

IV SEMINÁRIO DA
REDE AGROHIDRO

Água e Agricultura:

*incertezas e
desafios para a
sustentabilidade
frente às
mudanças do
clima e do uso
da terra*

ANAIS

*Lineu Neiva Rodrigues
Maria Fernanda Moura
Raimundo Cosme de Oliveira Junior*
Editores Técnicos

Embrapa



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**IV Seminário da
Rede Agrohidro**

Água e Agricultura:

***incertezas e
desafios para a
sustentabilidade
frente às
mudanças do
clima e do uso
da terra***

ANAIS

*Lineu Neiva Rodrigues
Maria Fernanda Moura
Raimundo Cosme de Oliveira Junior*
Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2016



Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rodovia Brasília/Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970 Planaltina, DF
Fone (61) 3388-9898 – Fax (61) 3388-9879
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Unidade responsável pelo conteúdo e pela edição

Embrapa Cerrados

Comitê de Publicações

Presidente: *Marcelo Ayres Carvalho*

Secretária executiva: *Marina de Fátima Vilela*

Membros

Alessandra S. Gelape Faleiro

Cícero Donizete Pereira

Gustavo José Braga

João de Deus Gomes dos S. Júnior

Jussara Flores de Oliveira Arbues

Maria Edilva Nogueira

Sebastião Pedro da Silva Neto

Shirley da Luz Soares Araújo

Sonia Maria Costa Celestino

Supervisão editorial

Jussara Flores de Oliveira Arbues

Revisão de texto

Jussara Flores de Oliveira Arbues

Normalização bibliográfica

Fábio Lima Cordeiro

Shirley da Luz Soares Araújo

Projeto gráfico e diagramação

Leila Sandra Gomes Alencar

Capa

Fabiano Bastos

Ilustração da capa

Fabiano Bastos

1ª edição

1 CD-ROM (2016): 100 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

S471a Seminário da Rede Agrohidro (4.: 2016: Brasília, DF).

Água e agricultura: incertezas e desafios para a sustentabilidade frente às mudanças do clima e do uso da terra: anais do IV Seminário da Rede Agrohidro, Brasília, DF, 17- 20 de outubro de 2016 [recurso eletrônico] / Lineu Neiva Rodrigues, Maria Fernanda Moura, Raimundo Cosme de Oliveira Junior, editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2016.

1 CD-ROM (290 p.) : il. color.; 4 ¾ pol.

ISBN 978-85-7035-632-1

1. Recursos hídricos. 2. Irrigação. 3. Agricultura - Brasil. 4. Seminário.
I. Rodrigues, Lineu Neiva. II. Moura, Maria Fernanda. III. Oliveira Junior, Raimundo Cosme de. IV. Rede Agrohidro. V. Título. VI. Embrapa Cerrados.

CDD 21 ed. - 631.70981

© Embrapa 2016

AUTORES

Ademar Barros da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Alex Fernando de Araújo

Bacharel em Ciência da Computação, doutorando em Engenharia Informática, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul, Coxim, MS

Alexandre Bryan Heinemann

Agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO

Alfredo José Barreto Luiz

Engenheiro-agrônomo, doutor em Sensoriamento Remoto, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Aline de Holanda Nunes Maia

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Ana Paula Sousa Rodrigues Zaiatz

Graduanda em Agronomia, estagiária e bolsista da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

Andreza Carla Lopes André

Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA

Amanda de Azevedo Gonçalves

Engenheira Ambiental, mestranda em Recursos Hídricos, bolsista da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

Annika Künne

Geógrafa, doutoranda do Instituto de Tecnologia e Gerenciamento de Recursos em Trópicos e Subtrópicos, Universidade Friedrich Schiller de Jena, Alemanha

Antônio Heriberto de Castro Teixeira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Ambientais, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

Arthur Marques

Graduando em Geografia, estagiário na Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

Azeneth Eufrausino Schuler

Engenheira Florestal, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Balbina Maria Araújo Soriano

Meteorologista, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS

Bas Agerbeek

Graduado em hidrologia e manejo de água, mestrando em Ciências da Terra e Ambiental, Universidade de Wageningen, Wageningen, Netherlands.

Carolina Tavares de Oliveira

Graduanda em Engenharia Agrícola, bolsista da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP

Carlos Roberto Padovani

Biólogo, doutor em Ecologia Aplicada, pesquisador da Embrapa Pantanal, Corumbá, MS

Celina Maki Takemura

Bacharel em Ciência da Computação, doutora em Ciências da Computação, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

Cleitton da Silva Silveira

Arqueólogo, doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), professor da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, CE

Clóvis Manoel Carvalho Ramos

Agrônomo, doutor em Agronomia, professor da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA

Cornélio Alberto Zolin

Engenheiro Agrícola, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

Daniel Markewitz

Bacharel em Recursos Naturais, professor da Escola Warnell de Floresta e Recursos Naturais, Universidade da Georgia

Éder Comunello

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

Edilton de Albuquerque Cavalcanti Junior

Graduando em Agronomia, estagiário da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Edson Takashi Matsubara

Bacharel em Informática, doutor em Ciências da Computação e Matemática Computacional, professor da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

Eduardo Eneas de Figueiredo

Engenheiro Civil, doutor em Engenharia Civil, professor da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB

Fabiano Fernandes dos Santos

Bacharel em Ciência da Computação, doutorando em Ciência da Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP

Fábio Augusto de Souza Seabra

Bacharel em Análise de Sistemas, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Dourados, MS

Fábio Henrique Canesin Sivieri

Bacharel em Ciência da Computação, mestrando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Dourados, MS

Felipe Cruz

Graduando em Engenharia Química, estagiário da Embrapa Amazônia Oriental, Pará, PA

Francisco Vasconcelos Júnior

Físico, doutor em Meteorologia, pós-doutorando em Clima e Recursos Hídricos, bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

Francisco de Assis de Souza Filho

Engenheiro Civil, doutor em Engenharia Civil, professor da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

Gabriel Mari Tararam

Aluno do Curso Técnico em Informática para Internet, estagiário da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

Géssica Silva Lima

Engenheira-agrônoma, mestre em Agronomia, bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Campinas, SP

Glauber José Vaz

Bacharel em Ciência da Computação, mestre em Ciência da Computação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

Gustavo Bayma Siqueira da Silva

Geógrafo, mestre em Sensoriamento Remoto, analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

Hartmut Gaese

Engenheiro-agrônomo, doutor em Economia Agrícola, diretor do Instituto de Tecnologia e gerenciamento de Recursos nos Trópicos e Subtrópicos, Köln, Alemanha

Igor Vieira

Aluno do Curso Técnico em Informática, Instituto Federal do Mato Grosso do Sul, Corumbá, MS

Iug Lopes

Engenheiro Agrícola, doutorando em Engenharia Agrícola, professor da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA

Janaina Paulino

Engenheira Agrícola, doutora em Irrigação e Drenagem, professora da Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT

Janderson Pedro da Silva

Graduando em Agronomia, bolsista da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

Janice Leivas Freitas

Meteorologista, doutora em agrometeorologia, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

Joseph Cornelis van Dam

Engenheiro de recursos hídricos, doutor em Física do Solo e Processos de Transporte, professor associado da Universidade de Wageningen, Holanda

Juliana Feitosa Filizzola

Química Analítica, doutora em Química Ambiental e Analítica, pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA

Juliana M. Santos

Engenheira Ambiental, doutoranda da Universidade de Jena Friedrich Schiller, Alemanha

Júlio César Dalla Mora Esquerdo

Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

Julio Roberto Araujo de Amorim

Engenheiro-agrônomo, mestre em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

Lars Ribbe

Químico, doutor em Hidroinformática, professor e diretor do Instituto de Tecnologia e Gerenciamento de Recursos em Trópicos e Subtrópico, Universidade de Ciências Aplicadas de Colônia, Alemanha

Laurimar Gonçalves Vendrusculo

Engenheira elétrica, doutora em Agricultura e Engenharia de Biosistemas, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

Lineu Neiva Rodrigues

Engenheiro Agrícola, doutor em Engenharia agrícola, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Lívia Furriel De Castro

Graduanda em Engenharia Química, estagiária da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Luciano José de Oliveira Accioly

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo e do Meio Ambiente, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Luísa Miyashiro Tápias

Graduanda em Engenharia Agrícola, bolsista da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP

Luís Fernando Stone

Agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO

Luis Eduardo Gonzales

Bacharel em Engenharia da Computação, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

Luis Henrique Bassoi

Engenheiro-agrônomo, doutor em Energia Nuclear na Agricultura, pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP

Maren Wehling

Graduada em Engenharia de Manejo do Solo e da Água, mestranda em Ciências Ambientais e da Terra, Universidade de Wageningen

Marcus Aurélio Soares Cruz

Engenheiro Civil, doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

Margareth Gonçalves Simões

Engenheira-agrônoma, doutora em Geografia, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Maria Fernanda Moura

Estatística, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

Níckolas C. Santana

Geógrafo, doutorando em Geografia, bolsista da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Orlando dos Santos Watrin

Agrônomo, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Pará, PA

Patrícia Porta Nova da Cruz

Meteorologista, pós-doutoranda em Meteorologia Agrícola, bolsista da Embrapa Meio Ambiente, Jaquariúna, SP

Paulo Vinícius Melo da Mota

Graduando em Geologia, bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

Rachel Bardy Prado

Bióloga, doutora em Ciências da Engenharia Ambiental, pesquisadora da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Rafael Mingoti

Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, analista da Embrapa Gestão Territorial, Campinas, SP

Renan Gomes Pereira

Graduando em Engenharia da Computação, estagiário da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

Renato Porfirio Ishii

Bacharel em Análise de Sistemas, doutor em Ciências da Computação e Matemática Computacional, professor da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS

Ricardo de Aragão

Engenheiro Civil, doutor em Engenharia, professor da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB

Ricardo de Oliveira Figueiredo

Engenheiro-agrônomo, doutor em Biociências e Biotecnologia, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Campinas, SP

Ricardo Marcacini

Bacharel em Informática, doutor em Ciência da Computação e Matemática Computacional, professor da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, MS

Riene Filgueiras de Oliveira

Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, estagiária da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

Rodrigo Bonacin

Bacharel em Informática, doutor em Ciência da Computação, tecnologista do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, Campinas, SP

Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Ambientais, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

Roel Dijksma

Hidrogeologista, professor da Universidade de Wageningen, Holanda

Rômulo Penna Scorza Júnior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências Ambientais, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

Rubens Sonsol Gondim

Agrônomo, doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

Santiago Penedo

Engenheiro Químico, doutorando da Universidade Friedrich Schiller de Jena, Alemanha

Silvando Carlos Da Silva

Engenheiro Agrícola, mestre em Agronomia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, GO

Silvio Roberto Medeiros Evangelista

Estatístico, doutor em Engenharia Elétrica, analista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

Solange Oliveira Rezende

Licenciada em Ciências, doutora em Engenharia Mecânica, professora da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP

Stanley Robson de Medeiros Oliveira

Bacharel em Ciência da Computação, doutor em Ciência da Computação, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP

Sven Kralisch

Graduado em Ciência da Computação, doutor em Geoinformática, pesquisador da Universidade de Jena Friedrich Schiller, Alemanha.

Tarcio Rocha Lopes

Engenheiro Agrícola, mestrando em Agronomia, bolsista da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

Timothy R. Green

Engenheiro Ambiental, doutor em Recursos Hídricos, pesquisador do Serviço Pesquisa Agrícola dos Estados Unidos, Colorado, EUA

Vajapeyam Srirangachar Srinivasan

Engenheiro Civil, doutor em Engenharia Civil, professor da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB

Vanesa Rodríguez Osuna

Engenheira Ambiental, doutora em Ciências Naturais, pesquisadora da Advanced Science Research Center, New York, NY

Vitor Gomes

Aluno do Curso Técnico em Informática, Instituto Federal do Mato Grosso do Sul, Corumbá, MS

Wolfgang-Albert Flügel

Geógrafo, doutor em Geografia, professor aposentado do departamento de Geoinformática da Universidade de Jena Friedrich Schiller, Alemanha

AGRADECIMENTOS

Aos palestrantes, coordenadores e moderadores de bloco, bem como autores de artigos, enfim, todos os que gentilmente aceitaram o convite de participar deste *IV Seminário da Rede AgroHidro Incertezas e desafios para a sustentabilidade frente às mudanças do clima e do uso da terra*.

