZUKOWSKI JUNIOR, J. C.; MAGALHÃES FILHO, L. N. L. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 35-47, 2012.

MELLO, C. R., SILVA, A. M. Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: Ed. da Universidade UFLA. 2013, 455 p.

NIEMI, T. J.; WARSTA, L.; TAKA, M.; HICKMAN, B.; PULKKINEN, S.; KREBS, G.; MOISSEEV, D. N.; KOIVUSALO, H.; KOKKONEN, T. Applicability of open rainfall data to event-scale urban rainfall-runoff modelling. **Journal of Hydrology**, v. 547, p. 143-155, 2017.

OLANG, L. O.; FÜRST, L. Effects of land cover change on flood peak discharges and runoff volumes: model estimates for the Nyando River Basin, Kenya. **Hydrological Processes**, v. 25, p. 80-89, 2011.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de rios com grandes planícies de inundação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15 n. 4, p. 31-43, 2010.

PERAZZOLI, M.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V. Efeitos de cenários de uso do solo sobre o regime hídrico e produção de sedimentos na bacia do Ribeirão Concórdia – SC. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 859-869, 2013.

RAZI, M. A. M.; ARIFFIN, J.; TAHIR, W.; ARISH, N. A. M. Flood estimation studies using hydrologic modeling system (HEC-HMS) for Johor river, Malaysia. **Journal of Applied Sciences**, v. 10, p. 930-939, 2010.

SAMADI, A.; SADROLASHRAFI, S. S.; KHOLGHIC, M. K. Development and testing of a rainfall-runoff model for flood simulation in dry mountain catchments: A case study for the Dez River Basin. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 109, p. 9-25, 2019.

SANTOS, L. L. Modelos hidráulicos-hidrológicos: Conceitos e Aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.2, n.3, set-dez, p. 1-19, 2009.

SANYAL J.; DENSMORE A. L.; CARBONNEAU P. Analysing the effect of land-use/cover changes at sub-catchment levels on downstream flood peaks: a semi-distributed modelling approach with sparse data. **Catena**, v. 118, p. 28-40, 2014.

SCHARFFENBERG. W. A. **Hydrologic modeling system HEC-HMS**. User's manual, Version 4.1. Davis, CA, USA: U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center - HEC, 2015.

SILVEIRA, C. A.; DIAS, P.; SCHUCH, F. S. A problemática das inundações em áreas urbanas sob a ótica da permeabilidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2014.

TUCCI, E. C. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH; Editora da UFRFS, 2005.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. 4. reimp. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 2012.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do córrego Três Barras, Maripolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

YOUNIS, S. M. Z.; AMMAR, A. Quantification of impact of changes in land use-land cover on hydrology in the upper Indus Basin, Pakistan. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**. v. 21, p. 255-263, 2018.

WALEGA, A. Application of HEC-HMS programme for the reconstruction of a flood event in an uncontrolled basin. **J. Water Land Dev**. v. 18, n. 8, p. 13-20, 2013.

WATSON. A.; MILLER, J.; FLEISCHER, M.; CLERCQ, W. Estimation of groundwater recharge via percolation outputs from a rainfall/runoff model for the Verlorenvlei estuarine system, west coast, South Africa. **Journal of Hydrology**, v. 558, p. 238-254, 2018.

ZHAO, L.; HOU, R.; WU, F. KEESSTRA, S. Effect of soil surface roughness on infiltration water, ponding and runoff on tilled soils under rainfall simulation experiments. **Soil and Tillage Research**, v. 179, p. 47-53, jun. 2018.

ZOPE, P. E.; ELDHO, T. I.; JOTHIPRAKASH, V. Impacts of land use-land cover change and urbanization on flooding: a case study of Oshiwara river basin in Mumbai, India. **Catena**. v. 145, p. 142-154, 2016.

4 ARTIGOS

4.1 ARTIGO 1 INFLUÊNCIA DA ADEQUAÇÃO DO USO DO SOLO À CAPACIDADE DE USO DA TERRA SOBRE AS VAZÕES MÁXIMAS

RESUMO: Em estudos de cheias, entender a influência do uso do solo sobre o comportamento hidrológico dos eventos de precipitação, que geram vazões máximas e são responsáveis por episódios de inundação, é de extrema importância. Nesse sentido, este estudo teve como objetivo analisar a influência do uso do solo rural nas vazões máximas da bacia do rio Marrecas, a montante do perímetro urbano do município de Francisco Beltrão – PR, que sofre com eventos de inundações. Foi utilizado o modelo hidrológico HEC-HMS para simular os picos de vazão em diferentes probabilidades de precipitação e em dois cenários de uso do solo, sendo um representativo do uso atual e outro baseado nas classes de capacidade de uso da terra. Os resultados obtidos pelas simulações hidrológicas, mostraram que o uso atual do solo provoca vazões máximas maiores quando comparado a um cenário de uso do solo em concordância com suas capacidades de uso. Além disso, verificou-se que, aproximadamente, 50% dos solos da bacia se encontram em inadequabilidade ou no limite da capacidade de uso da terra. Os resultados alcançados contribuem para o planejamento do uso do solo e água na área rural da bacia, uma vez que demonstra a capacidade de geração de escoamento superficial e, conseqüentemente, processos erosivos, diminuição da qualidade da água, assoreamento e aumento das vazões máximas, responsáveis pelos eventos de inundações sobre o perímetro urbano do município.

PALAVRAS-CHAVE: manejo do solo, escoamento superficial, vazão de pico, aptidão de uso da terra, inundação

INTRODUÇÃO

A bacia do Rio Marrecas foi alvo de ocupações desde 1940 e nos, dias atuais, evidencia as conseqüências dessas ações, da forte presença de atividades agrícolas em suas margens e da retirada de parte da floresta ombrófila mista original (Savoldi & Cunha, 2010). Esses fatos trazem à tona a importância do entendimento sobre a relação entre o uso e o manejo do solo e o escoamento superficial, com destaque para as vazões máximas do rio Marrecas.

O desenvolvimento do município de Francisco Beltrão ocorreu a partir desse curso d'água, o qual até os dias atuais assume papéis importantes para a região. Entretanto, desde 2010, prejuízos físicos e humanos têm sido causados em decorrências das cheias do rio, responsáveis pelo extravasamento nas áreas de planícies de inundação, ocupadas irregularmente pela população (Aguiar et al., 2018).

No presente artigo, objetiva-se analisar a influência do uso do solo sobre o escoamento superficial e as vazões máximas da bacia do rio Marrecas, a montante do perímetro urbano, geradas pelos cenários baseados nas classes de capacidade de uso da terra comparado com o cenário de uso atual do solo.

A classificação da capacidade de uso da terra é um ponto relacionado ao uso sustentável do solo e de grande importância. Em vários trabalhos, os autores definem as classes de capacidade de uso da terra em bacias hidrográficas, a fim de identificar as formas de usos que se adequam às condições ideais e quais são geradoras de degradação do solo (Campos et al., 2016; Flauzino et al., 2016; Servidoni et al., 2016; Girmay et al., 2018; Nery et al., 2019; Servidoni et al., 2019; Abdullahi et al., 2020). Outros estudos, sobre a capacidade de uso da terra, estão relacionados a diferentes métodos de obtenção das classes de capacidade para regiões distintas (Atalay, 2016; Lopes et al., 2017; Costa et al., 2019; Chauhan et al., 2020). Contudo, não se encontraram pesquisas de adequabilidade do uso do solo à sua capacidade natural, relacionadas ao escoamento superficial, geração de vazões e influência nos eventos de inundação, o que justifica a presente pesquisa.

Além desses, encontram-se estudos sobre as mudanças nos padrões espaciais de uso do solo urbano e seu poder de alterar a vulnerabilidade às inundações (Tarigam, 2016; Zope et al., 2016; Dalu et al., 2018; Tripathy et al., 2020) e estudos sobre estratégias de mitigação dos danos de inundações, que sugerem medidas nas áreas urbanas, como a realocação da população em áreas mais seguras e o planejamento correto do uso do solo adaptado às áreas inundáveis, direcionando o desenvolvimento urbano para longe de locais vulneráveis (Liu & Shi, 2017; Nelson & Camp, 2020; Löschner & Nordbeck, 2020).

Entretanto, nota-se que o foco desses estudos está direcionado às modificações e gestão de uso do solo ocorridas nas áreas urbanas, que de fato são relevantes devido às ocupações irregulares nas áreas de várzea. Porém, as inundações, verificadas em regiões mais baixas, são influenciadas pelo uso do solo de toda a bacia, a qual muitas vezes é ocupada por extensas áreas agrícolas. Lee & Brody (2018) afirmam que, assim como os terrenos urbanos com superfícies mais impermeáveis, os terrenos agrícolas podem causar mais danos de inundação do que outros tipos de usos do solo.

Logo, o questionamento acerca de como as mudanças induzidas pelo homem na área rural podem afetar o equilíbrio hídrico levou à presente pesquisa. Como objeto de estudo foi definido o caso do Rio Marrecas, no município de Francisco Beltrão - PR, utilizando o sistema de modelagem hidrológica HEC-HMS, responsável por simular os processos hidrológicos de bacias hidrográficas, podendo ser replicada em outras regiões, ajustando-se de acordo com características específicas do local.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Este estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Marrecas localizada a montante do perímetro urbano de Francisco Beltrão - PR, que abrange três municípios do sudoeste do Paraná: Flor da Serra do Sul, Marmeleiro e Francisco Beltrão. O ponto de controle adotado foi a estação fluviométrica Bombeiros - Francisco Beltrão (Código 65951000/Águas Paraná), instalada no 3º Subgrupamento de Bombeiros Independente do Corpo de Bombeiros do Paraná no município, localizado nas coordenadas S 26° 4' 24.96" e O 53° 3' 24.84" (Figura 1). A área de drenagem do ponto de controle, a qual engloba a área de estudo, é de 454,26 km², incluindo uma pequena parcela do perímetro urbano.

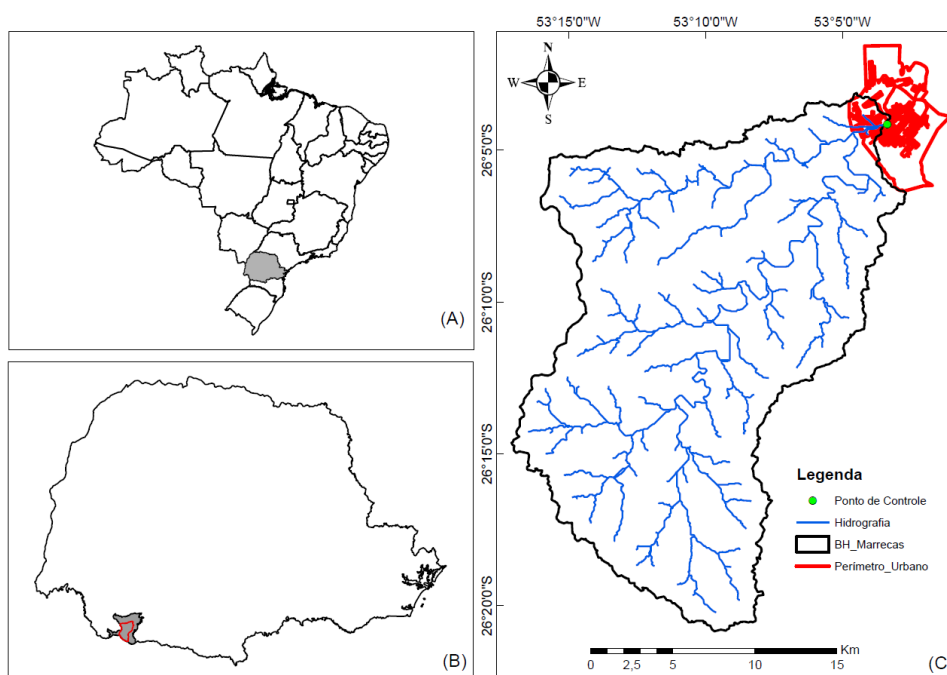


Figura 1 Localização do estado do Paraná (A); Localização bacia do rio Marrecas nos municípios que à englobam (B); Bacia do rio Marrecas com a rede de drenagem a montante do ponto de controle do estudo (C).

Criação de Cenários, Tipos de Solo, Grade CN e Divisão das Sub-bacias

a) Criação do cenário 1: uso atual do solo

O uso atual do solo na bacia foi classificado no programa ArcGis, pelo classificador Maxver, com auxílio da imagem do satélite CBERS 4, sensor PAN, disponibilizada

gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O uso atual do solo pode ser observado na Figura 2, o qual foi classificado em cinco tipos de uso, lavoura, pastagem, solo exposto, vegetação e água. A imagem selecionada corresponde ao mês de abril de 2017, ano que apresentou menor cobertura de nuvens e não possui falhas na imagem. A escolha do mês de abril para a classificação do uso do solo é justificada pelo resultado obtido no estudo de Aguiar et al. (2018), que evidencia a relação entre vastas áreas de solo exposto e os elevados picos de vazão.

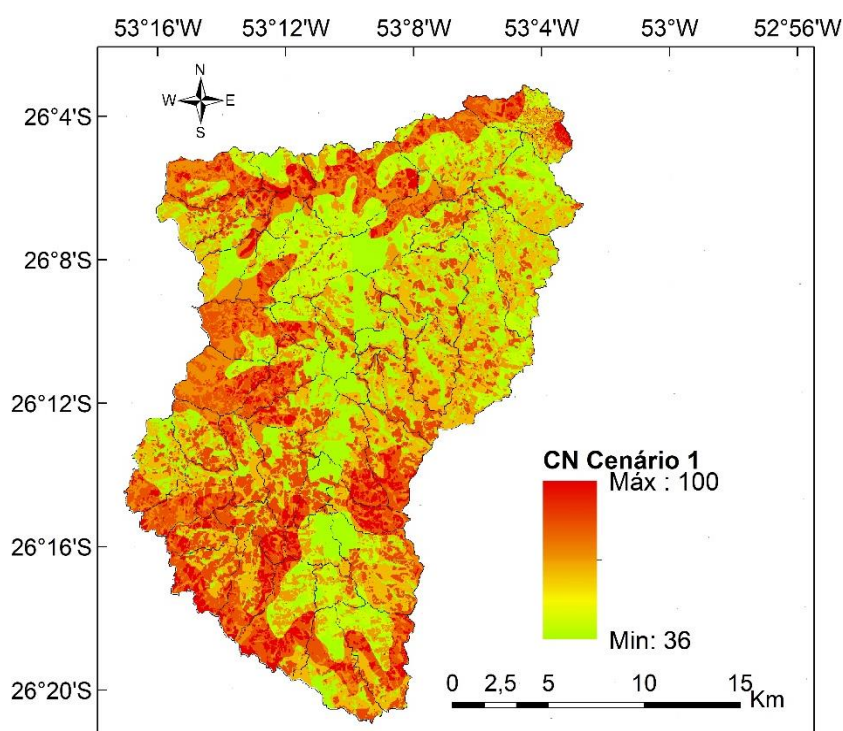


Figura 2 Uso atual do solo na bacia.

b) Criação do cenário 2: uso do solo adequado à capacidade de uso da terra

No cenário 2, foi utilizada a classificação da capacidade de uso da terra realizada por Ranzan et al. (2018), para a bacia hidrográfica do rio Marrecas (Figura 3).

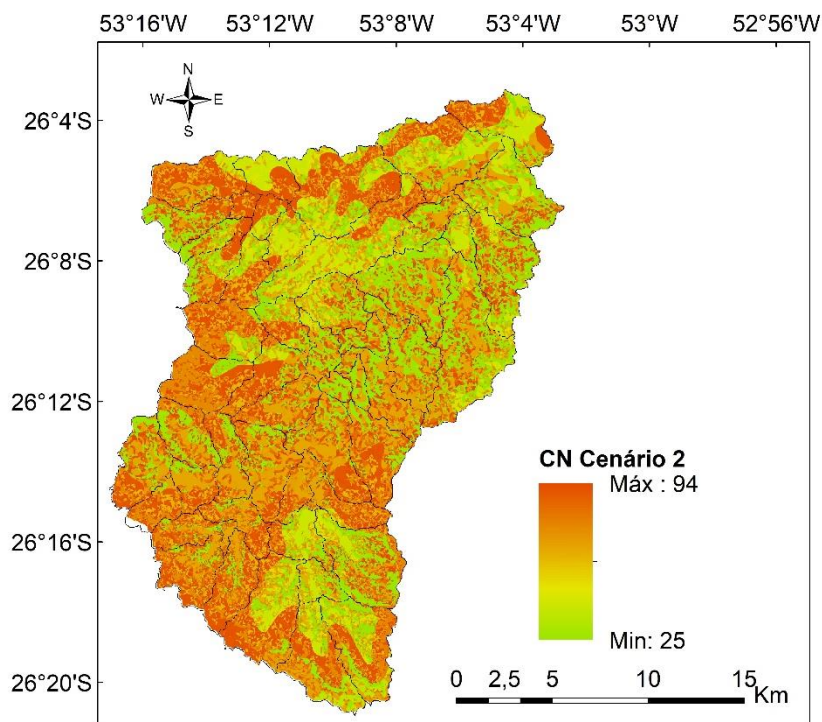


Figura 3 Mapa das classes de capacidade de uso da terra na bacia em estudo.

c) Definição do tipo de solo

Os tipos de solo na área de estudo foram definidos a partir do levantamento realizado pelo IAPAR/EMBRAPA (Paraná, 2006). Além disso, o grupo hidrológico dos solos da bacia foi determinado, conforme classificação proposta por Sartori et al. (2005) e inseridos na tabela de atributos dos tipos de solos, sendo eles:

Grupo hidrológico A: LATOSSOLOS VERMELHOS distroféricos (LVdf2, LVdf7, LVdf8);

Grupo hidrológico B: NITOSSOLOS VERMELHOS Distroféricos (NVdf8, NVdf3, NVdf4, NVdf6), NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos (NVEf2, NVEf4, NVEf6), e LATOSSOLOS BRUNOS Distroféricos (LBd1);

Grupo hidrológico D: Neossolos Regolíticos eutróficos (RRe9).

a) Geração da grade CN (Número da Curva)

Os valores de Número da Curva (CN) foram definidos de acordo com o uso do solo da bacia e do grupo hidrológico de cada tipo de solo (USDA, 1986). Com isso, foi possível gerar uma grade com os valores de CN para cada um dos cenários de uso do solo, a partir da união das camadas de tipo de solo e uso do solo atual (Cenário 1) e, posteriormente, da união das camadas de tipo de solo e classes de capacidade de uso da terra (Cenário 2).

b) Delimitação das sub-bacias

Em busca de uma distribuição espacial mais homogênea das variáveis da bacia estudada, foi realizada a discretização da bacia em sub-bacias, por meio de um modelo de bacia hidrográfica. Dessa maneira, o ciclo hidrológico é separado em partes gerenciáveis e qualquer massa ou fluxo de energia no ciclo pode ser representado com um modelo matemático, sendo que os elementos hidrológicos são conectados em uma rede para simular os processos de escoamento. Para realizar essas simulações, o HEC-HMS exige um modelo da bacia hidrográfica, um modelo meteorológico e as especificações de controle.

O modelo da bacia, ou seja, as características físicas da bacia, suas sub-bacias e os canais de drenagem, requeridos pelo modelo HEC-HMS, foi realizado com a extensão de Modelagem Hidrológica Geoespacial HEC-GeoHMS 10.1 (USACE, 2013), um pacote de ferramentas utilizadas no programa ArcMap 10.1 (ESRI, 2011).

Na caracterização da bacia e seus canais, foi utilizado um modelo digital de elevação (MDE), disponibilizado por Valeriano (2004), gerado a partir do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) resultante da cooperação entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD) e das agências espaciais da Alemanha e da Itália (Valeriano & Abdon, 2007), em escala 1:250.000 e em resolução espacial de 30 metros.

No ArcMap, com as ferramentas do HEC-GeoHMS, foram iniciadas as etapas de cálculo de direção do fluxo, acumulação de fluxo, definição do fluxo e a delimitação da bacia de contribuição e as sub-bacias que a compõe. Esses conjuntos de dados foram utilizados para o delineamento das sub-bacias e seus canais de drenagem, na etapa de Configuração do Projeto, responsável por extrair os dados e as informações necessárias para criar um projeto HEC-HMS. O ponto de controle foi informado na saída da área de estudo, com isso o HEC-GeoHMS extraiu todos os dados de adequação do terreno para a área montante do local de saída.

O delineamento das sub-bacias se deu de maneira que elas apresentassem tamanho máximo correspondente a 10% da área total da bacia, resultando em 56 sub-bacias (Figura 4).

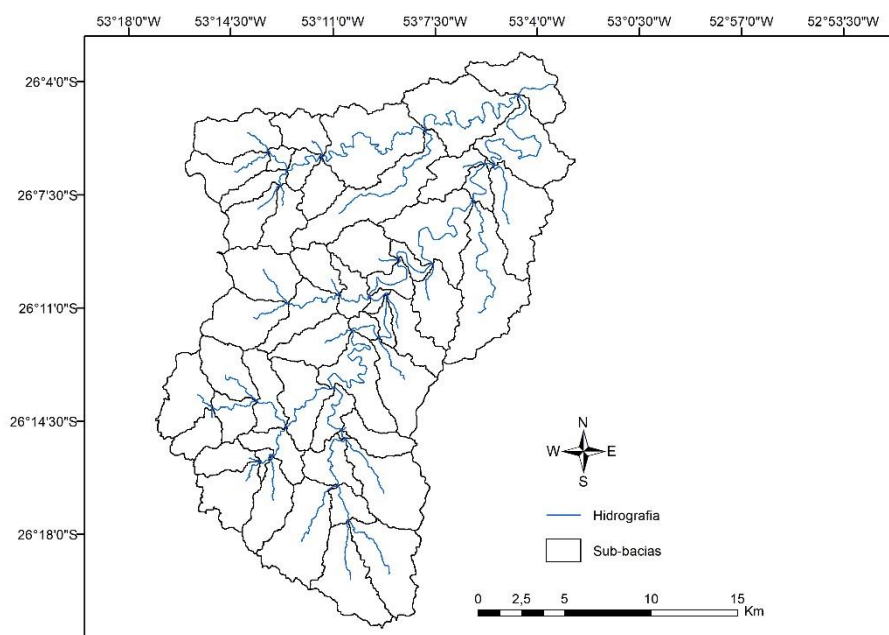


Figura 4 56 sub-bacias delimitadas pelo HEC-GeoHMS, para a bacia estudada.

Na etapa seguinte foram definidas as características físicas da bacia, das sub-bacias e da rede de drenagem, compreendendo: o comprimento e a declividade dos canais de drenagem e das sub-bacias, a maior extensão de percurso dos canais para calcular o tempo de concentração, o centroide e a elevação dos centroides das sub-bacias e o trajeto do centro de gravidade da bacia até o exutório de cada sub-bacia (APÊNDICE A).

Além das informações estimadas automaticamente, foram levantadas a campo as informações de largura dos rios, declividade média do canal e a rugosidade n de Manning, as quais foram inseridas nas tabelas de atributos dos rios (APÊNDICE A.2).

Ainda, foram calculados para cada sub-bacia o Tempo de Concentração (T_c), Tempo de Retardo (*Basin Lag*), Abstrações Iniciais e foi criada uma grade de Porcentagem de Impermeabilização para a área de estudo. Todas essas informações foram utilizadas posteriormente para estimar os parâmetros hidrológicos.

Simulações hidrológicas

As vazões máximas foram simuladas no programa HEC-HMS 4.2 (USACE, 2015), para os dois cenários criados. A definição dos métodos de modelagem HEC-HMS, que foram utilizados para simular as vazões máximas na área de estudo, foram definidos no menu Parâmetros do HEC-GeoHMS, sendo que os métodos adotados foram:

- Perdas por infiltração: foi utilizado o método *Soil Conservation Service Curve Number* - SCS-CN (USDA, 1985), o qual estima a precipitação efetiva como uma função da precipitação cumulativa, condições de cobertura e uso do solo e umidade antecedente, usando a seguinte Equação 1:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (1)$$

em que:

P = Precipitação acumulada (mm);

I_a = Abstrações iniciais (mm);

S = Retenção máxima potencial após o início do escoamento (mm).

Considerando que as abstrações iniciais equivalem à $I_a = 0,2 S$, a precipitação efetiva será correspondente à Equação 2:

$$P_e = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \quad (2)$$

Assim, a retenção máxima S e as características da bacia estão relacionadas por um parâmetro intermediário, definido como Número da Curva (CN) (Equação 3):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

em que:

S = Retenção máxima potencial após o início do escoamento (mm);

CN = Número de curva do escoamento.

- Transformação de precipitação-vazão: foi utilizado o método SCS UH Hidrograma Unitário do *Soil Conservation Service* (USDA, 1971), que define o pico da vazão por meio da Equação 4:

$$Q_p = \frac{2,08 * A}{T_p} \quad (4)$$

em que:

Q_p = Vazão de pico ($m^3 s^{-1}$);

A = Área da bacia (km^2);

T_p = Tempo de pico revisado (horas).

