



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Vazão e Balanço Hídrico Relacionado a Mudanças no Uso da Terra em uma Bacia Hidrográfica de Médio Porte no Bioma Pampa do Brasil

Romario Trentin¹, François Laurent², Luís Eduardo de Souza Robaina³

1Graduação em Geografia Licenciatura pela Universidade Federal de Santa Maria, Mestrado em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria e Doutorado em Geografia pela Universidade Federal do Paraná. E-mail: romario.trentin@gmail.com (correspondente).

2Professor de geografia, graduação em geologia Université de Lyon, mestrado em Geografia Université de Saint-Etienne, doutor em Hidrologia quantitative pela Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint Etienne.

3Possui graduação em Geologia pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos, mestrado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, doutorado em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Artigo recebido em 26/09/2022 e aceito em 23/02/2023

RESUMO

As mudanças no uso da terra no Bioma Pampa, nas últimas décadas, principalmente relacionadas a transformação de pastagens nativas (campos) em áreas de cultivo, como o plantio de soja, arroz ou árvores (especialmente eucalipto), levantam questionamentos sobre os impactos e potenciais mudanças na hidrologia. Algumas bacias hidrográficas já registraram cerca de 25% de suas pastagens transformadas em outros usos desde 2010, e essas transformações impactam na dinâmica hídrica. Este estudo analisa a vazão na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, no sul do Brasil, que abrange 14.900 km² e representa cerca de 8% da área do Bioma Pampa brasileiro, em um cenário de mudança de uso do solo no período de 2010 a 2019 com modelagem hidrológica usando o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Os resultados demonstram que a mudança de uso do solo altera tanto o balanço hídrico quanto a vazão da bacia. A vazão média anual aumentou 17,7%. Os picos de vazão de água são mais frequentes (16% mais para os picos com vazão média diária acima de 500 m³.d⁻¹) e o pico máximo aumenta em 17,6%. Isso se explica pela expansão das lavouras de soja, principalmente nos solos mais sensíveis ao escoamento superficial. Os resultados sugerem que a substituição de áreas de pastagens nativas por culturas anuais aumenta o risco de inundações.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica; Terras agrícolas; Pastagem; SWAT; Bioma Pampa

Flow rate and water balance related to land use changes in a medium-sized watershed in the Pampa Biome of Brazil

Abstract: Changes in land use in the Pampa Biome, especially in recent decades, with the transformation of native rangeland into cropland, such as the soybeans, rice, or trees plantation (especially eucalyptus), raise questions about the impacts and potential changes in local hydrology. Some watersheds have already registered about 25% of their rangeland transformed into other uses since 2010, and these transformations impacts the water dynamics. This study analyses the flow rate in the Santa Maria River watershed, in southern Brazil, which covers 14,900 km² and represents about 8% of the area of the Brazilian Pampa Biome, in a scenario of land use change in the period from 2010 to 2019 through hydrological modeling using the *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). The results demonstrate that the land use change alters both the water balance and the discharge of the watershed. The mean annual flow increases of 17.7%. The water flow peaks are more frequent (more 16% for the peaks with a mean daily flow over 500 m³.d⁻¹) and the maximum peak increases by 17.6%. It is explained by the expansion of soybean crops, particularly on the soils more sensitive to superficial runoff. The results suggest that replacing native rangeland areas by annual crops increase the risk of flooding. Keywords: hydrological modeling; cropland; rangeland; SWAT; Pampa Biome

Introdução

O bioma de Pampa tem sido objeto de estudo e discussões científicas sobre a necessidade de sua preservação ambiental. Nos últimos anos,

passou por um processo de mudança significativa no uso da terra, de pastagem para terras cultivadas para produção de grãos e madeira. Essas expansões geralmente podem desencadear situações

ambientais insustentáveis com degradações ambientais que comprometem o ecossistema local, bem como na própria produção agrícola de longo prazo por vários *feedbacks* (Ogliari, et al., 2023; Rhoden, et al., 2022; Mengue, et al., 2020; Nellemann et al., 2009; Cassman et al., 2005; Smith & McDonald, 1998). Essas alterações são analisadas e registradas por vários pesquisadores, que estudaram esses impactos no bioma de Pampa (Petsch, et al, 2022; Peixoto, et al, 2022; Viglizzo et al., 2011; Carvalho & Batello, 2009; Rennella & Quirós, 2006; Ghersa et al., 2002).

Na parte brasileira, o bioma de Pampa ocupa aproximadamente 176.500 km² (Allen et al., 2011). As pastagens do sul do Brasil são particularmente ricas em espécies vegetais, com cerca de 2.200 plantas de pastagem taxonômica conhecidas apenas no Rio Grande do Sul (Boldrini, 2009). Os pastos na região, que são fundamentais para o ecossistema, são relictos de períodos mais frios e secos e foram afetados pela expansão da floresta desde aproximadamente 5.000 anos de BP, favorecidos pelo clima mais quente, com taxas crescentes desde 1.500 anos BP (Behling, 2002).

As pastagens estão entre os ecossistemas mais ricos em espécies do mundo e fornecem uma ampla gama de serviços ecossistêmicos. As pastagens desempenham um papel importante no ciclo global de carbono, pois as taxas de acumulação são altas e a decomposição da matéria orgânica é lenta (Gibson, 2009; Wilson et al., 2012). Eles facilitam a infiltração da água no solo e, portanto, a manutenção de ciclos hidrológicos (Da Cunha, et al., 2021; Chu et al., 2013; Haidary et al., 2013; Gossweiler et al., 2019). Finalmente, as pastagens contribuem para a beleza da paisagem e a identidade cultural do Pampa (Andrade et al., 2015).

Nas últimas décadas, no entanto, ocorreu uma transformação significativa no uso da terra, principalmente na conversão de áreas nativas de pastagens (campos) em atividades agrícolas que produzem grãos e silviculturas (Trentin, et al., 2023; Petsch, 2022; Rhoden, et al, 2022; Nabinger et al., 2009; Mengue et al., 2020). Assim, é importante desenvolver estudos sobre os vários impactos ambientais da mudança de uso da terra, relacionados aos recursos hídricos.

Várias aplicações de modelos hidrológicos avaliaram o impacto das mudanças climáticas e da

mudança no uso da terra, e práticas agrícolas no balanço da água e na qualidade da água (Schilling et al., 2008; Laurent & Ruelland, 2011; Mango et al., 2011; Rajib et al., 2016; Loucks & Beek, 2017; Santos, et al., 2018a; Li et al., 2019; Twisa et al., 2020; Heidari et al., 2021). O modelo SWAT também permite trabalhar com diferentes cenários comparando condições de uso e até precipitação. A situação atual de uma bacia pode ser comparada com a situação original (cobertura florestal nativa) ou com o cenário proposto pelas leis ambientais (Machado (2002); Machado e Vettorazzi (2003); Salles (2012); Strauch et al. (2012, 2013); Ali Zomorodian e Dowlatabadi (2019); Martins et al. (2020).

No bioma do Pampa, algumas pesquisas aplicaram modelagem hidrológica para analisar a influência das chuvas na vazão, análise de sedimentos e concentrações de nutrientes (Arreghini et al., 2005; Vazquez-Amabile et al. (2013 e 2017); Kraemer et al. (2011 e 2014); Baumhardt (2014); Peláez (2014); Rodrigues (2015); Havrylenko et al. (2016); Zellner et al. (2020) Trentin, et al, (2021); Da Cunha, (2021); Trentin et al. (2023) .

Este artigo tem como objetivo propor a aplicação do modelo SWAT para analisar o comportamento hidrológico com variações no uso e ocupação da terra. A área de estudo é a bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, que corresponde a 8,5% do bioma Pampa no Brasil.

Materiais e métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Santa Maria está localizada no sul do Brasil, parte sudoeste do estado de Rio Grande do Sul, perto da fronteira do Uruguai (Figura 1). Esta bacia hidrográfica é uma das bacias hidrográficas maiores do estado. O canal principal tem aproximadamente 241 km de comprimento e suas águas drenam para o rio Ibicuí, que por sua vez escoam para o rio Uruguai.

De acordo com a classificação de Köppen (Alvares, et al., 2013), o clima é Cfa: clima subtropical úmido que não apresenta uma diferença significativa no nível de precipitação entre as estações, o que significa que não há estação seca em nenhum período do ano.

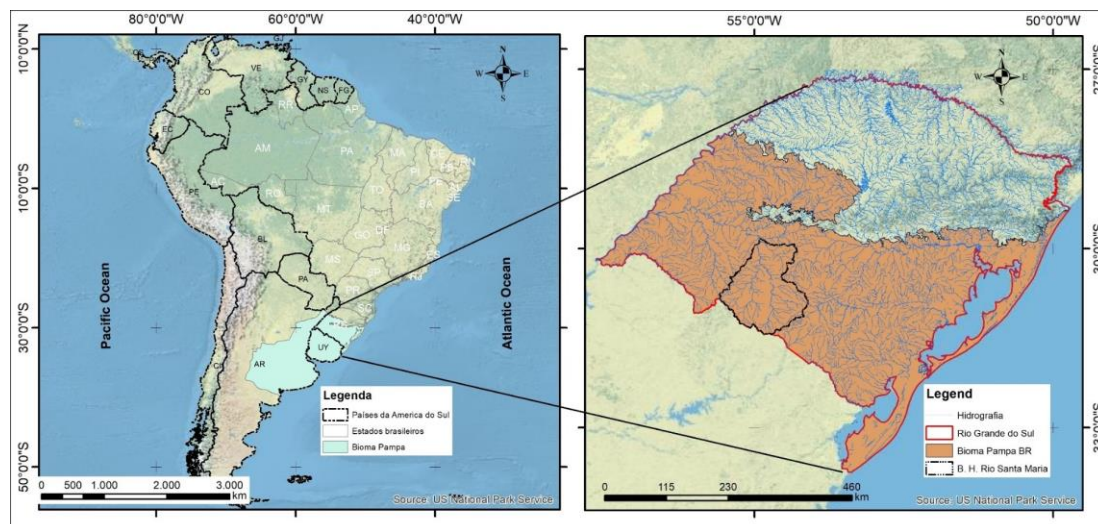


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria. Fonte: os autores

A bacia hidrográfica do Rio Santa Maria é composta pela região morfoestrutural descrita no Projeto RADAM BRASIL (IBGE, 1986) como Embasamento em Estilos Complexos, ocupando aproximadamente 10% da área da bacia na porção do extremo SE, e principalmente pela região de Bacias e depósitos Sedimentares formados por rochas e sedimentos em diferentes ambientes deposicionais e por uma pequena área a oeste da bacia do Planalto vulcânico. As formas de relevo predominantes na bacia são colinas ligeiramente onduladas que compõem 49,5% da área total. Essas formas são caracterizadas por amplitudes entre 20 e 40m e declividade entre 2 e 5% representam relevo de aplainamento.

Descrição do modelo SWAT

O SWAT é um modelo que foi projetado pela USDA (*Agricultural Research Service*) (Arnold et al., 1998) para prever o impacto da poluição agrícola difusa e à análise de processos ligados ao solo e à vegetação. Ele estima fluxos de água, nutrientes, pesticidas e sedimentos no solo, águas subterrâneas e águas superficiais, bem como vazão de rios em intervalos diários, mensais e anuais e pode ser aplicado em bacias que variam de algumas centenas a vários milhares de quilômetros quadrados.