Aos membros da Rede AgroHidro pelas contribuições e dedicação ao trabalho de manutenção da Rede e de condução do projeto de pesquisa que avalia os impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos, o projeto *AgroHidro, Macro Programa 1 – Grandes Desafios Nacionais da Embrapa*.

À comissão técnico-científica do seminário pela dedicação na avaliação dos 34 artigos submetidos.

Às seguintes instituições que, pelo patrocínio, efetivamente possibilitaram a realização deste quarto seminário: Agência Nacional de Águas (ANA), Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ), HEXIS Científica, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA).

APRESENTAÇÃO

Este livro é um dos produtos científicos do IV Seminário da Rede AgroHidro. Ele apresenta resultados obtidos pela rede até a data de realização desse evento. Esse seminário é um marco para a Rede Agrohidro, uma vez que caracteriza a etapa final do projeto de pesquisa que avalia os impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos, o projeto *AgroHidro do Macro Programa 1 – Grandes Desafios Nacionais da Embrapa (MP1)*.

As pesquisas desenvolvidas no âmbito do projeto MP1 AgroHidro são consideradas essenciais e de grande importância para a sociedade, uma vez que as mudanças climáticas e do uso da terra podem impactar a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas brasileiras e comprometer a produção agrícola e a qualidade de vida das comunidades rurais nos diferentes biomas brasileiros.

Esta obra trás 34 artigos científicos produzidos por 85 autores representando 11 institutos federais e universidades brasileiras, 14 centros de pesquisa da Embrapa e 6 universidades estrangeiras.

Espera-se que o conteúdo apresentado possa auxiliar na identificação de linhas de pesquisa estratégicas para o tema, bem como fornecer subsídios a políticas públicas que contribuam para uma gestão eficiente e sustentável da água na agricultura, do ponto de vista de sua disponibilidade e qualidade, visando a produção sustentável de alimentos.

Claudio Takao Karia
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

PREFÁCIO

Produzir alimento de maneira sustentável é um dos grandes desafios da humanidade. Vários são os fatores de pressão, tais como: restrições ambientais; a população demandando alimentos diferenciados e de melhor qualidade; demanda atual e futura, por mais alimentos, crescente; e a multifuncionalidade da agricultura. Além disso, destaca-se o aumento da competição pelo uso da água entre os diversos setores da sociedade que implicará na necessidade de usar esse recurso de modo mais eficiente de forma a garantir a sustentabilidade da produção nos diferentes setores. Para isso, o planejamento e o manejo adequado dos recursos hídricos são fundamentais na busca pela sustentabilidade. Eles devem, entretanto, ser feitos considerando onexo água-energia-alimento.

Em regiões que enfrentam escassez de água, por exemplo, é essencial planejar de maneira racional o uso dos recursos hídricos e estabelecer políticas hídricas efetivas de modo a assegurar a produção de alimentos e minimizar a pobreza por meio do desenvolvimento econômico. Adicionalmente, a ocorrência de mudanças climáticas poderá afetar o ciclo hidrológico e a “geografia da produção nacional”, o que poderá reduzir a disponibilidade dos recursos hídricos e potencializar o surgimento de conflitos entre os usuários da água.

Diante desses desafios, a Rede AgroHidro foi inicialmente proposta por um grupo de pesquisadores da Embrapa, com o objetivo de estudar “água na agricultura”, em virtude dos desafios associados às crises de suprimento de alimentos e de água no mundo. A Rede tem parcerias estratégicas com diversas universidades e instituições governamentais, contando com a participação de 20 centros de pesquisa da Embrapa e de mais de 36 instituições parceiras externas.

O objetivo principal da rede é contribuir para a interação entre profissionais e instituições nacionais e estrangeiras na busca de soluções voltadas à sustentabilidade nas relações entre os recursos hídricos e as cadeias produtivas agropecuárias e florestais e à melhoria da qualidade de vida dos produtores rurais e da população em geral, promovendo o avanço do conhecimento e das tecnologias para o uso eficiente da água.

Dessa forma, com a finalidade de fortalecer a atuação da Rede junto a outras instituições e à sociedade foram realizados três Seminários. O primeiro seminário, com 84 inscritos, ocorreu na cidade do Rio de Janeiro, RJ, em 2012, com o tema *Água: Desafios para a Sustentabilidade da Agricultura*. O segundo, com a participação de 75 pessoas, aconteceu na cidade de Campinas, SP, em 2014, com o tema *Impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos*. O terceiro seminário, com a participação de 75 pessoas, ocorreu na cidade de Corumbá, MT, em 2015, com o tema *Água na agricultura: desafios frente às mudanças climáticas e de uso da terra*.

Em sua versão 2016, o quarto seminário da Rede AgroHidro teve como objetivo promover a integração da equipe, a troca de informações e discussões sobre o futuro da Rede e do projeto MP1 AgroHidro.

O projeto MP1 AgroHidro – que teve como objetivo principal gerar conhecimentos e estratégias técnicas para o uso eficiente do solo e da água com vistas à conservação dos recursos hídricos, à sustentabilidade e à competitividade da agricultura em diferentes biomas brasileiros – foi estruturado de forma a viabilizar trabalhos de pesquisa de longa duração em recursos hídricos em bacias hidrográficas de tamanhos diferentes nos diversos biomas brasileiros. Para isso, foram desenvolvidas mais de 200 atividades de pesquisa científica e de gestão do projeto.

As perguntas-chave que permearam os debates no Seminário foram: (a) Quais são as alternativas tecnológicas que temos disponíveis para sanar os problemas atuais de disponibilidade e qualidade hídrica?; (b) Como a organização da formação e do conhecimento técnico-científico poderá permitir e agilizar essa busca de alternativas?; (c) Diante das mudanças climáticas, como projetar ce-

nários futuros para a disponibilidade e qualidade da água e que novos desafios esses cenários poderão trazer?; (d) A análise de nossa evolução histórica sobre a oferta e demanda da água na agricultura poderá nos levar a um entendimento de nosso estado presente de disponibilidade, qualidade e eficiência do uso da água e nos permitirá projetar cenários para a disponibilidade futura?; (e) Como o monitoramento e a modelagem da qualidade e quantidade da água poderá nos auxiliar no entendimento dos processos hidrológicos e qual o impacto provocado pelo uso do solo em bacias hidrográficas agrícolas e naturais?

Dessa forma, espera-se que estes anais e os demais seminários e pesquisas da Rede Agrohidro contribuam para o avanço do conhecimento no tema de impactos da agricultura e das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e que possa apresentar soluções para problemas derivados desses impactos, contribuindo para o aprimoramento das políticas públicas.

Lineu Neiva Rodrigues
Editor Técnico

Sumário

Uma Arquitetura Orientada a Serviços para um Sistema de Recuperação de Informação para a Rede Agrohidro.....	21
Avaliação do Risco de Contaminação da Água Subterrânea por Agrotóxicos em Mato Grosso do Sul: efeito do clima e solo.....	29
Metodologia para Priorização de Áreas para Intervenção no Âmbito de PSA Hídrico na Bacia Guapi-Macacu, Rio De Janeiro	37
Etapas Metodológicas para a Modelagem do Nitrogênio na Água na Bacia Guapi-Macacu, Rio De Janeiro, RJ	44
Compilação e Análise da Informação Utilizada ou Produzida pela Rede AgroHidro.....	52
Extração de Portfólio de Tecnologias de Irrigação a partir de Publicações Científicas.....	59
Desambiguação de Topônimos Usando Dicionários Geográficos.....	67
Disponibilidade Hídrica Futura Projetada por Modelos Globais do CMIP5 Selecionados pela Avaliação Sazonal da Precipitação na Bacia do Jaguaribe.....	75
Uma Arquitetura Triplestore para Armazenamento e Recuperação de Documentos no Contexto da Rede AgroHidro	83
Avaliação da Qualidade das Águas do Rio Siriri por Meio de Análise Multivariada	91
Impacto das Mudanças Climáticas no Estresse Hídrico do Feijoeiro Cultivado no Período das Águas.....	99

Avaliação da Influência de Cenários de Uso de Solo sobre a Quantidade e Qualidade Dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Siriri-Sergipe Via Modelo SWAT	107
Hidrogeoquímica de um Córrego Amazônico: o caso de um igarapé na flona do Tapajós, Pará, Brasil.....	114
Evapotranspiração no Perímetro Irrigado de Jaíba Utilizando Imagens de Satélite.....	122
Funções de Pedotransferência para Conteúdo de Água no Solo no Perímetro Irrigado Pontal Sul.....	129
Mudança do Uso da Terra em uma Bacia na Transição Cerrado/Amazônia no Norte de Mato Grosso.....	136
Calibração e Validação do Modelo SWAT Aplicado a uma Sub-Bacia do Rio Teles Pires.....	144
Consistência entre Dados Originais, Interpolações Globais e Projeções do Modelo Climático Regional EtaHadGEM2-ES para a Precipitação nas Bacias dos Rios Paracatu e São Marcos.....	152
Modelagem de Processos Hidrológicos em Bacias de Mesoescala Escassamente Monitoradas na Mata Atlântica, RJ, Brasil	160
Modelagem Hidrológica Utilizando o Modelo de Grandes Bacias MGB-IPH: estudo de caso da Bacia Hidrográfica do alto Teles Pires	168
Varição Anual de Carbono Dissolvido e Nitrogênio em Diferentes Usos de Terra, Nordeste do Pará-Amazônia	175
Utilização dos Modelos AgES-W e SWAT para Quantificação dos Recursos Hídricos na Bacia do Ribeirão das Posses, Extrema, MG.....	183
Tendências Hidrológicas a partir de Registros de Nível dos Rios da Bacia do Alto Paraguai, Pantanal.....	191

Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canaveira Irrigada nos Municípios do Sudoeste de Goiás	199
Destreza do Modelo Eta-hadGEM-ES para a Bacia do Rio Jaguaribe: projeções de chuva.....	206
Caracterização do Comportamento Hidrológico de Bacias Hidrográficas em Ecorregiões do Cerrado.....	213
Hydrologic Model of the Paracatu River Basin: calibration and validation	220
Sistema de Suporte à Decisão Frente às Inundações do Pantanal	228
Uso do Solo a Bacia Hidrográfica do Rio Pontal por Metodo Semisupervisionado	235
Destreza do Modelo Eta-HadGEM2-ES para a Bacia Alto Rio Paraguai-Pantanal: projeções de chuva	243
Hydrologic Model of the Upper Preto River Basin: calibration and validation	251
Evapotranspiração e Produção de Biomassa Quantificadas com Imagens Landsat 8 no Perímetro Irrigado Nilo Coelho	259
Parte A: variações espaciais	259
Evapotranspiração e Produção de Biomassa Quantificadas com Imagens Landsat 8 no Perímetro de Irrigação Nilo Coelho.....	266
Parte B: valores incrementais	266
Simulação Hidrológica na Bacia do Rio Japarutuba a partir de Dados de Precipitação Obtidos Via Sensoriamento Remoto.....	274
Uso e Cobertura das Terras da Bacia do Rio Pajeú, PE (Escala 1:100.000) e suas Relações com o Relevo e a Desertificação..	281