Sendo que o tempo de pico revisado (T_p) representa uma correção do tempo de pico, relacionando a duração da chuva excedente e o tempo de concentração, calculado pela Equação 5:

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + (0,6 * T_c) \quad (5)$$

em que:

T_p = Tempo de pico (horas);

Δt = Duração da chuva excedente (horas);

T_c = Tempo de concentração (horas).

- Propagação da onda no canal: foi empregado o método de Muskingum-Cunge (Cunge, 1969) (Equação 6) para determinar o comportamento da onda de cheia ao longo do rio, relacionando o armazenamento em um trecho do rio às vazões de entrada e saída desse trecho.

$$Q_{t+\Delta t} = (C1 \cdot I_{t+\Delta t}) + (C2 \cdot I_t) + (C3 \cdot Q_t) \quad (6)$$

em que:

I = vazão de entrada ($m^3 \cdot s^{-1}$);

Q = vazão de saída ($m^3 \cdot s^{-1}$);

t = tempo (s);

Δt = intervalo de tempo (s).

$$C1 = \frac{2 \cdot K \cdot X + \Delta t}{2 \cdot K \cdot (1 - X) + \Delta t} \quad (7)$$

$$C2 = \frac{\Delta t - 2 \cdot K \cdot X}{2 \cdot K \cdot (1 - X) + \Delta t} \quad (8)$$

$$C3 = \frac{2 \cdot K \cdot (1 - X) - \Delta t}{2 \cdot K \cdot (1 - X) + \Delta t} \quad (9)$$

Sendo que $C1+C2+C3=1$.

Os parâmetros K e X são:

$$K = \frac{\Delta x}{c} \quad (10)$$

em que:

K = parâmetro do modelo Muskingum (s);

Δx = comprimento do trecho do rio (m);

c = celeridade cinemática da onda da cheia ($m \cdot s^{-1}$).

$$X = 0,5 - \left(\frac{Q_0}{B \cdot S_0 \cdot c \cdot \Delta x} \right) \quad (11)$$

em que:

X = parâmetro do modelo Muskingum (adimensional);

B = largura do rio (m);

S_0 = declividade do fundo do rio ($\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$);

c = celeridade cinemática da onda da cheia ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);

Q_0 = vazão de referência ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

Δx = comprimento do trecho do rio (m).

O esquema da bacia, que é uma representação GIS do modelo HEC-HMS, foi obtido com o comando HMS Esquemático no HEC-GeoHMS. Esta ferramenta construiu, no modelo HEC-HMS, uma rede hidrológica que contém segmento do rio, conector de bacia e elementos de junções e nós das sub-bacias. Por fim, foi utilizada a ferramenta de Preparo dos Dados para o Modelo de Exportação, que gerou um arquivo de modelo de bacia HMS (Figura 5), contendo a estrutura de dados hidrológicos que inclui os elementos hidrológicos, sua conectividade e os parâmetros relacionados. O arquivo foi importado diretamente para um projeto no programa HEC-HMS.

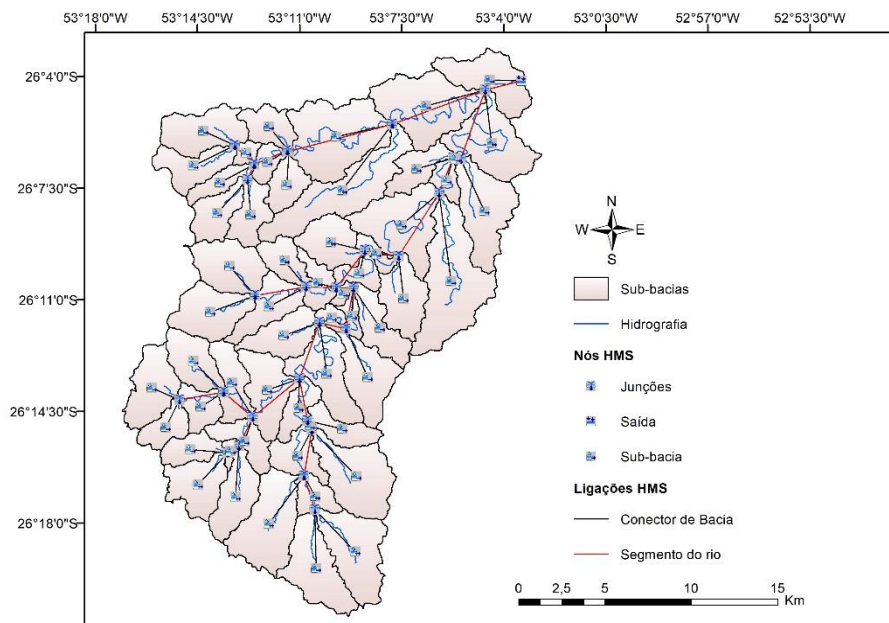


Figura 5 Modelo de bacia gerado pelo HEC-Geo-HMS e exportado para o HEC-HMS.

O modelo meteorológico, que prepara as condições meteorológicas que atuam na bacia durante a simulação, foi criado no programa HEC-HMS, com o comando Gerenciador de Modelos Meteorológicos. Foram criados 7 modelos meteorológicos, um para cada período de retorno, os quais foram relacionados às precipitações, também definidas para os períodos de retorno estudados.

Essas precipitações utilizadas no modelo meteorológico da bacia foram geradas a partir da Equação das curvas IDF – Intensidade, Duração e Frequência (Equação 12), proposta por Fendrich (2011) para o município de Francisco Beltrão-PR:

$$i = \frac{1.012,28 * T_r^{0,182}}{(t+9)^{0,760}} \quad (12)$$

em que:

i = Intensidade máxima de precipitação (mm h^{-1});

T_r = Tempo de recorrência ou período de retorno (anos);

t = Duração da chuva (mm).

Logo, os dados de precipitação utilizados são chuvas de projetos baseados em dados reais para períodos de retorno definidos de 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos (APÊNDICE B). A duração de cada precipitação, que corresponde ao tempo de concentração da bacia revisado (Equação 11), foi calculada pela fórmula *US Corps of Engineers* (Equações 13 e 14), resultando em uma duração de chuva de 90,92 minutos. Posteriormente, essa duração foi distribuída em intervalos de 5 minutos pelo método dos blocos alternados (Zahed & Marcelini, 1995). A fórmula do *US Corps of Engineers* é recomendada para o uso em bacias rurais de até 12000 km^2 por apresentar resultados consistentes e correspondentes ao tempo de concentração da bacia delimitada pelo ponto de controle adotado (Silveira, 2005).

$$t = T_c * 0,1333 \quad (13)$$

em que:

t = Duração da chuva (mm);

T_c = Tempo de concentração (min).

$$T_c = 0,191 * L^{0,76} * S^{-0,19} \quad (14)$$

em que:

T_c = Tempo de concentração (h);

L = Comprimento do canal de drenagem (km);

S = Declividade do canal de drenagem (m/m).

Os períodos de retorno de precipitação foram definidos com o objetivo de se obter uma boa representação das probabilidades de ocorrência de eventos extremos, como o período de retorno de 2 anos para o caso de baixa intensidade e com alta frequência, até eventos de grande intensidade com baixa frequência de ocorrência, como o de 200 anos. As precipitações calculadas foram adicionadas ao programa HEC-DSSVue 2.0.1 (USACE, 2015), que é um sistema de armazenamento de dados, projetado para armazenar e recuperar, entre outros dados, os de séries temporais. Posteriormente, as precipitações foram importadas para o HEC-HMS, de acordo com o período de retorno, totalizando 7 séries de precipitação.

Finalmente, para concluir a etapa de preparação das simulações, foram definidas as Especificações de Controle, que são os intervalos das simulações, com data e hora de início e fim. As simulações foram pontuais, ou seja, para a obtenção dos picos de vazão de cada cenário analisado, fazendo com que os valores adotados tenham intuito apenas de obter as máximas descargas. Para isso, entre o início e o fim do processo foram totalizadas 18 horas, com intervalos de 5 minutos, para as simulações de cada tratamento. Um resumo dos processos realizados para a preparação das simulações é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 Componentes criados e especificações de controle para realizar as simulações

| | Precipitações | Modelos meteorológicos | Simulações |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | Precipitação Tr 02 anos | Mod Met Tr 02 anos | Simulação Tr 02 anos |
| | Precipitação Tr 05 anos | Mod Met Tr 05 anos | Simulação Tr 05 anos |
| | Precipitação Tr 10 anos | Mod Met Tr 10 anos | Simulação Tr 10 anos |
| | Precipitação Tr 25 anos | Mod Met Tr 25 anos | Simulação Tr 25 anos |
| | Precipitação Tr 50 anos | Mod Met Tr 50 anos | Simulação Tr 50 anos |
| | Precipitação Tr 100 anos | Mod Met Tr 100 anos | Simulação Tr 100 anos |
| | Precipitação Tr 200 anos | Mod Met Tr 200 anos | Simulação Tr 200 anos |
| Especificações de controle | Início: 31/03/2017 às 00:00 | Fim: 03/04/2017 às 12:00 | Intervalo: 05 minutos |

a) Simulações hidrológicas das vazões máximas

As simulações hidrológicas foram executadas e salvas para cada probabilidade de precipitação, resultando nas vazões máximas da área de estudo para os dois cenários elaborados. Posteriormente, os resultados foram averiguados, por meio de tabelas com informações dos picos de vazão, tempos de pico e volume escoado superficialmente em cada sub-bacia e no exutório bacia (APÊNDICE C).

Uma análise comparativa foi realizada entre as vazões obtidas para os diferentes cenários, observando-se qual a influência do uso do solo atual em detrimento ao uso classificado de acordo com a capacidade de uso das terras. O tempo de ocorrência das precipitações efetivas e dos picos de vazão sobre os volumes escoados superficialmente e no incremento das vazões, serviram como um indicador da degradação da bacia.

A comparação entre as vazões máximas no exutório da bacia, obtidas nas simulações hidrológicas realizadas para os dois cenários estudados e para diferentes períodos de retorno, foram analisadas por meio de diferença percentual, observando se as vazões diferem ou não conforme o uso do solo. Além disso, foi elaborado um mapa de adequabilidade do solo.

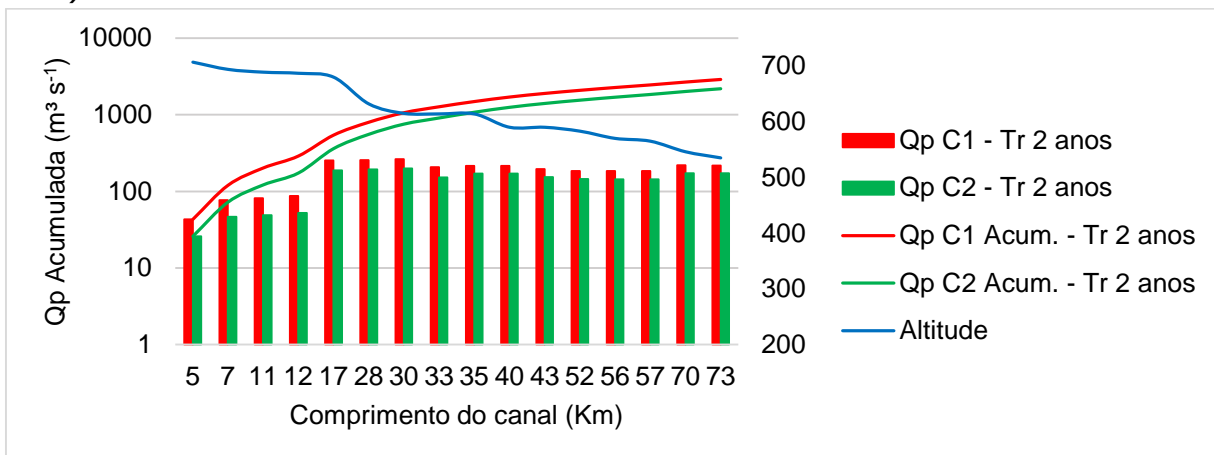
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a contribuição dos afluentes ao longo do comprimento do rio Marrecas e considerando seu perfil longitudinal, notou-se um comportamento semelhante nos acréscimos de vazão máxima para todos os períodos de retorno (Figura 6).

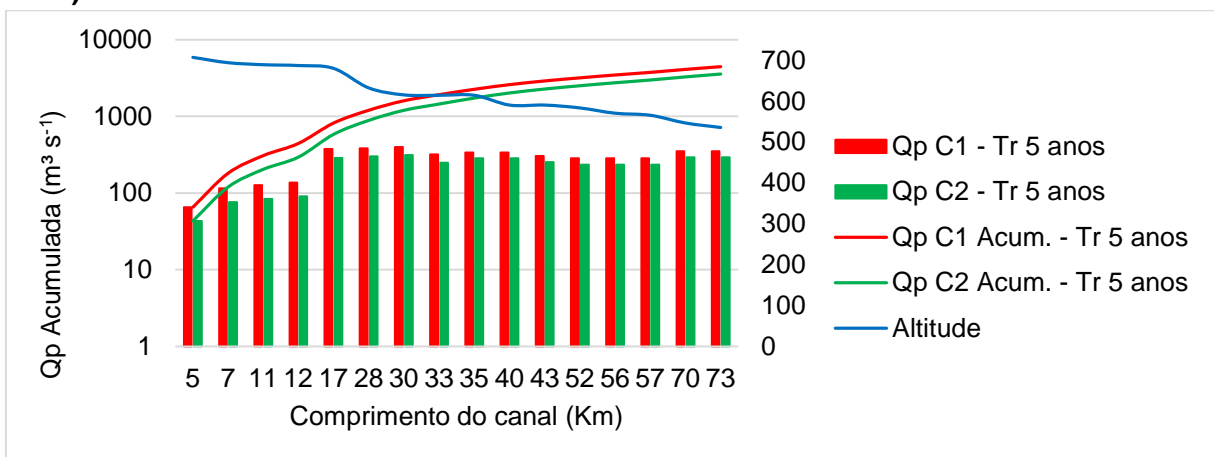
Na cabeceira da bacia os acréscimos nas vazões são menores, possivelmente devido à influência do tempo de retardo de, aproximadamente, uma hora para as sub-bacias que contribuem para a primeira junção do rio principal, além de o rio apresentar uma baixa variação da declividade após sua nascente. Nas demais junções, a queda de altitude é maior e relativamente constante, de modo que o declive longitudinal do rio principal é mais elevado, facilitando o escoamento, permitindo o acréscimo nas vazões e diminuindo o tempo de pico.

Houve diferença nos valores de vazão máxima entre os dois cenários estudados, para todos os períodos de retorno, sendo que o uso atual do solo promoveu picos de vazões maiores que o uso em conformidade com a capacidade de uso da terra, evidenciando que a forma atual de uso do solo está excedendo sua capacidade natural.

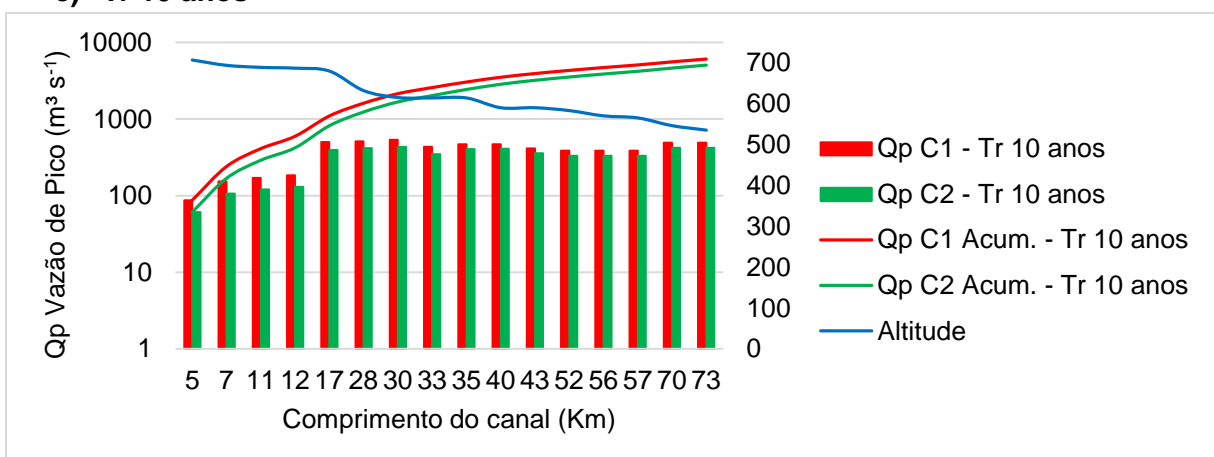
a) Tr 2 anos



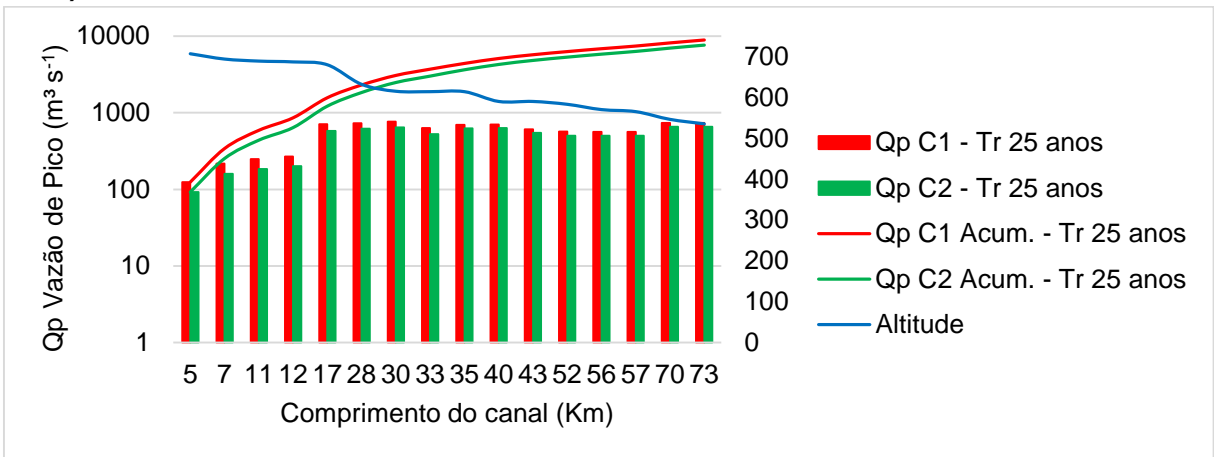
b) Tr 5 anos



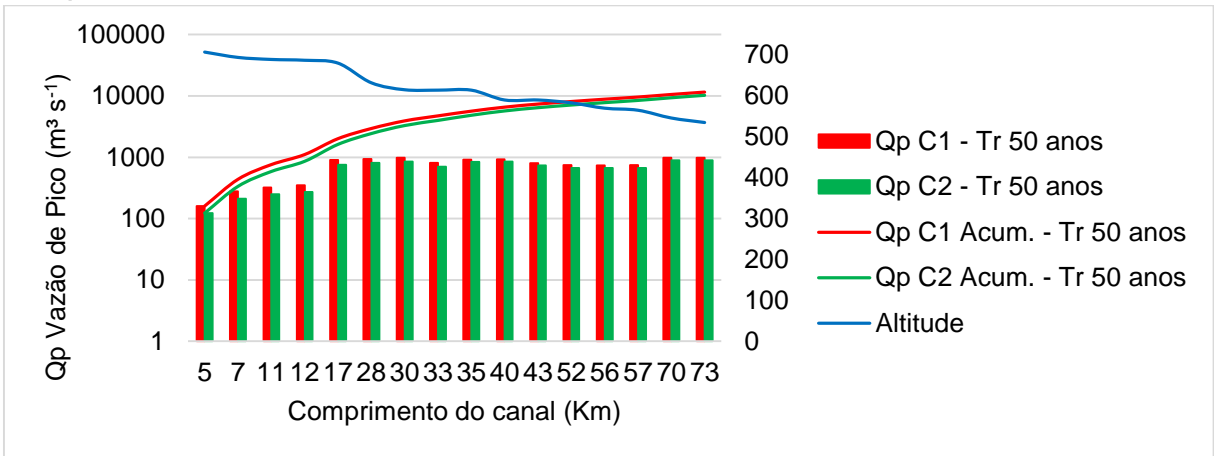
c) Tr 10 anos



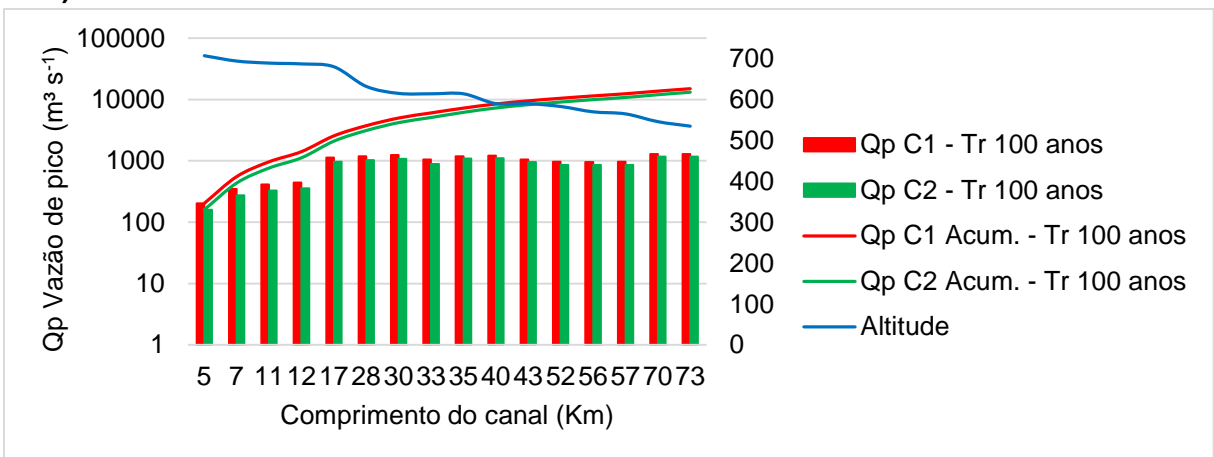
d) Tr 25 anos



e) Tr 50 anos



f) Tr 100 anos



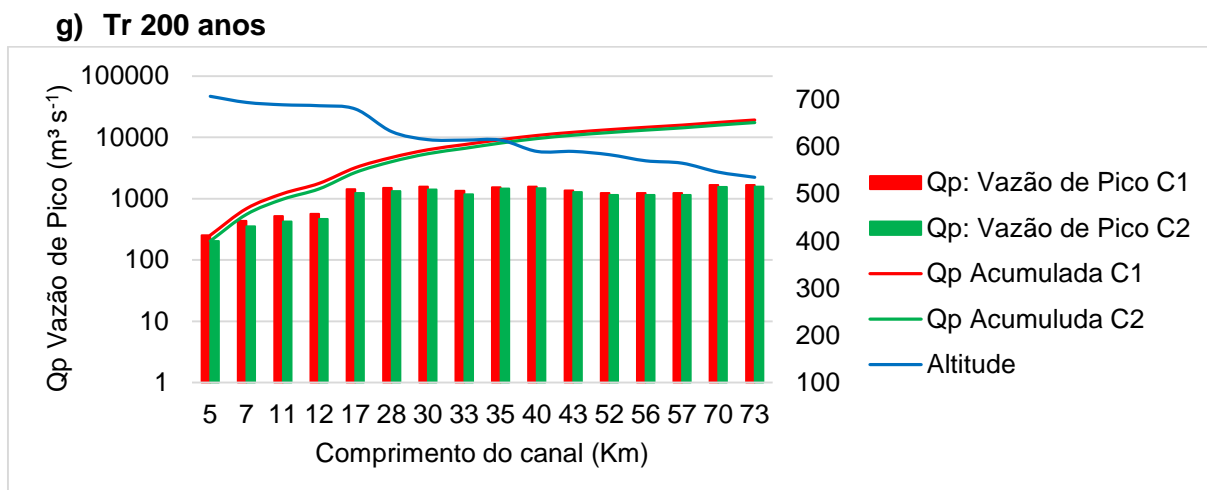


Figura 6 Acréscimo de vazão ao longo do rio Marrecas, para os cenários estudados, nos diferentes períodos de retorno: a) Períodos de retorno de 2 e 5 anos; b) Períodos de retorno de 10 e 25 anos; c) Períodos de retorno de 50 e 100 anos; a) Período de retorno de 200 anos.

Nota: Qp: Vazão de pico, em escala logarítmica.

Na quinta junção, na extensão de 17 km do rio, é possível verificar um aumento nos valores de vazão máximas, isso porque há a contribuição de uma sub-bacia maior, com área de 80 km² (Tabela 2), composta de sub-bacias menores. Isso se repete na distância de 35 km e 72 km, sendo que esta última junção se encontra já no final da bacia em estudo, com uma área de contribuição de 121 km² e localizado em um ponto vulnerável, mais próximo da área urbana do município, local suscetível às inundações.

Pode-se perceber que algumas junções (7, 8, 13), que contribuíram expressivamente para o aumento dos picos de vazões, possuem áreas de contribuição pequenas, que podem ser explicadas pelos altos valores de CN (Curva Número), indicando uma maior capacidade de gerar escoamento superficial e consequente aumento das vazões máximas.