No SWAT, a bacia hidrográfica é dividida em sub-bacias que correspondem aos segmentos dos rios. A Unidade de Resposta Hidrológica (URHs) é a unidade básica de cálculo e análise, pois representa o resultado da combinação de um tipo de solo, um tipo de uso da terra, uma classe de

inclinação e uma sub-bacia associada a uma estação meteorológica.

Ao modelar o ciclo hidrológico, o SWAT calcula o crescimento das plantas em relação a fatores climáticos e solo, que determina a evapotranspiração (ET). O desenvolvimento de plantas é baseado no modelo EPIC (*Erosion-Productivity Impact Calculator*) (Williams et al., 1990).

O perfil do solo é dividido em várias camadas. O movimento da água no solo inclui vários processos: escoamento da superfície (SURFQ), infiltração, evaporação, absorção de plantas, fluxo lateral e percolação para camadas mais profundas. O modelo também calcula o fluxo de água usando processos de roteamento através da rede de canais da bacia hidrográfica para a saída (Neitsch et al., 2011; Arnold et al., 1998). O banco de dados do solo contém elementos medidos, como textura, profundidade e propriedades hidrológicas, incluindo condutividade hidráulica, porosidade e teor de água disponível. As práticas agrícolas descrevem datas para semeadura, colheita, pastagem, diferentes tipos de insumos de nutrientes, preparação do solo, gerenciamento de resíduos e rotações.

Entrada de dados no modelo

Os principais dados de entrada usados na bacia hidrográfica são os tipos de solo, uso da terra e inclinação das vertentes, apresentados na Figura 2 de maneira espacializada. Como requisitos básicos do modelo, dados climáticos também são necessários (temperatura e precipitação diária, umidade relativa, radiação solar e vento), que são

fornecidas no Quadro 1 com suas fontes e descrições. Esses dados de entrada do modelo vêm de produtos de sensoriamento remoto, de estações pluviométricas e agências brasileiras oficiais.

Foram utilizados dois períodos de uso da terra, 2010 e 2019, pois representam variação no

uso e ocupação da terra na bacia e porque possuem os dados necessários disponíveis para inclusão no modelo.

Quadro 1. Informações sobre os dados de entrada do modelo

Dados de entrada	Fonte	Descrição
Modelo Digital de Elevação	Topografia do radar de transporte Missão SRTM (NASA, 2000)	SRTM 1 Arc-Sec para cobertura global – resolução de 30m
Precipitação e temperatura	Estações pluviométricas automáticas da Agência Nacional das Águas (ANA, 2021)	Série histórica diária da Agência Nacional das Águas, série temporal 1999 a 2010
Vento, Umidade relativa e radiação solar	Dados de reanálise em grade regular de 30x30km. Climate Forecast System Reanalysis (NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF, 2017)	Série histórica diária da série temporal 1999 a 2010
Uso da terra	Mapas de uso da Terra dos anos de 2010 e 2019 obtidos do Projeto MAPBIOMAS. (Souza et al, 2020)	Coleção de mapas de uso da terra para o Bioma Pampa brasileiro, que realiza o mapeamento do uso da terra anual através de imagens do Landsat.
Solos	Mapa e perfil dos Solos disponível no projeto PRONASOLOS. (IBGE, 2002; Polidoro et al, 2006)	Mapa de solos em escala 1:250.000 e perfis de descrição dos Solos

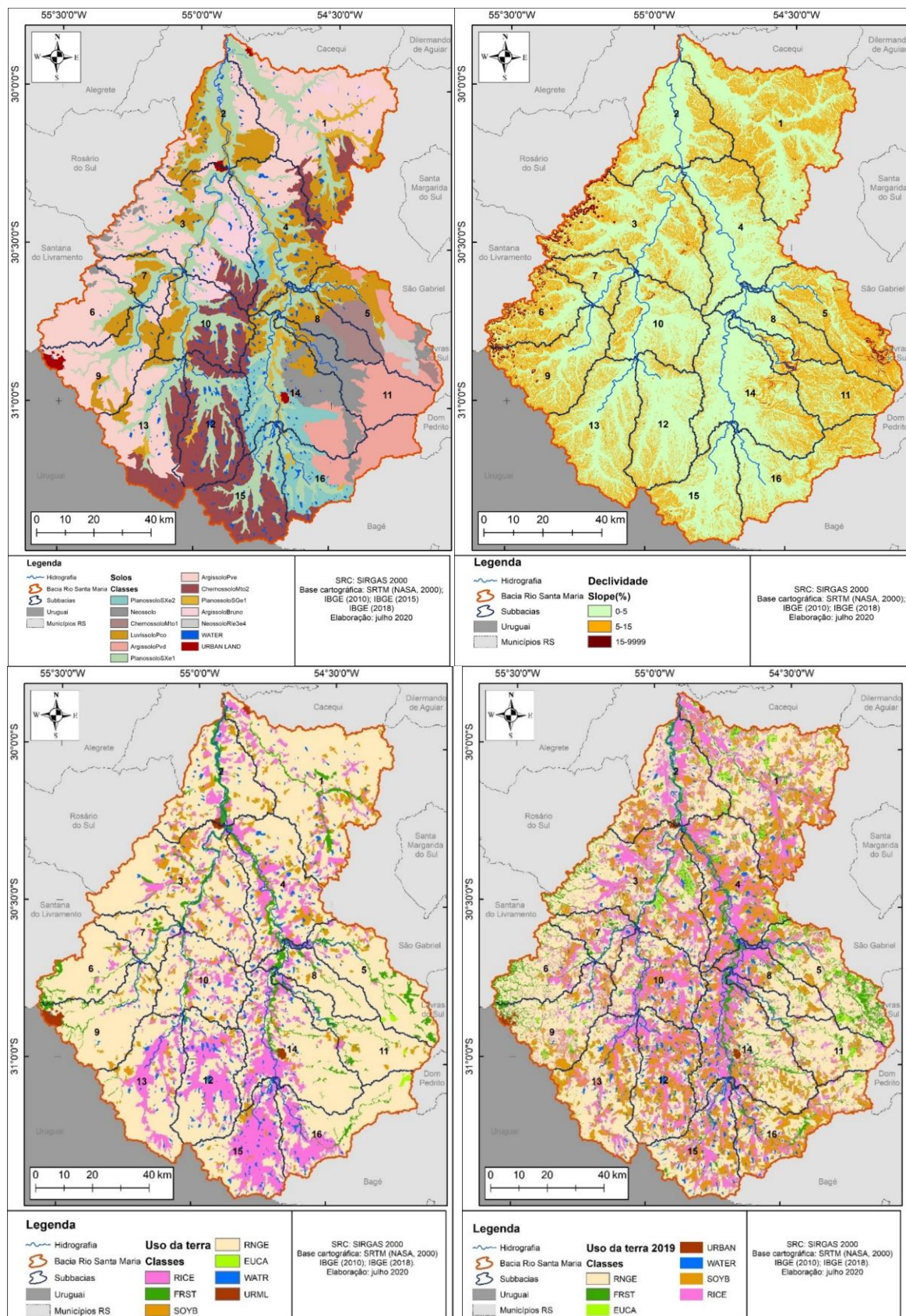


Figura 2. Mapas das bases de dados de entrada do modelo SWAT (RICE: arroz; FRST: Floresta; SOYB: Soja; RUGE: Campo; EUCA: Eucalipto; WATR: Água; URML: Área Urbana).

Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados pelo modelo SWAT exigem uma série temporal diária, que apresenta pelo menos informações sobre temperaturas mínimas e máximas diárias, bem como precipitação diária. A SWAT incorporou três métodos para calcular a potencial evapotranspiração: o método de Penman-Monteith (Monteith, 1965; Allen, 1986; Allen et al., 1989), o método Priestley-Taylor (Priestley & Taylor, 1972) e o método de Hargreaves (Hargreaves et al., 1985). Neste trabalho, o método Penman-Monteith foi utilizado e os dados de temperatura e precipitação diária das séries temporais de 1999 a 2010 foram obtidos de 12 estações pluviométricas na bacia hidrográfica que são monitoradas pela Agência Nacional de Águas. Como a umidade relativa, a radiação solar e os dados de velocidade

do vento não estão disponíveis nas estações pluviométricas, foram utilizados dados de reanálise da *Climate Forecast System Reanalysis* (NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF, 2017).

Uso da terra

Os dados de uso da terra foram compilados a partir do projeto Mapbiomas v5.0, definido por Souza et al., (2020). A resolução espacial é de 30 metros. As unidades iniciais foram reclassificadas para formar as seguintes unidades: floresta, eucalipto, pastagem, arroz, soja, área urbana e água. O cenário de comparação é o uso da terra no ano de 2010 com o ano de 2019 para avaliar os impactos na mudança do fluxo de água (vazão) na bacia hidrográfica (Tabela 1).

Tabela 1. Uso da terra em porcentagens de área na bacia hidrográfica do rio Santa Maria

Ano	Floresta	Eucalipto	Arroz	Campo	Soja	Água	Urbano
2010	3,98	0,13	14,79	72,18	4,91	3,60	0,41
2019	6,82	1,19	20,78	49,83	17,38	3,60	0,41

Parâmetros relacionados às características físicas e fisiológicas dos tipos de uso da terra (culturas) são necessárias para modelar a interação entre vegetação e água, especialmente para o processo de evapotranspiração. O modelo SWAT possui um banco de dados com valores de parâmetros para cada tipo de uso da terra (tipos de culturas), mas os valores dos parâmetros introduzidos no SWAT foram desenvolvidos para os Estados Unidos e, portanto, os ajustes desses parâmetros podem ser necessários para áreas com clima subtropical (Wagner et al., 2011; Alemayehu et al., 2017).

Os parâmetros das práticas agrícolas, como os períodos predominantes de plantio e colheita de culturas de arroz e soja, as culturas predominantes nos períodos entre as colheitas (pastagens no caso de arroz e aveia no caso da soja), rendimento e biomassa da floresta, plantação de árvores (eucalipto), arroz e soja, bem como as pastagens nativas do bioma de Pampa, foram definidas com base no trabalho de Cunha et al. (2001), Pillar et al. (2009), Rodrigues (2015), Fauconnier (2017), Dieguez Camerón & Fort (2017), bem como em informações técnicas e boletins institucionais de Gomes et al. (2006), Scivittaro & Gomes (2007), IBGE (2019) e Valente et al. (2020).

Solos

Os dados do tipo de solos foram obtidos de IBGE (2002) e do Programa Nacional de Solo do Brasil (Polidoro et al., 2006), com mapeamento de solo em escala 1: 250.000 e descrições de perfis de campo com a caracterização das propriedades desses solos. Os tipos de solos e suas características, foram inseridas no banco de dados do SWAT para as modelagens definidas na bacia hidrográfica.

Os seguintes solos são encontrados na bacia hidrográfica do rio Santa Maria: Planossolos, Argissolos, Luvisolos, Chernossolos, Neossolos. Os Planossolos ocorrem nas planícies de inundação dos cursos de água principais e são representados por Planossolos Sxe2, Planossolos Sxe1 e Planossolos Sge1. Na classificação americana, eles corresponderiam a Alfisols em associação com Ultisol e Vertisol. Os Argissolos na bacia hidrográfica são classificados em três tipos: os Argissolos vermelhos distróficos que ocorre na porção oeste e sul da bacia hidrográfica, os Argissolos vermelhos eutróficos na porção nordeste, e o Argissolos bruno em uma pequena área na parte sul da bacia hidrográfica. Esses solos estão associados de acordo com a classificação americana de Ultisols e Inceptisols (Santos et al., 2018b).