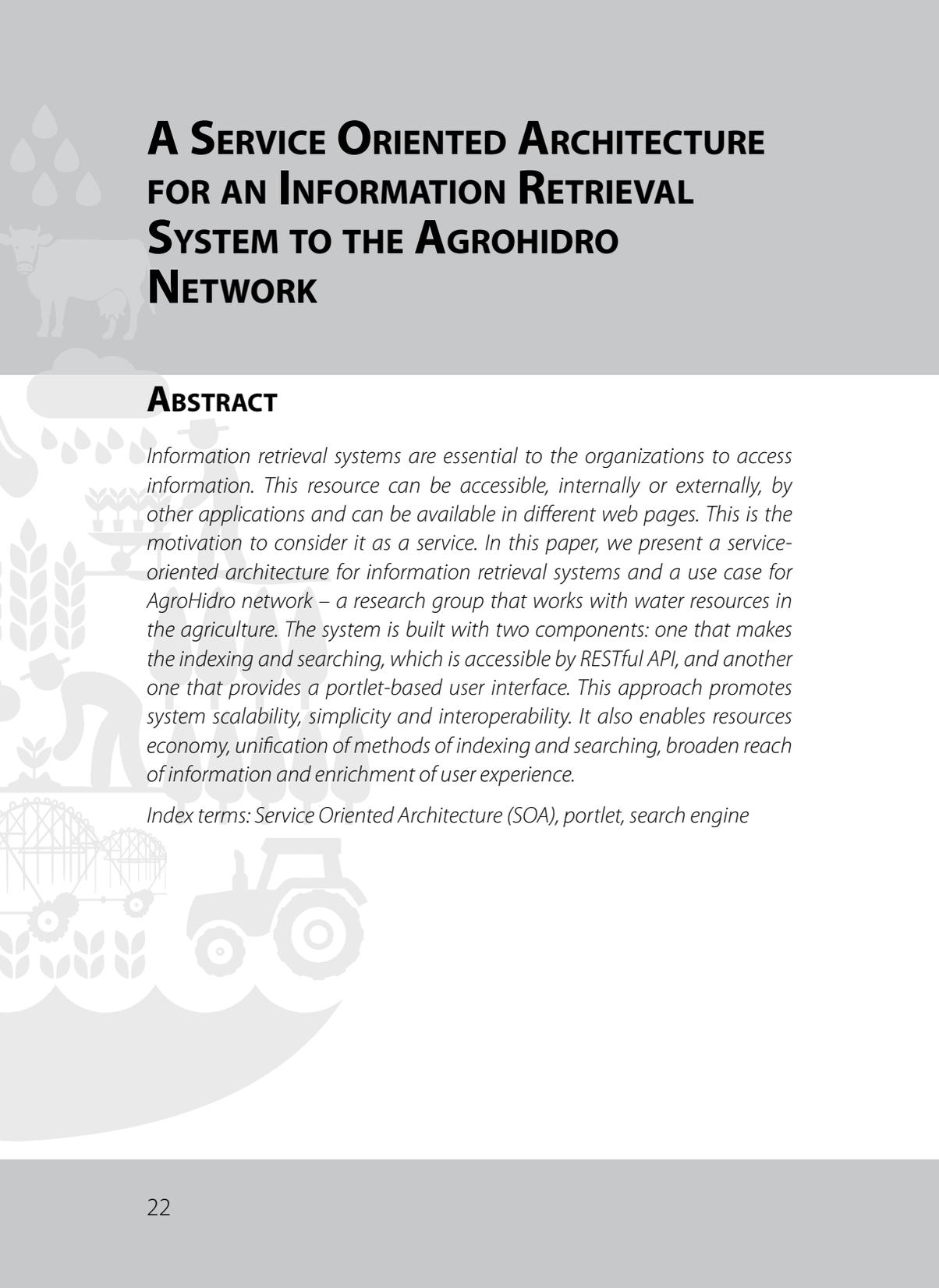
UMA ARQUITETURA ORIENTADA A SERVIÇOS PARA UM SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE INFORMAÇÃO PARA A REDE AGROHIDRO

GLAUBER JOSÉ VAZ

RESUMO

Sistemas de recuperação de informação são fundamentais para o acesso a informações nas organizações. Este recurso pode ser acessível, interna ou externamente, por outras aplicações e estar disponível em diferentes páginas web, o que motiva tratá-lo como um serviço. Neste artigo, apresentamos uma arquitetura de sistema de recuperação de informação orientado a serviço e um caso de uso para a Rede Agrohidro, grupo de pesquisa que trabalha com recursos hídricos na agricultura. O sistema é formado por dois grandes componentes, um, acessível via API RESTful, que faz indexação e busca, e outro, baseado em portlets, que oferece interface de usuário. A abordagem proposta promove escalabilidade, simplicidade e interoperabilidade de sistemas. Também favorece a economia de recursos, a unificação de métodos de indexação e de busca, maior alcance das informações e a melhor experiência dos usuários.

Termos para indexação: Service Oriented Architecture (SOA), portlet, mecanismo de busca.



A SERVICE ORIENTED ARCHITECTURE FOR AN INFORMATION RETRIEVAL SYSTEM TO THE AGROHIDRO NETWORK

ABSTRACT

Information retrieval systems are essential to the organizations to access information. This resource can be accessible, internally or externally, by other applications and can be available in different web pages. This is the motivation to consider it as a service. In this paper, we present a service-oriented architecture for information retrieval systems and a use case for AgroHidro network – a research group that works with water resources in the agriculture. The system is built with two components: one that makes the indexing and searching, which is accessible by RESTful API, and another one that provides a portlet-based user interface. This approach promotes system scalability, simplicity and interoperability. It also enables resources economy, unification of methods of indexing and searching, broaden reach of information and enrichment of user experience.

Index terms: Service Oriented Architecture (SOA), portlet, search engine

INTRODUÇÃO

Sistemas de recuperação de informação são fundamentais para que as organizações acessem seus dados e informações. Oferecidos como serviços, podem compor outras aplicações e podem ser acessíveis por públicos internos ou externos à organização, além de apresentarem inúmeras vantagens proporcionadas por uma abordagem de Service Oriented Architecture (SOA). Este trabalho visa o desenho de uma arquitetura de sistema de recuperação de informação orientado a serviço e posterior implementação de uma aplicação real, que, oferece, além de uma interface de usuário modular, uma interface para acessos realizados por aplicações. Especificamente para a Rede Agrohidro, grupo de pesquisa que trabalha com recursos hídricos na agricultura, um sistema de recuperação foi construído para acesso a produção bibliográfica relacionada a este tema.

MATERIAL E MÉTODOS

Service Oriented Architecture – Arquitetura Orientada a Serviço (SOA) é uma abordagem para abstrair as capacidades de software de uma organização como serviços reusáveis (BLOOMBERG, 2016). O uso de SOA apresenta vários benefícios, como custos menores, melhor consistência de aplicações e maior agilidade. SOA reduz redundância e produz sistemas modulares e interoperáveis que são mais fáceis de se usar e de se manter (GARTNER GROUP, 2016). SOA é um estilo de arquitetura baseado em serviços, que podem ser expostos de forma controlada e a audiências mais amplas através de APIs (HOLLEY et al., 2014). Uma Application Programming Interface (API), segundo Willmott e Balas (2013), especifica como componentes de software devem interagir uns com os outros, e uma Web API pode ser definida como uma interface para um componente de software que pode ser invocado à distância através de uma rede de comunicações usando tecnologias baseadas em padrões. Seu uso foi impulsionado pelo padrão REST associado ao formato JSON. Fielding (2000) define REST como um estilo de arquitetura para sistemas hipermídia distribuídos que fornece um conjunto de restrições

de arquitetura que enfatiza escalabilidade de interações de componentes, generalização de interfaces, implantação independente de componentes e componentes intermediários para reduzir latência de interação, reforçar a segurança e encapsular sistemas legados. JavaScript Object Notation (JSON) é uma formatação leve de troca de dados. Para seres humanos, é fácil de ler e escrever. Para máquinas, é fácil de interpretar e gerar. Está baseada em um subconjunto da linguagem de programação JavaScript (CROCKFORD, 2016).

Podemos entender um sistema de recuperação de informação em dois macrocomponentes: um que faz indexação e busca, e outro que exibe os resultados. Nesta proposta, o primeiro é baseado na tecnologia Elasticsearch e o segundo em portlets.

Elasticsearch é um mecanismo de busca de código aberto construído sobre o Apache Lucene, uma biblioteca para mecanismos de busca em texto reconhecidamente de qualidade e amplamente utilizada. Elasticsearch abstrai a complexidade da Lucene tornando bem mais simples a construção de mecanismos de busca em textos, oferece recursos adicionais e ainda viabiliza a utilização de suas funcionalidades via API Restful (GORMLEY; TONG, 2015).

Para a exibição dos resultados de busca, utilizamos portlets, que conforme a especificação JSR-286 (HEPPER, 2008), corresponde a uma aplicação web que fornece um fragmento de conteúdo a ser incluído como parte de uma página de portal e que pode variar de acordo com o usuário e as configurações do portlet, fornecendo assim uma interface de usuário para serviços baseada em componentes. Os portlets possibilitam a integração consistente dos serviços e das interfaces de usuário. Há várias tecnologias de portal que implementam esta especificação. Uma delas é o Liferay Portal, considerada uma das melhores alternativas para a construção de portais (MURPHY et al., 2015) e utilizada para construir o sistema tratado neste trabalho. Vaz (2015) mostra que a implementação de um mecanismo de busca para a Rede Agrohidro com a tecnologia Liferay Portal viabiliza a construção de uma ferramenta de qualidade, possibilitando buscas em ambientes restritos e também adicionando conhecimentos específicos para melhorar seus resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mecanismo de busca proposto neste trabalho conta com dois componentes, um responsável pela indexação e busca, representado na Figura 1, pelo servidor Elasticsearch, e outro responsável pela interface com o usuário, composto pelos portlets A, B, C e D exibidos na página web e seus respectivos controladores.

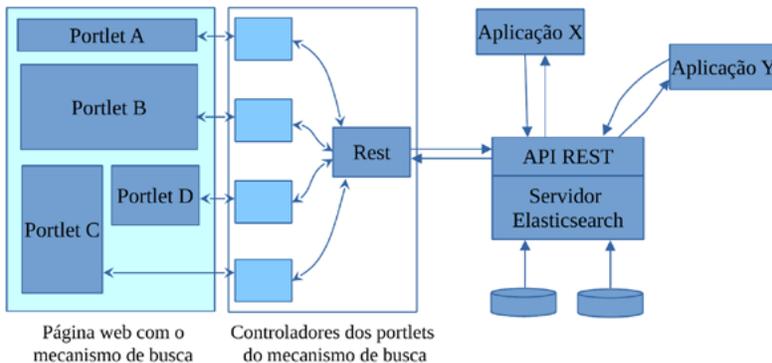


Figura 1. Arquitetura do sistema de recuperação de informação.

Ilustra-se ainda, na Figura 1, que outras aplicações, como X e Y, também podem fazer uso dos recursos oferecidos pelo servidor, que pode conter vários índices construídos a partir de diferentes fontes de dados. Com essa abordagem, não é necessário haver, na organização, índices replicados referentes às mesmas fontes de dados. Além de economizar recursos, unificam-se os métodos de indexação e busca, de maneira que os resultados sempre serão os mesmos para uma mesma consulta, independentemente de qual aplicação a utiliza. A comunicação entre as aplicações e o servidor é realizada através de requisições REST e as respostas obtidas são recebidas no formato JSON, padrão que facilita o intercâmbio de dados entre aplicações.

Do ponto de vista de interface de usuário, um mecanismo de busca pode ter inúmeros componentes, principalmente porque as possibilidades de visualização dos resultados de uma busca são ilimitadas, assim

como as análises que se desejam fazer com os dados recuperados e as alternativas de interação com o usuário para refinamento de uma busca. Apesar de esta aplicação poder ser implementada em um único portlet, que constitui a opção padrão para o Liferay Portal, por exemplo, a proposta desta arquitetura é baseada no uso de vários portlets, de maneira que outros portlets possam ser agregados para enriquecer a experiência dos usuários. A especificação Java de portlets (HEPPER, 2008) permite coordenação na camada de interface de usuário de diferentes maneiras para prover uma melhor integração entre os diferentes serviços.