Tabela 2 Informações dos afluentes do rio Marrecas

| | Junção | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Comprimento rio (km) | 5 | 7 | 11 | 12 | 17 | 28 | 30 | 33 | 35 | 40 | 43 | 52 | 56 | 70 | 72 | 73 |
| Área de contribuição | 27 | 20 | 21 | 6 | 80 | 20 | 13 | 10 | 40 | 12 | 12 | 38 | 9 | 14 | 121 | 11 |
| Área acumulada | 27 | 47 | 69 | 74 | 154 | 174 | 186 | 196 | 236 | 248 | 260 | 298 | 307 | 321 | 442 | 454 |
| Altitude | 707 | 694 | 689 | 687 | 680 | 632 | 615 | 614 | 614 | 590 | 590 | 583 | 570 | 565 | 546 | 535 |
| CN sub-bacias C1 | 73 | 74 | 68 | 82 | 79 | 75 | 77 | 74 | 75 | 64 | 71 | 69 | 64 | 67 | 68 | 75 |
| CN sub-bacias C2 | 68 | 69 | 65 | 78 | 76 | 75 | 74 | 71 | 73 | 67 | 68 | 65 | 61 | 65 | 68 | 69 |

Os valores do Número da Curva (CN), que corresponde a um coeficiente de escoamento, para o cenário do uso atual do solo, no geral, apresentam valores maiores dos que os encontrados para o cenário de uso adequado à capacidade de uso da terra. Esses valores mais elevados de CN indicam que as práticas empregadas ao solo atualmente têm deteriorado a permeabilidade do solo e impulsionado o escoamento superficial.

Essas diferenças nas vazões máximas entre os dois cenários estudados se justificam quando analisada a adequabilidade do uso atual do solo em relação à sua capacidade natural (Figura 7). As áreas adequadas correspondem a 48,97%, contudo, a maioria dessas áreas estão relacionadas ao uso atual destinado à vegetação nativa e reflorestamentos, que promovem maior proteção ao solo e são admissíveis em todas as classes de capacidade de uso da terra.

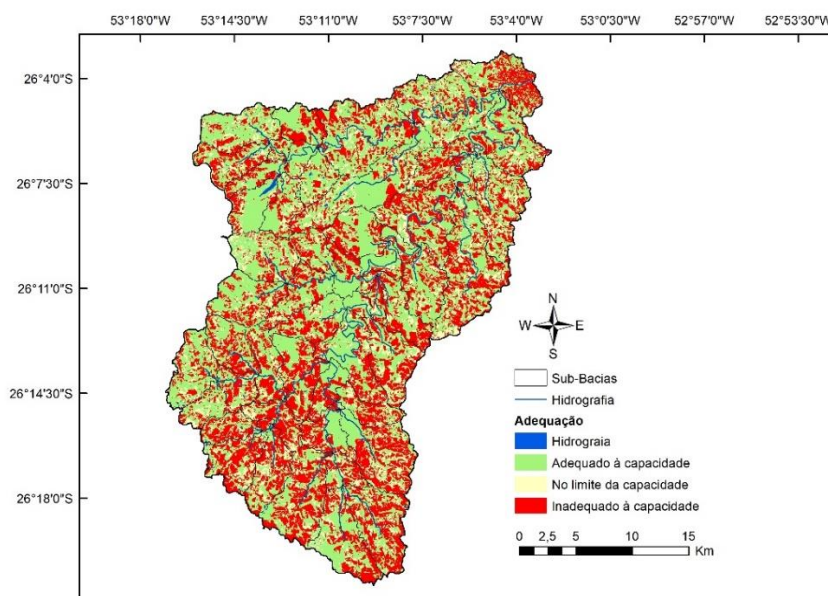


Figura 7 Adequabilidade do uso atual do solo à capacidade de uso das terras.

Apesar disso, grande parte da bacia se encontra sobreutilizada (35,76%), ou seja, são áreas que atualmente estão contribuindo para o seu deterioramento, diminuição da qualidade da água e elevando os picos de vazão. No entanto, essas áreas deveriam ser destinadas ao uso de vegetações que proporcionassem maior quantidade de matéria orgânica, aumento na porosidade ao solo, oferecessem cobertura vegetal elevada, com o objetivo de reduzir a suscetibilidade aos processos erosivos e de escoamento superficial (Chen et al., 2018).

Ainda, no limite da capacidade de uso da terra, encontram-se cerca de 14% das áreas da bacia. Essas regiões são mais suscetíveis a mudanças que possam provocar a

inadequabilidade do uso do solo, acarretando aumento do escoamento superficial e nas suas consequências, como o aumento das vazões máximas.

Logo, a necessidade de planejamento e adoção de práticas que visem à preservação e ao reestabelecimento dessas áreas é evidente, pois, se não for adotada nenhuma medida e, nos próximos anos, houver uma tendência de uso excessivo do solo, as implicações sobre as inundações no perímetro urbano de Francisco Beltrão poderão ser ainda mais expressivas, uma vez que o uso de terra para fins agrícolas é um fator influente em perdas financeiras causadas por inundações, e ainda, a ampliação de 1% das áreas agrícolas, aumentam significativamente os prejuízos causados pelas inundações (Lee & Brody, 2018).

Justamente porque a transformação da água da chuva em escoamento superficial é de 70% em superfícies desprovidas de vegetação e que não apresentam resistência ao escoamento (Zhao et al., 2018), como é o caso das lavouras, sobretudo quando manejada de maneira incorreta, como o plantio convencional, que irão acarretar em danos ao solo e em decorrência, o aumento das vazões máximas que geram as inundações.

Assim, destaca-se a importância da adoção de medidas de conservação do solo, principalmente nas áreas que se encontram no limite da capacidade natural da terra, com o objetivo de diminuir o escoamento superficial e suas consequências, com destaque à redução dos picos de vazões.

No ponto de controle do estudo, já na área urbana do município, os valores de vazão máxima simulados apresentaram diferenças sugestivas entre os dois cenários analisados (Figura 8). Essas vazões na saída da bacia, simuladas de acordo com o cenário adequado à capacidade de uso da terra, apresentam valores menores dos que os simulados para o cenário de uso atual, para todos os períodos de retorno estudados, demonstrando que o uso do solo atual da bacia tem promovido um escoamento superficial excessivo.

A diferença mais significativa entre as vazões máximas no ponto de controle é observada para o período de retorno de 2 anos, período no qual são recorrentes eventos de precipitações máximas no município, que são geradoras de inundações. De acordo com os dados simulados, o escoamento superficial gerado pelo uso atual do solo é responsável pela produção de um pico de vazão 21% maior do que seria ocasionado caso o solo fosse utilizado de acordo com a sua capacidade natural.

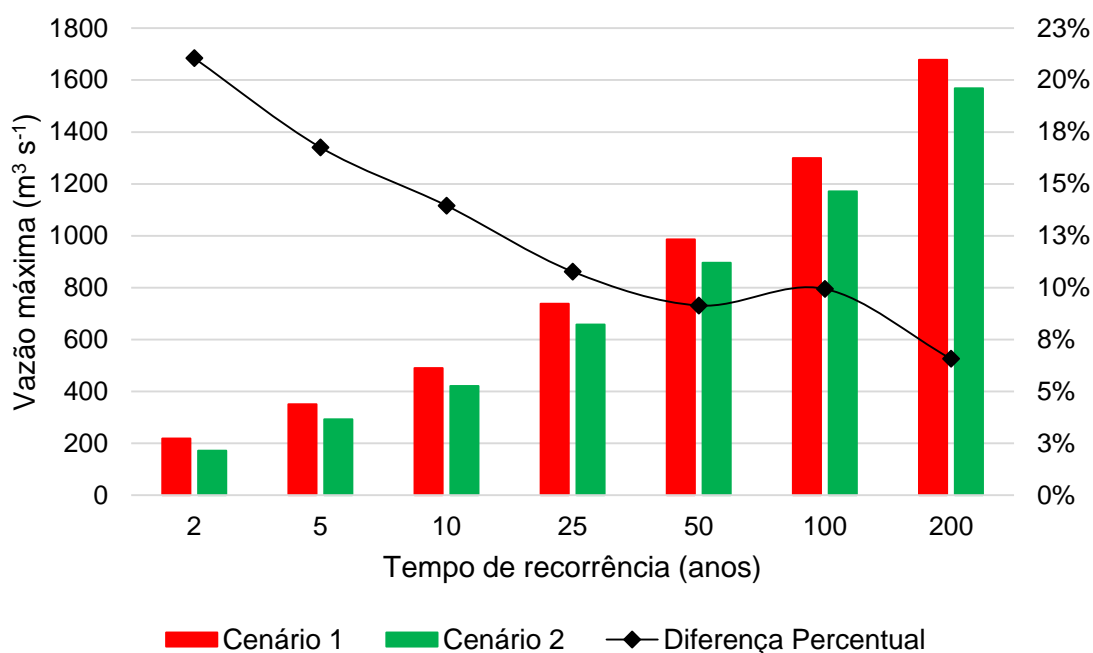


Figura 8 Diferença nas vazões máximas entre os cenários estudados nos diferentes períodos de retorno no ponto de controle.

O contraste entre as vazões máximas é menor nas probabilidades de eventos mais extremos, com períodos de retorno de 50, 100 e 200 anos. Porém, apesar dessa diferença ser mais amena, por se tratarem de eventos de grande intensidade, representam aumentos significativos, maiores do $100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, na geração das vazões máximas. Cabe destacar que o cenário de uso atual do solo provoca incrementos nas vazões máximas sempre maiores que $45,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, em todos os períodos de retorno considerados, demonstrando assim o aporte relevante nas vazões máximas.

CONCLUSÕES

As mudanças espaciais e temporais no uso e cobertura do solo na área rural afetam significativamente o escoamento superficial de uma bacia hidrográfica e terão influência, negativa ou positiva, sobre o perímetro urbano e, ainda, em relação à utilização dos recursos hídricos e no desenvolvimento e gestão da bacia.

As diferenças percentuais nas vazões máximas, simuladas pelo HEC-HMS nos dois cenários e para os sete períodos de retorno, foram maiores em eventos de alta frequência (2, 5 e 10 anos) e menores para eventos extremos e de baixa ocorrência (50, 100 e 200 anos).

Neste estudo, constatou-se que, aproximadamente, 50% dos solos na área rural da bacia do rio Marrecas se encontram em inadequabilidade ou no limite da capacidade de uso da terra. O uso atual do solo provoca um aumento nos picos de vazão quando comparado a um cenário de uso do solo ideal, revelando a urgência de se empregarem ações efetivas em relação ao manejo do solo na área rural da bacia.

Os resultados obtidos contribuem para a tomada de decisões quanto à necessidade da introdução de medidas na área rural da bacia, com vistas à proteção ou mitigação das inundações ocorridas no perímetro urbano do município.

AGRADECIMENTOS

Ao PGEAGRI (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UNIOESTE, *campus* de Cascavel) pelo apoio ao ensino e pesquisa.

REFERÊNCIAS

Abdullahi S, Ismail R, Zaibon S, Ahmad N, Noma SS (2020) Land capability classification of Katsina Central, Nigeria using remote sensing and GIS Techniques. *Test Engineering and Management* 83:193-199.

Aguiar W, Sampaio SC, Paisani JC, Reis RR (2018) Implications for peak flows of the Marrecas river basin due to changes in the Brazilian forest code. *Engenharia Agrícola* 38(2):277-283, DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n2p277-283/2018>.

ATALAY I (2016) A New approach to the land capability classification: Case study of Turkey. *Procedia Environmental Sciences* 32:264-274. DOI: 10.1016/j.proenv.2016.03.031.

Campos S, Campos M, Nardini RC, Rodrigues BT, Rodrigues MT, Tagliarini FSN, Traficante DP (2016) Geotecnologia aplicada na obtenção das subclasses de capacidade de uso das terras de uma microbacia, visando a conservação dos recursos naturais. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering* 10(3):339-348. DOI: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2016v10n3p339-348>.

Chauhan N, Kumar V, Paliwal R (2020) Land capability assessment of Ghaggar river basin using integrated remote sensing and geographical information system approach – A Case Study. *Annals of Plant and Soil Research* 22 (4): 367-372. DOI: <https://doi.org/10.47815/apsr.2020.10006>.

Chen H, Zhang X, Abla M, Lü D, Yan R, Ren Q, Ren Z, Yang Y, Zhao W, Lin P, Liu B, Yang X (2018) Effects of vegetation and rainfall types on surface runoff and soil erosion on steep slopes on the Loess Plateau, China. *Catena* 170:141-149.

Costa LRR, Ramos ERL, Carvalho AC, Sousa ES, Braga TGM (2019) Análise estrutural dos fragmentos florestais amazônicos como auxílio à formação de corredores ecológicos na bacia do rio Benfica – PA. In: _____. Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia, ed. 1. V. 2. Belo Horizonte – MG: Poisson. DOI: 10.36229/978-85-7042-203-3. CAP. 6 p52-62.

CUNGE, J. A. On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum method). *Journal of Hydraulic Research*, v. 7, n. 2, p. 205-230, 1969. DOI: 10.1080/00221686909500264.

Dalu MTB, Shackletona CM, Dalu T (2018) Influence of land cover, proximity to streams and household topographical location on flooding impact in informal settlements in the Eastern Cape, South Africa. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 28:481-490. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.12.009>.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. ArcGIS Professional GIS for desktop, Release 10.1. Redlands, CA, 2012.

Fendrich R (2011) Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná. 3. ed. ampl. Curitiba, O autor. 89p.

Flauzino BK, Melloni EGP, Pons NAD, Lima O (2016) Mapeamento da capacidade de uso da terra como contribuição ao planejamento de uso do solo em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais. *Geociências* 35(2):277-287.

Girmay G, Sebnie W, Reda Y (2018) Land capability classification and suitability assessment for selected crops in Gateno watershed, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture* 4:1532863. <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1532863>.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (01/04/2017) Imagens do Satélite CBERS 4. Sensor PAN. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

Lee Y, Brody, SD (2018) Examining the impact of land use on flood losses in Seoul, Korea. *Land Use Policy* 70:500-509. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.019>.

Liu J, Shi Z (2017) Quantifying land-use change impacts on the dynamic evolution of flood vulnerability. *Land Use Policy*, 65:198-210. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.04.012>

Lopes R, Madeira M, Arsénio P (2017) Mapping of land units and land capability classification in Portugal: the case of the municipality of Lourinhã. *Finisterra*, LII, 106:103-127. DOI: 10.18055/Finis8347.

Löschner L, Nordbeck R (2020) Switzerland's transition from flood defence to flood-adapted land use—A policy coordination perspective. *Land Use Policy*, 95:103873. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.032>.

Nelson KS, Camp J (2020) Quantifying the benefits of home buyouts for mitigating flood damages. *Anthropocene*, 31:100246. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2020.100246>.

Nery LM, Ribeiro MVC, Souza M de, Oliveira RA de, Cunha e Silva DC de, Simonetti VC. Estudo da capacidade de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibú-Mirim. In _____. Meio Ambiente, sustentabilidade e tecnologia. Volume 2. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2019. p.52-62. DOI: 10.36229/978-85-7042-203-3.CAP.07

PARANÁ (2006). Carta de solos do estado do Paraná. SG – 22 – Y – A – MIR-516. Escala 1:210.000. Curitiba: IAPAR/EMBRAPA, 2006.

Ranzan AN, Tomazoni JC, Guimarães E (2018) Capacidade de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Marrecas. In: seminário de iniciação científica e tecnológica da UTFPR, Apucarana 23. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Anais...

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos. Parte 1: classificação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 4, p. 5-18. 2005.

Savoldi A, Cunha LA (2010) Uma abordagem sobre a agricultura familiar, PRONAF e a modernização da agricultura no Sudoeste do Paraná na década de 1970. Revista Geografar 5(1):25-45.

Servidoni LE, Ayer JEB, Silva MLN, Spalevic V, Mincato RL (2016) Land use capacity and environment services. Revista Brasileira de Geografia Física, 09 (06): 1712-1724. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.6.p1712-1724>.

Servidoni LE, Oliveira Júnior BM, Bissoli MC, Mincato RL (2019) Capacidade de uso das terras, conservação do solo e produção agrícola: estudo de caso da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Caçús, Alfenas – MG. InterEspaço 5(17):01-20. DOI: <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.2019.12119>

Silveira ALL (2005) Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 1, p. 5-23.

Tarigan SD (2016) Land cover change and its impact on flooding frequency of Batanghari Watershed, Jambi Province, Indonesia. Procedia Environmental Sciences, 33:386-392. DOI: 10.1016/j.proenv.2016.03.089.

Tripathy SS, Vittal H, Karmakar S, Ghosh S (2020) Flood risk forecasting at weather to medium range incorporating weather model, topography, socio-economic information and land use exposure. Advances in Water Resources. v. 146, 103785. DOI: 10.1016/j.advwatres.2020.103785

USACE – U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension. Release Version 10.1. 2013. Disponível em: <www.hec.usace.army.mil>

USACE – U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-HMS hydrologic modeling system. Release Version 4.1. 2015. Disponível em: <www.hec.usace.army.mil>

USACE – U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-DSS data storage system. Release Version 3.2.1. 2015. Disponível em: <www.hec.usace.army.mil>

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA (1971) Hydrology, Section 4, SCS: National Engineering Handbook, USDA Soil Conservation Service.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA (1985) Hydrology, Section 4, SCS: National Engineering Handbook, USDA Soil Conservation Service.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA (1986) Urban hydrology for small watersheds. Technical Release 55.

Valeriano M. M. (2004) Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. 72 f. 2004. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

Valeriano M. M.; Abdon, M. M. (2007) aplicação de dados srtm a estudos do pantanal. Revista Brasileira de Cartografia, v. 59, n. 1, p. 63-71.

Zahed Filho K, Marcellini SS (1995) Precipitações máximas. In: Tucci CEM, Porto RLL, Barros MT. Drenagem urbana. Porto Alegre, ABRH, UFRGS, p.37-76.

Zhao, L.; Hou, R.; Wu, F. Keesstra S. (2018) Effect of soil surface roughness on infiltration water, ponding and runoff on tilled soils under rainfall simulation experiments. Soil and Tillage Research 179:47-53.

Zope PE, Eldho TI, Jothiprakash V (2016) Impacts of land use–land cover change and urbanization on flooding: a case study of Oshiwara river basin in Mumbai, India. Catena, 145:142-154. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.009>.

4.2 ARTIGO 2 USO DE VAZÕES MÁXIMAS ESPECÍFICAS COMO INDICADOR DE ÁREAS COM GRANDE GERAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

RESUMO: A influência gerada pelo uso dos solos marginais na função hidrológica dos corpos d'água é de grande relevância. A maneira de ocupação territorial do município de Francisco Beltrão, sem considerar a sustentabilidade do uso do solo, tem apresentado como consequência episódios de inundação na área urbana do município. Assim, este estudo teve como objetivo simular as vazões máximas específicas para um cenário de uso do solo adequado às classes de capacidade de uso da terra, considerado ideal, e compará-las com o cenário de uso atual do solo. Utilizando as vazões máximas específicas do cenário ideal como um indicador da produção máxima de escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Marrecas, pode-se inferir que o atual uso do solo tem gerado vazões mais elevadas do que o ideal, para todos os períodos de retorno estudados. Isso implica uma capacidade maior de gerar escoamentos de inundação, evidenciando importância a adoção de medidas de conservação do solo e da água, com o objetivo de reduzir o escoamento superficial e suas consequências negativas. Com a elaboração de mapas das vazões máximas específicas foi possível a identificação pontual das áreas com maior potencial de geração de escoamento superficial, facilitando e servindo de referência na elaboração específica de políticas públicas referentes à conservação do solo e água na bacia.

Palavras-chave: vazão de pico, vazão de inundação, uso do solo, inundações, geração de vazão, capacidade de uso da terra

INTRODUÇÃO

A influência gerada pelo uso dos solos marginais na função hidrológica dos corpos d'água é de grande relevância, pois, como afirmam Costa et al. (2019), a regulação natural do fluxo das regiões de cabeceiras e a recarga das águas subterrâneas podem ser prejudicados por alterações externas.

De acordo com Savoldi % Cunha (2010), a bacia que abriga o Rio Marrecas, a montante do perímetro urbano de Francisco Beltrão, passou por fortes ocupações, principalmente, a partir de 1940, com a chegada dos imigrantes e, nos dias atuais, é caracterizada pela presença de atividades agrícolas, as quais correspondem a mais de 65% da área marginal ocupada e que influencia fortemente no processo de escoamento superficial.

Parte das ocupações ocorreram de forma desordenada, sem estudos prévios e sem considerar as formas de usos que iriam se adequar à capacidade do solo da região, ou seja, não se considerou a sustentabilidade do uso do solo, o que gerou desequilíbrios e malefícios ao meio ambiente, sendo o modelo socioeconômico atual fomentador desse processo.

Além das consequências do escoamento superficial, como perda de solo e nutrientes, assoreamento dos corpos d'água, diminuição da qualidade da água e das recargas de aquíferos, têm-se observado no município, desde 2010, eventos de cheias constantes devido ao extravasamento para as áreas de planícies de inundação, causando prejuízos estruturais e humanos (Aguiar et al., 2018). Assim, o entendimento da relação entre o uso e manejo do solo e o escoamento superficial, com destaque às vazões máximas, é de grande importância para que o esclarecimento das ocorrências de inundação notadas no rio Marrecas.

Nos estudos das inundações, as vazões máximas específicas ou a vazão máxima por unidade de área podem ser empregadas como uma referência do máximo escoamento superficial em bacias hidrográficas. Alguns estudos com a vazão específica observam a disponibilidade hídrica das bacias estudadas (Pruski et al., 2004; Ermenegildo et al., 2012), o potencial de recarga de aquíferos (Vasconcelos et al., 2013) e a variabilidade de vazões específicas entre bacias hidrográficas (Lyon et al., 2012).

Estudos mais recentes apontam para o emprego de vazões máximas específicas, como Greenbaum et al. (2010), que simularam as vazões de inundações ocorridas na região do Mar Morto em Israel e analisaram as vazões máximas específicas em pequenas e médias bacias. Asfaha et al. (2015), em estudo na Etiópia, adotaram um coeficiente de vazão máxima específico a fim de comparar as bacias hidrográficas em termos de resposta de escoamento.

Pino et al. (2016) utilizaram as vazões máximas específicas, relacionadas a outras variáveis, para realizar uma análise das inundações já ocorridas no nordeste da Península Ibérica. Basuki et al. (2017) analisaram as vazões máximas específicas de duas pequenas bacias hidrográficas com áreas de floresta na Indonésia, a partir de medições locais da vazão. Abdullah et al. (2019), em estudo na Malásia, por meio de modelagem hidrológica, analisaram as vazões máximas específicas de inundações ocorridas por eventos de precipitação amplos, raros e extremos e sua relação com áreas de bacias hidrográficas de tamanhos distintos.

Apesar da relevância, esses trabalhos abordam eventos já ocorridos, em cenários existentes, avaliando o impacto das variáveis sobre as inundações. Entretanto, nenhum deles se refere às vazões máximas específicas em termos de valores de referência, considerando um cenário adequado de uso do solo, com o objetivo de evitar essas inundações.

Desse modo, o objetivo deste estudo foi empregar as vazões máximas específicas como indicador de áreas com problema de geração de taxas elevadas de escoamento superficial, que contribuem no incremento das vazões de inundação, comparando o cenário

de uso atual do solo com o cenário de uso do solo adequado à capacidade de uso da terra da área estudada.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo é a bacia hidrográfica do rio Marrecas, a montante do perímetro urbano de Francisco Beltrão, Paraná, sendo que essa área engloba três municípios: Flor da Serra do Sul, Marmeleiro e Francisco Beltrão. O ponto para definição da área de estudo foi a estação fluviométrica Bombeiros Francisco Beltrão (Código 65951000/Águas Paraná), instalada no 3º Subgrupamento de Bombeiros Independente do Corpo de Bombeiros do Paraná (S 26° 4' 24.96" e O 53° 3' 24.84"). A área de drenagem é de 454,26 km² e inclui uma pequena parcela do perímetro urbano (Figura 1).

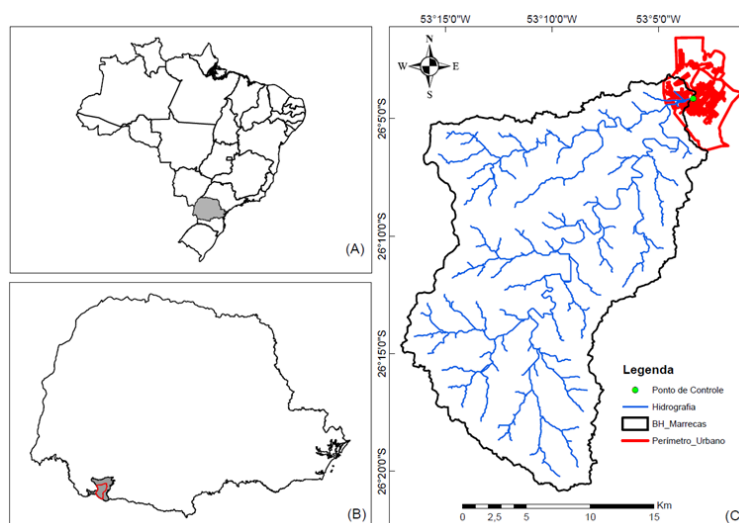


Figura 1 Localização do estado do Paraná (A); Localização bacia do rio Marrecas nos municípios que à englobam (B); Bacia do rio Marrecas com a rede de drenagem a montante do ponto de controle do estudo (C).