O Luvisolos Tco ocorre associado a Argissolos, na base das vertentes. De acordo com a

classificação americana, estariam associados aos Alfisóis. Esses solos têm cerca de 1 m de espessura e moderadamente drenados. Os Chernossolos são classificados em dois tipos: Chernossolos Mto1 são solos médios profundos que são moderadamente drenados, e Chernossolos Mto2 são solos médios profundos e imperfeitamente drenados. Eles correspondem de acordo com a classificação americana a Mollisols. Os Neossolos ocorrem na região nordeste da bacia hidrográfica em substratos de rochas do embasamento e em uma faixa no extremo oeste associada as rochas vulcânicas e são classificados em dois tipos de solo: Neossolos distróficos e Neossolos Regolitos eutróficos, que, de acordo com a classificação americana estão associados aos Entisols (Santos et al., 2018b).

Topografia

Os dados topográficos originalmente do Modelo Digital de Elevação, foram obtidos do SRTM30 (Shuttle Radar Topography Mission com resolução de 1 arc-sec, aproximadamente 30 metros). Este MDE foi consistido hidrologicamente para eliminar sumidouros e construir os canais de fluxo e a delimitação das bacias e sub-bacias através das aplicações do SWAT.

Medição de vazão

Os dados de vazão utilizados para calibração e validação do modelo vêm da Agência Nacional de Água Brasileira (ANA, 2021), usando a estação fluviométrica 76310000 - Rosário do Sul, que possui dados disponíveis para o período definido na análise. Analisando a série histórica de dados registrados na estação fluviométrica de 1/6/1967 a 1/05/2017, a vazão média é de 222,12 m³.s⁻¹ correspondente a 580 mm.ano⁻¹.

Calibração e Validação

A calibração do modelo foi baseada na otimização dos parâmetros do banco de dados do modelo. Inicialmente foram estabelecidos os parâmetros da calibração agrônômica, onde foram definidos período de plantio e colheitas dos cultivos, como arroz, soja, a composição dos cultivos, no caso do Arroz utilizou-se o cultivo de pastos no período entre safras e no caso da soja utilizou-se a aveia. Também foram definidos os sistemas de adubação química no caso dos cultivos

de soja e arroz e da adubação com esterco no caso dos campos. Foram definidos ainda os parâmetros de irrigação para o cultivo de arroz.

As práticas agrícolas (plantio, fertilização, irrigação) usadas na bacia hidrográfica foram definidas pela revisão da literatura: Cunha et al. (2021), Fauconnier (2017), Dieguez Cameroni & Fort (2017), Gomes et al. (2006), Scivittaro & Gomes (2007), IBGE (2019), Valente et al. (2020). Os campos, associado a pastagens nativas do bioma de Pampa, floresta, eucalipto e áreas urbanas foram ajustadas de acordo com dados da literatura de obras regionais como Pillar et al. (2009), Rodrigues (2015), Fauconnier (2017) e IBGE (2019).

Parâmetros de calibração

Na calibração do modelo, os parâmetros utilizados foram os detectados como os mais sensíveis em vários estudos com a SWAT no Brasil Lino et al. (2009); Garbossa et al. (2011); Durães (2010); Rocha et al. (2012); Bonumá (2011); Lelis et al. (2012); Andrade et al. (2013); Malutta, (2012) Strauch et al. (2012); Ferrigo et al. (2013); Ferrigo (2014); Salles (2012); Castro (2013); Blainski, et al., (2017); Franco, Oliveira e Bonumá (2017); Santos, et al. (2018c); Ali, Zomorodian e Dowlatabadi, (2019); Martins et al. (2020). Estes parâmetros são referentes ao solo, a dinâmica das águas subterrâneas, a rugosidade dos canais e o processo de fluxo (Quadro 2).

Os primeiros 5 anos foram usados para aquecimento do modelo. A calibração da vazão foi realizada com base nos dados do fluxo da estação 76310000 - Rosário do Sul, usando o período de 2004 a 2008. A validação foi realizada usando dados da mesma estação fluviométrica, mas para os anos de 2009 e 2010. Os critérios para a calibração e a validação foi o coeficiente de Nash e a correlação de fluxo. A rotina de análise de incerteza do SUFI-2 implementada na SWAT-CUP (Abbaspour, 2015) foi usada para análise de sensibilidade, calibração e análise de incerteza.

No Sufi-2, a incerteza dos parâmetros, expressa como intervalos (distribuições uniformes), explica todas as fontes de incerteza, como incerteza na precipitação, parâmetros conceituais do modelo e dados medidos. A propagação de incertezas nos parâmetros leva a incertezas nas variáveis de saída do modelo, que são expressas como distribuições de probabilidade de 95% (Abbaspour, 2015).

Quadro 2. Valores dos parâmetros calibrados no SWAT e P-value da análise de sensibilidade

Parâmetro	Descrição	Valor Calibrado	P-value
RCHRG_DP	Fração de percolação do aquífero profundo. A fração de percolação da zona da raiz que recarrega o aquífero profundo	0,1	0,54
CH_K2	Condutividade hidráulica efetiva no canal principal de aluvião (mm.hr ⁻¹)	43,49	0,22
CH_W2	Largura média dos canais principais da bacia (m)	40	<0,05
GW_REVAP	Coeficiente de "re-evaporação" da água subterrânea. Esta variável controla a quantidade de água que se moverá do aquífero raso para a zona das raízes como resultado do esgotamento da umidade do solo e a quantidade de captação direta de água de árvores com raízes profundas.	0,1	<0,05
SURLAG	Coeficiente de retardo de escoamento superficial - Este parâmetro é necessário nas sub -águas, onde o tempo de concentração é superior a 1 dia	4	0,77
EPCO	Fator de compensação de captação da planta. Este fator ajusta a distribuição de profundidade para a absorção de água do solo pela planta para explicar a variação na densidade da raiz com a profundidade	1	0,83
CH_N2	Rugosidade dos canais	0,05	0,89
REVAPMN	Limite de profundidade da água no aquífero raso para que ocorra "re-evaporação" ou percolação para o aquífero profundo (mm H ₂ O). (mm H ₂ O)	265	0,82
GW_DELAY	Atraso de água subterrânea (dias). O tempo necessário para que a água que sai do fundo da zona radicular alcance o aquífero raso	7	<0,05
GWQMIN	Limite de profundidade da água no aquífero raso necessária para que ocorra o fluxo de retorno (mm H ₂ O)	1255	<0,05
ESCO	Fator de compensação da evaporação do solo. Este fator ajusta a distribuição de profundidade para evaporação do solo para contabilizar o efeito da ação capilar, crostas e fissuras	0,95	0,63
CANMX	Armazenamento máximo do dossel (mm H ₂ O)	70	<0,05
CH_N1	Rugosidade dos canais tributários	0,1	0,37
CH_K1	Condutividade hidráulica efetiva no aluvião do canal tributário (mm.hr ⁻¹)	0,5	<0,05
CH_W1	Largura média dos canais tributários da bacia (m)	30	<0,05
CN2	Curva número do escoamento inicial para condição de umidade II.	78,09	<0,05
ALPHA_BF	Fator alfa de fluxo de base (dias). O fator alfa do fluxo de base, ou constante de recessão, caracteriza a curva de recessão do lençol freático.	0,75	<0,05

A calibração do modelo utilizou como referência à estação fluviométrica de Rosário do Sul, para o período de 2004-2008, que resultou em um coeficiente de Nash de 0,66 e uma correlação de fluxo de 0,82. No período de validação (2009 a 2010), o coeficiente de Nash foi de 0,85, enquanto a correlação diária de fluxo foi de 0,92, o que demonstra que o fluxo simulado pelo SWAT através dos parâmetros ajustados pode reproduzir os fluxos observados na estação de referência. Nash > 0,6 (Santhi et al., 2001; Bonumá et al., 2013) foi adotado como padrões para simulações "aceitáveis"; No entanto, de acordo com Moriasi et al., 2007, quando a bacia hidrográfica é analisada com modelagem hidrológica em escala diária, as

classificações podem ser menos rígidas do que em intervalos de tempo mais longos. Avaliar o desempenho do modelo em escala diária, Nash & Sutcliffe (1970); Green & Vangriensven (2008), considera um Nash > 0,4 como "satisfatório".

A melhor qualidade da simulação durante os anos 2009-2010 do que durante os anos 2004-2008 pode ser explicada por uma melhor adequação do modelo à hidrologia real da bacia hidrográfica durante os anos normais: a média anual do fluxo observado em 2009-2010 está próximo da descarga média observada de 1967 a 2017, contrastando a descarga média observada de 2004 a 2008 que corresponde a anos secos, com apenas 56% da descarga média de 1967 a 2017.

Modelando o impacto da mudança de uso da terra entre 2010 e 2019

Ao considerar a mesma série meteorológica, o impacto da mudança de uso da terra na bacia hidrográfica foi simulado alterando o uso da terra de 2010 pelo uso da terra de 2019. O uso da terra de 2010 e 2019 é fornecido pelo banco de dados Mapbiomas (Souza et al., 2020). O cenário de 2019 representa uma mudança no uso da terra, refletindo significativamente a evolução do bioma do Pampa. Esse cenário foi realizado usando dados meteorológicos idênticos (série histórica de

12 anos) da fase de aquecimento, calibração e avaliação do modelo, para que os dados sobre a variação de fluxo (Q) e outras variáveis do balanço hídrico fossem associados exclusivamente às transformações do uso da terra e seu relacionamento com os tipos de solo e a inclinação da bacia hidrográfica.

Através do conjunto de parâmetros com o melhor valor de calibração, o fluxo simulado pelo modelo (Q Sim) foi analisado e comparado com os dados reais de fluxo observados na estação fluviométrica presente na bacia hidrográfica (Q Obs). Os dados são fornecidos na Figura 3.

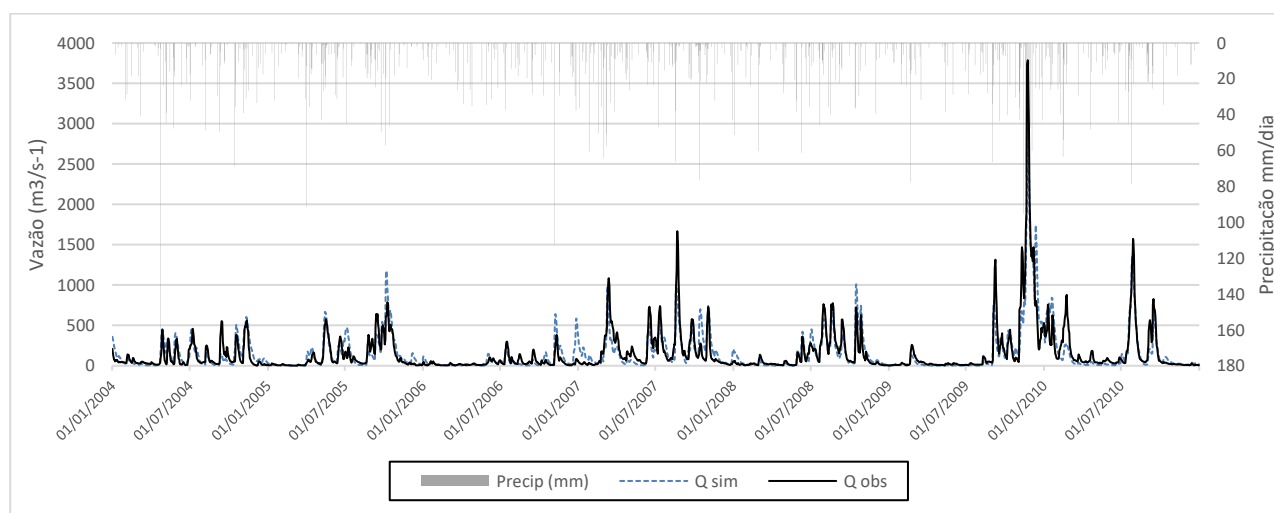


Figura 3. Fluxo simulado e observado na estação fluviométrica de Rosário do Sul. Fonte: os autores

Resultados

O balanço da água é analisado com base nos valores médios anuais de evapotranspiração real (ET), percolação (PERC) e escoamento superficial (SURQ). Os principais tipos de uso da terra estavam relacionados ao tipo de solo e a resposta do fluxo (vazão) no rio Santa Maria.