O modelo de portlet segue o padrão Model-View-Controller (MVC), que estabelece a separação das camadas de controle e de geração de visão, representadas respectivamente na Figura 1, pelos controladores dos portlets e pela exibição dos portlets na página web. Cada portlet tem sua interface gerada por um controlador. E todos estes controladores acessam um mesmo elemento que envia as requisições REST para o servidor Elasticsearch, recebe as respostas em JSON e as analisa para consumo dos primeiros.

Esta arquitetura foi utilizada para implementar um mecanismo de busca específico para a Rede Agrohidro, composto inicialmente por quatro portlets: (a) um que contém o campo de texto, entrada para a busca; (b) um que exhibe documentos que constituem a resposta à consulta do usuário; (c) um que exhibe definições para os termos do domínio que aparecem nos resultados; e (d) outro que exhibe em um mapa regiões que são referenciadas em determinado documento anotado com coordenadas geográficas. Para atender a estes portlets, dois índices foram criados no componente de indexação e busca. No primeiro, foram indexados documentos da produção bibliográfica da Embrapa e documentos externos relacionados ao tema de interesse: recursos hídricos. No outro, foram indexados termos relacionados a este tema com suas respectivas definições. Embora tenham sido usados para uma aplicação específica, a arquitetura proposta e os portlets desenvolvidos são facilmente aplicáveis a outros domínios de interesse.

CONCLUSÕES

Apresentamos uma arquitetura orientada a serviço para um mecanismo de busca, baseada em dois grandes componentes, um que faz indexação e busca, e outro que oferece interface de usuário. A comunicação entre estes dois componentes e entre os elementos que os constituem é realizada de acordo com padrões e mecanismos bem estabelecidos, que possibilitam maior simplicidade, interoperabilidade e escalabilidade. Embora tenha sido base de um sistema específico para a Rede Agrohidro, esta arquitetura pode ser utilizada em diferentes contextos. O componente de indexação e busca pode ser consumido por parte de uma ou várias aplicações, internas ou externas, via API, viabilizando-se maior alcance, economia de recursos e unificação dos métodos de indexação e busca. Já os componentes de interface de usuário, representados pelos portlets, podem ser aproveitados em diferentes páginas web e podem ser estendidos com novos componentes a fim de enriquecer a experiência dos usuários.

REFERÊNCIAS

BLOOMBERG, J. Architecting the composable enterprise. In: MASON, R. **First, Break IT:** how composable services are changing the role of the CIO. pp. 36-43. Disponível em: <<https://www.mulesoft.com/lp/ebook/api/first-break-it>>. Acesso em: 19 fev. 2016.

CROCKFORD, D. **Introducing JSON.** Disponível em: <<http://www.json.org/>>. Acesso em: 24 mar. 2016.

FIELDING, R. T. **Architectural styles and the design of network-based software architectures.** 2000. Dissertation (Doctor of Philosophy) -- University of California, Irvine. Disponível em: <https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/rest_arch_style.htm>. Acesso em: 24 mar. 2016.

GARTNER GROUP. **Gartner IT Glossary:** Service-Oriented Architecture (SOA). Disponível em: <<http://www.gartner.com/it-glossary/service-oriented-architecture-soa>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

GORMLEY, C.; TONG, Z. **Elasticsearch:** the definitive guide. 2015. Disponível em: <<https://www.elastic.co/guide/en/elasticsearch/guide/current/index.html>>. Acesso em: 24 mar. 2016.

HEPPER, S. **JSR 286**: portlet specification 2.0. Java Community Process. 2008. Disponível em: <<http://download.oracle.com/otndocs/jcp/portlet-2.0-fr-oth-Jspec/>>. Acesso em: 24 mar. 2016.

HOLLEY, K.; ANTOUN, S.; ARSANJANI, A.; BROWN, W. A. B.; COSTAS, J. F.; COZZI, C.; GOYAL, P.; IYENGAR, S.; JAMJOOM, H.; JENSEN, C.; LAREDO, J.; MADDISON, J.; NARAIN, R.; NATARAJAN, A.; PETRIUC, J.; RAMACHANDRAN, K.; RAVISHANKAR, R.; REINITZ, R.; VAIDYA, S.; VUKOVIC, M. **The Power of the API Economy**: stimulate innovation, increase productivity, develop new channels, and reach new markets. Armonk: Redbooks IBM, 2014. Disponível em: <<http://www.redbooks.ibm.com/redpapers/pdfs/redp5096.pdf>>. Acesso em: 24 mar. 2016.

MURPHY, J.; PHIFER, G; TAY, G; REVANG, M. **Magic quadrant for horizontal portals**. Setembro, 2015.

VAZ, G. J. Plataforma computacional para um mecanismo de busca de qualidade para a Rede AgroHidro. In: SEMINÁRIO DA REDE AGROHIDRO, 3., 2015, Corumbá, MS. **Água na agricultura**: desafios frente as mudanças climáticas e de uso da terra: resumos. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 52. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/134800/1/Agrohidro-plataforma-Vaz.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 16.

WILLMOTT, S.; BALAS, G. **Winning in the API Economy**: using software and APIs to transform your business, drive revenues, broaden distribution and unleash innovation. [S.l.]: 3Scale, 2013. Disponível em <<https://www.3scale.net/wp-content/uploads/2013/10/Winning-in-the-API-Economy-eBook-3scale.pdf>>.

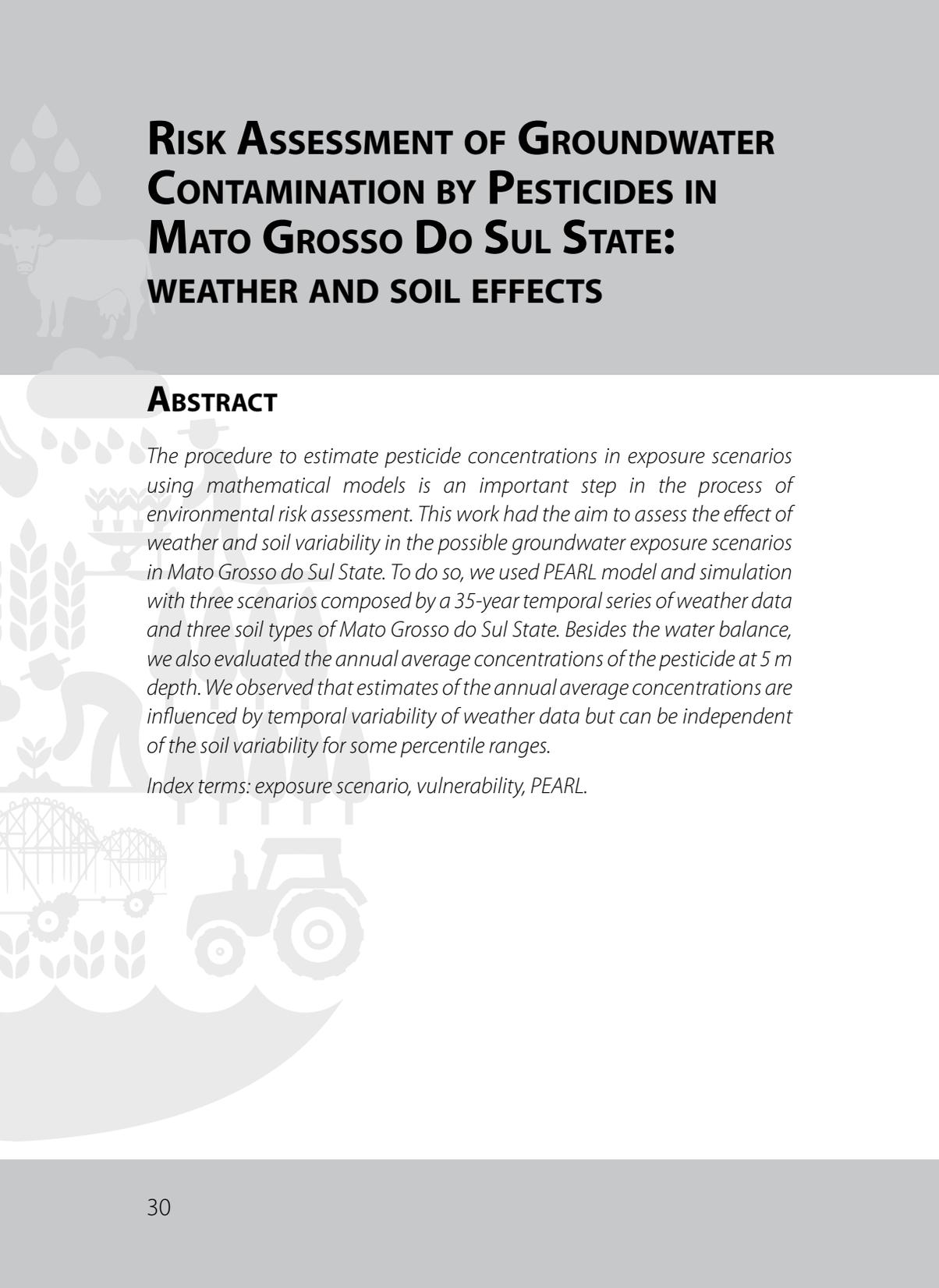
AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA POR AGROTÓXICOS EM MATO GROSSO DO SUL: EFEITO DO CLIMA E SOLO

**RÔMULO PENNA SCORZA JÚNIOR;
FÁBIO HENRIQUE CANESIN SIVIERI;
FÁBIO AUGUSTO DE SOUZA SEABRA**

RESUMO

O procedimento de estimar concentrações de agrotóxicos nos cenários de exposição, por meio de modelos matemáticos, é uma importante etapa no processo de avaliação do risco ambiental. Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da variabilidade dos dados climáticos e dos solos em possíveis cenários de exposição para água subterrânea, em Mato Grosso do Sul. Para tal, utilizou-se o modelo PEARL com simulações de três cenários com uma série temporal de dados climáticos de 35 anos para três tipos de solos representativos de Mato Grosso do Sul. Avaliou-se, além do balanço hídrico, as concentrações médias anuais do agrotóxico a 5 m de profundidade. Observou-se que as estimativas das concentrações médias anuais são influenciadas pela variabilidade temporal dos dados climáticos, que pode ser independente da variabilidade do solo para determinados intervalos de percentis.

Termos para indexação: cenários de exposição, vulnerabilidade, PEARL.



RISK ASSESSMENT OF GROUNDWATER CONTAMINATION BY PESTICIDES IN MATO GROSSO DO SUL STATE: WEATHER AND SOIL EFFECTS

ABSTRACT

The procedure to estimate pesticide concentrations in exposure scenarios using mathematical models is an important step in the process of environmental risk assessment. This work had the aim to assess the effect of weather and soil variability in the possible groundwater exposure scenarios in Mato Grosso do Sul State. To do so, we used PEARL model and simulation with three scenarios composed by a 35-year temporal series of weather data and three soil types of Mato Grosso do Sul State. Besides the water balance, we also evaluated the annual average concentrations of the pesticide at 5 m depth. We observed that estimates of the annual average concentrations are influenced by temporal variability of weather data but can be independent of the soil variability for some percentile ranges.

Index terms: exposure scenario, vulnerability, PEARL.