Criação dos cenários

Dois cenários de uso do solo foram definidos para simular as vazões máximas. O primeiro é o cenário de uso atual do solo, classificado no programa ArcGis, com o classificador Maxver, utilizando a imagem do satélite CBERS 4, sensor PAN (INPE, 2017). A imagem corresponde ao mês de abril de 2017, mês com evidência de vastas áreas de solo

exposto e elevados picos de vazão (Aguiar et. al, 2018). O uso atual do solo foi classificado em cinco tipos de uso, lavoura, pastagem, solo exposto, vegetação e água (Figura 2a).

No segundo cenário é representado o uso do solo adequado à capacidade de uso da terra, o qual foi utilizado na classificação da capacidade de uso da terra realizada por Ranzan, et al. (2018) para a bacia hidrográfica do rio Marrecas (Figura 2b).

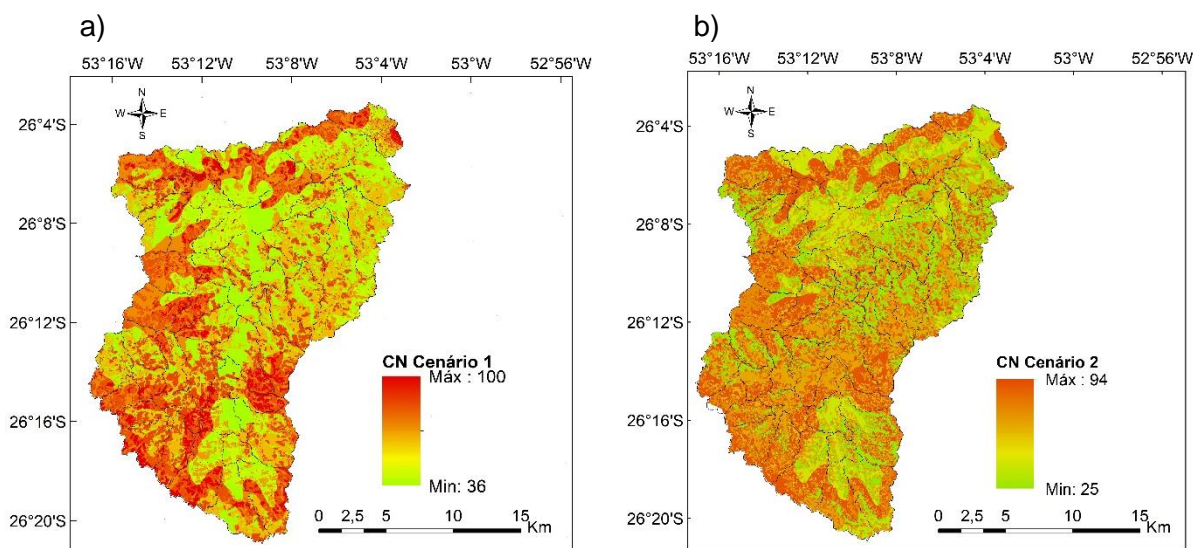


Figura 2 Cenários de uso do solo: a) Cenário de uso atual do solo; b) Cenário de acordo com as classes de capacidade de uso da terra.

Precipitação

A precipitação dos projetos foi calculada, a partir dos dados da bacia em estudo, pela Equação de chuvas intensas para o município de Francisco Beltrão (Fendrich, 2011), estimadas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anos. O tempo da chuva unitária foi de 90,92 minutos, calculado a partir do tempo de concentração da bacia, definido pela fórmula da *US Corps of Engineers*. A duração da chuva foi distribuída em intervalos de 5 minutos pelo método dos blocos alternados (Zahed & Marcelini, 1995).

Simulações hidrológicas

As simulações foram realizadas no programa HEC-HMS 4.2 (USACE, 2015), para os dois cenários criados e para os sete períodos de retorno, obtendo-se os picos de vazão de cada sub-bacia. Os métodos de modelagem HEC-HMS, utilizados para simular as vazões máximas na área de estudo foram:

- Perdas por infiltração: Número da Curva (CN) do *Soil Conservation Service* (SCS);
- Transformação de precipitação-vazão: Hidrograma Unitário do *Soil Conservation Service* (SCS);
- Propagação da onda no canal: *Muskingum-Cunge*.

Vazões máximas específicas

As vazões máximas específicas foram calculadas conforme Equação 14, onde os picos de vazão simulados foram divididos pela área (km²) de cada sub-bacia.

$$Qm_e = \frac{Q_m}{A} \quad (14)$$

em que:

Qm_e = Vazão máxima específica (m³s⁻¹km⁻²);

Q_m = Vazão máxima (m³s⁻¹);

A = Área da bacia ou sub-bacias (km²).

As vazões máximas específicas foram analisadas por gráficos de correlação linear simples, nos quais as vazões máximas específicas do cenário de uso atual do solo foram comparadas com as do cenário de capacidade de uso da terra. Os gráficos foram elaborados para os sete períodos de retorno, além de um gráfico abrangendo todos os períodos de recorrência estudados. Foram elaborados mapas das vazões máximas específicas nas sub-bacias, para visualizar as diferenças entre os cenários e os períodos de retorno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A definição da área de estudo, que se encontra na zona rural, foi estratégica, pois essa região é responsável por toda a produção de vazão de inundação que atinge a área urbana. No estudo, verificou-se que, aproximadamente, 50% do uso do solo da bacia não está adequado ou se encontra no limite da sua capacidade de uso, evidenciando o potencial de escoamento superficial ao longo da bacia e de aumento das vazões máximas.

Comparando as vazões máximas específicas (Qm_e), simuladas nas 56 sub-bacias, para os dois cenários de uso do solo (Figuras 3 e 4), por meio da análise visual dos diagramas de dispersão, observa-se que há forte correlação linear positiva para todos os

períodos de retorno, pois as Q_{m_e} se aproximam de uma reta e quando há aumento nas Q_{m_e} no cenário ideal, há uma tendência de que os valores de Q_{m_e} no cenário atual também aumentem. Essas correlações são confirmadas pelos coeficientes de determinação (R^2) maiores de 90% em todos os períodos de retorno.

Contudo, ressalta-se que essa correlação não apresenta uma relação de causa e efeito, ou seja, a correlação entre as vazões máximas específicas nos dois cenários representa apenas uma tendência de aumento quando da variação conjunta das vazões máximas específicas, contudo, a mudança da vazão máxima específica em um cenário não é a causa da alteração no outro cenário (Naghetini; Pinto, 2007). Em ambos os cenários, considerando que as características das sub-bacias são as mesmas, essas alterações são devidas às condições de uso do solo.

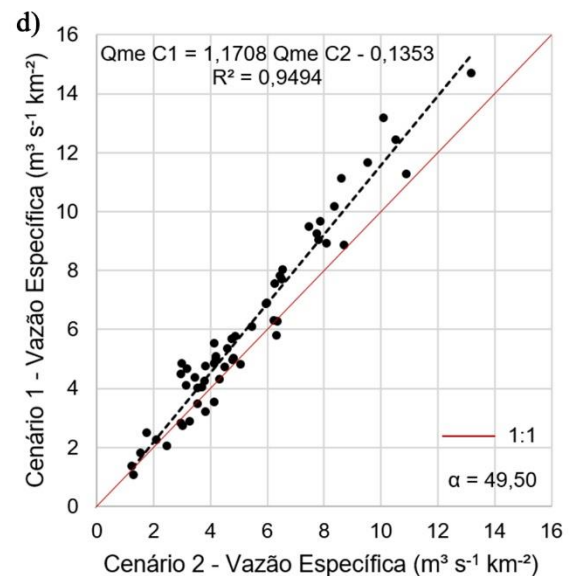
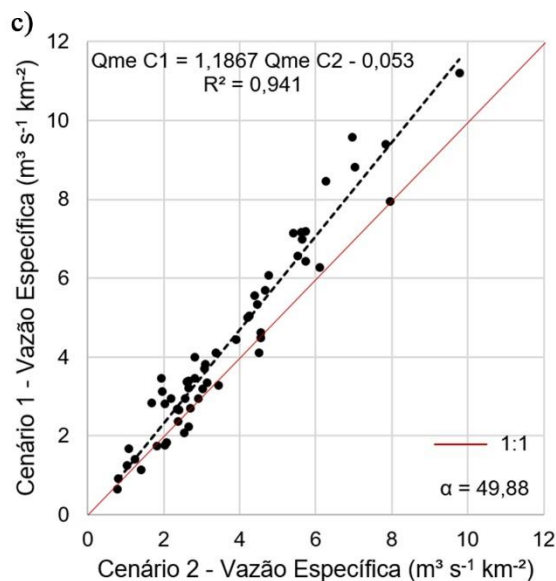
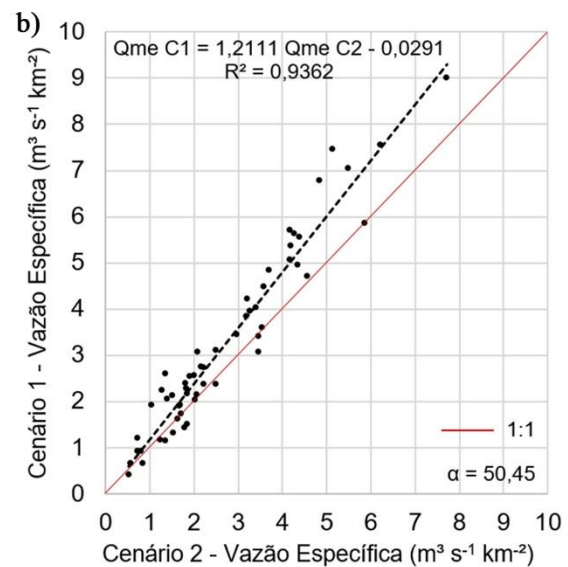
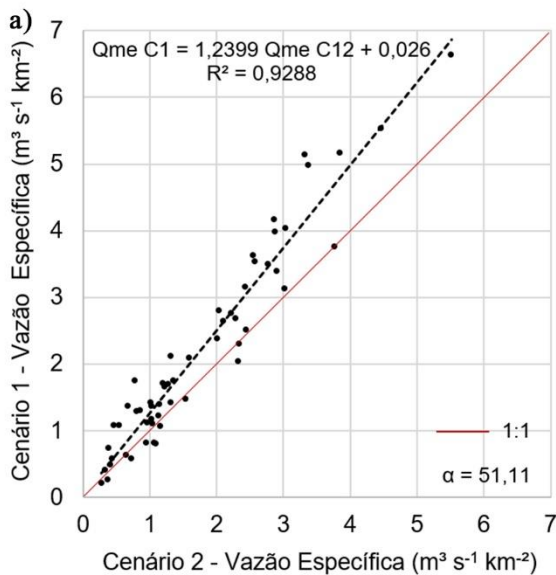


Figura 3 Correlação entre as vazões máximas específicas dos dois cenários estudados, para diferentes períodos de retorno: a) 2 anos; b) 10 anos; c) 25 anos; d) 50 anos.

As maiores variações, após a análise do ângulo das retas, foram encontradas nos períodos de retorno menores, indicando que, para eventos de maior frequência, as diferenças na geração de Qm_e são maiores entre os dois cenários. Porém, de maneira geral, as variações foram semelhantes para os sete períodos de retorno estudados e entre o cenário ideal e o cenário atual o aumento nas vazões máximas específicas varia de 1,11 até 1,24 $m^3 s^{-1} km^{-2}$.

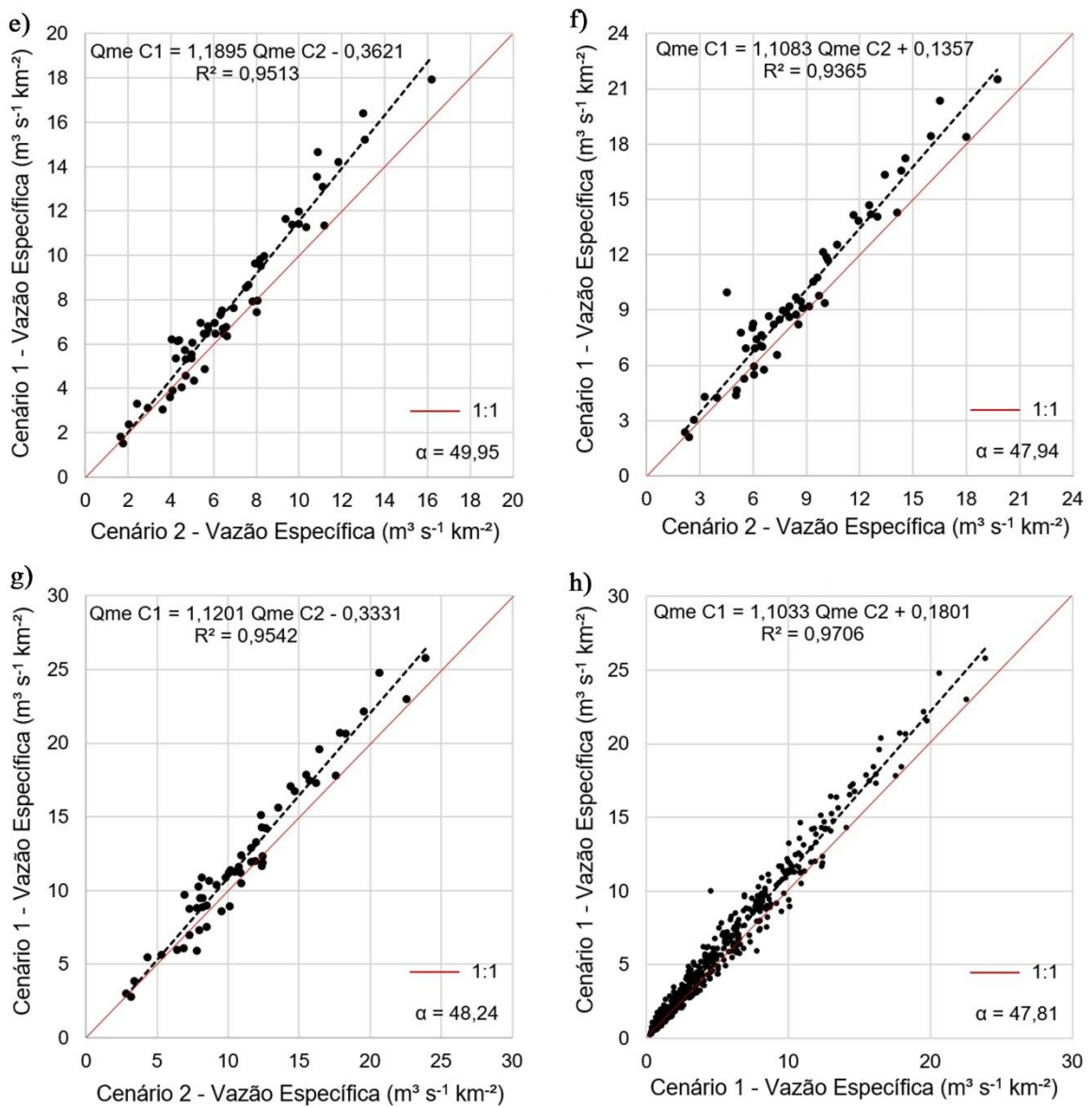


Figura 4 Correlação entre as vazões máximas específicas dos dois cenários estudados, para diferentes períodos de retorno: e) 50 anos; f) 100 anos; g) 200 anos; h) Todos os períodos de retorno.

Como exposto anteriormente, os valores de vazão máxima específica nas sub-bacias apresentam um comportamento parecido entre os diferentes períodos de retorno (Figura 5), ou seja, as sub-bacias com maior geração de vazão por unidade de área tendem a serem as mesmas, independente da probabilidade de ocorrência de eventos extremos, devido, justamente, às formas empregadas de uso do solo.

As sub-bacias que apresentaram um comportamento discrepante na geração de vazões máximas específicas (W670; W850; W1040), são bacias com áreas pequenas e com grande parte ocupada por lavouras plantadas em encostas íngremes, cerca de 45°, as quais avançam até próximo ao rio, com áreas de preservação permanente reduzidas. Além disso, o Número da Curva (CN) média nessas sub-bacias exibiram valores elevados (Tabela 1), indicando o potencial gerador de escoamento superficial e, em consequência, das vazões máximas.

Tabela 1 Sub-bacias que apresentaram um comportamento discrepante na geração de vazões

| Sub-bacia | Área (km ²) | CN (Número da curva) | |
|-----------|-------------------------|----------------------|---------------|
| | | Cenário atual | Cenário ideal |
| W670 | 1,69 | 83,77 | 81,28 |
| W850 | 1,10 | 75,52 | 70,76 |

Acredita-se que estes fatores sejam os principais motivadores de vazões máximas específicas elevadas nessas sub-bacias, já que a falta de cobertura propicia o escoamento superficial, que é intensificado pelas altas declividades das encostas e, como suas áreas são pequenas, a vazão máxima específica é ampliada.

As sub-bacias localizadas nas áreas de cabeceira da bacia principal, as quais apresentaram altos valores de vazões máximas específicas, estão situadas em uma região de relevo bastante ondulado e com atividade agrícola intensa, deixando vastas áreas de solo exposto em períodos de entressafra, como no mês do estudo. No entanto, devido ao seu relevo de alta declividade, mesmo no cenário de uso adequado à sua capacidade, as vazões máximas específicas são elevadas (Figura 5).

Os resultados obtidos vão ao encontro dos observados por outros autores que afirmam que as vazões máximas específicas diminuem à medida que a área de captação da bacia principal aumenta, ou seja, conforme se dirige para o exutório, a bacia se torna mais extensa, o escoamento dura um tempo maior para chegar à saída, portanto, serão menores as vazões máximas específicas (Lyon et al., 2012; Pino et al., 2016; Abdullah et al., 2019).

As sub-bacias localizadas ao oeste do rio Marrecas apresentaram uma tendência de vazões máximas específicas mais elevadas, corroborando o trabalho elaborado por Ihlenfeld & Paula (2012) que definiram, por meio das características morfométricas das sub-bacias,

níveis de risco a eventos de cheias. Nesse estudo, os autores concluíram que as sub-bacias localizadas na região oeste do rio Marrecas, a montante da área urbana, apresentam um alto risco a cheias e que possuem alta capacidade de gerar escoamentos de inundação para trechos a jusante, mais próximos à área urbana.

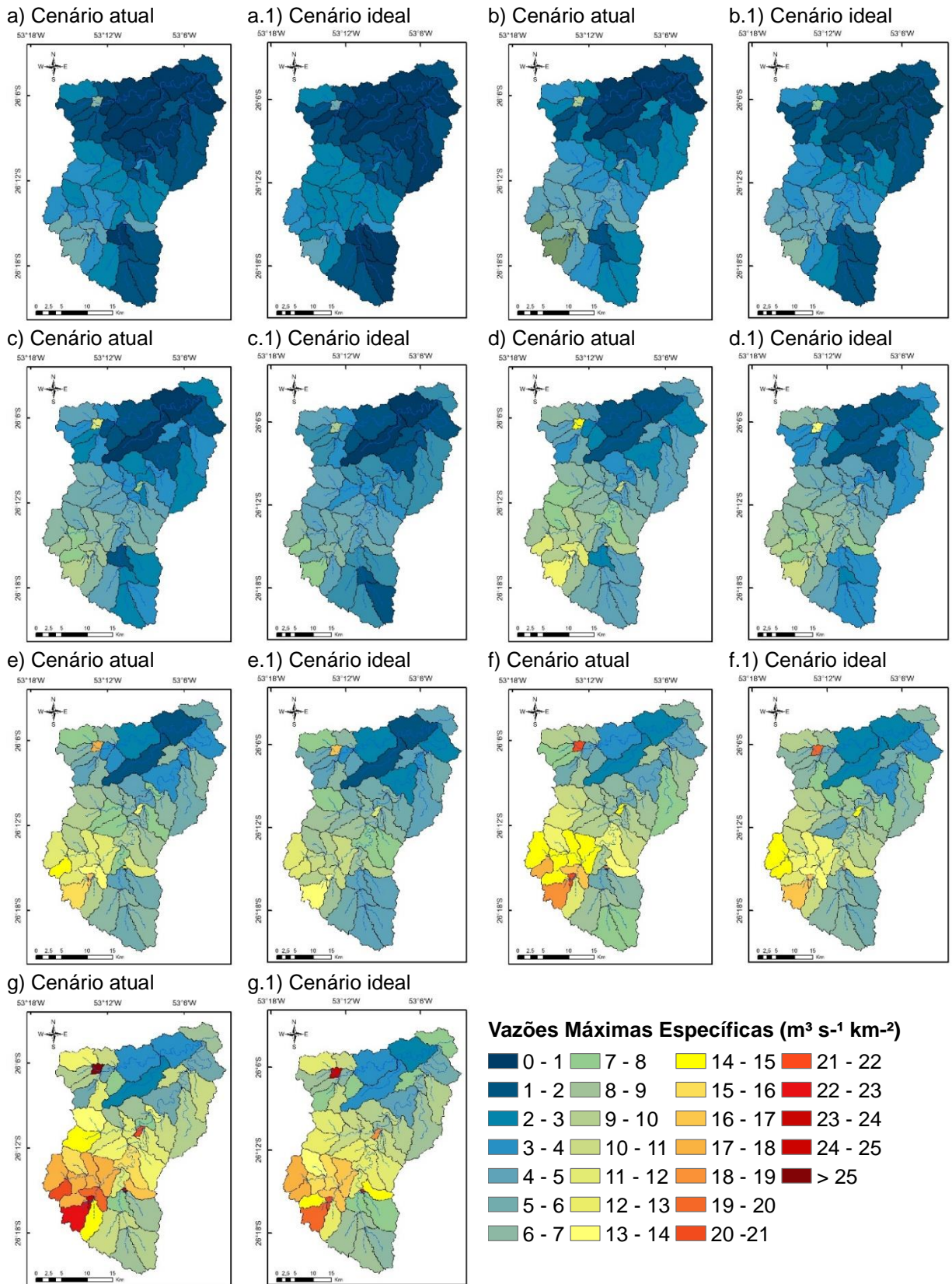


Figura 5 Vazões máximas específicas entre os dois cenários de uso do solo, para os períodos de retorto estudados: a) Tr 2 anos, Cenário 1, a.1) Tr 2 anos, Cenário 2; b) Tr 5 anos, Cenário 1, b.1) Tr 5 anos, Cenário 2; c) Tr 10 anos, Cenário 1, c.1) Tr 10 anos, Cenário 2; d) Tr 25 anos, Cenário 1, d.1) Tr 25 anos, Cenário 2; e) Tr 50 anos, Cenário 1, e.1) Tr 50 anos, Cenário 2; f) Tr 100 anos, Cenário 1,

f.1) Tr 100 anos, Cenário 2; g) Tr 200 anos, Cenário 1, g.1) Tr 200 anos, Cenário 2.

Nessas áreas com grande potencial de produção de escoamento superficial é de extrema importância a adoção de medidas de conservação do solo e da água, como o aumento da cobertura vegetal e implantação de terraços, para reduzir efetivamente o escoamento e seus efeitos danosos. Em estudo recente, Fu et al. (2020) demonstraram que a introdução de terraços reduziu os picos de inundação em 48% em terras agrícolas e 38% em pastagens e, ainda, afirmam que, juntamente com os terraços, a cobertura vegetal desempenha um papel importante na conservação do solo e na segurança de inundações sob condições de eventos extremos.

Outro ponto que deve ser destacado é a importância da construção de bacias de contenção a montante do perímetro urbano, com o objetivo de amortecer as vazões máximas e conter os eventos de inundações e os estragos por eles provocados. Javaheri & Babbar-Sebens (2014) averiguaram em seu estudo que áreas úmidas, como lagoas de contenção, auxiliam na redução das vazões máximas, promovem a diminuição das áreas de inundação e reduzem a velocidade máxima da água. Destacam que áreas úmidas com grandes profundidades são ainda mais eficazes na redução dos impactos de eventos extremos de baixa frequência de ocorrência.

Os mapas comparativos entre as vazões máximas específicas nos dois cenários de uso do solo permitem visualizar a escala de variação entre elas. Com isso, é visível o crescimento dos valores da vazão máxima específica, conforme aumentam os períodos de retorno. Pode-se notar, ainda, a diferença entre o cenário atual e o cenário ideal de uso do solo.

Essa visualização facilita a identificação das sub-bacias com maior potencial gerador de escoamento superficial, servindo de referência na elaboração de políticas públicas referentes ao uso do solo e água na bacia.

CONCLUSÕES

As vazões máximas específicas do cenário de uso atual do solo apresentaram valores maiores que os observados no cenário de uso do solo adequado à sua capacidade, em todos os períodos de retorno estudados. As diferenças nos valores das vazões máximas específicas variaram de 1,11 até 1,24 $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$. As sub-bacias com maior geração de vazão por unidade de área tendem a ser as mesmas, independente da probabilidade de ocorrência de eventos extremos de precipitação, devido às formas empregadas de uso do solo.