Balanço hídrico na unidade de resposta hidrológica

Os componentes do balanço hídrico analisados para o uso principal da terra são apresentados na Figura 4.

As informações mostram que a evapotranspiração anual (ET) é mais alta na plantação de árvores de eucalipto, seguida por culturas de arroz e pastagens, e a menor evapotranspiração ocorre em culturas de soja, representando cerca de 9% menos que o eucalipto e 5% menos que o campo, que é o uso predominante na bacia hidrográfica. As áreas com a ET mais alta estão associadas à margem esquerda do rio Santa Maria, principalmente no sub-bacia de Ibicuí da Armada. Nesta área, há o relevo da Serra

do Caverá composta por morros e morrotes, que têm preservação de florestas nativas.

A mudança de cenário incorpora a área da sub-bacia do rio Cacequi, no Sul, como uma área de ET significativa. Nesta área, os extensos processos de erosão levaram à substituição de campos e culturas por florestas plantadas. Para percolação (PERC), os valores mais altos estão relacionados a solos/rochas arenosas que predominam no sul e oeste, na sub-bacia do Ibicuí da Armada, sub-bacias de Saicã e Cacequi. Os valores mais baixos ocorrem em solos/rochas argilosos presentes nos sub-bacias do centro-norte, nas sub-bacias de Vacaíqua, Upacaraí e Ponche Verde.

A mudança de cenário com a expansão das culturas em relação aos campos aumenta a infiltração nas sub-bacias dos rios Taquarembó e Jaguarí. Essas sub-bacias estão localizadas no NE da bacia e drenam rochas cristalinas do embasamento, com solos rasos. As saídas no escoamento (SURQ) mostram que as culturas de soja apresentam os valores mais altos, seguidos

pelo cultivo de arroz, enquanto os valores mais baixos estão associados ao cultivo de eucalipto e áreas florestais.

Observa-se que a mudança no cenário registra um aumento no escoamento da superfície,

principalmente na área a montante da bacia, onde houve uma substituição significativa de culturas de arroz por culturas de soja.

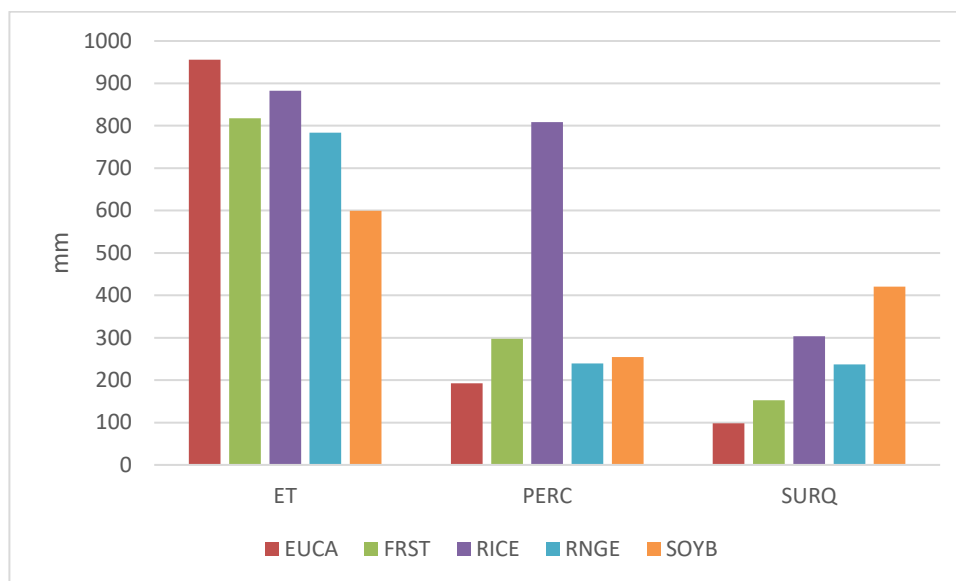


Figura 4. Componentes anuais médios do balanço hídrico das unidades hidrológicas na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria. Fonte: os autores

Resposta hidrológica devido à mudança de cenário em diferentes tipos de solos

Os principais tipos de uso da terra e as porcentagens correspondentes que eles ocupam em relação à área total da bacia hidrográfica e em relação ao tipo de solo para o ano de 2010 e 2019 são mostrados na Figura 5. Valores positivos indicam a porcentagem de que uma determinada terra de uso aumentou em relação à área total da bacia hidrográfica para um determinado tipo de solo, e valores negativos significam que houve uma diminuição na área.

A maior diferença na mudança de uso da terra está na pastagem que diminuiu 22,35% na bacia hidrográfica. O campo perdeu a área em todos os tipos de solo, mas principalmente no Argissolos Pve (5,68%), Planossolos Sxe1 (4,33%), Luvisso Tco (3,98%) e Chernossolo

Mto2 (2,57%).

A soja aumentou 12,46% em toda a bacia hidrográfica em todos os tipos de solo, mas principalmente em Chernossolo Mto2 (2,65%), Planossolo Sxe1 (2,62%), Argissolo Pve (2,31%) e Luvisso Tco (1,86%). O arroz teve um aumento total de 5,99%, principalmente relacionado ao Argissolos Pve (2,07%), Planossolo Sxe1 (1,64%), Luvisso Tco (1,55%). No entanto, o arroz diminuiu na área em dois tipos de solo, Chernossolo Mto2 (-0,33%) e Planossolo Sxe2 (-0,44%). A área de florestas nativas aumentou 2,84% em pequenas proporções em todos os solos, exceto Planossolo Sxe1, que diminuiu 0,01%. Finalmente, as áreas de eucalipto aumentaram 1,06% na bacia hidrográfica, por preferência em Chernossolo Mto2, Planossolo Sxe1, Argissolo Pve e Luvisso Tco.

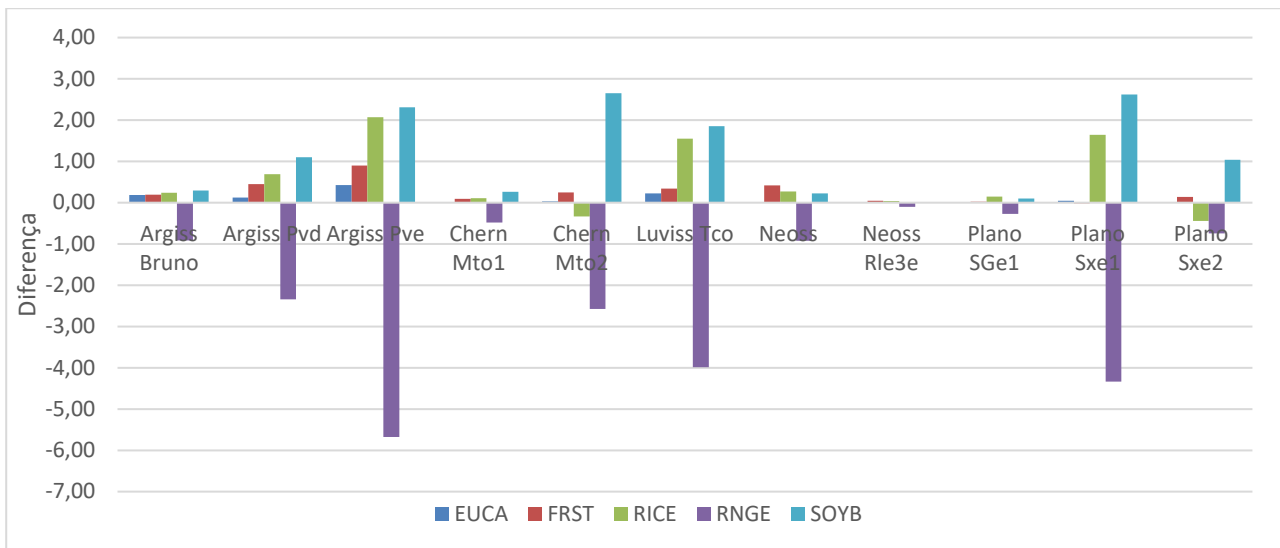


Figura 5. Diferenças no uso da terra entre 2010 e 2019 em relação ao tipo de solo. Fonte: os autores

A consequência da mudança de uso da terra é um aumento do fluxo acumulado da bacia hidrográfica. O fluxo acumulado teve um aumento

absoluto de 19,29% (Figura 6) e o fluxo médio anual aumenta em 17,7%.

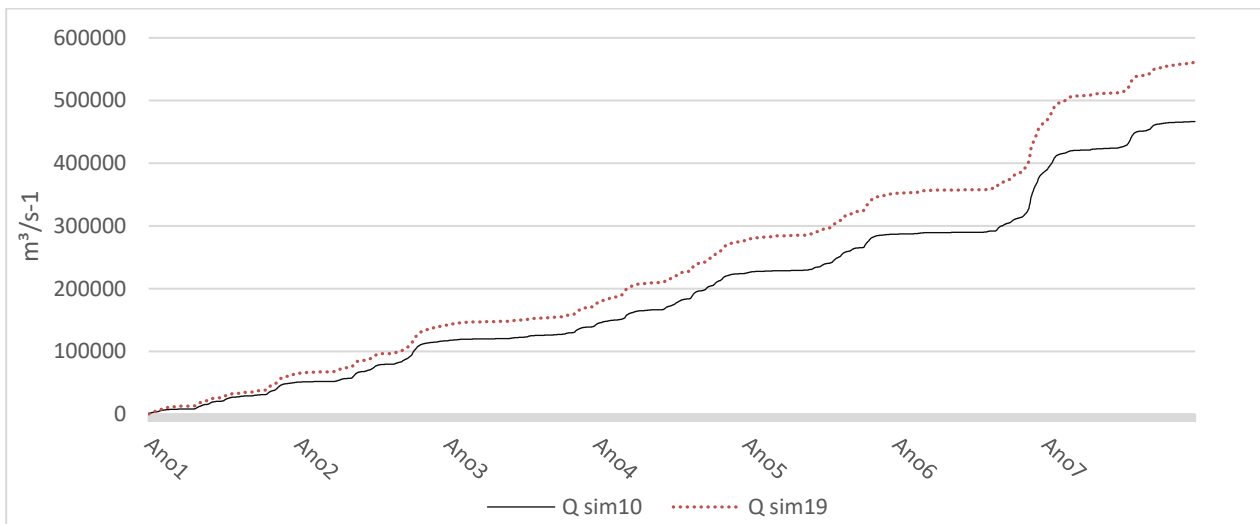


Figura 6. Fluxo simulado e acumulado para o uso da terra de 2010 (Q Sim10) e uso da terra de 2019 (Q Sim19). Fonte: os autores

Considerando uma série temporal de sete anos de análise, 289 picos de fluxo diário estavam acima de 500 m³.s-1 para o uso da terra de 2019 contra 249 para o uso da terra de 2010 (para um fluxo médio anual de 182,5 m³.s-1 com o uso da terra de 2010, e de 219,4 m³.s-1 com o uso da terra

de 2019). A diferença máxima de pico do modelo de cenário de 2019 foi de 653 m³.s-1 mais alto (Q sim10 = 3.709 m³.s-1 e Q Sim19 = 4.362 m³.s-1), representando um aumento de 17,6% do fluxo (figura 7).