INTRODUÇÃO

A avaliação da exposição dos recursos hídricos a agrotóxicos é uma importante etapa do processo de Avaliação do Risco Ambiental (ARA). Para tal, modelos matemáticos e/ou simuladores são utilizados para gerar as estimativas das concentrações no ambiente, por meio do uso de cenários de exposição de “pior caso”. No Brasil, a ARA de agrotóxicos ainda está em fase de implementação pelas autoridades brasileiras. No entanto, esta implementação necessitará da elaboração de cenários de exposição, onde a variabilidade do clima e do solo devem ser conhecidas para garantir que os critérios de vulnerabilidade sejam atendidos plenamente como, por exemplo, a vulnerabilidade total (do solo e clima) superior ao 80 percentil. Na prática, isso quer dizer que para uma determinada zona ou região, o cenário de exposição onde as decisões foram tomadas deve garantir uso seguro em 80% dos locais (variabilidade do solo) e do tempo (variabilidade dos dados climáticos). Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da variabilidade dos dados climáticos e de três tipos de solos em possíveis cenários de exposição para água subterrânea em Mato Grosso do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

As simulações da lixiviação dos agrotóxicos nos diferentes cenários foram realizadas utilizando-se o modelo unidimensional PEARL (BERG et al., 2016), que utiliza a equação de convecção-dispersão para transporte dos agrotóxicos, partição por Freundlich e cinética de primeira ordem para a degradação. Para simular o fluxo de água no solo, utiliza-se o modelo SWAP (DAM et al., 2008). Para a construção dos três cenários, denominados de A, B e C, utilizou-se uma série temporal de dados climáticos de 35 anos (1/1/1980 a 31/12/2014), obtida na Estação Meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste de Dourados, MS. Em cada cenário (A, B e C), utilizou-se solos com perfis de 5 m, representativos do estado de Mato Grosso do Sul, como segue: Latossolo Vermelho distroférico típico de textura argilosa para Cenário A, Latossolo Vermelho distrófico

típico de textura média para o Cenário B e Neossolo Quartzarênico Órtico típico para o Cenário C. Os atributos químicos e físicos, bem como as curvas de retenção de água e de condutividade hidráulica no solo estão descritas em Scorza Júnior e Silva (2007). Considerou-se apenas a simulação de um agrotóxico com características de média persistência (meia-vida de 60 dias) e de baixa sorção ($K_{OC} = 103 \text{ L kg}^{-1}$), sendo realizadas três aplicações (1 kg ha^{-1}) anuais, diretamente ao solo (10/01; 10/02 e 10/11), e repetidas durante os 35 anos da simulação. Não foi considerada a presença de culturas nas simulações. Para análise dos resultados, considerou-se, além do balanço hídrico anual, as concentrações médias anuais do agrotóxico, a 5 m de profundidade, para um intervalo de 29 anos (1986 a 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de simulação considerado (29 anos) e cenário A, a precipitação acumulada variou de 1.063 mm a 1.725 mm e a recarga anual a 5 m de 584 mm a 1.132 mm (Tabela 1). Já a concentração média anual do agrotóxico (CMA) a 5 m variou de 0,15 a $1,92 \mu\text{g L}^{-1}$. Não houve correspondência entre os anos de maior precipitação e de recarga anual para os valores da CMA. Além da dinâmica do fluxo de água no solo, outros processos interferem na lixiviação dos agrotóxicos como, por exemplo, a partição entre fase sólida e líquida, degradação, intervalo da aplicação e ocorrência das primeiras chuvas (VANDERBORGHT et al., 2011). O valor correspondente ao 80 percentil da CMA é de $1,41 \mu\text{g L}^{-1}$ (Figura 1), e somente em seis anos (1988, 1989, 1990, 1998, 2003 e 2004) os valores das CMA foram superiores a $1,41 \mu\text{g L}^{-1}$. É importante salientar que este 80 percentil de CMA corresponde ao critério de vulnerabilidade temporal dos dados climáticos, ou seja, assume-se um risco da CMA ser superior a $1,41 \mu\text{g L}^{-1}$ em 20% dos anos. Para assumir uma vulnerabilidade total de 80 percentil, por exemplo, há necessidade de considerar outros fatores como a variabilidade dos tipos de solos (ALPHEN; STOORVOGEL, 2002). A distribuição de probabilidade acumulada das estimativas das CMA para três diferentes tipos de solos (Cenários A, B e C), considerando

a mesma série de dados climáticos (29 anos), é apresentada na Figura 2. De maneira geral, observa-se que para valores de CMA superiores a 20 percentil, o incremento das probabilidades é semelhante nos três tipos de solos, embora os valores absolutos de CMA sejam diferentes. Isso indica que o efeito da variabilidade dos dados climáticos e dos tipos de solos foram independentes para os cenários considerados e CMA superiores a 20 percentil. As diferenças nos incrementos das probabilidades para CMA inferiores a 20 percentil (Figura 2) e, portanto, na forma das curvas, podem ter sido causadas por um curto período de “warm up” das simulações, considerado pelos seis anos iniciais.

Tabela 1. Precipitação acumulada e simulações da recarga anual a 5 m e concentrações médias anuais do agrotóxico a 5 m de profundidade para o cenário A no período de 1986 a 2014.

Ano	Precipitação acumulada (mm)	Recarga anual a 5 m (mm)	Concentração média anual ($\mu\text{g L}^{-1}$)
1986	1.497	792	0,15
1987	1.632	1.061	1,04
1988	1.111	676	1,90
1989	1.578	879	1,92
1990	1.514	1.112	1,49
1991	1.063	584	1,24
1992	1.725	1.132	1,23
1993	1.295	721	1,27
1994	1.367	857	1,20
1995	1.261	803	1,13
1996	1.299	743	1,09
1997	1.661	1.132	1,19
1998	1.623	1.040	1,42
1999	1.154	832	1,28
2000	1.523	810	1,00
2001	1.608	988	0,82
2002	1.338	882	1,00
2003	1.228	802	1,42

Continua.

Tabela 1. Continuação.

Ano	Precipitação acumulada (mm)	Recarga anual a 5 m (mm)	Concentração média anual ($\mu\text{g L}^{-1}$)
2004	1.483	980	1,60
2005	1.273	769	1,40
2006	1.164	763	1,23
2007	1.255	869	1,19
2008	1.136	822	1,11
2009	1.577	833	0,98
2010	1.322	980	0,83
2011	1.491	1.107	0,69
2012	1.294	874	0,64
2013	1.606	1.119	0,66
2014	1.366	862	0,73

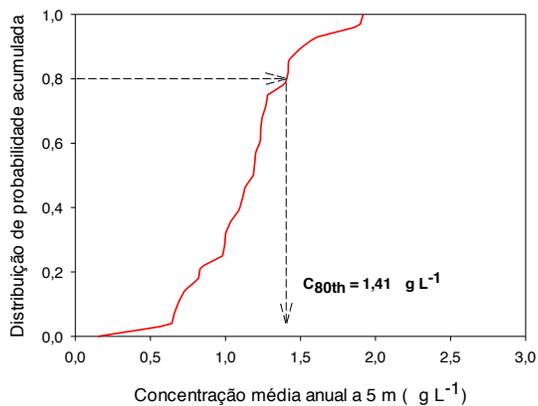


Figura 1. Distribuição de probabilidade acumulada das estimativas das concentrações médias anuais a 5 m de profundidade para o cenário A, no período de 1986 a 2014 (29 anos).

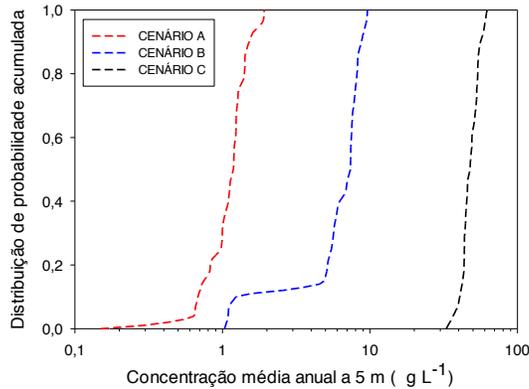


Figura 2. Distribuição de probabilidade acumulada das estimativas das concentrações médias anuais a 5 m de profundidade para os cenários A, B e C (diferentes tipos de solos), no período de 1986 a 2014 (29 anos).

CONCLUSÕES

De maneira geral, as estimativas das concentrações ambientais de agrotóxicos na água subterrânea em cenários de exposição em Mato Grosso do Sul são influenciadas pela variabilidade temporal dos dados climáticos e dos tipos de solo. No entanto, esses fatores se mostraram independentes em algumas situações. Assim, sugere-se que para criação futura de cenários de exposição real de “pior caso” em Mato Grosso do Sul, para gerar estimativas das concentrações ambientais, deve-se considerar a heterogeneidade dos dados climáticos e dos diferentes tipos de solos.

REFERÊNCIAS

ALPHEN, B. J. van; STOOORVOGEL, J. J. Effects of soil variability and weather conditions on pesticide leaching — a farm-level evaluation. **Journal of Environmental Quality**, v. 31, n. 3, p. 797-805, May/June 2002.

BERG, F. van den; TIKTAK, A.; BOESTEN, J. J. T. I.; LINDEN, A. M. A. van der. **PEARL model for pesticide behaviour and emissions in soil-plant system**: description of processes. Wageningen: Wageningen UR Library, 2016. 134 p. Disponível em: <<http://edepot.wur.nl/171621>>. Acesso em: 4 maio 2016.

DAM, J. C. van; GROENENDIJK, P.; HENDRIKS, R. F. A.; KROES, J. G. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. **Vadose Zone Journal**, v. 7, n. 2, p. 640-653, May 2008.

SCORZA JÚNIOR, R. P.; SILVA, J. P. Potencial de contaminação da água subterrânea por pesticidas na Bacia do Rio Dourados, MS. **Pesticidas: revista ecotoxicologia e meio ambiente**, v. 17, p. 87-106, jan./dez. 2007.

VANDERBORGHT, J.; TIKTAK, A.; BOESTEN, J. J. T. I.; VEREECKEN, H. Effect of pesticide fate parameters and their uncertainty on the selection of "worst-case" scenarios of pesticide leaching to groundwater. **Pest Management Science**, v. 67, n. 3, p. 294-306, Mar. 2011.

METODOLOGIA PARA PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA INTERVENÇÃO NO ÂMBITO DE PSA HÍDRICO NA BACIA GUAPI-MACACU, RIO DE JANEIRO

**VANESA RODRÍGUEZ OSUNA; RACHEL BARDY PRADO;
HARTMUT GAESE**

RESUMO

Os Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) hídricos estão em expansão no Brasil e fornecem incentivos para a conservação dos recursos hídricos. Neste contexto surgem lacunas, sendo uma delas estabelecer critérios e métodos para seleção de áreas prioritárias à intervenção. Este trabalho teve como objetivo a integração dos mapas de vulnerabilidade dos recursos hídricos e de custo de oportunidade da terra visando apontar áreas prioritárias à conservação no âmbito de PSA Hídricos na bacia Guapi-Macacu. Inicialmente os métodos de Análise Custo-Benefício e Custo de Oportunidade da terra (CO) foram aplicados a partir de entrevistas aos produtores rurais. Na sequência, os resultados foram especializados, utilizando o mapa de uso e cobertura da terra da bacia (áreas agrícolas e de pastagem), sendo obtido o mapa de CO. Foi elaborado o mapa de vulnerabilidade dos recursos hídricos utilizando sistema de suporte à decisão espacial, modelo conceitual de Pressão/Estado/Resposta e ponderação dos temas por especialistas. O mapa de áreas prioritárias à intervenção foi obtido em SIG, a partir da sobreposição dos mapas de CO e de vulnerabilidade dos recursos hídricos. Obteve-se que sub-bacias com maior vulnerabilidade hídrica e com menores CO são as com maior prioridade em termos de intervenção no âmbito de um PSA hídrico.

Termos para indexação: serviços ecossistêmicos, conservação recursos hídricos, uso da terra.