As sub-bacias localizadas ao oeste do rio principal, apresentaram uma tendência de vazões máximas específicas mais elevadas, indicando um alto risco a cheias e alta capacidade de gerar escoamentos de inundação para trechos a jusante da bacia. Sendo de grande importância a adoção de medidas de conservação do solo e da água, como o aumento da cobertura vegetal, implantação de terraços e a construção de bacias de contenção a montante do perímetro urbano, com o objetivo de reduzir o escoamento e amortecer os picos de vazões e conter os eventos de inundações e os estragos por eles provocados.

Os mapas elaborados facilitam a identificação das sub-bacias com maior potencial de geração de escoamento superficial e vazões máximas, servindo como referência na elaboração de políticas públicas que visem à recuperação e manutenção do solo e da água na bacia.

AGRADECIMENTOS

Ao PGEAGRI (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UNIOESTE, Campus Cascavel) pelo apoio ao ensino e pesquisa.

REFERÊNCIAS

Abdullah J, Muhammad NS, Muhammad AS, Julien PY (2019) Envelope curves for the specific discharge of extreme floods in Malaysia. *Journal of Hydro-environment Research*, v. 25, p. 1–11. DOI: 10.1016/j.jher.2019.05.002.

Aguiar W, Sampaio SC, Paisani JC, Reis RR (2018) Implications for peak flows of the Marrecas river basin due to changes in the Brazilian forest code. *Engenharia Agrícola*, 38(2):277-283. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n2p277-283/2018>.

Asfaha TG, Frankl A, Haile M, Zenebe A, Nyssen J (2015) Determinants of peak discharge in steep mountain catchments – Case of the Rift valley escarpment of northern Ethiopia. *Journal of Hydrology* 529:1725-1739. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.08.013>.

Basuki TM, Wijaya WW, Adi RN (2017) Specific peak discharge of two catchments covered by teak forest with different area percentages. *Forum Geografi* 31(1):118-127. DOI: 10.23917/forgeo.v31i1.3236.

Costa AM, Salis HHC, Viana JHM, Pacheco FAL (2019) Groundwater recharge potential for sustainable water use in urban areas of the Jequitiba river basin, Brazil. *Sustainability* 11(10):1-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11102955>.

Ermenegildo LFS, Pereira SB, Arai FK, Rosa DBCJ (2012) Vazão específica e precipitação média na bacia do Ivinhema. *Revista Agrarian* 5(18):428-432.

Fendrich R (2011) *Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná*. 3. ed. ampl. Curitiba: O autor. 89p.

Fu S, Yang Y, Liu B, Liu H, Liu J, Liu L, Li P (2020) Peak flow rate response to vegetation and terraces under extreme rainstorms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 288:106714. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106714>.

Greenbaum N, Schwartz U, Bergman N (2010) Extreme floods and short-term hydroclimatological fluctuations in the hyper-arid Dead Sea region, Israel. *Global and Planetary Change* 70:125-137. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2009.11.013.

Ihlenfeld RGK, Paula ML (2012) *Plano de controle de cheias na bacia do rio Marrecas*. Francisco Beltrão: Iguassu Consultoria Ambiental. Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (01/042017) *Imagens do Satélite CBERS 4*. Sensor PAN. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

Javaheri A, Babbar-Sebens M (2014) On comparison of peak flow reductions, flood inundation maps, and velocity maps in evaluating effects of restored wetlands on channel Flooding. *Ecological Engineering* 73:132-145. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.021>.

Lyon SW, Nathanson M, Spans A, Grabs T, Laudon H, Temnerud J, Bishop KH, Seibert J (2012) Specific discharge variability in a boreal landscape. *Water Resources Research* 48:1-13. DOI:10.1029/2011WR011073.

Naghattini M, Pinto EJA (2007) *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM. 552p.

Pino D, Ruiz-Bellet JL, Balasch JC, Romero-León L, Tuset J, Barriendos M, Mazon J, Castellort X (2016) Meteorological and hydrological analysis of major floods in NE Iberian Peninsula. *Journal of Hydrology* 541:63–89. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.008>.

Pruski FF, Pereira SB, Novaes LF, Silva DD, Ramos MM (2004) Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 8(2/3):247-253. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000200013>.

Ranzan AN, Tomazoni JC, Guimarães E (2018) Capacidade de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Marrecas. In: seminário de iniciação científica e tecnológica da UTFPR, Apucarana 23. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Anais...

Savoldi A, Cunha LA (2010) Uma abordagem sobre a agricultura familiar, PRONAF e a modernização da agricultura no Sudoeste do Paraná na década de 1970. *Revista Geografar* 5(1):25-45.

USACE - U.S. Army Corps of Engineers (2015) HEC-HMS Hydrologic Modeling System. Release Version 4.1. 2015. Disponível em: www.hec.usace.army.mil.

Vasconcelos VV, Martins Junior PP, Hadad RM (2013) Spatial modeling of water systems using partial least squares: a case study for Paracatu basin (SF7) in Minas Gerais state, Brazil. *Águas Subterrâneas* 27(2):47-65. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v27i2.27367>.

Zahed Filho K, Marcellini SS (1995) Precipitações máximas. In: Tucci CEM, Porto RLL, Barros MT. Drenagem urbana. Porto Alegre, ABRH, UFRGS, p.37-76.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As simulações executadas no HEC-HMS, a partir dos dois cenários considerados, confirmaram a importância da área rural nos eventos de cheias no perímetro urbano de Francisco Beltrão - PR. Além disso, o apontamento das áreas inadequadas ou no limite da capacidade de uso da terra, juntamente com a identificação das sub-bacias com grande potencial de geração de escoamento superficial, viabiliza ações de planejamento e conservação do solo nessas regiões específicas da bacia, a fim de refrear os picos de vazões e evitar os prejuízos causados pelas inundações que acometem a área urbana do município.

No Plano Municipal de Controle de Cheias e Drenagem Urbana e Rural de Francisco Beltrão (2012), o engenheiro responsável pela elaboração aponta, sabiamente, medidas estruturais e não estruturais, tanto para a área urbana quanto para a rural. Para esta última, destacou que o objetivo seria o de retardamento, regularização dos escoamentos e redução do pico de enxurradas.

Atualmente, o Plano Diretor do Município de Francisco Beltrão (2017) declara que nenhuma das ações propostas no Plano Municipal de Controle de Cheias e Drenagem Urbana e Rural de Francisco Beltrão (2012) tinham sido executadas até 2017. Com isso, o Instituto de Águas do Paraná elaborou o Projeto de Drenagem Urbana do Rio Marrecas, propondo um conjunto de obras e estruturas, que vêm sendo executadas. Porém, destaca-se que as medidas propostas são todas de cunho estrutural e desconsideram a área rural da bacia.

Em síntese, o estudo aponta para o uso excessivo do solo na área rural da bacia e que essas formas de uso estão contribuindo para potencializar a geração das vazões máximas, que causam as inundações na área urbana. Assim, destaca-se a importância de ações de conservação do solo e da água, como o aumento da cobertura vegetal, implantação de terraços e a construção de bacias de contenção a montante do perímetro urbano, com o objetivo de reduzir o escoamento e amortecer as vazões máximas e conter os eventos de inundações e os estragos por eles provocados.

APÊNDICES

APÊNDICE A Tabelas de atributos

Apêndice A.1 Tabela de atributos das sub-bacias

(continua)

| OBJE CTID | grid_ code | Hydro ID | Drain ID | Name | Shape_ Length | Shape_Area | Basin_ Slope | Tc | InitAbst | Basin CN | Basin Lag | PctImp | Loss Met | Trans Met | Area_ HMS |
|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|-----------|-----------------|---------------------|----------------------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 1 | 58 | 58 | W580 | 22812.728 | 11031795.089 | 602.078 | 1.816 | 30.376 | 76.491 | 1.090 | 5.679 | SCS | SCS | 11.032 |
| 2 | 2 | 59 | 59 | W590 | 26733.664 | 17946629.753 | 621.952 | 5.038 | 23.692 | 68.195 | 3.023 | 0.801 | SCS | SCS | 17.947 |
| 3 | 3 | 60 | 60 | W600 | 37902.395 | 18588967.406 | 712.140 | 3.729 | 33.334 | 60.380 | 2.237 | 0.783 | SCS | SCS | 18.589 |
| 4 | 4 | 61 | 61 | W610 | 28100.052 | 20193929.000 | 673.098 | 4.399 | 20.789 | 70.960 | 2.640 | 0.398 | SCS | SCS | 20.194 |
| 5 | 5 | 62 | 62 | W620 | 19367.055 | 10504160.647 | 749.535 | 1.645 | 14.379 | 77.940 | 0.987 | 0.512 | SCS | SCS | 10.504 |
| 6 | 6 | 63 | 63 | W630 | 24416.747 | 14299952.277 | 598.159 | 1.952 | 30.376 | 62.580 | 1.171 | 0.506 | SCS | SCS | 14.300 |
| 7 | 7 | 64 | 64 | W640 | 14733.219 | 5648688.452 | 719.674 | 1.310 | 22.259 | 69.556 | 0.786 | 0.313 | SCS | SCS | 5.649 |
| 8 | 8 | 65 | 65 | W650 | 18891.790 | 7504232.390 | 759.634 | 1.872 | 17.654 | 74.211 | 1.123 | 0.294 | SCS | SCS | 7.504 |
| 9 | 9 | 66 | 66 | W660 | 9564.710 | 2938165.044 | 683.957 | 2.545 | 22.536 | 69.270 | 1.527 | 0.060 | SCS | SCS | 2.938 |
| 10 | 10 | 67 | 67 | W670 | 7544.834 | 1686136.151 | 694.958 | 0.704 | 9.840 | 83.773 | 0.422 | 0.419 | SCS | SCS | 1.686 |
| 12 | 12 | 69 | 69 | W690 | 13960.913 | 5371636.291 | 719.811 | 1.462 | 30.996 | 62.106 | 0.877 | 1.002 | SCS | SCS | 5.372 |
| 13 | 13 | 70 | 70 | W700 | 18416.524 | 5926623.015 | 658.132 | 1.258 | 23.652 | 68.232 | 0.755 | 0.729 | SCS | SCS | 5.927 |
| 14 | 14 | 71 | 71 | W710 | 2673.367 | 185289.690 | 587.219 | 0.305 | 35.309 | 58.995 | 0.183 | 3.333 | SCS | SCS | 0.185 |
| 15 | 15 | 72 | 72 | W720 | 10871.690 | 3002575.245 | 610.139 | 1.099 | 40.062 | 55.909 | 0.660 | 0.823 | SCS | SCS | 3.003 |
| 16 | 16 | 73 | 73 | W730 | 25248.461 | 13890550.217 | 678.170 | 1.102 | 24.378 | 67.573 | 0.661 | 0.305 | SCS | SCS | 13.891 |
| 17 | 17 | 74 | 74 | W740 | 14614.404 | 3841672.842 | 735.567 | 1.446 | 24.192 | 67.740 | 0.867 | 0.184 | SCS | SCS | 3.842 |
| 18 | 18 | 75 | 75 | W750 | 16396.647 | 6669546.420 | 740.518 | 1.847 | 25.229 | 66.817 | 1.108 | 3.876 | SCS | SCS | 6.670 |
| 19 | 19 | 76 | 76 | W760 | 16456.055 | 6275144.048 | 739.037 | 1.329 | 20.135 | 71.615 | 0.797 | 0.155 | SCS | SCS | 6.275 |
| 20 | 20 | 77 | 77 | W770 | 27684.194 | 15670213.543 | 653.201 | 2.750 | 23.166 | 68.680 | 1.650 | 0.569 | SCS | SCS | 15.670 |
| 21 | 21 | 78 | 78 | W780 | 36001.335 | 22667105.204 | 690.836 | 1.458 | 22.693 | 69.122 | 0.875 | 0.343 | SCS | SCS | 22.667 |
| 22 | 22 | 79 | 79 | W790 | 16515.463 | 8353035.555 | 708.072 | 1.198 | 28.888 | 63.748 | 0.719 | 0.169 | SCS | SCS | 8.353 |
| 23 | 23 | 80 | 80 | W800 | 10752.874 | 2361120.015 | 632.147 | 1.020 | 22.408 | 69.391 | 0.612 | 0.187 | SCS | SCS | 2.361 |
| 24 | 24 | 81 | 81 | W810 | 19782.912 | 9360658.597 | 703.870 | 1.500 | 19.918 | 71.835 | 0.900 | 0.500 | SCS | SCS | 9.361 |
| 25 | 25 | 82 | 82 | W820 | 12832.158 | 3575208.630 | 645.886 | 1.587 | 27.104 | 65.209 | 0.952 | 0.444 | SCS | SCS | 3.575 |
| 26 | 26 | 83 | 83 | W830 | 18238.300 | 10647980.796 | 746.839 | 1.381 | 15.209 | 76.959 | 0.829 | 0.273 | SCS | SCS | 10.648 |

Apêndice A.1 Tabela de atributos das sub-bacias

(conclusão)

| OBJE CTID | grid_ code | Hydro ID | Drain ID | Name | Shape_ Length | Shape_Area | Basin_ Slope | Tc | InitAbst | Basin CN | Basin Lag | PctImp | Loss Met | Trans Met | Area_ HMS |
|--------------|---------------|-------------|-------------|-------|------------------|--------------|-----------------|-------|----------|-------------|--------------|--------|-------------|--------------|--------------|
| 27 | 27 | 84 | 84 | W840 | 13782.689 | 5261344.808 | 724.823 | 1.003 | 24.605 | 67.369 | 0.602 | 0.486 | SCS | SCS | 5.261 |
| 28 | 28 | 85 | 85 | W850 | 6831.936 | 1100267.810 | 653.805 | 0.578 | 16.472 | 72.515 | 0.347 | 0.802 | SCS | SCS | 1.100 |
| 29 | 29 | 86 | 86 | W860 | 19485.871 | 7962162.600 | 693.917 | 1.694 | 14.616 | 77.657 | 1.016 | 0.288 | SCS | SCS | 7.962 |
| 30 | 30 | 87 | 87 | W870 | 20198.769 | 7476880.065 | 712.768 | 1.531 | 16.987 | 74.941 | 0.918 | 0.177 | SCS | SCS | 7.477 |
| 31 | 31 | 88 | 88 | W880 | 15030.260 | 4424894.188 | 693.574 | 1.065 | 24.063 | 67.857 | 0.639 | 0.199 | SCS | SCS | 4.425 |
| 32 | 32 | 89 | 89 | W890 | 18238.300 | 10812094.437 | 761.196 | 1.419 | 12.905 | 79.743 | 0.851 | 0.049 | SCS | SCS | 10.812 |
| 33 | 33 | 90 | 90 | W900 | 7544.834 | 1948188.727 | 682.417 | 0.781 | 27.407 | 64.956 | 0.469 | 0.045 | SCS | SCS | 1.948 |
| 34 | 34 | 91 | 91 | W910 | 17525.403 | 8209215.536 | 717.586 | 1.405 | 16.700 | 75.259 | 0.843 | 0.344 | SCS | SCS | 8.209 |
| 35 | 35 | 92 | 92 | W920 | 10337.017 | 2069068.187 | 647.758 | 1.049 | 30.334 | 71.415 | 0.629 | 0.213 | SCS | SCS | 2.069 |
| 36 | 36 | 93 | 93 | W930 | 21624.564 | 10785624.460 | 730.829 | 1.574 | 13.318 | 79.228 | 0.944 | 0.213 | SCS | SCS | 10.786 |
| 37 | 37 | 94 | 94 | W940 | 23585.033 | 11697955.567 | 710.187 | 1.413 | 17.558 | 74.315 | 0.848 | 0.294 | SCS | SCS | 11.698 |
| 38 | 38 | 95 | 95 | W950 | 16159.015 | 8011573.199 | 776.347 | 0.971 | 17.277 | 74.621 | 0.582 | 0.308 | SCS | SCS | 8.012 |
| 39 | 39 | 96 | 96 | W960 | 20555.218 | 10366516.876 | 726.829 | 0.929 | 15.477 | 76.649 | 0.557 | 0.349 | SCS | SCS | 10.367 |
| 40 | 40 | 97 | 97 | W970 | 14614.403 | 4807826.203 | 711.724 | 1.422 | 17.912 | 73.932 | 0.853 | 0.312 | SCS | SCS | 4.808 |
| 41 | 41 | 98 | 98 | W980 | 13188.608 | 4902235.730 | 742.665 | 1.025 | 13.168 | 79.414 | 0.615 | 1.242 | SCS | SCS | 4.902 |
| 42 | 42 | 99 | 99 | W990 | 18772.973 | 7065713.429 | 744.466 | 0.944 | 15.044 | 77.153 | 0.566 | 0.400 | SCS | SCS | 7.066 |
| 43 | 43 | 100 | 100 | W1000 | 20436.401 | 10139757.636 | 803.780 | 0.766 | 17.781 | 74.073 | 0.460 | 0.870 | SCS | SCS | 10.140 |
| 44 | 44 | 101 | 101 | W1010 | 13426.240 | 4837825.452 | 808.694 | 1.000 | 10.496 | 82.877 | 0.600 | 0.602 | SCS | SCS | 4.838 |
| 45 | 45 | 102 | 102 | W1020 | 17228.361 | 5666335.091 | 743.256 | 1.059 | 10.296 | 83.148 | 0.635 | 0.779 | SCS | SCS | 5.666 |
| 46 | 46 | 103 | 103 | W1030 | 15624.342 | 5320461.031 | 767.734 | 1.260 | 11.172 | 81.972 | 0.756 | 0.100 | SCS | SCS | 5.320 |
| 47 | 47 | 104 | 104 | W1040 | 2970.407 | 239111.939 | 695.229 | 0.406 | 17.510 | 74.367 | 0.244 | 0.000 | SCS | SCS | 0.239 |
| 48 | 48 | 105 | 105 | W1050 | 17465.993 | 6357200.950 | 734.569 | 1.318 | 31.480 | 61.740 | 0.791 | 0.333 | SCS | SCS | 6.357 |
| 49 | 49 | 106 | 106 | W1060 | 23941.481 | 14991700.378 | 785.635 | 1.719 | 21.391 | 70.369 | 1.032 | 0.247 | SCS | SCS | 14.992 |
| 50 | 50 | 107 | 107 | W1070 | 6831.936 | 992623.335 | 721.570 | 0.563 | 13.858 | 78.567 | 0.338 | 0.356 | SCS | SCS | 0.993 |
| 51 | 51 | 108 | 108 | W1080 | 18654.157 | 8685674.688 | 796.887 | 1.580 | 10.809 | 82.455 | 0.948 | 0.427 | SCS | SCS | 8.686 |
| 52 | 52 | 109 | 109 | W1090 | 13723.280 | 4924294.054 | 793.370 | 1.236 | 11.112 | 82.052 | 0.742 | 0.735 | SCS | SCS | 4.924 |
| 53 | 53 | 110 | 110 | W1100 | 19723.503 | 9153310.543 | 813.865 | 0.868 | 10.597 | 82.740 | 0.521 | 1.311 | SCS | SCS | 9.153 |
| 54 | 54 | 111 | 111 | W1110 | 26080.174 | 15770799.468 | 812.797 | 1.799 | 15.473 | 76.653 | 1.079 | 0.414 | SCS | SCS | 15.771 |
| 55 | 55 | 112 | 112 | W1120 | 12594.526 | 4148724.370 | 759.305 | 0.876 | 28.133 | 64.358 | 0.525 | 0.106 | SCS | SCS | 4.149 |
| 56 | 56 | 113 | 113 | W1130 | 24832.604 | 13075275.605 | 848.958 | 1.795 | 20.054 | 71.697 | 1.077 | 0.121 | SCS | SCS | 13.075 |
| 57 | 57 | 114 | 114 | W1140 | 24476.155 | 14177308.115 | 836.506 | 1.851 | 17.348 | 74.543 | 1.110 | 0.411 | SCS | SCS | 14.177 |

Apêndice A.2 Tabela de atributos dos rios

(continua)

| OBJE CTID | grid_code | Hydro ID | Name | Slp | Elev UP | Elev DS | RivLen | ChnShape Musk | ChnShape Kine | Chn Width | ChnSd Slp | Chn ManN | RouteMet |
|-----------|-----------|----------|------|--------|---------|---------|-----------|---------------|---------------|-----------|-----------|----------|-----------------|
| 1 | 1 | 1 | R10 | 0.0043 | 546 | 535 | 2539.005 | Trapezoid | Trapezoid | 21.430 | 0.920 | 0.032 | Muskingum Cunge |
| 2 | 2 | 2 | R20 | 0.0041 | 602 | 546 | 13732.662 | Trapezoid | Trapezoid | 11.630 | 0.560 | 0.037 | Muskingum Cunge |
| 3 | 5 | 3 | R30 | 0.0071 | 676 | 663 | 1837.355 | Trapezoid | Trapezoid | 4.970 | 0.900 | 0.045 | Muskingum Cunge |
| 6 | 12 | 6 | R60 | 0.0222 | 658 | 650 | 361.108 | Trapezoid | Trapezoid | 5.500 | 0.430 | 0.030 | Muskingum Cunge |
| 7 | 4 | 7 | R70 | 0.0037 | 650 | 602 | 12892.503 | Trapezoid | Trapezoid | 11.850 | 0.490 | 0.043 | Muskingum Cunge |
| 8 | 6 | 8 | R80 | 0.0014 | 565 | 546 | 13376.212 | Trapezoid | Trapezoid | 21.430 | 0.920 | 0.032 | Muskingum Cunge |
| 9 | 14 | 9 | R90 | 0.0096 | 570 | 565 | 519.384 | Trapezoid | Trapezoid | 22.170 | 0.930 | 0.037 | Muskingum Cunge |
| 10 | 13 | 10 | R100 | 0.0169 | 596 | 570 | 1542.245 | Trapezoid | Trapezoid | 2.810 | 1.000 | 0.032 | Muskingum Cunge |
| 11 | 10 | 11 | R110 | 0.0016 | 663 | 660 | 1881.912 | Trapezoid | Trapezoid | 6.330 | 1.100 | 0.037 | Muskingum Cunge |
| 12 | 9 | 12 | R120 | 0.0028 | 660 | 650 | 3566.087 | Trapezoid | Trapezoid | 10.350 | 0.310 | 0.035 | Muskingum Cunge |
| 13 | 8 | 13 | R130 | 0.0069 | 683 | 663 | 2878.234 | Trapezoid | Trapezoid | 4.270 | 0.770 | 0.040 | Muskingum Cunge |
| 14 | 17 | 14 | R140 | 0.0046 | 666 | 660 | 1295.912 | Trapezoid | Trapezoid | 5.450 | 0.530 | 0.040 | Muskingum Cunge |
| 15 | 15 | 15 | R150 | 0.0033 | 583 | 570 | 3884.750 | Trapezoid | Trapezoid | 26.140 | 0.670 | 0.033 | Muskingum Cunge |
| 16 | 19 | 16 | R160 | 0.0133 | 684 | 666 | 1352.772 | Trapezoid | Trapezoid | 4.150 | 0.830 | 0.045 | Muskingum Cunge |
| 17 | 18 | 17 | R170 | 0.0037 | 674 | 666 | 2138.618 | Trapezoid | Trapezoid | 5.000 | 0.330 | 0.033 | Muskingum Cunge |
| 18 | 3 | 18 | R180 | 0.0112 | 715 | 602 | 10132.392 | Trapezoid | Trapezoid | 5.400 | 0.720 | 0.032 | Muskingum Cunge |
| 19 | 16 | 19 | R190 | 0.0119 | 617 | 565 | 4386.990 | Trapezoid | Trapezoid | 5.970 | 1.250 | 0.037 | Muskingum Cunge |
| 20 | 22 | 20 | R200 | 0.0186 | 615 | 590 | 1346.620 | Trapezoid | Trapezoid | 5.640 | 0.830 | 0.033 | Muskingum Cunge |
| 21 | 20 | 21 | R210 | 0.0008 | 590 | 583 | 9106.184 | Trapezoid | Trapezoid | 19.950 | 0.830 | 0.028 | Muskingum Cunge |
| 22 | 23 | 22 | R220 | 0.0004 | 590 | 590 | 3340.759 | Trapezoid | Trapezoid | 18.910 | 0.500 | 0.025 | Muskingum Cunge |
| 23 | 27 | 23 | R230 | 0.0172 | 647 | 627 | 1162.244 | Trapezoid | Trapezoid | 4.330 | 0.670 | 0.038 | Muskingum Cunge |
| 24 | 25 | 24 | R240 | 0.0047 | 614 | 590 | 5075.024 | Trapezoid | Trapezoid | 22.010 | 0.670 | 0.028 | Muskingum Cunge |
| 25 | 28 | 25 | R250 | 0.0040 | 614 | 614 | 1537.766 | Trapezoid | Trapezoid | 22.320 | 0.920 | 0.025 | Muskingum Cunge |
| 26 | 24 | 26 | R260 | 0.0157 | 630 | 590 | 2543.046 | Trapezoid | Trapezoid | 4.750 | 1.670 | 0.036 | Muskingum Cunge |
| 27 | 31 | 27 | R270 | 0.0046 | 627 | 614 | 2812.056 | Trapezoid | Trapezoid | 9.660 | 0.500 | 0.032 | Muskingum Cunge |
| 28 | 26 | 28 | R280 | 0.0101 | 672 | 644 | 2759.418 | Trapezoid | Trapezoid | 6.580 | 1.000 | 0.030 | Muskingum Cunge |
| 29 | 29 | 29 | R290 | 0.0040 | 644 | 627 | 4241.199 | Trapezoid | Trapezoid | 9.360 | 0.500 | 0.030 | Muskingum Cunge |
| 30 | 21 | 30 | R300 | 0.0076 | 656 | 583 | 9603.690 | Trapezoid | Trapezoid | 6.340 | 1.170 | 0.039 | Muskingum Cunge |
| 31 | 32 | 31 | R310 | 0.0071 | 663 | 644 | 2675.402 | Trapezoid | Trapezoid | 6.980 | 1.170 | 0.033 | Muskingum Cunge |
| 32 | 30 | 32 | R320 | 0.0059 | 627 | 614 | 2212.260 | Trapezoid | Trapezoid | 4.960 | 1.500 | 0.040 | Muskingum Cunge |
| 33 | 33 | 33 | R330 | 0.0071 | 632 | 615 | 2381.784 | Trapezoid | Trapezoid | 28.100 | 0.550 | 0.038 | Muskingum Cunge |