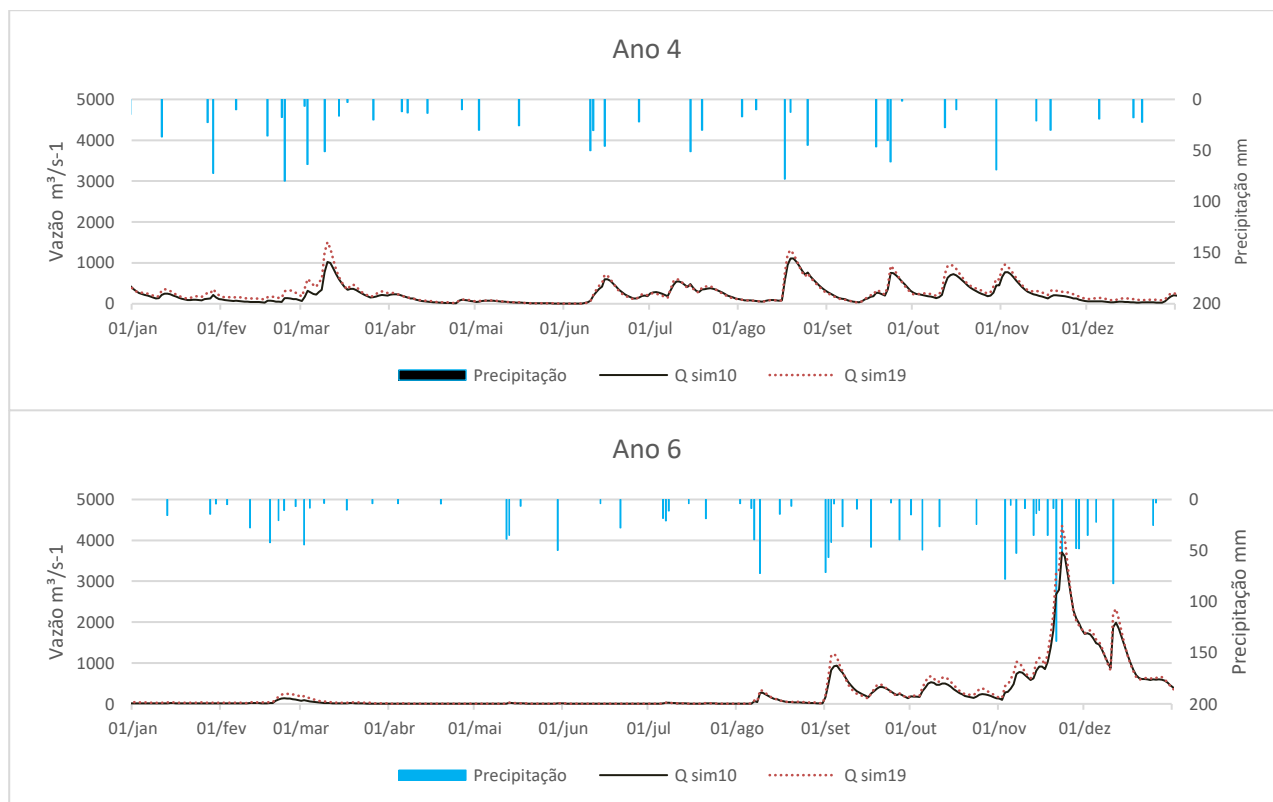


Figura 7. Comparação da taxa de fluxo diário do uso da terra de 2010 e do uso da terra de 2019 para o quarto e o sexto ano de modelagem. Fonte: os autores

Em vista da expansão da soja em relação aos tipos de solo, as maiores áreas estavam no Chernossolos Mto2, seguido por Planossolos Sxe1 e Argissolos Pvd. Ao analisar o balanço hídrico desses solos quando a conversão de pastagem para a soja, há uma queda significativa na

evapotranspiração e na percolação, enquanto o escoamento aumenta em grande parte. O Chernossolos Mto2 e o Planossolos Sxe1 são particularmente sensíveis ao aumento do escoamento gerado por essa mudança de uso da terra (Figura 8).

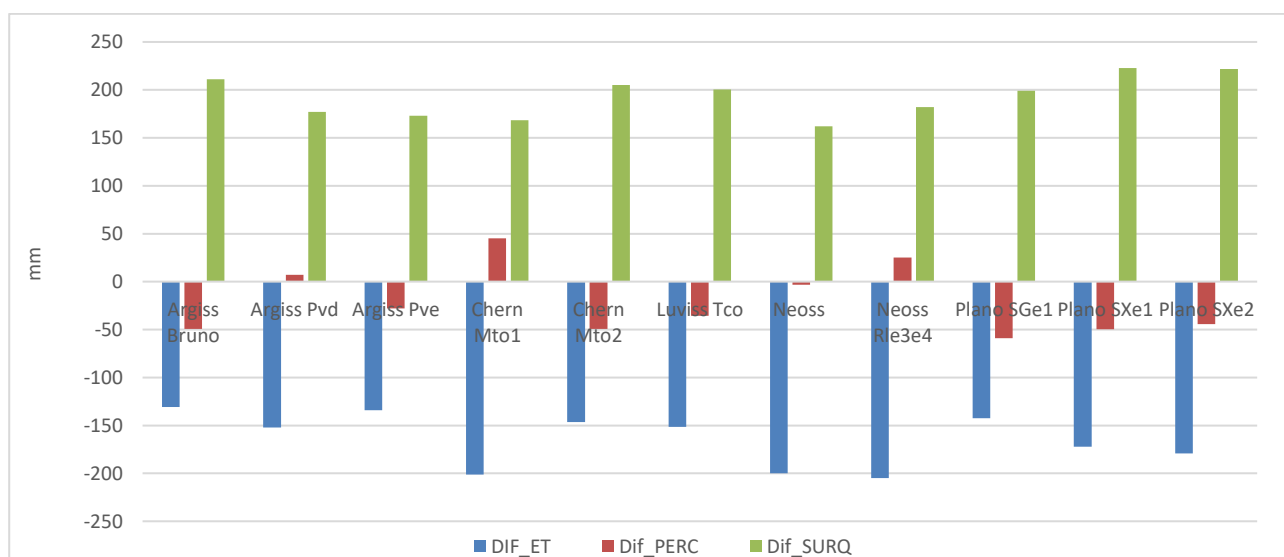


Figura 8. Diferença no balanço hídrico entre as pastagens e a soja. Fonte: os autores

Discussão

O SWAT permitiu a análise da relação espacial entre o solo e a cobertura da planta que compõem as unidades de resposta hidrológica (URH). No caso da bacia hidrográfica do rio Santa Maria, a evolução da URH entre 2010 e 2019 indicou uma mudança heterogênea no uso da terra em relação aos tipos de solo. A expansão das culturas de soja determina os componentes do balanço da água de uma maneira diferente em cada tipo de solo. Os solos mais sensíveis ao escoamento da superfície aumentam os escoamentos pela conversão da pastagem em soja, e foram os mais afetados por essa mudança de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Santa Maria.

Analizados com a mesma série temporal de dados meteorológicos, os resultados permitem a consideração das contribuições específicas que as mudanças na terra e sua expansão ou redução têm em diferentes tipos de solo, produzindo mudanças importantes na dinâmica da água disponível na bacia hidrográfica, relacionada ao fluxo e disponibilidade de água.

Para o impacto da mudança de uso da terra e os componentes do balanço da água, estudos anteriores relatam que a transformação da vegetação nativa em culturas leva a um maior escoamento superficial (Huisman, et al., 2004; Ghaffari et al., 2010; Nie et al., 2011; Fang et al., 2013; Kemerich et al., 2014; Spera et al., 2016; Modernel et al., 2016; Da Cunha, 2021; Trentin et al., 2023). Da mesma forma, os resultados na bacia hidrográfica do rio Santa Maria mostram um aumento no escoamento superficial relacionado às culturas de soja e arroz, mas durante o inverno, o fluxo diminui com a expansão de culturas associadas à pastagem estabelecida no período entre a colheita de arroz.

O processo de transformar pastagens em outras formas de uso da terra, principalmente as culturas de soja, seguidas por culturas de arroz e plantações de eucalipto, altera significativamente a dinâmica da água da bacia hidrográfica, alterando a cobertura vegetal que altera os componentes do equilíbrio da água, ou pelo manejo de culturas que afetam as mudanças na resposta dos solos aos processos de escoamento superficial, percolação e armazenamento de água (Martínez & Zink, 2004; Valente et al., 2015; Zimmermann et al., 2006, Brito et al., 2020; Robaina et al., 2021; Jorge et al., 2023).

O aumento dos picos de vazão também foi encontrado em estudos sobre mudanças de reposição em outros usos da terra (D'Almeida et al.

(2007), Bruijnzeel (2004), Brown et al. (2005), Rodrigues et al. (2009), Santos et al. (2018a), Palamuleni et al. (2011) e Hernandez et al. (2018), Ebling, et al., 2021. Os picos de vazão mais acentuados são resultados muito expressivos para a bacia hidrográfica do Rio Santa Maria. A análise elucidou que a mudança de uso da terra, que converte campos de pastagens nativos (pastagens) em culturas de grãos, como soja, arroz ou florestas plantadas, no bioma de Pampa são muito incipientes e devem ser relatadas, pois têm impactos significativos no ambiente.

À medida que os picos de vazão se tornam mais acentuados, as áreas inundadas serão maiores. Schilling et al. (2013) e Blainski et al. (2017) em seu trabalho corroboram a essas avaliações. Na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, as áreas urbanas de Rosário do Sul e Dom Pedrito estão localizadas nas margens do Rio Santa Maria e, nas duas cidades, áreas de risco de inundação que afetam a população local são registradas (Silva, 2012; CPRM, 2014). Também associados às inundações, as perdas de produção podem ser destacadas, especialmente o arroz que ocupa as partes inferiores das planícies.

A análise do balanço hídrico dos cultivos apresentada na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria, apontou que as mudanças no escoamento superficial e na vazão de cursos de água são heterogêneas em relação ao tipo de solo. Essa relação foi observada em vários trabalhos, como o caso de Bosch e Hewlett (1982), Scottá e Fonseca (2015), Reichert et al. (2017), Rubert et al. (2018). Na bacia hidrográfica do rio Santa Maria, a expansão da soja ocorreu principalmente em solos mais sensíveis ao escoamento da superfície, processo que não foi evidenciado no bioma de Pampa até agora. Esses dados despertam grande atenção às transformações no cenário atual da mudança de uso da terra na bacia hidrográfica de Santa Maria, principalmente como se observou que as maiores áreas de expansão da colheita de soja ocorrem em solos que são mais vulneráveis ao escoamento.

As práticas agrícolas utilizadas no modelo foram baseadas em estudos técnicos da região, de acordo com as informações fornecidas pelas agências governamentais Gomes et al. (2006); Scivittaro & Gomes (2007); Pillar et al. (2009); Rodrigues (2015); Fauconnier (2017); Dieguez Cameroni & Fort (2017); IBGE (2019); Valente et al. (2020); Cunha et al. (2021). Os resultados apresentados aqui devem ser entendidos em seu contexto de aplicação, pois diferentes cenários

podem ser encontrados resultantes das diferentes práticas agrícolas desenvolvidas (TRÉVISAN et al., 1994; Hively et al., 2011; Zhang et al., 2020; Boufala et al., 2021).