METHODOLOGY TO TARGET PRIORITY AREAS FOR PAYMENT FOR WATERSHED SCHEMES IN THE GUAPI-MACACU WATERSHED, RIO DE JANEIRO

ABSTRACT

Payments for Watershed Services (PWS or PES-Water) are in expansion in Brazil and provide incentives for the conservation of water resources. Some current limitations are the establishment of criteria and methods for the selection of priority areas for intervention. This work aimed at the integration of water resources vulnerability and land opportunity cost maps aiming to identify priority areas for conservation under Water PSE in the Guapi-Macacu basin. Initially, the method of economic valuation of land Opportunity Cost (OC) was applied based on interviews with farmers. Then, opportunity costs of giving up upstream land currently under agriculture or pasture for watershed protection were spatialized using land use and land cover maps of the watershed and obtained the OC map. A water vulnerability map was employed, which was based on a spatial decision support system and a conceptual model of Pressure/State/Response and weighed by hydrological expert consultation. The map of priority areas for intervention was obtained in GIS from the overlap of OCs and water vulnerability maps. It was found that sub-watersheds with the highest water vulnerability and lower OC are the highest priority for cost-effective interventions under a Water PES.

Index terms: Ecosystem services, water conservation, land use.

INTRODUÇÃO

A Avaliação Ecosistêmica do Milênio demonstrou que cerca de 60% dos serviços ecossistêmicos, responsáveis pelo bem-estar humano, estão degradados e sob pressão antrópica devido à contínua destruição e sobre-exploração dos recursos naturais e da biodiversidade. Para diminuir e reverter esses processos é necessário promover a proteção, o uso sustentável e a recuperação dos ecossistemas e, dessa forma, garantir serviços essenciais que estes oferecem. A fim de conciliar a conservação da paisagem com demandas relativas ao uso da terra e dos recursos naturais, é essencial que os valores ecológicos, socioculturais e econômicos da paisagem sejam plenamente levados em conta no planejamento e na tomada de decisão (DE GROOT et al., 2010). Os esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) com foco na água estão se expandindo em toda a América Latina (PAGIOLA et al., 2013). No Brasil, desde a criação do Programa Produtor de Água, em 2006, pela Agência Nacional de Águas (ANA), vários esquemas surgiram, reforçando sua importância para a conservação da água. Estes se iniciaram no bioma Mata Atlântica, mas tem se expandido para os demais biomas, principalmente no Cerrado (PRADO et al., 2015). Algumas lacunas têm sido apontadas, dentre elas métodos e critérios para a seleção de áreas para as intervenções nos PSA hídricos (GJROUP et al., 2015). O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de integrar os mapas de vulnerabilidade dos recursos hídricos e de custo de oportunidade da terra, com vistas a apoiar a tomada de decisão para a identificação de áreas prioritárias à conservação em PSA hídricos na bacia Guapi-Macacu.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Guapi-Macacu com área de aproximadamente 1.265 km² abastece de água quase dois milhões de habitantes no Estado do Rio de Janeiro (PEDREIRA et al., 2009). A bacia possui fragmentos florestais ainda preservados, principalmente nas áreas mais elevadas, que protegem as nascentes. No entanto, fatores como o desmatamento, o crescimento

urbano e o uso das terras ao longo dos diferentes ciclos econômicos agropecuários, realizados sem uma preocupação conservacionista, incrementam os processos erosivos, de assoreamento e de poluição dos rios. Tais problemas são mais evidentes nas áreas de baixada, em que os fragmentos de matas são menores e menos frequentes e onde as matas ciliares estão praticamente ausentes. Nestas áreas se concentram também os poluentes provenientes dos esgotos urbanos gerados em toda a bacia. O manejo atual da agricultura também pode refletir na qualidade da água principalmente devido ao uso de pesticidas e fertilizantes (HANSEL; PRADO, 2014).

PROCEDIMENTOS

- a) *Entrevistas com os produtores rurais* – 78 propriedades rurais em três microbacias da Bacia Guapi-Macacu foram selecionadas de forma aleatória e entrevistadas em 2011 e 2012 por meio de questionário semiestruturado. Os aspectos abordados nas entrevistas foram relacionados à propriedade da terra, custos, uso e manejo agrícola e percepção ambiental.
- b) *Elaboração do mapa de custo de oportunidade da terra (CO)* – a partir da organização dos dados obtidos nas entrevistas com os produtores rurais em base de dados foi possível aplicar o método econômico de análise custo-benefício para derivar o denominado custo de oportunidade da terra em reverter a utilização com agricultura e pastagem em floresta, visando melhorar a qualidade da água na bacia estudada (BIRD, 2011). De posse do mapa de uso e cobertura da terra da bacia na escala 1:50.000 (FIDALGO et al., 2008), os valores de custo de oportunidade obtidos com as entrevistas foram extrapolados para a escala da bacia hidrográfica Guapi-Macacu, para as classes pastagem e agricultura, sendo as demais classes de uso desconsideradas nesta etapa (RODRÍGUEZ-OSUNA et al., 2014). O mapa final de custo de oportunidade em reverter agricultura e pastagem em floresta apresentou sete classes, com intervalos de valores (R\$/ha) variando de R\$ 14,00 a R\$ 1.660,00 (RODRÍGUEZ-OSUNA et al., 2014).

- c) *Elaboração do mapa de vulnerabilidade dos recursos hídricos* – foi adotada uma base de conhecimento e aplicado sistema de suporte à decisão espacial em SIG, que integrou os resultados temáticos (relacionados à pressão e ao estado do ambiente na bacia em estudo), permitindo a geração de cenários da vulnerabilidade dos recursos hídricos, utilizando o modelo conceitual PSR (Pressure, State, Response) preconizado pela OECD USE ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (1994). Foram utilizadas técnicas de lógica nebulosa, análise multicriterial e processo analítico hierárquico – AHP, com apoio de especialistas na ponderação dos temas (FERREIRA, 2012).
- d) *Elaboração do mapa de áreas prioritárias à intervenção no âmbito de PSA hídrico* – este mapa foi obtido a partir da sobreposição dos mapas de CO e vulnerabilidade dos recursos hídricos em SIG. Quatro classes foram estabelecidas, numeradas de 1 a 4, em função da prioridade (1-maior, 4-menor).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, apresentam-se os mapas de custo de oportunidade da terra (a), vulnerabilidade dos recursos hídricos (b) e de áreas prioritárias à intervenção em PSA hídrico, por sub-bacia da Bacia Guapi-Macacu – RJ. Observa-se que as áreas que apresentaram maior CO são as que possuem agricultura, seguido de pastagem e as que apresentaram menor CO são as menos ocupadas por agricultura e pastagens, muitas delas com presença de vegetação natural em diversos estágios de sucessão. Quanto à vulnerabilidade dos recursos hídricos as sub-bacias mais vulneráveis são as que recebem a pressão de áreas urbanas (esgoto), que estão em elevadas declividades, entre outros aspectos. As sub-bacias prioritárias à intervenção em um possível PSA são as que apresentaram maior vulnerabilidade dos recursos hídricos quanto à pressão e estado do ambiente e menor custo de oportunidade da terra (CO).

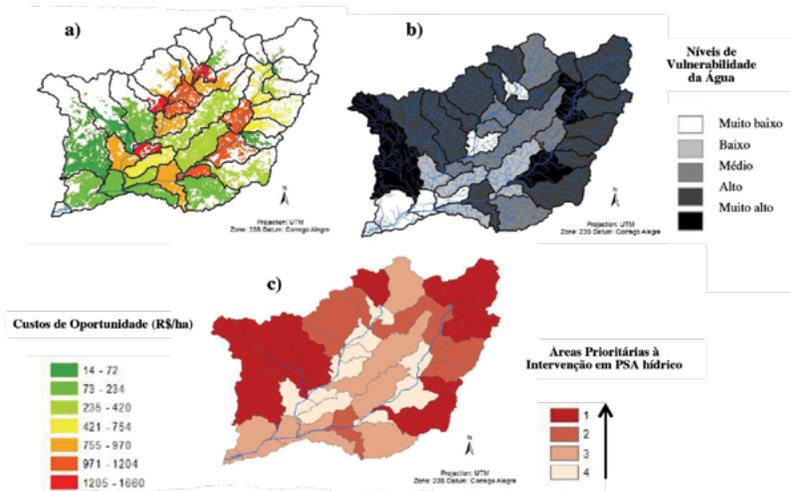


Figura 1. Mapas de custo de oportunidade da terra (a), vulnerabilidade dos recursos hídricos (b) e de áreas prioritárias à intervenção em PSA hídrico (c) na Bacia Guapi-Macacu, RJ.

CONCLUSÕES

A aplicação de métodos de valoração econômica, como o Custo de Oportunidade da Terra (CO), tem sido cada vez mais utilizada para estimar valores de compensação ao produtor por práticas conservacionistas com potencial de contribuir para a geração de serviços ecossistêmicos. Contudo, destaca-se que cada método deve ser aplicado a uma situação específica. Por exemplo, na bacia Guapi-Macacu o custo de oportunidade da terra sob agricultura é bastante elevado, devido à sua proximidade com a área metropolitana do Rio de Janeiro. No entanto, as sub-bacias com menores custos foram as com maior proporção de pastagem, que no caso da bacia não é altamente lucrativo, onde seria indicado para investir na conservação ambiental. Ressalta-se ainda que algumas ações de baixo custo como cercamento de nascentes e evitar o acesso do gado aos cursos de água, podem resultar em ganho ambiental e impactos positivos na geração de serviços ecossistêmicos hídricos. O estabelecimento de critérios e ferramentas de apoio à decisão na seleção de áreas prioritárias à conservação dos recursos hídricos

são fundamentais para a otimização de recursos e esforços, facilitando também a mensuração dos impactos.

REFERÊNCIAS

- BIRD. **Estimating the opportunity costs of REDD+**: a training manual. Version 1.3. Washington, 2011. 262 p.
- DE GROOT, R. S.; ALKEMADE, R.; BRAAT, L.; WILLEMEN, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. **Ecological Complexity**, v. 7, n. 3, p. 260-272, 2010.
- FERREIRA, C. E. G. **Sistema de Suporte à decisão espacial aplicado à análise da vulnerabilidade dos recursos hídricos na bacia Guapi-Macacu/RJ**. 2012. 157 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- FIDALGO, E. C. C.; PEDREIRA, B. C. C. G.; ABREU, M. B.; MOURA, I. B.; GODOY, M. D. P. **Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 31 p. (Embrapa Solos. Série Documentos, 105).
- GJORUP, A. F.; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; SCHULER, A. E. Análise de procedimentos para seleção de áreas prioritárias em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos. **Revista Ambiente e Água**, v. 11, n. 1, p. 225-238, 2015.
- HANSEL, F.; PRADO, R. B. Água: um reflexo do ambiente de entorno. In: PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C. C.; BONNET, A. **Monitoramento da revegetação do Comperj**: etapa inicial. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 85-99.
- OECD USE ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Environmental Indicators - OECD Core Set**. Paris, 2001. 155 p.
- PAGIOLA, S.; VON GLEHN, H. C.; TAFFARELLO, D. **Experiências de pagamentos por serviços ambientais no Brasil**. São Paulo: Secretaria do meio ambiente, 2013. 336 p.
- PEDREIRA, B. C. C. G.; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; CINTRÃO, R. P.; BENAVIDES, Z. C. Demanda e oferta de água nas bacias hidrográficas Guapi-Macacu e Caceribu em área de Mata Atlântica – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 2009, Campo Grande. **Anais...** Porto Alegre: SBRH, 2009.
- PRADO, R. B.; COSTA, M.; LIMA, A. P. M.; SCHULER, A. E.; GUIMARÃES, J.; FIDALGO, E. C. C.; TURETTA, A. P. D.; PEDREIRA, B. C. C. G.; COUTINHO, H. L. C.; MONTEIRO, J. M.; CLEMENTE, E.; MARTINS, A. L.; OLIVEIRA, A. P. Payment for Ecosystem Water Services in Brazil (2011 to 2014): main opportunities and challenges. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM NEOTRÓPICOS, 4., 2015, Mar Del Plata. **Anais...** Mar Del Plata: CISEN, 2015.
- RODRÍGUEZ-OSUNA, V.; BÖRNER, J.; NEHREN, U.; PRADO, R. B.; GAESE, H.; HEINRICH, J. Priority areas for watershed service conservation in the Guapi-Macacu region of Rio de Janeiro, Atlantic Forest, Brazil. **Ecological Processes**, v. 3, p. 16, 2014.
- WORLD BANK. **Estimating the opportunity costs of REDD+**: a training manual. Version 1.3. Washington, 2011. 262 p.