Apêndice A.2 Tabela de atributos dos rios

(continuação)

| OBJE CTID | grid_code | Hydro ID | Name | Slp | Elev UP | Elev DS | RivLen | ChnShape Musk | ChnShape Kine | Chn Width | ChnSd Slp | Chn ManN | RouteMet |
|-----------|-----------|----------|------|--------|---------|---------|-----------|---------------|---------------|-----------|-----------|----------|-----------------|
| 34 | 35 | 34 | R340 | 0.0004 | 615 | 614 | 3342.508 | Trapezoid | Trapezoid | 23.570 | 1.000 | 0.027 | Muskingum Cunge |
| 35 | 34 | 35 | R350 | 0.0091 | 652 | 632 | 2202.067 | Trapezoid | Trapezoid | 5.530 | 1.170 | 0.035 | Muskingum Cunge |
| 36 | 36 | 36 | R360 | 0.0224 | 690 | 615 | 3348.403 | Trapezoid | Trapezoid | 6.700 | 0.670 | 0.042 | Muskingum Cunge |
| 37 | 37 | 37 | R370 | 0.0043 | 680 | 632 | 11153.142 | Trapezoid | Trapezoid | 21.280 | 0.750 | 0.032 | Muskingum Cunge |
| 38 | 38 | 38 | R380 | 0.0050 | 716 | 701 | 3003.203 | Trapezoid | Trapezoid | 7.810 | 0.750 | 0.030 | Muskingum Cunge |
| 39 | 43 | 39 | R390 | 0.0054 | 714 | 706 | 1479.851 | Trapezoid | Trapezoid | 4.640 | 0.940 | 0.032 | Muskingum Cunge |
| 40 | 41 | 40 | R400 | 0.0015 | 706 | 701 | 3319.137 | Trapezoid | Trapezoid | 9.640 | 0.500 | 0.033 | Muskingum Cunge |
| 41 | 44 | 41 | R410 | 0.0035 | 708 | 706 | 575.188 | Trapezoid | Trapezoid | 3.900 | 1.000 | 0.032 | Muskingum Cunge |
| 42 | 42 | 42 | R420 | 0.0044 | 701 | 688 | 2950.384 | Trapezoid | Trapezoid | 9.390 | 0.500 | 0.027 | Muskingum Cunge |
| 43 | 39 | 43 | R430 | 0.0017 | 688 | 680 | 4810.673 | Trapezoid | Trapezoid | 12.320 | 0.840 | 0.033 | Muskingum Cunge |
| 44 | 40 | 44 | R440 | 0.0016 | 687 | 680 | 4250.517 | Trapezoid | Trapezoid | 14.100 | 0.500 | 0.032 | Muskingum Cunge |
| 45 | 46 | 45 | R450 | 0.0132 | 692 | 687 | 379.564 | Trapezoid | Trapezoid | 3.980 | 0.670 | 0.037 | Muskingum Cunge |
| 46 | 47 | 46 | R460 | 0.0031 | 689 | 687 | 655.601 | Trapezoid | Trapezoid | 14.050 | 0.670 | 0.035 | Muskingum Cunge |
| 47 | 45 | 47 | R470 | 0.0049 | 700 | 688 | 2441.193 | Trapezoid | Trapezoid | 9.540 | 1.000 | 0.032 | Muskingum Cunge |
| 48 | 52 | 48 | R480 | 0.0074 | 708 | 702 | 808.780 | Trapezoid | Trapezoid | 4.090 | 1.330 | 0.033 | Muskingum Cunge |
| 49 | 50 | 49 | R490 | 0.0019 | 702 | 700 | 1051.072 | Trapezoid | Trapezoid | 4.650 | 1.670 | 0.040 | Muskingum Cunge |
| 50 | 53 | 50 | R500 | 0.0057 | 712 | 702 | 1754.395 | Trapezoid | Trapezoid | 4.770 | 1.450 | 0.034 | Muskingum Cunge |
| 51 | 48 | 51 | R510 | 0.0011 | 694 | 689 | 4423.646 | Trapezoid | Trapezoid | 10.980 | 0.500 | 0.032 | Muskingum Cunge |
| 52 | 49 | 52 | R520 | 0.0074 | 721 | 689 | 4351.496 | Trapezoid | Trapezoid | 5.400 | 0.830 | 0.038 | Muskingum Cunge |
| 53 | 51 | 53 | R530 | 0.0055 | 716 | 700 | 2920.061 | Trapezoid | Trapezoid | 5.090 | 2.000 | 0.037 | Muskingum Cunge |
| 54 | 55 | 54 | R540 | 0.0056 | 707 | 694 | 2341.887 | Trapezoid | Trapezoid | 9.780 | 0.830 | 0.032 | Muskingum Cunge |
| 55 | 54 | 55 | R550 | 0.0151 | 764 | 694 | 4626.915 | Trapezoid | Trapezoid | 6.210 | 1.000 | 0.042 | Muskingum Cunge |
| 56 | 57 | 56 | R560 | 0.0144 | 777 | 707 | 4872.811 | Trapezoid | Trapezoid | 5.320 | 1.330 | 0.035 | Muskingum Cunge |
| 57 | 56 | 57 | R570 | 0.0167 | 772 | 707 | 3885.007 | Trapezoid | Trapezoid | 5.270 | 1.330 | 0.037 | Muskingum Cunge |
| 58 | 11 | 5 | R50 | 0.0097 | 664 | 650 | 1445.051 | Trapezoid | Trapezoid | 10.350 | 0.310 | 0.035 | Muskingum Cunge |

| Shape_Length | ElevUP_HMS | ElevDS_HMS | RivLen_HMS |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 2539.005 | 546 | 535 | 2539.005 |
| 13732.662 | 602 | 546 | 13732.662 |
| 1837.355 | 676 | 663 | 1837.355 |
| 361.108 | 658 | 650 | 361.108 |
| 12892.503 | 650 | 602 | 12892.503 |
| 13376.212 | 565 | 546 | 13376.212 |
| 519.384 | 570 | 565 | 519.384 |
| 1542.245 | 596 | 570 | 1542.245 |
| 1881.912 | 663 | 660 | 1881.912 |
| 3566.087 | 660 | 650 | 3566.087 |
| 2878.234 | 683 | 663 | 2878.234 |
| 1295.912 | 666 | 660 | 1295.912 |
| 3884.750 | 583 | 570 | 3884.750 |
| 1352.772 | 684 | 666 | 1352.772 |
| 2138.618 | 674 | 666 | 2138.618 |
| 10132.392 | 715 | 602 | 10132.392 |
| 4386.990 | 617 | 565 | 4386.990 |
| 1346.620 | 615 | 590 | 1346.620 |
| 9106.184 | 590 | 583 | 9106.184 |
| 3340.759 | 590 | 590 | 3340.759 |
| 1162.244 | 647 | 627 | 1162.244 |
| 5075.024 | 614 | 590 | 5075.024 |
| 1537.766 | 614 | 614 | 1537.766 |
| 2543.046 | 630 | 590 | 2543.046 |
| 2812.056 | 627 | 614 | 2812.056 |
| 2759.418 | 672 | 644 | 2759.418 |
| 4241.199 | 644 | 627 | 4241.199 |
| 9603.690 | 656 | 583 | 9603.690 |
| 2675.402 | 663 | 644 | 2675.402 |
| 2212.260 | 627 | 614 | 2212.260 |
| 2381.784 | 632 | 615 | 2381.784 |

Apêndice A.2 Tabela de atributos dos rios

(conclusão)

| Shape_Length | ElevUP_HMS | ElevDS_HMS | RivLen_HMS |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 3342.508 | 615 | 614 | 3342.508 |
| 2202.067 | 652 | 632 | 2202.067 |
| 3348.403 | 690 | 615 | 3348.403 |
| 11153.142 | 680 | 632 | 11153.142 |
| 3003.203 | 716 | 701 | 3003.203 |
| 1479.851 | 714 | 706 | 1479.851 |
| 3319.137 | 706 | 701 | 3319.137 |
| 575.188 | 708 | 706 | 575.188 |
| 2950.384 | 701 | 688 | 2950.384 |
| 4810.673 | 688 | 680 | 4810.673 |
| 4250.517 | 687 | 680 | 4250.517 |
| 379.564 | 692 | 687 | 379.564 |
| 655.601 | 689 | 687 | 655.601 |
| 2441.193 | 700 | 688 | 2441.193 |
| 808.780 | 708 | 702 | 808.780 |
| 1051.072 | 702 | 700 | 1051.072 |
| 1754.395 | 712 | 702 | 1754.395 |
| 4423.646 | 694 | 689 | 4423.646 |
| 4351.496 | 721 | 689 | 4351.496 |
| 2920.061 | 716 | 700 | 2920.061 |
| 2341.887 | 707 | 694 | 2341.887 |
| 4626.915 | 764 | 694 | 4626.915 |
| 4872.811 | 777 | 707 | 4872.811 |
| 3885.007 | 772 | 707 | 3885.007 |
| 1445.051 | 664 | 650 | 1445.051 |

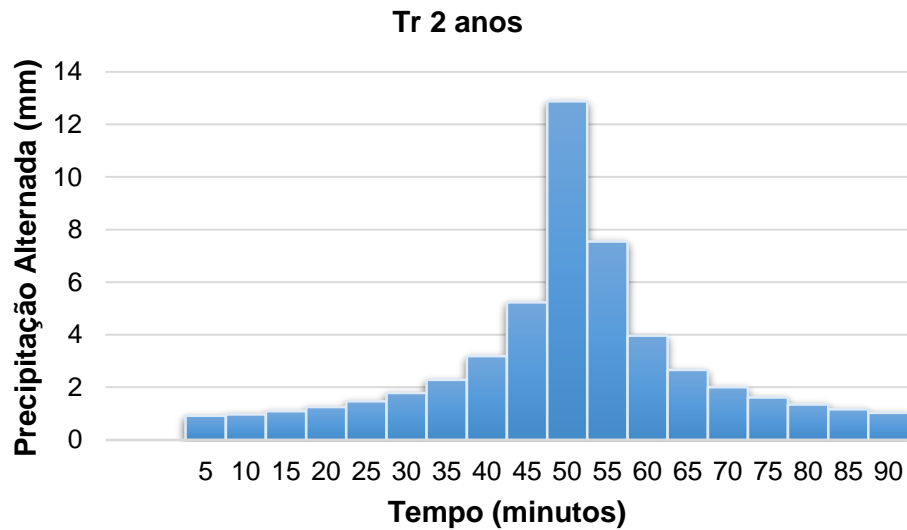
APÊNDICE B Cálculo das precipitações de projeto

Apêndice B.1 Intensidade de precipitações de projeto calculadas para os sete períodos de retorno

| Duração (minutos) | Intensidade da precipitação de projeto (mm h ⁻¹) | | | | | | |
|----------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Período de retorno (anos) | | | | | | |
| | 2 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 200 |
| 5 | 154.54 | 182.58 | 207.13 | 244.72 | 277.62 | 314.95 | 357.30 |
| 10 | 122.53 | 144.76 | 164.23 | 194.03 | 220.12 | 249.72 | 283.29 |
| 15 | 102.60 | 121.21 | 137.51 | 162.47 | 184.31 | 209.09 | 237.21 |
| 20 | 88.85 | 104.98 | 119.09 | 140.70 | 159.62 | 181.08 | 205.43 |
| 25 | 78.73 | 93.02 | 105.53 | 124.68 | 141.45 | 160.46 | 182.04 |
| 30 | 70.94 | 83.81 | 95.08 | 112.34 | 127.44 | 144.57 | 164.01 |
| 35 | 64.72 | 76.47 | 86.75 | 102.49 | 116.28 | 131.91 | 149.65 |
| 40 | 59.64 | 70.46 | 79.94 | 94.44 | 107.14 | 121.55 | 137.89 |
| 45 | 55.39 | 65.45 | 74.25 | 87.72 | 99.52 | 112.90 | 128.08 |
| 50 | 51.79 | 61.19 | 69.41 | 82.01 | 93.04 | 105.55 | 119.74 |
| 55 | 48.68 | 57.52 | 65.25 | 77.10 | 87.46 | 99.22 | 112.56 |
| 60 | 45.98 | 54.32 | 61.63 | 72.81 | 82.60 | 93.71 | 106.31 |
| 65 | 43.60 | 51.51 | 58.44 | 69.04 | 78.32 | 88.86 | 100.80 |
| 70 | 41.49 | 49.01 | 55.60 | 65.69 | 74.53 | 84.55 | 95.92 |
| 75 | 39.59 | 46.78 | 53.07 | 62.70 | 71.13 | 80.70 | 91.55 |
| 80 | 37.89 | 44.77 | 50.79 | 60.01 | 68.07 | 77.23 | 87.61 |
| 85 | 36.35 | 42.95 | 48.72 | 57.56 | 65.30 | 74.08 | 84.04 |
| 90 | 34.95 | 41.29 | 46.84 | 55.34 | 62.78 | 71.22 | 80.80 |

Apêndice B.2 Precipitação alternada para o período de retorno de 2 anos

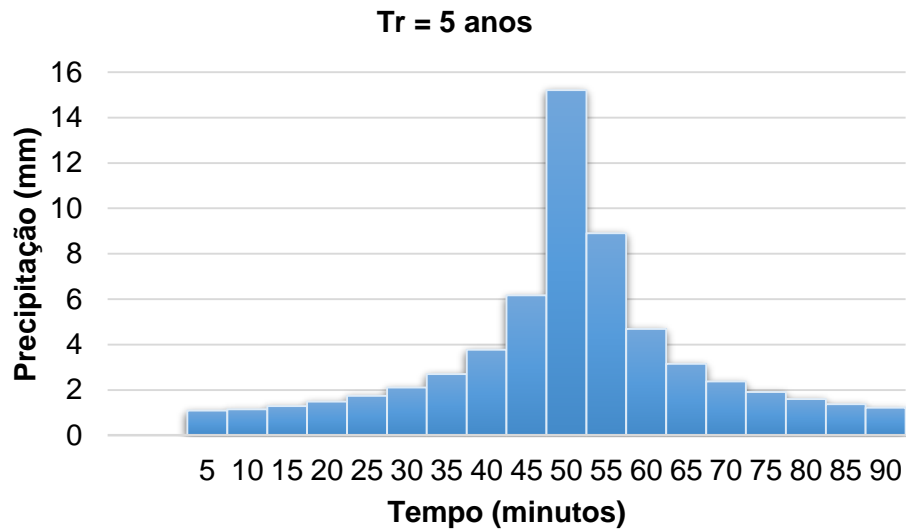
| Ordem | Tempo (minutos) | Intensidade (mm/h) | Precipitação acumulada (mm) | Precipitação (mm) | Ordem Alternada | Precipitação Alternada (mm) |
|-------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 5 | 154.54 | 12.88 | 12.88 | 18 | 0.92 |
| 2 | 10 | 122.53 | 20.42 | 7.54 | 17 | 0.97 |
| 3 | 15 | 102.60 | 25.65 | 5.23 | 15 | 1.09 |
| 4 | 20 | 88.85 | 29.62 | 3.97 | 13 | 1.25 |
| 5 | 25 | 78.73 | 32.81 | 3.19 | 11 | 1.47 |
| 6 | 30 | 70.94 | 35.47 | 2.66 | 9 | 1.79 |
| 7 | 35 | 64.72 | 37.76 | 2.29 | 7 | 2.29 |
| 8 | 40 | 59.64 | 39.76 | 2.00 | 5 | 3.19 |
| 9 | 45 | 55.39 | 41.55 | 1.79 | 3 | 5.23 |
| 10 | 50 | 51.79 | 43.16 | 1.61 | 1 | 12.88 |
| 11 | 55 | 48.68 | 44.63 | 1.47 | 2 | 7.54 |
| 12 | 60 | 45.98 | 45.98 | 1.35 | 4 | 3.97 |
| 13 | 65 | 43.60 | 47.23 | 1.25 | 6 | 2.66 |
| 14 | 70 | 41.49 | 48.40 | 1.17 | 8 | 2.00 |
| 15 | 75 | 39.59 | 49.49 | 1.09 | 10 | 1.61 |
| 16 | 80 | 37.89 | 50.52 | 1.03 | 12 | 1.35 |
| 17 | 85 | 36.35 | 51.50 | 0.97 | 14 | 1.17 |
| 18 | 90 | 34.95 | 52.42 | 0.92 | 16 | 1.03 |



Apêndice B.3 Hietograma para o período de retorno de 2 anos.

Apêndice B.4 Precipitação alternada para o período de retorno de 5 anos

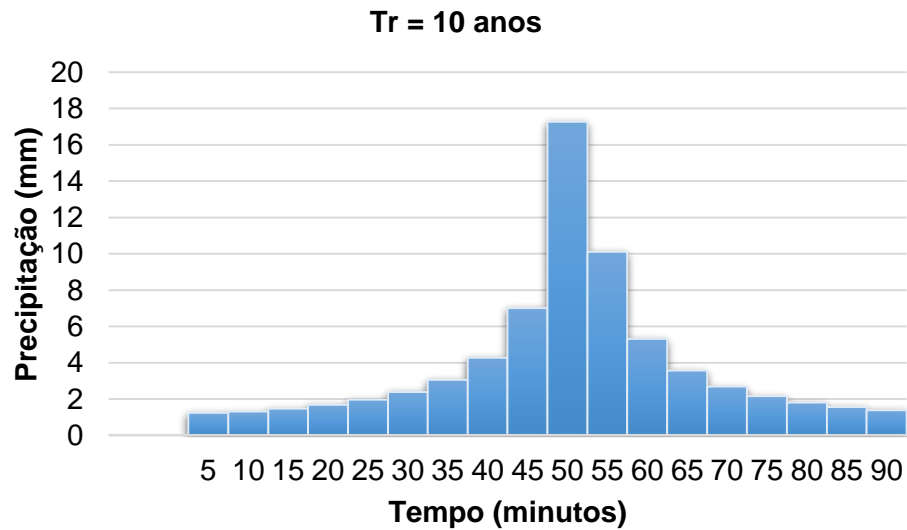
| Ordem | Tempo (minutos) | Intensidade (mm/h) | Precipitação acumulada (mm) | Precipitação (mm) | Ordem Alternada | Precipitação Alternada (mm) |
|-------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 5 | 182.58 | 15.22 | 15.22 | 18 | 1.09 |
| 2 | 10 | 144.76 | 24.13 | 8.91 | 17 | 1.15 |
| 3 | 15 | 121.21 | 30.30 | 6.18 | 15 | 1.29 |
| 4 | 20 | 104.98 | 34.99 | 4.69 | 13 | 1.48 |
| 5 | 25 | 93.02 | 38.76 | 3.77 | 11 | 1.74 |
| 6 | 30 | 83.81 | 41.91 | 3.15 | 9 | 2.11 |
| 7 | 35 | 76.47 | 44.61 | 2.70 | 7 | 2.70 |
| 8 | 40 | 70.46 | 46.98 | 2.37 | 5 | 3.77 |
| 9 | 45 | 65.45 | 49.09 | 2.11 | 3 | 6.18 |
| 10 | 50 | 61.19 | 50.99 | 1.90 | 1 | 15.22 |
| 11 | 55 | 57.52 | 52.73 | 1.74 | 2 | 8.91 |
| 12 | 60 | 54.32 | 54.32 | 1.60 | 4 | 4.69 |
| 13 | 65 | 51.51 | 55.80 | 1.48 | 6 | 3.15 |
| 14 | 70 | 49.01 | 57.18 | 1.38 | 8 | 2.37 |
| 15 | 75 | 46.78 | 58.48 | 1.29 | 10 | 1.90 |
| 16 | 80 | 44.77 | 59.69 | 1.22 | 12 | 1.60 |
| 17 | 85 | 42.95 | 60.84 | 1.15 | 14 | 1.38 |
| 18 | 90 | 41.29 | 61.93 | 1.09 | 16 | 1.22 |



Apêndice B.5 Hietograma para o período de retorno de 5 anos.

Apêndice B.6 Precipitação alternada para o período de retorno de 10 anos

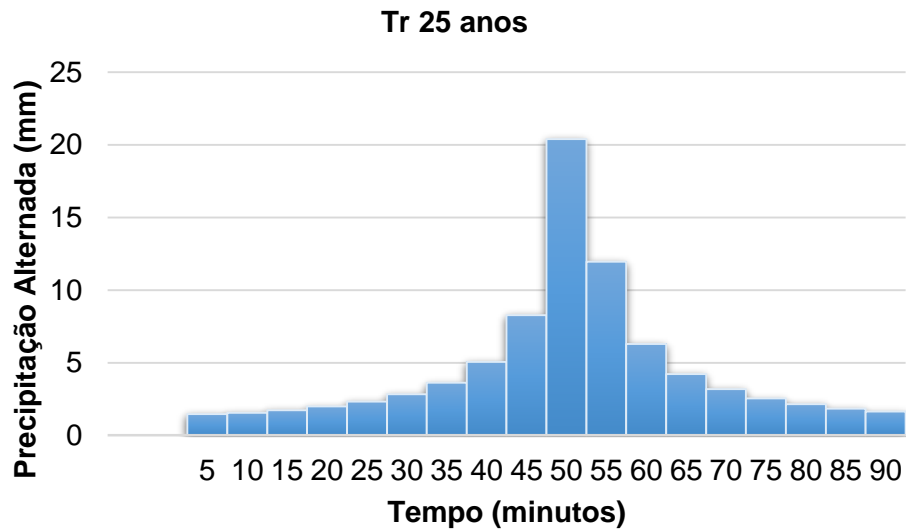
| Ordem | Tempo (minutos) | Intensidade (mm/h) | Precipitação acumulada (mm) | Precipitação (mm) | Ordem Alternada | Precipitação Alternada (mm) |
|-------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 5 | 207.13 | 17.26 | 17.26 | 18 | 1.24 |
| 2 | 10 | 164.23 | 27.37 | 10.11 | 17 | 1.30 |
| 3 | 15 | 137.51 | 34.38 | 7.01 | 15 | 1.47 |
| 4 | 20 | 119.09 | 39.70 | 5.32 | 13 | 1.68 |
| 5 | 25 | 105.53 | 43.97 | 4.27 | 11 | 1.97 |
| 6 | 30 | 95.08 | 47.54 | 3.57 | 9 | 2.39 |
| 7 | 35 | 86.75 | 50.60 | 3.06 | 7 | 3.06 |
| 8 | 40 | 79.94 | 53.29 | 2.69 | 5 | 4.27 |
| 9 | 45 | 74.25 | 55.69 | 2.39 | 3 | 7.01 |
| 10 | 50 | 69.41 | 57.85 | 2.16 | 1 | 17.26 |
| 11 | 55 | 65.25 | 59.82 | 1.97 | 2 | 10.11 |
| 12 | 60 | 61.63 | 61.63 | 1.81 | 4 | 5.32 |
| 13 | 65 | 58.44 | 63.31 | 1.68 | 6 | 3.57 |
| 14 | 70 | 55.60 | 64.87 | 1.56 | 8 | 2.69 |
| 15 | 75 | 53.07 | 66.34 | 1.47 | 10 | 2.16 |
| 16 | 80 | 50.79 | 67.72 | 1.38 | 12 | 1.81 |
| 17 | 85 | 48.72 | 69.02 | 1.30 | 14 | 1.56 |
| 18 | 90 | 46.84 | 70.26 | 1.24 | 16 | 1.38 |



Apêndice B.7 Hietograma para o período de retorno de 10 anos

Apêndice B.8 Precipitação alternada para o período de retorno de 25 anos

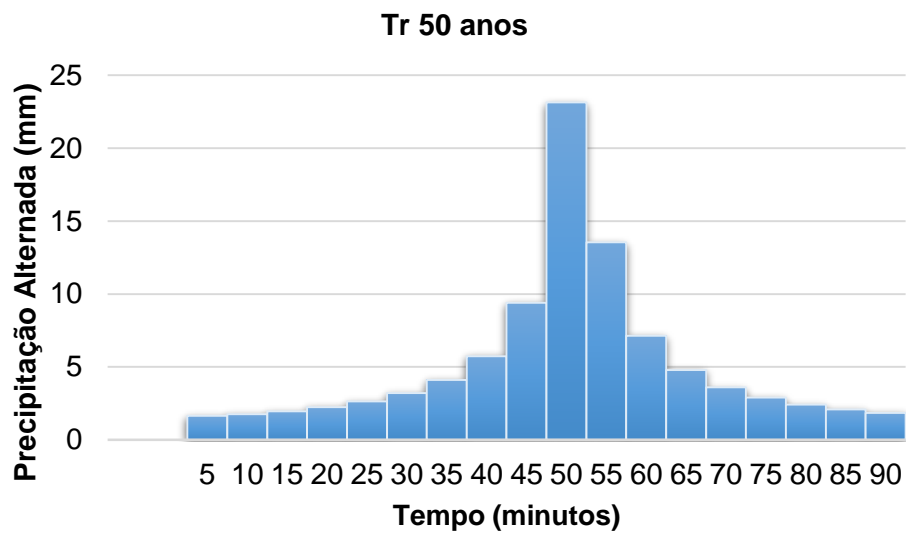
| Ordem | Tempo (minutos) | Intensidade (mm/h) | Precipitação acumulada (mm) | Precipitação (mm) | Ordem Alternada | Precipitação Alternada (mm) |
|-------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 5 | 244.72 | 20.39 | 20.39 | 18 | 1.46 |
| 2 | 10 | 194.03 | 32.34 | 11.95 | 17 | 1.54 |
| 3 | 15 | 162.47 | 40.62 | 8.28 | 15 | 1.73 |
| 4 | 20 | 140.70 | 46.90 | 6.28 | 13 | 1.98 |
| 5 | 25 | 124.68 | 51.95 | 5.05 | 11 | 2.33 |
| 6 | 30 | 112.34 | 56.17 | 4.22 | 9 | 2.83 |
| 7 | 35 | 102.49 | 59.79 | 3.62 | 7 | 3.62 |
| 8 | 40 | 94.44 | 62.96 | 3.17 | 5 | 5.05 |
| 9 | 45 | 87.72 | 65.79 | 2.83 | 3 | 8.28 |
| 10 | 50 | 82.01 | 68.34 | 2.55 | 1 | 20.39 |
| 11 | 55 | 77.10 | 70.67 | 2.33 | 2 | 11.95 |
| 12 | 60 | 72.81 | 72.81 | 2.14 | 4 | 6.28 |
| 13 | 65 | 69.04 | 74.79 | 1.98 | 6 | 4.22 |
| 14 | 70 | 65.69 | 76.64 | 1.85 | 8 | 3.17 |
| 15 | 75 | 62.70 | 78.38 | 1.73 | 10 | 2.55 |
| 16 | 80 | 60.01 | 80.01 | 1.63 | 12 | 2.14 |
| 17 | 85 | 57.56 | 81.55 | 1.54 | 14 | 1.85 |
| 18 | 90 | 55.34 | 83.01 | 1.46 | 16 | 1.63 |



Apêndice B.9 Hietograma para o período de retorno de 25 anos.