Conclusão

Os resultados deste trabalho mostraram uma aplicação do modelo SWAT para avaliar o fluxo de água superficial relacionado ao solo, planta, topografia e interações climáticas em uma bacia hidrográfica do Bioma Pampa. A aplicação do modelo SWAT permitiu simular os impactos da mudança de uso da terra sob expansão de áreas de cultivos de grãos no equilíbrio hidrológico, fluxo médio de água e pico de vazão.

A análise dos resultados mostrou que a mudança de uso da terra experimentada tem impactos heterogênicos em relação às características do solo. Os resultados sugeriram que a substituição das áreas de pastagens nativas por culturas anuais altera o regime de fluxo do rio, aumentando os picos de fluxo e, consequentemente, o risco de inundação. Novos cenários devem ser avaliados com base nas condições impostas pela legislação e considerando as mudanças climáticas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES), Programa Institucional de Internacionalização – CAPES – PrInt

Referências

- Abbaspour, K., 2015. SWAT-CUP: SWAT Calibration and Uncertainty Programs—A User Manual; Eawag: Duebendorf, Switzerland, p. 103.
- Alemayehu, T.; Van Griensven, A.; Woldegiorgis, B.T.; Bauwens, W., 2017. An improved SWAT vegetation growth module and its evaluation for four tropical ecosystems. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21, 4449–4467. Doi: <https://doi.org/10.5194/hess-21-4449-2017>
- Ali Zomorodian, S. M. e Dowlatabadi, S., 2019. Modeling of river discharge in the Firoozabad watershed using soil and water assessment tool model. *International Journal of Energy and Water Resources* [Online] 3. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s42108-018-0007-y>
- Allen, R.G., 1986. A Penman for all seasons. *J. Irrig. and Drain Engng., ASCE*, 112(4): 348-368. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(1986)112:4(348).
- Allen, R.G.; Jensen, M.E.; Wright, J.L.; Burman, R.D., 1989. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agron. J.* 81:650-662. Doi: 10.2134/agronj1989.00021962008100040019x
- Allen, V. G., Batello, C., Berreta, E. J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., Mcivor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A., & Sanderson, M., 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*, 66, 2–28. Doi: 10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728.
- ANA – Agência Nacional das Águas., 2021. *HidroWeb – Séries históricas*. Brasil: ANA. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Accessed in February 2021.
- Andrade, B.; Koch, C.; Boldrini, I. I.; Velez-Martin, E.; Hasenack, H.; Hermann, J. M. Kollmann, J. Pillard, V. D., Ouerbecka, G. E., 2015. Grassland degradation and restoration: a conceptual framework of stages and thresholds illustrated by southern Brazilian grasslands. *Natureza & Conservação*, 13. 95-104. Doi: 10.1016/j.ncon.2015.08.002.
- Andrade, M. A.; Mello, C. R.; Beskow, S., 2013. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [Online] 17. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100010>.
- Arnold, J.G.; Srinivasan, R.; Muttiah, R.S.; Williams, J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assesment Part I: Model development. *JAWRA*, 34 (1), 73–89. Doi: 10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x
- Arreghini, S.; Cabo, L.; Seoane, R.; Tomazin, N.; Serafini, R.; Iorio, A.F., 2005. Influence of rainfall on the discharge, nutrient concentrations and loads of a stream of the "Pampa Ondulada" (Buenos Aires, Argentina) *Limnetica*, 24(3-4), pp. 225-236.
- Baumhardt E., 2014. *Hidrologia de bacia de cabeceira com eucaliptocultura e campo nativo na região da campanha gaúcha*. Doctoral thesis, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brazil.
- Behling, H., 2002. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a

- synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 177, pp. 19-27. Doi: 10.1016/S0031-0182(01)00349-2
- Blainski, E.; Acosta, E.; Nogueira, P. C. P., 2017. Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science [Online]* 12. DOI: <http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v12n2/1980-993X-ambiagua-12-02-00226.pdf>
- Blainski, É.; Porras, E. A. A.; Garbossa, L. H. P.; Pinheiro, A. 2017. Simulation of land use scenarios in the Camboriú River Basin using the SWAT model. **RBRH**, 22(0). doi:10.1590/2318-0331.011716110.
- Boldrini, I.I., 2009. A flora dos Campos do Rio Grande do Sul. In: Pillar, V.D., Muller, S.C., Castilhos, Z.M.S., Jacques, A.V.A. (Eds.), *Campos Sulinos*. Brasília: MMA, pp. 63- 77. ISBN 978-85-7738-117-3.
- Bonumá, N. B., 2011. Modelagem do escoamento, da produção de sedimentos e da transferência de fósforo em bacia rural no sul do Brasil. *Tese de doutorado* (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. 136p
- Bonumá, N.B.; Rossi, C.G.; Arnold, J. G., 2013. Hydrology Evaluation of the Soil and Water Assessment Tool Considering Measurement Uncertainty for a Small Watershed in Southern Brazil. *Applied Engineering in Agriculture*, 29(2), 189–200. doi:10.13031/2013.42651
- Bosch, J.M.; Hewlett, J.D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. Hydrol.* 55, 3–23. Doi: 10.1016/0022-1694(82)90117-2.
- Boufala, M.H.; Hmadi, A.; Essahlaoui, A.; Chadli, K.; Ouali, A.; Lahjouj, A., 2021. Assessment of the best management practices under a semi-arid basin using SWAT model (case of M'dez watershed, Morocco). *Modeling Earth Systems and Environment*. Doi: 10.1007/s40808-021-01123-6.
- Brito, T.R.C.; Lima, J.R.S.; Oliveira, C.L.; Souza, R.M.S.; Antonino, A.C.D.; Medeiros, E.V.; Souza, E.S.; Alves, E. M., 2020. Mudanças no Uso da Terra e Efeito nos Componentes do Balanço Hídrico no Agreste Pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 13 (2), 870-886. Doi: 10.26848/rbgf.v13.2.p870-886.
- Brown, A.E.; Zhang, L.; McMahon, T.A.; Western, A.W.; Vertessy, R.A., 2005. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *J. Hydrol.*, 310, 28–61. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2004.12.010.
- Bruijnzeel, L.A., 2004. Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? *Agric. Ecosyst. Environ.* 104, 185–228. Doi: 10.1016/j.agee.2004.01.015.
- Carvalho P.C.d.F., Batello C., 2009. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. *Livestock Science*, 120, (44198), 158-162. Doi: 10.1016/j.livsci.2008.04.012.
- Cassman, K. G., Wood, S., Choo, P. S., Cooper, H. D., Devendra, C., & Dixon, J., 2005. Cultivated systems. In *Ecosystems and human well-being: Current state and trends* (pp. 745–794). Washington DC: Island Press.
- Castro, K.B., 2013. Avaliação do modelo SWAT na simulação da vazão em bacia agrícola do cerrado intensamente monitorada. *MSc. Dissertation*, University of Brasília, 141p.
- Chu, H.; Liu, C.; Wang, C., 2013. Identifying the relationships between water quality and land cover changes in the Tseng-Wen reservoir watershed of Taiwan. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 10, 478–489. Doi: 10.3390/ijerph10020478.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil., 2014. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Dom Pedrito – RS. *Mapa escala 1:190.000*. Rio Grande do Sul: CPRM. Available at: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15101>.
- Cunha, G.R.; Barni, N. A.; Haas, J.C.; Maluf, J.R.T.; Matzeanauer, R.; Pasinato, A.; Pimentel, M.B.M.; Pires, J.L.F., 2001. Zoneamento agrícola e época de semeadura para soja no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.446-459.
- D'Almeida, C., Vörösmarty, C.J., Hurr, G.C., 2007. The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution. *International Journal of Climatology*, 27 (5), pp. 633-647. 10.1002/joc.1475.
- Da Cunha, Z.A.; Beskow, S.; De Moura, M.M.; Beskow, T.L.C.; De Mello, C.R.. 2021. Adequacy of methodologies for determining SCS/CN in a watershed with characteristics of

- the pampa biome. *Revista Ambiente e Agua*, 15(4), e2715. Doi: 10.4136/ambi-agua.2715
- Dieguez Cameroni, F.; Fort, H., 2017. Towards scientifically based management of extensive livestock farming in terms of ecological predator-prey modeling. *Agricultural Systems*, 153, issue C, p. 127-137, <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:agisys:v:153:y:2017:i:c:p:127-137>.
- Durães, M. F., 2010. Caracterização e avaliação do estresse hidrológico da bacia do rio Paraopeba, por meio de simulação chuva-vazão de cenários atuais e prospectivos de ocupação e uso do solo utilizando um modelo hidrológico distribuído. *Dissertação de mestrado*, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/853M.PDF>>.
- Ebling, E.D.; Reichert, J.M.; Peláez, J.J.Z.; Rodrigues, M.F.; Valente, M.L.; Cavalcante, R.B.L.; Reggiani, P.D.; Srinivasan, R., 2021. Event-based hydrology and sedimentation in paired watersheds under commercial eucalyptus and grasslands in the Brazilian Pampa biome. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(2), 180-194. Doi: 10.1016/j.iswcr.2020.10.008
- Fang, X.; Ren, L.; Li, Q.; Zhu, Q.; Shi, P.; Zhu, Y., 2013. Hydrologic Response to Land Use and Land Cover Changes within the Context of Catchment-Scale Spatial Information. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(11), 1539–1548. doi:10.1061/(asce)he.1943-5584.0000482.
- Fauconnier, Y., 2017. La gestion de l'eau dans le Rio Grande do Sul: Evaluation de la ressource dans le bassin versant de l'Ibicuí grâce à la modélisation hydrologique: application de l'outil SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Le Mans: Université du Mainé. *Mémoire de Maîtrise*, 128 p.
- Ferrigo, S., 2014. Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática – Estudo de caso da bacia do lago Descoberto – DF. *MSc. Dissertation*, University of Brasília, 164 p.
- Ferrigo, S.; Minoti, R.; Roig, H.; Koide, S., 2013. Avaliação da utilização de diferentes métodos na calibração automática do modelo SWAT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20. Bento Gonçalves. *Anais...* Bento Gonçalves, 2013.
- Franco, A. C. L.; Oliveira, D. Y.; Bonumá, N. B., 2017. Transferência Espaço-temporal de Parâmetros no Modelo SWAT. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, SC. 2017.
- Garbosa, L.H.P.; Vasconcelos, L.R.C.; Lapa, K.R.; Blainski, E.; Pinheiro, A., 2011. The use and results of the Soil and Water Assessment Tool in Brazil: A review from 1999 until 2010. *International SWAT Conference & Workshops*, Toledo, Spain, p.27.
- Ghaffari, G.; Keesstra, S.; Ghodousi, J.; Ahmadi, H., 2010. SWAT-simulated hydrological impact of land use change in the Zanjanrood basin, Northwest Iran. *Hydrological Processes*, 24(7), 892–903. doi:10.1002/hyp.7530.
- Ghersa, C.M., De La Fuente, E., Suarez, S., Leon, R.J.C., 2002. Woody species invasion in the Rolling Pampa grasslands, Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environments*, 88 (3), pp. 271-278. Doi:10.1016/S0167-8809(01)00209-2.
- Gibson, D.J., 2009. *Grasses and grassland ecology*. Oxford, UK: Oxford University. 305p. Doi:10.1093/aob/mcp219.
- Gomes, A.S.; Silva, C.A.S.; Parfitt, J.M.B.; Pauletto, E.A.; Pinto, L.F., 2006. *Caracterização de indicadores da qualidade do solo, com ênfase às áreas de várzea do Rio Grande do Sul*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, Documentos, 169, 40p.
- Gossweiler, B.; Wesström, I.; Messing, I.; Romero, A.M.; Joel, A., 2019. Spatial and temporal variations in water quality and land use in a semi-arid Catchment in Bolivia. *Water*, 11(11), 1-24. Doi: 10.3390/w11112227.
- Green, C.; Vangriensven, A., 2008. Autocalibration in hydrologic modeling: Using SWAT2005 in small-scale watersheds. *Environmental Modelling & Software*, 23(4), 422–434. doi:10.1016/j.envsoft.2007.06.002.
- Haidary, A., Amiri, B. J., Adamowski, J., et al., 2013. Assessing the impacts of four land use types on the water quality of wetlands in Japan. *Water Resources Management*, 27, 2217–2229. Doi: 10.1007/s11269-013-0284-5.
- Hargreaves, G.L.; Hargreaves, G.H.; Riley, J.P., 1985. Agricultural benefits for Senegal River Basin. *J. Irrig. and Drain. Engr.* 111(2):113-124. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9437(1985)111:2(113).
- Havrylenko, S.B.; Bodoque del Pozo, J.M.; Srinivasan, R.; Zucarelli, G.V.; Mercuri, P., 2016. Assessment of the soil water content in the Pampas region using SWAT. *Catena*, 137, 298-309. Doi: 10.1016/j.catena.2015.10.001