ETAPAS METODOLÓGICAS PARA A MODELAGEM DO NITROGÊNIO NA ÁGUA NA BACIA GUAPI-MACACU, RIO DE JANEIRO, RJ

**SANTIAGO PENEDO; ANNIKA KÜNNE; RACHEL BARDY PRADO;
AZENETH EUFRAUSINO SCHULER; LARS RIBBE;
LÍVIA FURRIEL DE CASTRO**

RESUMO

A qualidade da água depende de muitos fatores naturais e antrópicos. Estes impactos precisam ser caracterizados e quantificados para subsidiar cenários futuros e a gestão de recursos hídricos no âmbito das bacias hidrográficas. A Bacia Guapi-Macacu, pertencente ao Bioma Mata Atlântica, é a terceira no ranking de abastecimento de água no Estado do Rio de Janeiro. O propósito deste trabalho foi apresentar as etapas metodológicas para a modelagem hidrológica das formas de nitrogênio nesta bacia. Nesse caso, o modelo hidroquímico J2000-S foi aplicado. A fim de calibrar e validar o modelo, foi instalada uma rede de monitoramento hidrometeorológica e de qualidade da água. Dados secundários também foram organizados e utilizados. Etapas do trabalho: coleta e análise de dados, delimitação das unidades de resposta hidrológica; calibração e validação temporal do modelo hidroquímico; validação espacial e análise de incertezas. A principal fonte de nitrogênio é o esgoto doméstico, seguida das fontes difusas relacionadas à agricultura. Concluiu-se que a disponibilidade de dados é um grande desafio, mas a implantação de redes de monitoramento sólidas pode fornecer os dados necessários para a modelagem.

Termos para indexação: qualidade da água, uso e cobertura da terra, monitoramento.

METHODOLOGICAL STEPS FOR NITROGEN MODELING IN THE WATER IN GUAPI-MACACU BASIN, RIO DE JANEIRO

ABSTRACT

Water quality depends on multiple natural and anthropogenic factors. These impacts need to be assessed and quantified to support future scenarios to support watershed management. The Guapi-Macacu Basin, part of the Atlantic Forest biome, is the third water supplier to the Rio de Janeiro state. The main purpose of this paper is to present the methodological steps undertaken to model the hydrology and nitrogen cycle in this basin. The hydro-chemical model J2000-S was applied in this case. In order to calibrate and validate the model, a monitoring network was implemented. Secondary data were also organized and used. The main steps were: data collection and analysis, delimitation of the hydrological response units (HRUs), temporal calibration and validation of the J2000-S model, spatial validation and uncertainty analysis. The main source of nitrogen is untreated sewage followed by diffuse sources related to agriculture. Therefore, the modeling approach focused on properly representing these processes. The main conclusions appoint that data availability remains a major challenge in poorly gauged basins but sound monitoring approaches can provide necessary data to apply hydro-chemical models.

Index terms: water quality, land use and land cover (LULC), monitoring.

INTRODUÇÃO

A sociedade e os ecossistemas naturais são dependentes de água para o seu funcionamento. Nas últimas décadas, as atividades antrópicas reduziram a disponibilidade da água. Segundo Arreghini et al. (2007), os componentes do ciclo hidrológico, o uso e cobertura da terra, as propriedades do solo, a topografia e a atividade dos organismos são as variáveis mais relevantes que impactam na qualidade da água. Além do impacto na qualidade da água, essas alterações também estão relacionadas às mudanças climáticas, ao ciclo do carbono, à perda de biodiversidade e ao manejo na agricultura (LEPERS et al., 2005). A qualidade da água é altamente variável tanto no espaço, quanto no tempo, devido às fontes de poluição como à própria dinâmica do ciclo hidrológico (WALTON; HUNTER 2009). Os modelos hidroquímicos são ferramentas integradoras para avaliar os impactos de diferentes usos e cobertura da terra (principal força motriz) na qualidade da água (ARREGHINI et al., 2007). O modelo hidroquímico J2000-S foi selecionado para utilização no presente estudo (FINK et al., 2007) como ferramenta para descrever os processos hidroquímicos ocorrendo na bacia e o comportamento das formas de nitrogênio na água. Neste contexto, o objetivo geral desta pesquisa foi apresentar as etapas metodológicas necessárias à aplicação do modelo J2000-S para fazer a modelagem do nitrogênio na bacia do Guapi-Macacu (BHGM).

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A BHGM possui aproximadamente 1.265 km² e abastece quase dois milhões de habitantes no estado do Rio de Janeiro (PEDREIRA et al., 2009). No entanto, fatores como o desmatamento, crescimento urbano e uso das terras ao longo dos diferentes ciclos econômicos agropecuários, realizados sem uma preocupação conservacionista, incrementam os processos erosivos, de assoreamento e de poluição dos rios. Nas áreas de baixada, os fragmentos de matas são menores e menos frequentes e as

matas ciliares estão quase ausentes. A principal fonte de contaminação (poluição pontual) ao longo da BHGM é a carga de esgoto in natura lançada pelas sedes dos municípios como Cachoeiras de Macacu, mas também das comunidades rurais. O manejo atual da agricultura também pode refletir na qualidade da água principalmente devido ao uso de pesticidas e fertilizantes (HANSEL; PRADO, 2014).

PROCEDIMENTOS

A metodologia constituiu-se de cinco etapas

a) *Coleta e organização de dados* – levantamento de dados secundários e primários. Os secundários, foram obtidos em várias instituições e se referem aos dados hidro-meteorológicos, mapas temáticos e base cartográfica, sintetizados na Tabela 1. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi derivado dos dados do IBGE e corrigido com informação da Missão Topográfica Radar Shuttle. Em relação aos dados primários de qualidade da água, foi implementada uma rede de monitoramento na BHGM, com 11 pontos ao longo da bacia, com coletas bimensais. Os pontos foram selecionados com o objetivo de capturar a heterogeneidade da bacia, tentando representar os principais usos da terra e seus impactos no teor de nitrogênio na água. Os parâmetros analisados foram nitrato, nitrito, amônia e nitrogênio total (analisados no laboratório da Embrapa Solos). Também foram instaladas três estações hidrosedimentológicas e meteorológicas em microbacias cujo uso e cobertura da terra eram representativos da BHGM.

Tabela 1. Dados secundários utilizados na modelagem do nitrogênio na BHGM.

Dado	Fonte	Local	Período
Precipitação	ANA ¹	10 estações na região	1965-2012
Vento	INMET/SINDA	Estação Rio de Janeiro e Teresópolis	2002-2013
Vazão	ANA ¹	Estação Parque Ribeira	1996-2009
Temperatura	INMET/SINDA ²	4 Estações na região	2001-2013

Continua.

Tabela 1. Continuação.

Dado	Fonte	Local	Período
Umidade Relativa	INMET/SINDA ²	Estação Rio de Janeiro e Teresópolis	2002-2013
Radiação Solar	INMET/SINDA ²	Estação Rio de Janeiro e Teresópolis	2002-2013
Qualidade de Água	ANA ³	Estação Japuiba	2001-2010
Mapa	Ano	Fonte	Escala
Mapa Solos	2003	Carvalho Filho et al.	1:250.000
Mapa de Uso e Cobertura da Terra	2008	Fidalgo et al.	1:50.000
Mapa de Aquíferos	2002	DRM ³	1:50.000

¹ Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH – Agência Nacional de Águas (ANA): <http://www.ana.gov.br/portalsnirh/>

² Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET): <http://www.inmet.gov.br/portal/>

³ Departamento de Recursos Minerais (DRM)

b) *Delimitação das Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs)* – utilização de método de Staudenrausch (2001). Foram delimitadas 2.870 HRUs a partir do ponto Parque Ribeira e 24.280 HRUs a partir do ponto Imunana-Laranjal (onde localiza-se a captação de água para abastecimento).

c) *Calibração e Validação Temporal* – o método de Montecarlo (MMC) foi utilizado para identificar os parâmetros mais sensíveis, para assim reduzir a equifinalidade. Os parâmetros selecionados foram calibrados para a área a montante do ponto Parque Ribeira (278 km²), cuja série temporal de vazão era relativa ao período de 1996-2010. A série de tempo foi dividida segundo a metodologia de KLEMES (1986) conhecida como *split-sample*. O período 1996-2002 serviu para o aquecimento do modelo, o período de 2002-2005 para modificar os parâmetros para calibrar o modelo e finalmente o período de 2006-2009 para a validação do modelo. Os parâmetros relacionados com as rotinas de nitrogênio foram calibrados manualmente para o período 2002-2005, com uma série de tempo disponível para Japuiba.

d) *Validação espacial* – os mesmos parâmetros foram utilizados para modelar a bacia até a ponto Imunana-Laranjal. Os dados de vazão e qualidade de água provenientes da rede de monitoramento permitiram a validação espacial do modelo.

e) *Análise de incertezas* – foram reduzidas avaliando os dados disponíveis e aplicando métodos estatísticos para garantir a qualidade. Finalmente, os parâmetros do modelo foram definidos com informações físicas da bacia e com dados encontrados na literatura.

RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS

Na Figura 1, apresentam-se os principais mapas e resultados intermediários do monitoramento e a modelagem de nitrogênio na Bacia BHGM. As concentrações foram utilizadas para avaliar espacialmente o modelo.

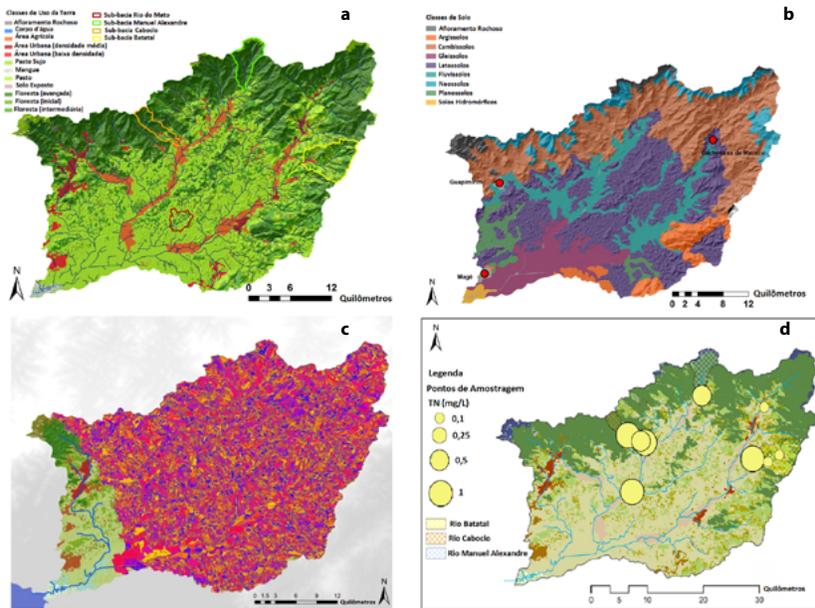


Figura 1. Resultados intermediários da modelagem de nitrogênio na Bacia Guapi-Macacu (RJ). Mapa de classes de uso e cobertura da terra, bem como as sub-bacias onde ocorreu o monitoramento do nitrogênio (a); recorte do mapa de solos na escala 1:50.000 para a BHGM e sede dos municípios que pertencem a ela (b); HRUs a partir do ponto Imunama-Laranjal que foram as entidades para a modelagem hidroquímica (c); concentrações de nitrogênio total nos pontos de amostragem das sub-bacias (d).