Apêndice B.10 Precipitação alternada para o período de retorno de 50 anos

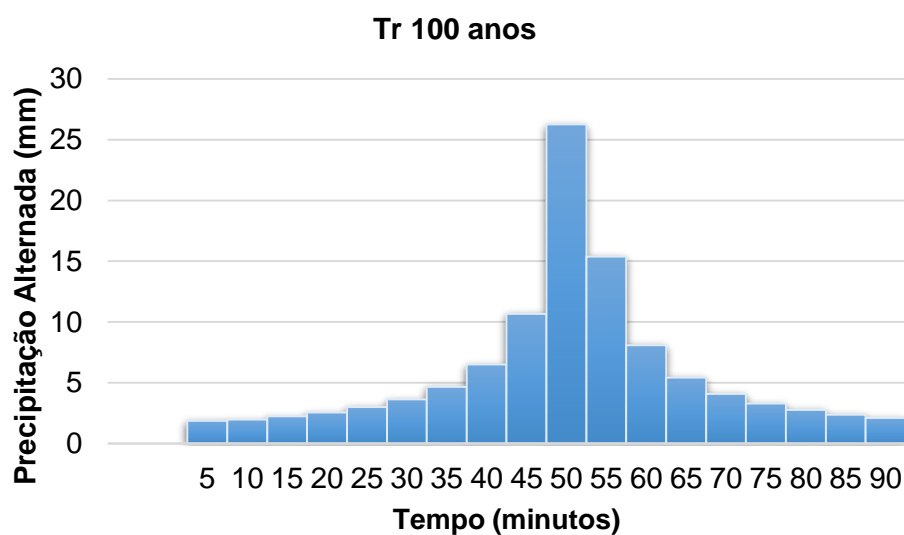
| Ordem | Tempo (minutos) | Intensidade (mm/h) | Precipitação acumulada (mm) | Precipitação (mm) | Ordem Alternada | Precipitação Alternada (mm) |
|-------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 5 | 277.62 | 23.14 | 23.14 | 18 | 1.66 |
| 2 | 10 | 220.12 | 36.69 | 13.55 | 17 | 1.75 |
| 3 | 15 | 184.31 | 46.08 | 9.39 | 15 | 1.97 |
| 4 | 20 | 159.62 | 53.21 | 7.13 | 13 | 2.25 |
| 5 | 25 | 141.45 | 58.94 | 5.73 | 11 | 2.64 |
| 6 | 30 | 127.44 | 63.72 | 4.78 | 9 | 3.21 |
| 7 | 35 | 116.28 | 67.83 | 4.11 | 7 | 4.11 |
| 8 | 40 | 107.14 | 71.43 | 3.60 | 5 | 5.73 |
| 9 | 45 | 99.52 | 74.64 | 3.21 | 3 | 9.39 |
| 10 | 50 | 93.04 | 77.53 | 2.90 | 1 | 23.14 |
| 11 | 55 | 87.46 | 80.17 | 2.64 | 2 | 13.55 |
| 12 | 60 | 82.60 | 82.60 | 2.43 | 4 | 7.13 |
| 13 | 65 | 78.32 | 84.85 | 2.25 | 6 | 4.78 |
| 14 | 70 | 74.53 | 86.95 | 2.10 | 8 | 3.60 |
| 15 | 75 | 71.13 | 88.91 | 1.97 | 10 | 2.90 |
| 16 | 80 | 68.07 | 90.76 | 1.85 | 12 | 2.43 |
| 17 | 85 | 65.30 | 92.51 | 1.75 | 14 | 2.10 |
| 18 | 90 | 62.78 | 94.17 | 1.66 | 16 | 1.85 |



Apêndice B.11 Hietograma para o período de retorno de 50 anos

Apêndice B.12 Precipitação alternada para o período de retorno de 100 anos

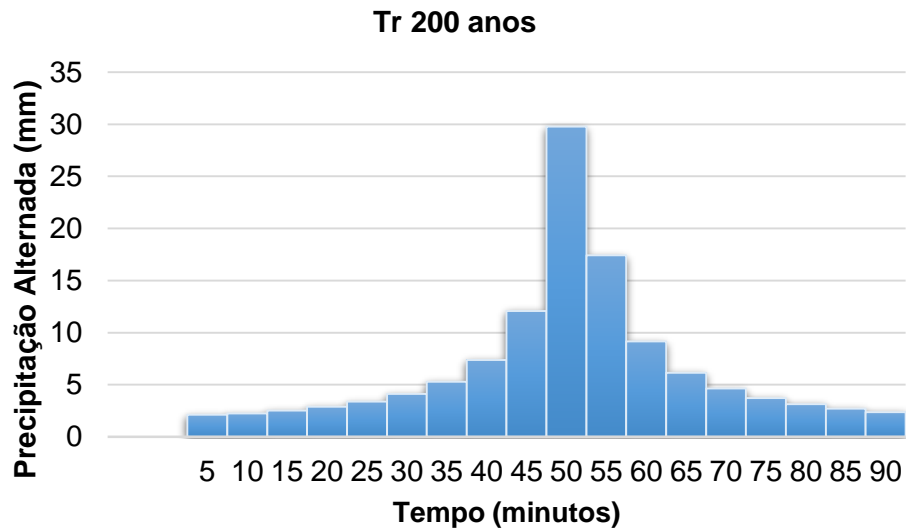
| Ordem | Tempo (minutos) | Intensidade (mm/h) | Precipitação acumulada (mm) | Precipitação (mm) | Ordem Alternada | Precipitação Alternada (mm) |
|-------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 5 | 314.95 | 26.25 | 26.25 | 18 | 1.88 |
| 2 | 10 | 249.72 | 41.62 | 15.37 | 17 | 1.98 |
| 3 | 15 | 209.09 | 52.27 | 10.65 | 15 | 2.23 |
| 4 | 20 | 181.08 | 60.36 | 8.09 | 13 | 2.55 |
| 5 | 25 | 160.46 | 66.86 | 6.50 | 11 | 3.00 |
| 6 | 30 | 144.57 | 72.29 | 5.43 | 9 | 3.64 |
| 7 | 35 | 131.91 | 76.95 | 4.66 | 7 | 4.66 |
| 8 | 40 | 121.55 | 81.03 | 4.09 | 5 | 6.50 |
| 9 | 45 | 112.90 | 84.67 | 3.64 | 3 | 10.65 |
| 10 | 50 | 105.55 | 87.96 | 3.28 | 1 | 26.25 |
| 11 | 55 | 99.22 | 90.95 | 3.00 | 2 | 15.37 |
| 12 | 60 | 93.71 | 93.71 | 2.76 | 4 | 8.09 |
| 13 | 65 | 88.86 | 96.26 | 2.55 | 6 | 5.43 |
| 14 | 70 | 84.55 | 98.64 | 2.38 | 8 | 4.09 |
| 15 | 75 | 80.70 | 100.87 | 2.23 | 10 | 3.28 |
| 16 | 80 | 77.23 | 102.97 | 2.10 | 12 | 2.76 |
| 17 | 85 | 74.08 | 104.95 | 1.98 | 14 | 2.38 |
| 18 | 90 | 71.22 | 106.83 | 1.88 | 16 | 2.10 |



Apêndice B.13 Hietograma para o período de retorno de 100 anos

Apêndice B.14 Precipitação alternada para o período de retorno de 200 anos

| Ordem | Tempo (minutos) | Intensidade (mm/h) | Precipitação acumulada (mm) | Precipitação (mm) | Ordem Alternada | Precipitação Alternada (mm) |
|-------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | 5 | 357.30 | 29.77 | 29.77 | 18 | 2.13 |
| 2 | 10 | 283.29 | 47.22 | 17.44 | 17 | 2.25 |
| 3 | 15 | 237.21 | 59.30 | 12.09 | 15 | 2.53 |
| 4 | 20 | 205.43 | 68.48 | 9.18 | 13 | 2.90 |
| 5 | 25 | 182.04 | 75.85 | 7.37 | 11 | 3.40 |
| 6 | 30 | 164.01 | 82.01 | 6.16 | 9 | 4.13 |
| 7 | 35 | 149.65 | 87.29 | 5.29 | 7 | 5.29 |
| 8 | 40 | 137.89 | 91.93 | 4.63 | 5 | 7.37 |
| 9 | 45 | 128.08 | 96.06 | 4.13 | 3 | 12.09 |
| 10 | 50 | 119.74 | 99.78 | 3.73 | 1 | 29.77 |
| 11 | 55 | 112.56 | 103.18 | 3.40 | 2 | 17.44 |
| 12 | 60 | 106.31 | 106.31 | 3.13 | 4 | 9.18 |
| 13 | 65 | 100.80 | 109.20 | 2.90 | 6 | 6.16 |
| 14 | 70 | 95.92 | 111.90 | 2.70 | 8 | 4.63 |
| 15 | 75 | 91.55 | 114.43 | 2.53 | 10 | 3.73 |
| 16 | 80 | 87.61 | 116.81 | 2.38 | 12 | 3.13 |
| 17 | 85 | 84.04 | 119.06 | 2.25 | 14 | 2.70 |
| 18 | 90 | 80.80 | 121.20 | 2.13 | 16 | 2.38 |



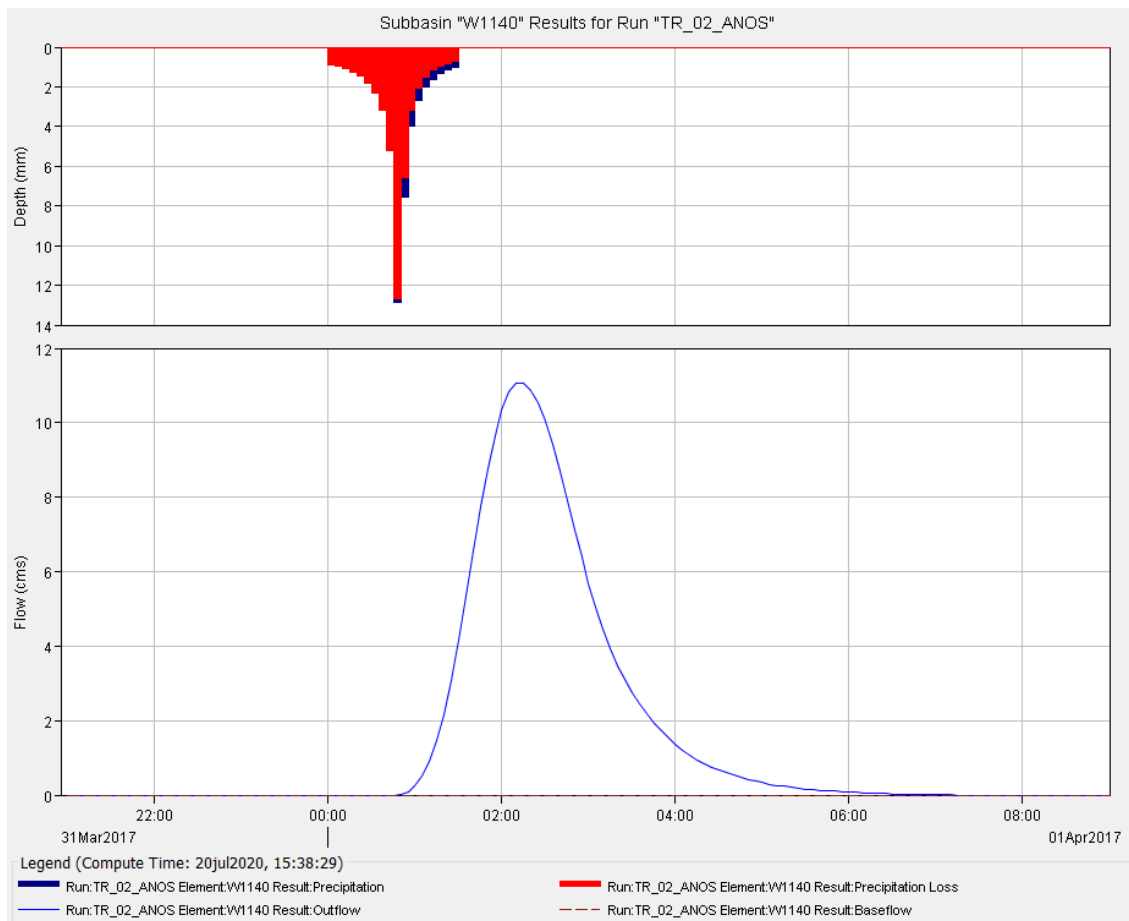
Apêndice B.15 Hietograma para o período de retorno de 200 anos

APÊNDICE C Exemplos dos resultados das simulações

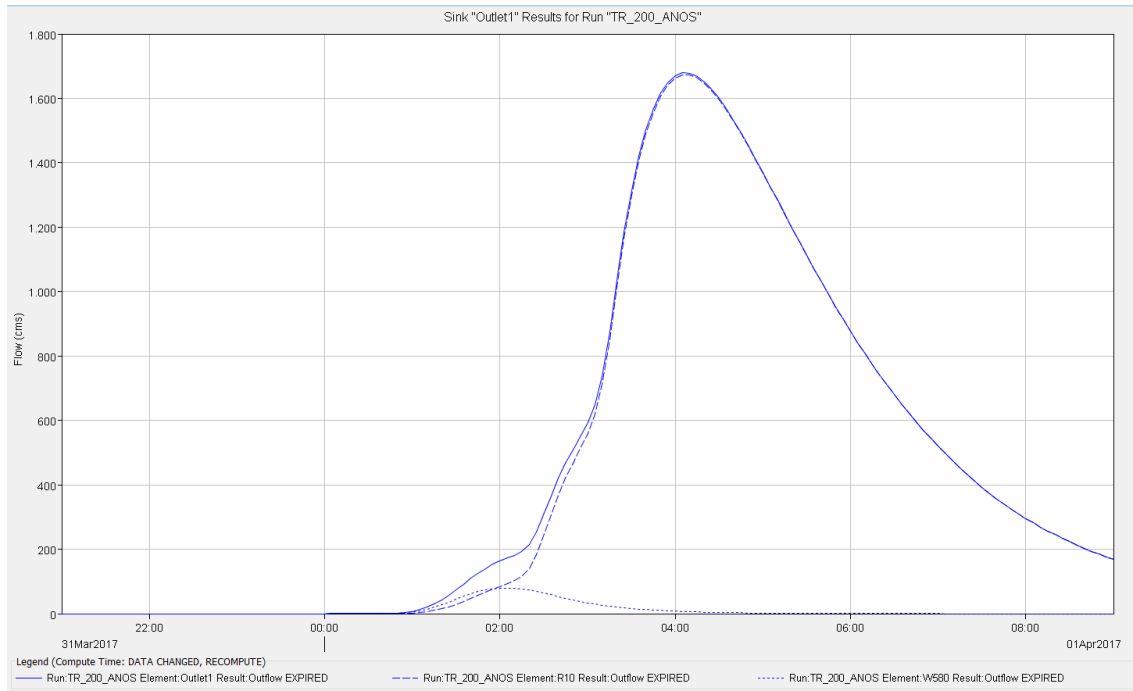
Resumo global dos resultados da simulação no Cenário 2, no período de retorno de 2 anos

| Project: Proj_Marrecas_Cen2 Simulation Run: TR_02_ANOS | | | | |
|--|---|------------------------------------|------------------|-------------|
| Start of Run: 31mar2017, 21:00 | | Basin Model: Basin 1 | | |
| End of Run: 01abr2017, 09:00 | | Meteorologic Model: MET_TR_02_ANOS | | |
| Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE | | Control Specifications: ABRIL2017 | | |
| Show Elements: <input type="button" value="All Elements"/> | Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3 | | | |
| Hydrologic Element | Drainage Area (KM2) | Peak Discharge (M3/S) | Time of Peak | Volume (MM) |
| W1000 | 10.14000 | 30.6 | 01abr2017, 01:30 | 9.62 |
| W1010 | 4.83780 | 18.6 | 01abr2017, 01:35 | 14.30 |
| W1020 | 5.66630 | 19.1 | 01abr2017, 01:40 | 12.95 |
| W1030 | 5.32050 | 16.1 | 01abr2017, 01:45 | 13.18 |
| W1040 | 0.23911 | 0.9 | 01abr2017, 01:15 | 9.84 |
| W1050 | 6.35720 | 4.6 | 01abr2017, 01:55 | 3.21 |
| W1060 | 14.99200 | 12.0 | 01abr2017, 02:10 | 4.40 |
| W1070 | 0.99262 | 3.3 | 01abr2017, 01:20 | 9.20 |
| W1080 | 8.68570 | 22.3 | 01abr2017, 02:00 | 13.23 |
| W1090 | 4.92430 | 14.1 | 01abr2017, 01:45 | 12.23 |
| W1100 | 9.15330 | 40.8 | 01abr2017, 01:30 | 15.19 |
| W1110 | 15.77100 | 20.8 | 01abr2017, 02:10 | 7.52 |
| W1120 | 4.14870 | 1.9 | 01abr2017, 01:45 | 1.50 |
| W1130 | 13.07500 | 14.9 | 01abr2017, 02:10 | 6.50 |
| W1140 | 14.17700 | 11.1 | 01abr2017, 02:15 | 4.55 |
| W580 | 11.03200 | 11.3 | 01abr2017, 02:10 | 5.90 |
| W590 | 17.94700 | 5.9 | 01abr2017, 04:05 | 4.60 |
| W600 | 18.58900 | 5.1 | 01abr2017, 03:20 | 3.00 |
| W610 | 20.19400 | 8.9 | 01abr2017, 03:45 | 5.56 |
| W620 | 10.50400 | 25.7 | 01abr2017, 02:00 | 13.01 |
| W630 | 14.30000 | 5.8 | 01abr2017, 02:20 | 2.46 |
| W640 | 5.64870 | 8.7 | 01abr2017, 01:50 | 6.87 |
| W650 | 7.50420 | 9.0 | 01abr2017, 02:10 | 7.05 |
| W660 | 2.93820 | 2.8 | 01abr2017, 02:35 | 7.49 |
| W670 | 1.68610 | 9.3 | 01abr2017, 01:20 | 16.70 |
| W690 | 5.37160 | 3.5 | 01abr2017, 02:00 | 3.09 |
| W700 | 5.92660 | 4.0 | 01abr2017, 01:55 | 2.87 |
| W710 | 0.18529 | 0.1 | 01abr2017, 01:30 | 2.05 |
| W720 | 3.00260 | 1.1 | 01abr2017, 01:55 | 1.35 |
| W730 | 13.89100 | 14.3 | 01abr2017, 01:50 | 4.02 |
| W740 | 3.84170 | 3.7 | 01abr2017, 02:00 | 4.62 |
| W750 | 6.66950 | 6.9 | 01abr2017, 02:10 | 6.06 |
| W760 | 6.27510 | 8.5 | 01abr2017, 01:55 | 6.06 |
| W770 | 15.67000 | 6.1 | 01abr2017, 02:45 | 3.21 |
| W780 | 22.66700 | 19.4 | 01abr2017, 02:00 | 4.10 |
| W790 | 8.35300 | 8.9 | 01abr2017, 01:50 | 4.39 |
| W800 | 2.36110 | 3.0 | 01abr2017, 01:45 | 4.70 |
| W810 | 9.36070 | 11.5 | 01abr2017, 02:00 | 6.06 |
| W820 | 3.57520 | 3.9 | 01abr2017, 02:05 | 5.56 |
| W830 | 10.64800 | 22.4 | 01abr2017, 01:55 | 9.78 |
| W840 | 5.26130 | 5.3 | 01abr2017, 01:45 | 3.69 |
| W850 | 1.10030 | 2.8 | 01abr2017, 01:20 | 7.23 |
| W860 | 7.96220 | 16.0 | 01abr2017, 02:05 | 10.95 |

Resultado gráfico, hidrograma e hietograma, da simulação no Cenário 2, no período de retorno de 2 anos na sub-bacia W1140



Hidrograma da simulação no Cenário 1, no período de retorno de 200 anos na saída da bacia