- Heidari, A.; Watkins, D., Jr.; Mayer, A.; Propato, T.; Verón, S.; de Abelleira, D., 2021. Spatially variable hydrologic impact and biomass production tradeoffs associated with Eucalyptus (*E. grandis*) cultivation for biofuel production in Entre Rios, Argentina. *GCB Bioenergy*, 13, (5), 823-837. Doi: 10.1111/gcbb.12815
- Hernandes, T. A. D.; Scarpere, F. V.; Seabra, J. E. A., 2018. Assessment of impacts on basin stream flow derived from medium-term sugarcane expansion scenarios in Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 259, 11–18. Doi:10.1016/j.agee.2018.02.026.
- Hively, W. D.; Hapeman, C. J.; McConnell, L. L.; Fisher, T. R.; Rice, C. P.; McCarty, G. W., Harman Fetcho, J. A., 2011. Relating nutrient and herbicide fate with landscape features and characteristics of 15 subwatersheds in the Choptank River watershed. *Science of The Total Environment*, 409(19), 3866–3878. Doi:10.1016/j.scitotenv.2011.05.024
- Huisman, J. A.; Breuer, L.; Frede, H.-G., 2004. Sensitivity of simulated hydrological fluxes towards changes in soil properties in response to land use change. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 29(11-12), 749–758. doi:10.1016/j.pce.2004.05.012.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística., 1986. *Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais (Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim)*. Rio de Janeiro: IBGE. V33. 791p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=219048>. Accessed in February 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística., 2002. *Mapa exploratório de solos do estado do Rio Grande do Sul*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/>. Accessed in February 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística., 2019. *PPM – Pesquisa da Pecuária Municipal*. Rio de Janeiro: IBGE. Available at: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?edicao=29151&t=resultados>. Accessed in February 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística., 2021. *Produto Interno Bruto – PIB*. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Accessed in February 2021.
- Jorge, B.C.S.; Winck, B.R.; Da Silva Menezes, L.; Bellini, B.C.; Pillar, V.D.; Podgaiski, L.R.. 2023. Grassland afforestation with Eucalyptus affect Collembola communities and soil functions in southern Brazil. *Biodivers Conserv.* 32, 275–295 Doi: 10.1007/s10531-022-02501-x
- Kemerich, P. D.C.; Martins, S.R.; Kobiyama, M.; Flores, C.E.B; Borba, W.B.; Fernandes, G. D.; Santi, A.L.; Cherubin, M., 2014. Infiltração e Escoamento Superficial Sob Diferentes Usos e Ocupação em uma Bacia Hidrográfica. *Anuário do Instituto de Geociências*. 37(2) p. 75-88. Doi: 10.11137/2014_2_75_88.
- Kraemer, F.B.; Chagas, C.I.; Amábile, G.V.; Palacín, E.A.; Santanatoglia, O.J.; Castiglioni, M.G.; Massobrio, M.J., 2011. Application of the hydrologic model-SWAT-on a micro agricultural basin of the Rolling Pampa. *Ciencia del Suelo*, 29, (1), 75-82.
- Kraemer, F.B.; Chagas, C.I.; Vázquez-Amábile, G.; Paz, M.; Moretton, J.A., 2014. Estimation of fecal coliforms contamination scenarios in a microbasin of the Rolling Pampa of argentina by using a predictive model. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 46, (2), 83-96.
- Laurent, F.; Ruelland, D., 2011. Assessing impacts of alternative land use and agricultural practices on nitrate pollution at the catchment scale. *Journal of Hydrology*, 409 (2011) 440–450. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.08.041.
- Lelis, T. A.; Calijuri, M. L.; Santiago, A. F.; Lima, D. C.; Rocha, E. O., 2012. Análise de sensibilidade e calibração do modelo SWAT aplicado em bacia hidrográfica da região sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Vol. 36, No. 2, p. 623-634. Doi: 10.1590/S0100-06832012000200031.
- Li, Y.; Chang, J.; Luo, L.; Wang, Y.; Guo, A.; Ma, F.; Fan, J., 2019. Spatiotemporal impacts of land use land cover changes on hydrology from the mechanism perspective using SWAT model with time-varying parameters. *Hydrology Research*, 50, (1), 244-261. Doi: 10.2166/nh.2018.006.
- Lino, J. F. de L., 2009. Análise da dinâmica hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do rio Preto (SC) com o modelo SWAT. 150p. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)* – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Loucks, D.P.; Beek, E., 2017. *Water Resource Systems Planning and Management An*

- Introduction to Methods, Models, and Applications*. Springer, Cham, 624 p. Doi: 10.1007/978-3-319-44234-1
- Machado, R.E. 2002. Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. *Tese (Doutorado em Agronomia)* – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo/SP.
- Machado, R.E., Vettorazzi, C.A., 2003. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins, SP. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 4, pp. 735-741. Doi: 10.1590/S0100-06832003000400018.
- Malutta, S., 2012. Estudo Hidrossedimentológico da Bacia Hidrográfica do Rio Negrinho - SC Com o Modelo SWAT. 126 f. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)* – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- Mango, L.M.; Melesse, A.M.; McClain, M.E.; Gann, D.; Setegn, S.G., 2011. Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin, Kenya: Results of a modeling study to support better resource management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, (7), 2245-2258. Doi: 10.5194/hess-15-2245-2011.
- Martínez, L.J.; Zinck, J.A., 2004. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. *Soil Tillage Res.* 75, 3–17. Doi: 10.1016/j.still.2002.12.001.
- Martins, L.L. Martins, W.A.; Moraes, J.F.L.; Pedro Júnior, M.J. De Maria, I.C. 2020. Calibração hidrológica do modelo SWAT em bacia hidrográfica caracterizada pela expansão do cultivo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13, 576-594. Doi:10.26848/rbgf.v13.2.p576-594.
- Mengue V.P., Dias de Freitas M.W., Silva da Silva T., Fontana D.C., Scottá F.C., 2020. LAND-USE and land-cover change processes in Pampa biome and relation with environmental and socioeconomic data. *Applied Geography*, 125. 10.1016/j.apgeog.2020.102342.
- Modernel, P., Rossing, W.A.H., Corbeels, M., Dogliotti, S., Picasso, V., Tittionell, P., 2016. Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. *Environ. Res. Lett.*, 11 (11), p. 113002. Doi: 10.1088/1748-9326/11/11/113002.
- Monteith, J.L., 1965. Evaporation and the environment. p. 205-234. In *The state and movement of water in living organisms, XIXth Symposium. Soc. for Exp. Biol.*, Swansea, Cambridge University Press.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50 (3), pp. 885-900.
- Nabinger, C., Ferreira, E. D., Freitas, A. K., Carvalho, P. C. F., Sant’anna, D. M., Pillar, V. P., Müller, S. C., Castilhos, Z. M. S., & Jacques, A. V. A., 2009. Produção animal com base no campo nativo: Aplicações de resultados de pesquisa. In: Pillar, V.D., Muller, S.C., Castilhos, Z.M.S., Jacques, A.V.A. (Eds.), *Campos sulinos*: Brasília: MMA, pp. 199–205. ISBN 978-85-7738-117-3.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration., 2000. *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*. USGS: NASA. Disponível em: [https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/measures/docs/SRTM Quick Guide.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/measures/docs/SRTM%20Quick%20Guide.pdf)
- Nash, J. E.; Sutcliffe, J. V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290. doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6
- National Center for Atmospheric Research Staff (Eds). Last modified 08 Nov 2017. *The Climate Data Guide: Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)*. Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/climate-forecast-system-reanalysis-cfsr>.
- Neitsch, S.; Arnold, J.; Kiniry, J.; Williams, J., 2011. *Soil and Water Assessment Tool; Theoretical Documentation: Version 2009*; Texas Water Resources Institute: College Station, TX, USA. 647 p.
- Nellemann, C., Macdevette, M., Manders, T., Eickhout, B., Svihus, B., & Prins, A. G., 2009. The environmental food crisis e the environment’s role in averting future food crises. In *A UNEP rapid response assessment*. Arendal. United Nations Environment Programme, GRID.
- Nie, W.; Yuan, Y.; Kepner, W.; Nash, M. S.; Jackson, M.; Erickson, C., 2011. Assessing impacts of Landuse and Landcover changes on hydrology for the upper San Pedro watershed.