APÊNDICE D Vazões máximas específicas

Valores das vazões máximas específicas, nos dois cenários estudados e para os sete períodos de retorno (continua)

| Sub-bacia | Vazões máximas específicas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$) | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|------|--------|------|---------|------|---------|-------|---------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | 2 anos | | 5 anos | | 10 anos | | 25 anos | | 50 anos | | 100 anos | | 200 anos | |
| | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 |
| W580 | 1.17 | 1.02 | 1.92 | 1.69 | 2.69 | 2.36 | 4.03 | 3.54 | 5.33 | 4.69 | 6.90 | 6.09 | 8.80 | 7.80 |
| W590 | 0.41 | 0.33 | 0.66 | 0.56 | 0.92 | 0.80 | 1.37 | 1.23 | 1.82 | 1.65 | 2.36 | 2.17 | 3.02 | 2.81 |
| W600 | 0.21 | 0.27 | 0.42 | 0.52 | 0.65 | 0.79 | 1.08 | 1.27 | 1.53 | 1.77 | 2.09 | 2.39 | 2.81 | 3.16 |
| W610 | 0.58 | 0.44 | 0.92 | 0.73 | 1.25 | 1.03 | 1.82 | 1.55 | 2.36 | 2.05 | 3.03 | 2.67 | 3.83 | 3.42 |
| W620 | 2.51 | 2.45 | 3.60 | 3.53 | 4.63 | 4.55 | 6.32 | 6.24 | 7.91 | 7.82 | 9.80 | 9.69 | 12.01 | 11.90 |
| W630 | 0.50 | 0.41 | 0.93 | 0.81 | 1.41 | 1.25 | 2.26 | 2.08 | 3.14 | 2.92 | 4.24 | 3.98 | 5.62 | 5.32 |
| W640 | 1.47 | 1.54 | 2.37 | 2.50 | 3.28 | 3.43 | 4.83 | 5.06 | 6.36 | 6.64 | 8.21 | 8.57 | 10.46 | 10.91 |
| W650 | 1.71 | 1.20 | 2.55 | 1.91 | 3.37 | 2.61 | 4.76 | 3.82 | 6.06 | 5.01 | 7.64 | 6.45 | 9.50 | 8.18 |
| W660 | 0.82 | 0.95 | 1.33 | 1.53 | 1.84 | 2.08 | 2.72 | 3.03 | 3.61 | 3.95 | 4.66 | 5.07 | 5.96 | 6.40 |
| W670 | 6.64 | 5.52 | 9.01 | 7.71 | 11.21 | 9.79 | 14.71 | 13.17 | 17.91 | 16.19 | 21.53 | 19.75 | 25.80 | 23.90 |
| W690 | 0.63 | 0.65 | 1.17 | 1.23 | 1.75 | 1.82 | 2.83 | 2.96 | 3.91 | 4.08 | 5.29 | 5.49 | 7.00 | 7.26 |
| W700 | 1.37 | 0.67 | 2.24 | 1.28 | 3.12 | 1.96 | 4.66 | 3.17 | 6.18 | 4.40 | 8.03 | 5.96 | 10.28 | 7.91 |
| W710 | 1.08 | 0.54 | 1.62 | 1.62 | 2.70 | 2.70 | 4.32 | 4.32 | 6.48 | 6.48 | 9.17 | 9.17 | 11.87 | 12.41 |
| W720 | 0.27 | 0.37 | 0.67 | 0.83 | 1.13 | 1.40 | 2.06 | 2.46 | 3.06 | 3.60 | 4.36 | 5.03 | 6.09 | 6.89 |
| W730 | 1.37 | 1.03 | 2.27 | 1.83 | 3.20 | 2.66 | 4.85 | 4.14 | 6.48 | 5.64 | 8.47 | 7.51 | 10.88 | 9.80 |
| W740 | 1.12 | 0.96 | 1.90 | 1.67 | 2.66 | 2.39 | 4.03 | 3.70 | 5.36 | 4.97 | 7.00 | 6.53 | 9.01 | 8.49 |
| W750 | 1.11 | 1.03 | 1.74 | 1.71 | 2.37 | 2.37 | 3.49 | 3.54 | 4.59 | 4.68 | 5.92 | 6.07 | 5.92 | 7.77 |
| W760 | 1.75 | 1.35 | 2.74 | 2.22 | 3.71 | 3.08 | 5.37 | 4.59 | 6.95 | 6.06 | 8.89 | 7.86 | 11.22 | 10.06 |
| W770 | 0.74 | 0.39 | 1.21 | 0.73 | 1.68 | 1.09 | 2.50 | 1.75 | 3.29 | 2.42 | 4.27 | 3.25 | 5.45 | 4.29 |
| W780 | 1.31 | 0.86 | 2.12 | 1.51 | 2.94 | 2.20 | 4.36 | 3.43 | 5.74 | 4.66 | 7.43 | 6.17 | 9.49 | 8.03 |
| W790 | 0.81 | 1.07 | 1.51 | 1.84 | 2.23 | 2.66 | 3.54 | 4.12 | 4.88 | 5.57 | 6.55 | 7.34 | 8.61 | 9.53 |
| W800 | 1.69 | 1.27 | 2.75 | 2.16 | 3.81 | 3.09 | 5.68 | 4.74 | 7.50 | 6.40 | 9.70 | 8.43 | 12.37 | 10.93 |
| W810 | 1.66 | 1.23 | 2.56 | 2.01 | 3.46 | 2.81 | 5.00 | 4.19 | 6.46 | 5.53 | 8.23 | 7.18 | 10.35 | 9.17 |
| W820 | 0.81 | 1.09 | 1.43 | 1.79 | 2.07 | 2.55 | 3.22 | 3.80 | 4.36 | 5.06 | 5.76 | 6.60 | 7.52 | 8.48 |
| W830 | 2.65 | 2.10 | 3.85 | 3.17 | 5.00 | 4.22 | 6.89 | 5.97 | 8.66 | 7.63 | 10.76 | 9.61 | 13.27 | 11.96 |
| W840 | 1.43 | 1.01 | 2.39 | 1.81 | 3.38 | 2.66 | 5.09 | 4.20 | 6.82 | 5.74 | 8.95 | 7.68 | 8.95 | 10.09 |

Valores das vazões máximas específicas, nos dois cenários estudados e para os sete períodos de retorno (conclusão)

| Sub-bacia | Vazões máximas específicas ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}$) | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--|------|--------|------|---------|------|---------|-------|---------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | 2 anos | | 5 anos | | 10 anos | | 25 anos | | 50 anos | | 100 anos | | 200 anos | |
| | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 |
| W850 | 3.64 | 2.54 | 5.36 | 4.18 | 7.18 | 5.73 | 10.18 | 8.36 | 13.09 | 11.09 | 16.54 | 14.36 | 20.63 | 18.27 |
| W860 | 2.39 | 2.01 | 3.44 | 2.98 | 4.43 | 3.91 | 6.09 | 5.46 | 7.62 | 6.93 | 9.44 | 8.68 | 11.58 | 10.75 |
| W870 | 2.09 | 1.59 | 3.12 | 2.49 | 4.11 | 3.37 | 5.76 | 4.87 | 7.33 | 6.31 | 9.19 | 8.05 | 11.40 | 10.15 |
| W880 | 1.42 | 1.31 | 2.37 | 2.21 | 3.34 | 3.14 | 5.04 | 4.81 | 6.71 | 6.44 | 8.75 | 8.43 | 11.23 | 10.87 |
| W890 | 3.16 | 2.43 | 4.48 | 3.57 | 5.70 | 4.67 | 7.70 | 6.50 | 9.54 | 8.21 | 11.70 | 10.24 | 14.22 | 12.64 |
| W900 | 1.23 | 1.13 | 2.16 | 2.05 | 3.18 | 3.03 | 4.98 | 4.77 | 6.78 | 6.57 | 9.09 | 8.78 | 11.96 | 11.60 |
| W910 | 2.30 | 2.34 | 3.41 | 3.46 | 4.48 | 4.54 | 6.27 | 6.35 | 7.95 | 8.04 | 9.96 | 4.54 | 12.34 | 12.45 |
| W920 | 1.06 | 1.16 | 2.03 | 2.03 | 2.95 | 2.90 | 4.74 | 4.49 | 6.48 | 6.09 | 8.60 | 8.02 | 11.26 | 10.44 |
| W930 | 2.76 | 2.22 | 3.95 | 3.25 | 5.05 | 4.26 | 6.88 | 5.93 | 8.57 | 7.51 | 10.55 | 9.38 | 12.87 | 11.60 |
| W940 | 2.68 | 2.29 | 4.03 | 3.39 | 5.34 | 4.47 | 7.56 | 6.26 | 9.65 | 7.94 | 12.14 | 9.94 | 15.10 | 12.32 |
| W950 | 2.81 | 2.03 | 4.22 | 3.21 | 5.57 | 4.39 | 7.84 | 6.43 | 9.96 | 8.38 | 12.54 | 10.72 | 15.63 | 13.54 |
| W960 | 3.40 | 2.90 | 4.95 | 4.35 | 6.43 | 5.73 | 8.93 | 8.08 | 11.28 | 10.32 | 14.04 | 12.99 | 17.31 | 16.17 |
| W970 | 2.04 | 2.33 | 3.08 | 3.45 | 4.10 | 4.51 | 5.80 | 6.32 | 7.43 | 8.01 | 9.36 | 10.03 | 11.67 | 12.40 |
| W980 | 3.98 | 2.88 | 5.63 | 4.26 | 7.16 | 5.61 | 9.67 | 7.87 | 11.97 | 10.00 | 14.69 | 12.52 | 17.85 | 15.50 |
| W990 | 3.50 | 2.77 | 5.07 | 4.18 | 6.55 | 5.53 | 9.06 | 7.81 | 11.41 | 9.99 | 14.18 | 12.62 | 17.45 | 15.75 |
| W1000 | 3.13 | 3.02 | 4.70 | 4.56 | 6.26 | 6.10 | 8.88 | 8.71 | 11.35 | 11.16 | 14.29 | 14.09 | 17.78 | 17.57 |
| W1010 | 5.17 | 3.84 | 7.05 | 5.48 | 8.81 | 7.03 | 11.66 | 9.53 | 14.22 | 11.84 | 17.22 | 14.59 | 20.69 | 17.86 |
| W1020 | 4.98 | 3.37 | 6.78 | 4.84 | 8.45 | 6.27 | 11.12 | 8.61 | 13.54 | 10.82 | 16.34 | 13.39 | 19.59 | 16.45 |
| W1030 | 4.04 | 3.03 | 5.56 | 4.38 | 6.99 | 5.64 | 9.27 | 7.72 | 11.39 | 9.66 | 13.85 | 11.93 | 16.73 | 14.66 |
| W1040 | 3.76 | 3.76 | 5.86 | 5.86 | 7.95 | 7.95 | 11.29 | 10.87 | 14.64 | 10.87 | 18.40 | 17.98 | 23.00 | 22.58 |
| W1050 | 0.58 | 0.72 | 1.15 | 1.35 | 1.76 | 2.03 | 2.88 | 3.26 | 4.04 | 4.48 | 5.49 | 6.04 | 7.31 | 7.94 |
| W1060 | 1.29 | 0.80 | 2.05 | 1.40 | 2.80 | 2.03 | 4.10 | 3.13 | 5.37 | 4.22 | 6.91 | 5.58 | 8.76 | 7.26 |
| W1070 | 5.14 | 3.32 | 7.46 | 5.14 | 9.57 | 6.95 | 13.20 | 10.07 | 16.42 | 13.00 | 20.35 | 16.52 | 24.78 | 20.65 |
| W1080 | 3.53 | 2.57 | 4.85 | 3.70 | 6.07 | 4.75 | 8.02 | 6.53 | 9.81 | 8.16 | 11.89 | 10.11 | 14.31 | 12.39 |
| W1090 | 4.16 | 2.86 | 5.71 | 4.16 | 7.15 | 5.40 | 9.50 | 7.45 | 11.66 | 9.36 | 14.15 | 11.66 | 17.08 | 14.38 |
| W1100 | 5.54 | 4.46 | 7.55 | 6.22 | 9.40 | 7.84 | 12.44 | 10.53 | 15.21 | 13.06 | 18.42 | 16.03 | 22.16 | 19.52 |
| W1110 | 2.12 | 1.32 | 3.08 | 2.07 | 4.00 | 2.83 | 5.53 | 4.13 | 6.96 | 5.37 | 8.66 | 6.87 | 10.68 | 8.68 |
| W1120 | 1.08 | 0.46 | 1.93 | 1.04 | 2.84 | 1.69 | 4.51 | 2.96 | 6.15 | 4.29 | 8.27 | 6.00 | 10.87 | 8.17 |
| W1130 | 1.39 | 1.14 | 2.17 | 1.84 | 2.94 | 2.55 | 4.26 | 3.79 | 5.53 | 4.98 | 7.05 | 6.42 | 8.89 | 8.18 |
| W1140 | 1.75 | 0.78 | 2.61 | 1.35 | 3.45 | 1.95 | 4.86 | 3.00 | 6.19 | 4.04 | 7.79 | 5.33 | 9.68 | 6.93 |

ANEXO

ANEXO A NORMAS DA REVISTA EAgrI



INSTRUCTIONS TO AUTHORS

1. General guidelines

Manuscripts may be submitted in English, Portuguese or Spanish. The text should be sent through the ScholarOne system by accessing the address (<https://mc04.manuscriptcentral.com/eagri-scielo>). The Editorial board checks the text for plagiarism, scope and format. Each article is submitted to at least three reviewers.

By submitting the manuscript, the corresponding author should fill in the system form with all the require information, including ORCID (see how to create in <https://orcid.org/>), and also send a message to contato.sbea@gmail.com assuming responsibility for the other authors, if any, as co-responsible for the scientific content of the article, according to Article 5 of the Brazilian Law No. 9610/98, which treats of the Copyright Law (please see item 4, at the end of this topic).

The authors should see also COPE (Committee on Publication Ethics, <http://publicationethics.org>) guidelines in their endeavor to preserve and promote the integrity of the scholarly record through policies and practices that reflect the current best principles of transparency and integrity, by prevention of plagiarism, malpractice, fraud and possible ethical violations.

The correspondent author should also send to contato.sbea@gmail.com a declaration form stating that the article sent to Engenharia Agrícola have not been submitted for publication to another agency, nor have been previously published, except in abstract form at scientific meeting (please see the form in item 4, at the end of this topic).

2. Translation and review

Once accepted, the articles submitted in Portuguese and Spanish should be translated into English by companies indicated by the Editorial Board. Manuscripts submitted in English should be revised by those companies. The recommended translator or reviewer companies are:

- Academic Editing Service (<http://www.academic-editing-services.com>)
- American Journal Experts (<https://www.aje.com/en/services/translation>)
- Editage (<https://www.editage.com.br/>)
- Elsevier (<http://webshop.elsevier.com/languageservices/>)
- Enago (<https://www.enago.com.br/>)
- Proof-Reading-Service.com Ltda (<https://www.proof-reading-service.com/>)
- STTA - Serviços Técnicos de Tradução e Análises (<http://www.stta.com.br/>)
- Write Science Right (<http://www.writescienceright.com/>)



The translation of the articles submitted in Portuguese and Spanish and the review of the articles submitted in English will be paid by the author directly to the companies indicated by the editorial committee.

3. Guidelines for manuscript preparation

3.1. Configuration

- Manuscripts should have no more than five authors.
- Suppress author names and affiliation;
- Color figures are allowed (photos, graphs, diagrams, etc) limited to 2.0 Mb;
- Measurement unites should follow the International Unit System
<https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/pml/div684/fcdc/sp330-2.pdf> ;
- Processor: MSWord 7.0 or later
- Paper size: A4 (21 x 29.7 cm)
- Maximum number of pages: 20
- Line Spacing: 2
- Font for the text: Times New Roman 12
- Font for the header / footnote: Times New Roman 9
- Margins: 2 cm on all sides of the paper
- Number lines on the pages: file / page setup / layout / number of lines / numbering lines /continuous
- Paragraph: 1.0 cm
- Maximum file size: 2.0 Mb
- Identification of the authors: upon advised on the acceptance of the article, the corresponding author shall submit to ScholarOne system a document containing: final manuscript title, followed by the full names of authors in the same order of publication. Authors should be the same as those registered in the system at the time of submission. They cannot be changed, except with express written consent of each of the original authors. Each name must be followed by a superscripted numbers in a sequence. Below the corresponding author's name, separated by double space, his affiliation and email address shall be included, and, for the remaining authors, only the institution is required.

3.2 Category

The manuscripts can be Scientific article, Technical article, and Review article.

3.2.1 Scientific Article

Scientific articles refer to reports of original research, with a well-defined hypothesis and innovation issues. The text should include the items, always highlighted in capital letters and bold unnumbered paragraph and, leaving two spaces (ENTER twice) after the previous item and a space (ENTER once) to begin the text, in the following order: Title, name of the authors, abstract, keywords, Material and methods, Results, Conclusion, Acknowledgments and References.



Title: Centralized, should be clear and concise, allowing prompt identification of the content of the study, trying to avoid words like: analysis, study and evaluation.

Abstract: The text, containing a maximum of 14 lines, should start on the same line of the item, be sufficiently clear to be presented alone and include five points: 1) Justify (1 or 2 sentences) – why the research was considered necessary?, 2) Objectives (1 sentence) – what was done to achieve the need for research, 3) Methods (up to 3 sentences) – a brief summary of what and which parameters were measured, 4) Results (up to 5 sentences) – what was found? , 5) Conclusions/recommendations (1 sentence) – what should be done in response to those findings. Below should appear the keywords (six at most, trying not repeating the title) written in lowercase.

Introduction: Should be concise, in at most 50 lines, using recent literature (preferably peer reviewed articles published over last 5 years) and appropriate to formulate the problems addressed and the justification of the importance of the subject. On the last paragraph, the weak points of the reviewed literature should be clearly mentioned, pointing what is missing and describing what is novel in the proposal research that makes the article to deserve to be published in Engenharia Agrícola.

Material and methods: Depending on the nature of the study, a characterization of the experimental area must be inserted, making clear the conditions under which the research was conducted. When the public domain methods are used only the reference will be sufficient, otherwise is required description of the procedures used, adjustments promoted, etc. Measurement units and symbols should follow the International System.

Results and discussion: The results should be compared with those of the literature presented in the Introduction and with others pertinent to the field of work, and discussed in the light of established knowledge, agreeing or disagreeing with scientific or technical explanations, but highlighting the importance and originality of such data. The wording of this item should be elaborated not only by reporting that the results obtained agree with or disagree with the results obtained by other researchers, but also, in a clear and concise way, seek to explain why the results were those and why they agree or disagree with the results presented in the literature

Conclusions: These should be based exclusively on the results of the study. Avoid repetition of results in subsequent listing, confronting what was obtained with the goals initially set. The conclusions should be written to facilitate interpretation of the article, without consulting other items of it.

Acknowledgments: Enter it, if any, after conclusions, succinctly.

References: Should be mentioned only the essential related to the manuscript, including only those mentioned in the text and tables, graphs or illustrations, appearing in alphabetical order and in lowercase letters. Avoid quoting abstracts, unpublished articles and personal communication. At least 50% of the references should be in the last 5 years and 90% of periodic articles.

Exceptional cases should be justified and will be reviewed by the Editorial Committee. The references in the text must also appear in capital letters, followed by the date:

Souza & Silva (2005), or (Souza & Silva, 2005); existing other references of the same author in the same year (other publications), it will be identified with lowercase letters (a, b, c) after the year of publication: Souza & Silva (2005 a). For three or more authors, in the text will be quoted only the first author followed by et al.,



but in the final bibliography list other names should also appear. In quotation from quotation (to be avoided), identifies the directly consulted article, the author and / or the article mentioned in it as indicated: Silva (2000) cited by Pessoa (2006). Following are some examples:

Journals

Pruski FF, Rodrigues RG, Pruski PL, Nunes AA, Rego FS (2016) Extrapolation of regionalization equations for long-term average flow. *Engenharia Agrícola* 36(5):830-838.

With DOI (Digital Object Identifier)

Pruski FF, Rodrigues RG, Pruski PL, Nunes AA, Rego FS (2016) Extrapolation of regionalization equations for long-term average flow. *Engenharia Agrícola* 36(5):830-838. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n5p830-838/2016>

Books

Complete book, authored

Keller J, Bliesner RD (2012) *Sprinkle and Trickle Irrigation*. New York, Springer. 652p.

Complete book, only specific pagination (preferred form)

Keller J, Bliesner RD (2012) *Sprinkle and Trickle Irrigation*. New York, Springer, p140-160.

Book with institutional author

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016) *The state of food and agriculture: climate change, agriculture and food security*. Rome, FAO, 190p.

Book with institutional author, only specific pagination (preferred form)

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016) *The state of food and agriculture: climate change, agriculture and food security*. Rome, FAO, p50-60.

Complete book, edited

Mueller T, Sassenrath GF (2015) *GIS Applications in Agriculture. Volume Four: Conservation Planning*. Boca Raton, CRC Press, v4:304p. DOI: 10.1201/b18173-1

Complete book, edited, only specific pagination (preferred form)

Mueller T, Sassenrath GF (2015) *GIS Applications in Agriculture. Volume Four: Conservation Planning*. Boca Raton, CRC Press, v4: p28-49. DOI: 10.1201/b18173-1

Book chapter or an article within a book

Buckleiter GW (2007) Irrigation system automation. In: Adamsen F, Hook J, Cardon G, Letey J, Lascano RJ, Sojka RE. *Irrigation of agricultural crops*. Madison, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p181-194.

Annals of congress, simposiums, workshops (to be avoided)

Hagel H, Hoffmann C, Doluschitz, R (2014) Mathematical programming models to increase land and water use efficiency in semiarid NE-Brazil. In: *World Conference in Computers in Agriculture*. San Jose, International Commission of Agricultural Engineering, Proceedings...

Thesis (to be avoided)



Schiavone DF (2016) heat mass transfer in ballet switch grass for storage and bioconversion applications. PhD Thesis, Lexington University of Kentuck, College of Engineering.

Cartographic documents (map, aerial photography, satellite image, etc.)

BRASIL e parte da América do Sul: mapa político, escolar, rodoviário, turístico e regional. São Paulo: Michalany, 1981. 1 mapa, color., 79 cm x 95 cm. Escala 1:600.000.

Patents

Norman LO (1998) Lightning rods. US Patent 4,379,752, 9 Sept 1998.

Online documents

Doe J (1999) Title of subordinate document. In: The dictionary of substances and their effects. Royal Society of Chemistry. Available : [http://www.rsc.org/dose/title of subordinate document](http://www.rsc.org/dose/title%20of%20subordinate%20document). Accessed Oct 19, 2016.

Figures and tables. Illustrations, graphics and photographs must be submitted with sufficient detail and size for the final composition, preferably in the same position of the text, could be colored and must also present the title in English. Graphics: may have colored parts, and the x and y axes with 1/2 pt, described with the same type and size of letters in the text (Times New Roman 12) and the legend in the lower position of it. They must be numbered in consecutive Arabic numerals. Tables: avoid extensive tables and unessential data, privileging average data; adapt their sizes to the usable space of the paper and place, wherever possible, only continuous horizontal lines, their captions should be concise and self-explanatory and should also display the title in English. Photographs: can be colored. In the discussion, compare the results with the data obtained in the Bibliography.

Equations: All equations that are part of the text should be aligned with the paragraph and numbered as follows:

$$y = ax + b \quad (1)$$

in which

y - speed $m s^{-1}$;

a - angular coefficient;

x - speed, rpm;

b - linear coefficient.

3.2.2. Technical Article

Should include advances in theories, methodologies and techniques, without a hypothesis presentation. When dealing with a case study, the conclusions should present proposals. It should be written in technical language, easy to understand, on matters of interest to the Agricultural Engineering by author(s) showing experience on the subject dealt, allowing guidance to the different users of Agricultural Engineering. It only justifies submitting articles that bring contribution on the subject and not just personal cases or restricted interest. With freer style than in scientific articles, technical articles should, in most cases, include the following items: Title, Author(s), Abstract, Abstract, Keywords, Introduction, description of the subject,



Conclusions and References. The text of the technical articles should follow the same guidelines for scientific articles, with the following particular remarks:

Header: TECHNICAL ARTICLE should appear in the header of the first page, in capital letters, underlined, in bold, centered and spaced 1.1 cm from the top edge.

Introduction: should contain brief background, explaining the importance, the current status of the subject, relying on literature review, and make clear the aim of the article.

Subject description: with different titles that can be divided into sub-items, the matter should be discussed, pointing up the theoretical basis, bringing experiences and recommendations, discussing and criticizing situations, based on the fullest bibliography and technical standards on the subject.

Conclusions: When appropriate, should be written in a clear and concise manner, consistent with the goal established. Should not be a simple resubmission of other paragraphs of the article.

3.2.3. Review Article

It is the presentation, exclusively by a request of the Editorial Committee, of a study by gathering, analyzing and discussing an issue of importance to the Agricultural Engineering, and based on extensive literature search, allowing compilation of existing knowledge. Although with more stylistic freedom than in scientific articles, review articles should contain the following items: Title, Author(s), Abstract, Keywords, Introduction, Review, Conclusions and References. The writing of these items should follow the same guidelines described for scientific articles, with the following particular remarks:

Header: REVIEW ARTICLE should appear on the front page headline in capital letters, underlined, in bold, centered and spaced 1.1 cm from the top edge.

Introduction: should contain brief background, placing the importance, the current status of the subject and purpose of the review.

Review: follow the standards of the journal citation. If necessary, it can be divided by subjects in sub items. The essay should be critical and not just mere exposure of the issues; it must present a logical sequence in order of subjects and / or chronological. Whenever possible, should contain an analysis of comparative studies on the subject dealt.

Conclusions: should be presented clearly and concisely, consistent with the goals established. It should not be a simple restatement of paragraphs of the review.



4. Responsibility and declaration of originality

The following statements that the corresponding author should fill in and send to contato.sbea@gmail.com at the time of submission of the manuscript.

I, "_____", am aware of my authorship of the manuscript entitled "_____", and I assume responsibility for the other authors listed below regarding the authorship of the manuscript submitted to Engenharia Agrícola, in accordance to Article 5 of Law 9,610, which deals with Copyright.

Authors:

_____, _____, _____, _____.

I declare that the article _____ is of a scientific and original nature and has not been submitted to another journal, either in whole or in part. I further declare that once published in Engenharia Agrícola, it will never be submitted by me or by other authors to any other journal. Through this instrument, in the authors, we assign the copyright of the aforementioned Article to Engenharia Agrícola, pursuant to article 5 of Law 9,610, which deals with copyright.



SUBSCRIPTION

Engenharia Agrícola is published under the Open Access model and is therefore free for anybody to read and download, and to copy and disseminate for academic, scientific, educational and extension purposes.

The online journal is free and open access.

All the content of the journal, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons License

[https://teams.microsoft.com/l/channel/19%3a5bd27f747cf54da1ab91652938df86c0%40thread.tacv2/Est%25C3%25A1gio%2520no%2520Ensino%2520remoto%2520\(NUFOPE\)?groupId=c63664ab-1d3a-4613-98d5-8477ba3b9a1d&tenantId=30b1e5ea-e05e-4a77-99d3-a3c62c328784](https://teams.microsoft.com/l/channel/19%3a5bd27f747cf54da1ab91652938df86c0%40thread.tacv2/Est%25C3%25A1gio%2520no%2520Ensino%2520remoto%2520(NUFOPE)?groupId=c63664ab-1d3a-4613-98d5-8477ba3b9a1d&tenantId=30b1e5ea-e05e-4a77-99d3-a3c62c328784)

Join conversation

teams.microsoft.com