- Journal of Hydrology*, 407(1-4), 105–114. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.07.012.
- Ogliari, D.G.P.; Zanutta, D.C.; Fontana, D.C.; Bremm, C.; Bredemeier, C.; De Faccio Carvalho, P.C.. 2023. Airborne cameras for natural grassland classification in the Pampa biome. *Ciencia Rural*, 53(2), e20210765. Doi: 10.1590/0103-8478cr20210765
- Palamuleni, L. G.; Ndomba, P. M.; Annegarn, H. J., 2011. Evaluating land cover change and its impact on hydrological regime in Upper Shire river catchment, Malawi. *Regional Environmental Change*, 11(4), 845–855. Doi:10.1007/s10113-011-0220-2.
- Peixoto, D.W.B.; Trindade, P.M.P.; Kuplich, T.M.; De Almeida, C.A.. 2022. Surface temperature analysis in different Pampa Biome covers. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(1), 268-281. Doi: 10.26848%2frbgf.v15.1.p268-281
- Peláez J. J Z., 2014. *Hidrologia comparativa em bacias hidrográficas com eucalipto e campo*. Doctoral thesis, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brazil.
- Petsch, C. Scoti, A. A. V. ; Trentin, R.; Robaina, L. E. S. ; Rosa, K. K. 2022. A expansão da cultura de soja no Pampa gaúcho: o caso da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria. *Geografar Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPR*, 17, 47-71. Doi: 10.5380/geografar.v17i1.84123.
- Pillar, V.P.; Müller, S.C.; Castilhos, Z.M.S.; Jacques, A.V.A., 2009. *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: MMA-Ministério do Meio Ambiente, 403p.
- Polidoro, J. C., Mendonça-Santos, et al. 2016. *Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos)*. EMBRAPA. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1054924/programa-nacional-de-solos-do-brasil-pronasolos>.
- Priestley, C.H.B.; Taylor, R.J., 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Mon. Weather. Rev.* 100:81-92. Doi: 10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2.
- Rajib, M.A.; Ahiablame, L.; Paul, M., 2016. Modeling the effects of future land use change on water quality under multiple scenarios: A case study of low-input agriculture with hay/pasture production. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 8, 50-66. Doi: 10.1016/j.swaqe.2016.09.001
- Refsgaard, J.C.; Abbott, M.B., 1996. The role of distributed hydrological modelling in water resources management. In: Abbott, M.B., Refsgaard, J.C., Eds.; *Distributed Hydrological Modelling*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 1-16. Doi=10.1007/978-94-009-0257-2_1
- Reichert, J.M.; Rodrigues, M.F.; Peláez, J.J.Z.; Régis, L.; Minella, J.P.G.; Arnold, J.G.; Cavalcante, R.B.L., 2017. Water balance in paired watersheds with eucalyptus and degraded grassland in Pampa biome. *Agricultural and Forest Meteorology*. 237-238, 282-295. Doi: 10.1016/j.agrformet.2017.02.014.
- Rennella, A., Quirós, R., 2006. The effects of hydrology on plankton biomass in shallow lakes of the Pampa Plain. *Hydrobiologia*, 556, pp. 181-191. Doi: 10.1007/s10750-005-0318-y.
- Rocha, E.O., Calijuri, M.L., Santiago, A.F., de Assis, L.C., Alves, L.G.S., 2012. The Contribution of Conservation Practices in Reducing Runoff, Soil Loss, and Transport of Nutrients at the Watershed Level. *Water Resour. Manag.*, 26, pp. 3831-3852. Doi: 10.1007/s11269-012-0106-1.
- Rodrigues, A.S.L.; Ewers, R.M.; Parry, L.; Souza, C.; Veríssimo, A.; Balmford, A., 2009. Boom-and-bust development patterns across the amazon deforestation frontier. *Science*, 324, 1435–1437. Doi: 10.1126/science.1174002.
- Rodrigues, M. F., 2015. *Dinâmica hidrossedimentológica de pequenas bacias hidrográficas florestais*. Santa Maria: UFSM. Doctoral Thesis. 126p.
- Rhoden, A.C.; Viana, J.G.A.; Silveira, V.C.P. 2022. Change in land use and economic dynamics of the Ibirapuitã River Environmental Protection Area of the Brazilian Pampa biome. *Semina: Ciências Agrárias*, 43(5), 2137-2154. Doi: 10.5433%2f1679-0359.2022v43n5p2137
- Robaina, L. E. S. ; Trentin, R. ; Scoti, A. A. V. 2021. Geomorphological description of the biome Pampa (Brazil) with support of digital elevation model and geographic information system. *Revista do Departamento de Geografia*, 41, e169605-17. Doi: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.169605
- Rubert, G.C.; Roberti, D.R.; Pereira, L.S.; Quadros, F.L.F; Velho, H.F.C., de Moraes, O.L.L., 2018. Evapotranspiration of the Brazilian Pampa Biome: Seasonality and Influential Factors. *Water (Switzerland)*. 10(12), 1864. Doi: 10.3390/w10121864.
- Salles, L.A. 2012. Calibração e validação do modelo SWAT para a predição de vazões

- nabacia do ribeirão Pipiripau. *Dissertação de Mestrado*, Publicação PPG EFL. DM-172/2012, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 114p.
- Santhi, C.; Arnold, J. G.; Williams, J. R.; Dugas, W. A.; Srinivasan, R.; Hauck, L. M., 2001. Validation of the swat model on a large river basin with point and nonpoint sources. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(5), 1169–1188. doi:10.1111/j.1752-1688.2001.tb03630.x.
- Santos, F.M., Oliveira, R.P., Mauad, F.F., 2018c. Lumped versus Distributed Hydrological Modeling of the Jacaré-Guaçu Basin, Brazil. *Journal of Environmental Engineering*, 144(8). Doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001397
- Santos, H.G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumberras, J.F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Araujo Filho, J. C.; Oliveira, J. B.; Cunha, T. J. F., 2018b. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, DF: Embrapa, 5ed. 356p.
- Santos, V.; Laurent, F.; Abe, C.; Messner F., 2018a. Hydrologic response to land use change in a large basin in eastern Amazon. *Water (Switzerland)*, 10, (4), -. Doi: 10.3390/w10040429.
- Schilling, K. E.; Gassman, P. W.; Kling, C. L.; Campbell, T.; Jha, M. K.; Wolter, C. F.; Arnold, J. G., 2013. The potential for agricultural land use change to reduce flood risk in a large watershed. *Hydrological Processes*, 28(8), 3314–3325. doi:10.1002/hyp.9865.
- Schilling, K.E.; Jha, M.K.; Zhang, Y.-.; Gassman, P.W.; Wolter, C.F., 2008. Impact of land use and land cover change on the water balance of a large agricultural watershed: Historical effects and future directions. *Water Resources Research*, 45, (7), -. Doi: 10.1029/2007WR006644.
- Scivittaro, W.B; Gomes, A.S., 2007. Adubação e Calagem para o Arroz Irrigado no Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. *Circular técnica n. 62*. 8p.
- Scottá, F.C., Fonseca, E.L., 2015. Multiscale trend analysis for Pampa grasslands using ground data and vegetation sensor imagery. *Sensors*, 15, pp. 17666-17692. doi: 10.3390/s150717666.
- Silva, P.R.R., 2012. Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: Rosário do Sul, Rio Grande do Sul. *Relatório Técnico*. Rio Grande do Sul: CPRM. Available at: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20134>.
- Smith, C., & McDonald, G., 1998. Assessing the sustainability of agriculture at the planning stage. *Journal of Environmental Management*, 52(1), 15–37. doi:10.1006/jema.1997.0162.
- Souza, C. M.; Z. Shimbo, J.; Rosa, M. R.; et al., 2020. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, v. 12(17), 2072-4292. Doi:10.3390/rs12172735.
- Spera, S. A.; Galford, G. L.; Coe, M. T.; Macedo, M. N.; Mustard, J. F., 2016. Land use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. *Global Change Biology*, 22(10), 3405–3413. doi:10.1111/gcb.13298.
- Strauch, M., Bernhofer, C., Koide, S., Volk, M., Lorz, C., Makeschin, F., 2012. Using precipitation data ensemble for uncertainty analysis in SWAT streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 414-415, pp. 413-424. Doi:10.1016/j.jhydrol.2011.11.014.
- Strauch, M., Lima, J.E.F.W., Volk, M., Lorz, C., Makeschin, F., 2013. The impact of Best Management Practices on simulated streamflow and sediment load in a Central Brazilian catchment. *Journal of Environmental Management*, 127, pp. S24-S36. Doi: 10.1016/j.jenvman.2013.01.014.
- Trentin, R.; Laurent, F.; Robaina, L. E.S. 2023. O impacto do uso da terra sobre o balanço hídrico na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria/oeste do Rio Grande Do Sul/BRASIL. *Para Onde!? (UFRGS)*, 17, 70-88. Doi: 10.22456/1982-0003.129906.
- Trentin, R.; Robaina, L.E.S. ; Laurent, F.. Definição das unidades de resposta hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria- RS. *Caminhos da Geografia*, 22, 269-284, 2021. Doi: 10.14393/RCG228457131
- Trévisan, D.; Dorioz, J.M.; Pauthenet, Y., 1994. Apport d'un modèle simplifié de simulation du bilan hydrique pour l'analyse de la satisfaction du besoin en eau de prairies irriguées des Alpes internes. *Agronomie*, 14 (10), 683 – 696. Doi: 10.1051/agro:19941005.
- Twisa, S.; Kazumba, S.; Kurian, M.; Buchroithner, M.F., 2020. Evaluating and predicting the effects of land use changes on hydrology in Wami river basin, Tanzania. *Hydrology*, 7, (1), -. Doi: 10.3390/HYDROLOGY7010017

- Valente, M.L.; Cruz, J.C.; Baggliotto, C.; Consensa, C.B., 2015. Influential factors in surface water quality in catchments within the Pampa Biome with different land use. *Rev. Árvore* 39 (6), 1135-1145. Doi: 10.1590/0100-67622015000600017.
- Valente, G.B.; Miranda, F.F.; Cera, J.C.; Uriarte, J., 2020. Desempenho da cultivar IRGA 431 CL na safra 2019/20: manejo para alta produtividade e qualidade de grãos. Rio Grande do SUL: IRGA-Instituto Riograndense do Arroz. *Circular Técnica* 007/Set/2020. 8p.
- Vazquez Amabile, G.G.; Bosch, N.; Ricca, A.P., Rojas, D. E.; Ortiz-de-Zarate, M.L.; Lascombes, J.; Feiguín, M.F.; Cristos, D., 2017. Groundwater table dynamics, control variables and nitrate loads in agricultural soils of western pampas. *Ciencia del Suelo*. 35(1), pp. 117-134.
- Vazquez-Amabile, G.; Bosch, N.; Ricca, A.P.; Ortiz-de-Zarate, M.L.; Rojas, D.E.; Lascombes, J.; Parra, V.; Duarte, G., Feiguín, M.F., 2013. Evaluation of DRAINMOD model to study groundwater table dynamics and N load in Western Pampas, Argentina. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting*, ASABE 2013, 3, pp. 1958-1971. Doi: 10.13031/aim.20131595082) @2013.
- Viglizzo, E.F., Frank, F.C., Carreno, L.V., Jobbagy, E.G., Pereyra, H., Clatt, J., Pincen, D., Ricard, M.F., 2011. Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Glob. Chang. Biol*, 17, pp. 959-973. Doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02293.x.
- Wagner, P.D.; Kumar, S.; Fiener, P.; Schneider, K., 2011. Technical Note: Hydrological Modeling with SWAT in a Monsoon-Driven Environment: Experience from the Western Ghats, India. *Trans. ASABE*, 54, 1783-1790. Doi:10.13031/2013.39846.
- Williams, J. R., 1990. The Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC) Model: A Case History. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 329(1255), 421-428. <http://www.jstor.org/stable/76847>
- Wilson, J.B.; Peet, R.K.; Dengler, J.; Pärtel, M., 2012. Plant species richness: the world records. *J. Veg. Sci.* 23, 796-802. Doi: 10.1111/j.1654-1103.2012.01400.x
- Zellner, M.; Garcia, G. A.; Bert, F.; Massey, D.; Nosetto, M., 2020. Exploring reciprocal interactions between groundwater and land cover decisions in flat agricultural areas and variable climate. *Environmental Modelling & Software*, 104641. doi:10.1016/j.envsoft.2020.104641
- Zhang, Y.; Xie, D.; Ni, J.; Zeng, X., 2020. Conservation tillage practices reduce nitrogen losses in the sloping upland of the Three Gorges Reservoir area: No-till is better than mulch-till. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 300, 107003. Doi:10.1016/j.agee.2020.107003
- Zimmermann, B.; Elsenbeer, H.; De Moraes, J.M., 2006. The influence of land use changes on soil hydraulic properties: Implications for runoff generation. *For. Ecol. Manag.*, 222, 29-38. Doi: 10.1016/j.foreco.2005.10.070.