CONCLUSÕES

A disponibilidade de dados é um grande desafio e na BHGM a série histórica de dados é ainda limitada para a modelagem. Porém, o conceito da rede de monitoramento foi aumentar a resolução espacial para capturar a heterogeneidade da bacia. Também foi importante a identificação das principais fontes de poluição que incluem o esgoto doméstico, seguida das fontes difusas relacionadas à agricultura. Este esquema permitiu a validação espacial do modelo que mostrou resultados estatisticamente aceitáveis, significando que o modelo pode ser utilizado como ferramenta de gestão para avaliar cenários futuros tais como: mudanças no uso da terra, redução nas quantidades de fertilizantes utilizadas em agricultura, adequação ambiental e tratamento de esgotos sanitários.

REFERÊNCIAS

ARREGHINI, S.; DE CABO, L.; SEOANE, R.; TOMAZIN, N.; SERAFINI, R.; FABRIZIO DE IORIO, A. A methodological approach to water quality assessment in an ungauged basin, Buenos Aires, Argentina. **GeoJournal**, v. 70, p. 281-288, 2007.

CARVALHO FILHO, A. de; LUMBRERAS, J. F.; WITTERN, K. P.; LEMOS, A. L.; SANTOS, R. D. dos; CALDERANO FILHO, B.; MOTHCI, E. P.; LARACH, J. O. I.; CONCEIÇÃO, M. da; TAVARES, N. P.; SANTOS, H. G. dos; GOMES, J. B. V.; CALDERANO, S. B.; GONCALVES, A. O.; MARTORANO, L. G.; BARRETO, W. de O.; CLAESSEN, M. E. C.; PAULA, J. L. de; SOUZA, J. L. R. de; LIMA, T. da C.; ANTONELLO, L. L.; LIMA, P. C. de; OLIVEIRA, R. P. de; AGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S. de; CHAFFIN, C. E. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 245 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 32).

RIO DE JANEIRO. Departamento de Recursos Minerais. **Carta geológica**. Rio de Janeiro, 2002. 1 mapa, color. Escala 1:50,000.

FIDALGO, E. C. C.; PEDREIRA, B. C. C. G.; ABREU, M. B.; MOURA, I. B.; GODOY, M. D. P. **Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 31 p. (Embrapa Solos. Documentos, 105).

FINK, M.; KRAUSE, P.; KRALISCH, S.; BENDE-MICHL, U.; FLÜGEL, W. A. Development 25 and application of the modelling system J2000-S for the EU-water framework directive. 26 Jena, Canberra. **Advances in Geosciences**, v. 11, p. 123-130, 2007.

KLEMES, V. Operational testing of hydrological simulation models. **Hydrological Sciences Journal**, v. 31, p. 13-24, 1986.

LEPERS, E.; LAMBIN, E. F.; JANETOS, A. C.; DEFRIES, R.; ACHARD, F.; RAMANKUTTY, N.; SCHOLLES, R. J. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000. **BioScience**, v. 55, p. 115-124, 2005.

PEDREIRA, B. C. C. G.; FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; CINTRÃO, R. P.; BENAVIDES, Z. C. Demanda e oferta de água nas bacias hidrográficas Guapi-Macacu e Caceribu em área de Mata Atlântica – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 2009, Campo Grande. **Anais...** Porto Alegre: SBRH, 2009.

STAUDENRAUSCH, H. **Untersuchungen zur hydrologischen Topologie von Landschaftsobjekten für die distributive Flussgebietsmodellierung**. 2001. 158 f. Dissertationen (Doctor Rerum Naturalium) – Friedrich-Schiller University Jena, Jena.

TONG, S.; CHEN, W. Modeling the relationship between land use and surface water quality. **Journal of Environmental Management**, v. 66, p. 377-393, 2002.

WALTON, R. S.; HUNTER, H. M. Isolating the water quality responses of multiple land uses from stream monitoring data through model calibration. **Journal of Hydrology**, v. 378, p. 29-45, 2009.

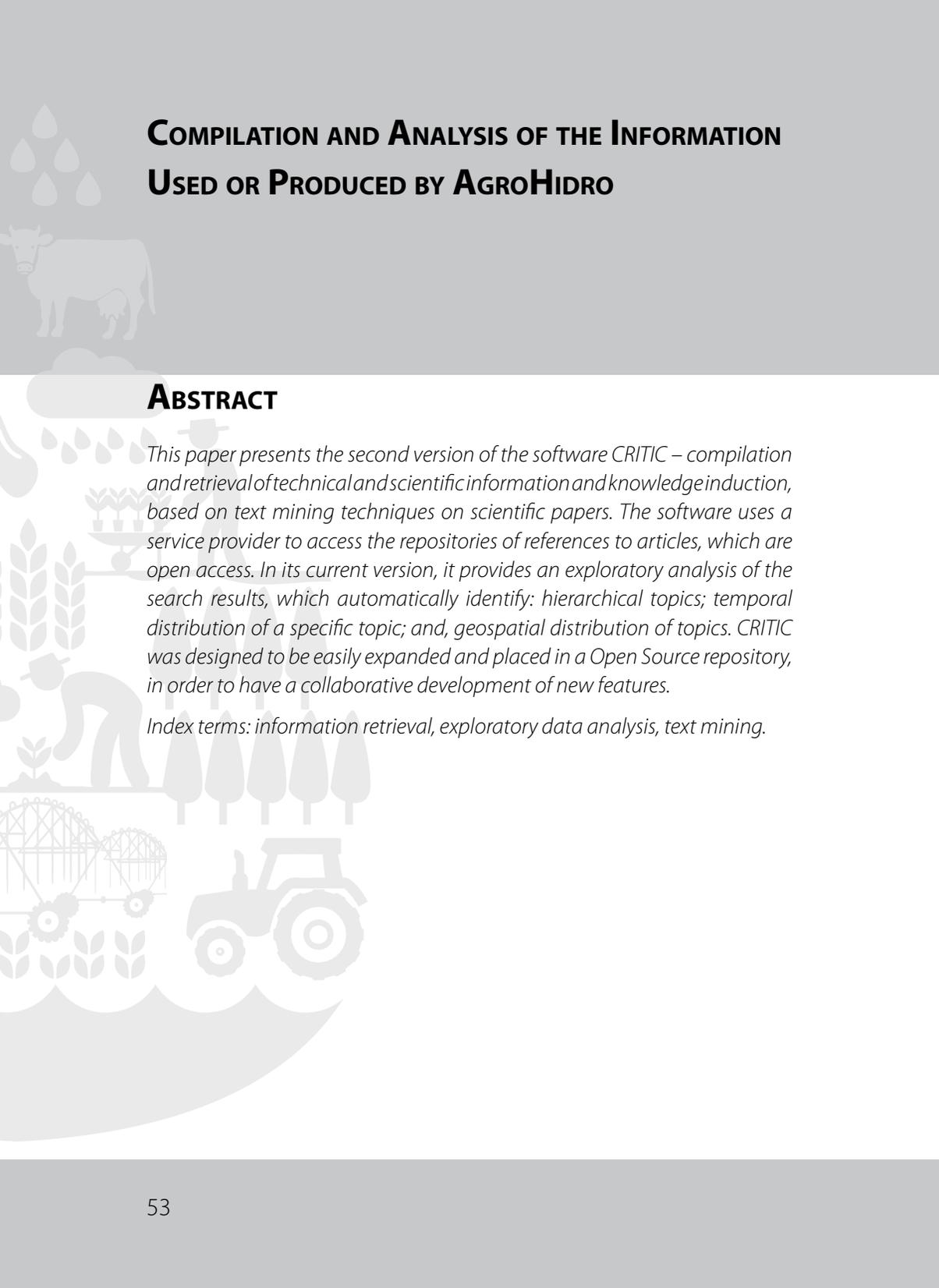
COMPILAÇÃO E ANÁLISE DA INFORMAÇÃO UTILIZADA OU PRODUZIDA PELA REDE AGROHIDRO

**MARIA FERNANDA MOURA; RENAN GOMES PEREIRA;
GABRIEL MARI TARARAM; LUIS EDUARDO GONZALES;
CELINA MAKI TAKEMURA; STANLEY ROBSON DE MEDEIROS
OLIVEIRA; SILVIO ROBERTO MEDEIROS EVANGELISTA;
SOLANGE OLIVEIRA REZENDE; FABIANO FERNANDES DOS SANTOS**

RESUMO

Neste trabalho é apresentada a versão 2.0 do software CRITIC – Compilação e Recuperação de Informação Técnico-científica e Indução ao Conhecimento, com base em técnicas de mineração de textos sobre artigos científicos. O software usa um provedor de serviços para acesso aos repositórios de referências aos artigos, cujo acesso é aberto. Na sua versão atual, permite-se a realização de análise exploratória sobre os resultados das consultas, na qual são automaticamente identificados: tópicos hierárquicos dos temas cobertos na consulta; a distribuição temporal destes temas; e, a distribuição geoespacial dos temas cobertos pelos textos. O software CRITIC foi projetado para ser facilmente estendido e disponibilizado em repositório Open Source – a fim de possibilitar um desenvolvimento colaborativo de novas funcionalidades.

Termos para indexação: recuperação de informação, análise exploratória de dados, mineração de textos.



COMPILATION AND ANALYSIS OF THE INFORMATION USED OR PRODUCED BY AGROHIDRO

ABSTRACT

This paper presents the second version of the software CRITIC – compilation and retrieval of technical and scientific information and knowledge induction, based on text mining techniques on scientific papers. The software uses a service provider to access the repositories of references to articles, which are open access. In its current version, it provides an exploratory analysis of the search results, which automatically identify: hierarchical topics; temporal distribution of a specific topic; and, geospatial distribution of topics. CRITIC was designed to be easily expanded and placed in a Open Source repository, in order to have a collaborative development of new features.

Index terms: information retrieval, exploratory data analysis, text mining.

INTRODUÇÃO

A proposta do projeto *Compilação e Recuperação de Informação Técnico-científica e Indução ao Conhecimento de forma ágil na rede AgroHidro (CRITIC@)* é concentrar as ações de organização, compilação e análise da informação utilizada e produzida pela rede AgroHidro. Dessa forma, no projeto CRITIC@, são integradas soluções de tecnologia da informação que permitem:

- 1) Recuperação da informação de interesse da Rede AgroHidro a partir de provedores de publicações de acesso aberto, dos quais também fazem parte os metadados das produções científicas e tecnológicas da Embrapa.
- 2) Indexação de um repositório cópia dos provedores de interesse de acordo com vocabulário específico de uso da rede.
- 3) Busca simples e avançada compatíveis com a ferramenta Sistema Aberto e Integrado de Informação em Agricultura (SABIIA) (VACARI et al., 2011) da Embrapa.
- 4) Apresentação de estatísticas básicas sobre a consulta, tais como, frequências em provedores, por autores, por idioma, por assuntos, ano de publicação, etc.
- 5) Utilização de filtro simples de busca sobre cada item descrito pelas estatísticas básicas, por exemplo, refazer a busca apenas para determinados assuntos e autores.
- 6) Realização de uma análise exploratória mais detalhada dos resultados de busca, para: (a) exibir os documentos por grupos hierárquicos de assuntos automaticamente identificados; (b) exibir os documentos de um grupo em um mapa, de acordo com sua distribuição geoespacial; (c) exibir os assuntos identificados em um grupo de acordo com sua distribuição temporal; e (d) filtrar assuntos e intervalos de tempo para serem graficamente exibidos. Com seu uso, pode-se, por exemplo, identificar quais culturas são praticadas em quais regiões ou em quais bacias hidrográficas do país.

A primeira versão do CRITIC (MOURA et al., 2015), software resultante do projeto CRITIC@, tratava-se de um beta-teste desenvolvido sobre a ferramenta SABIIA, pois esta contempla os repositórios de interesse da Rede AgroHidro, é amplamente utilizada e já provia o arsenal de armazenamento e busca necessários. Na versão beta-teste, o interesse era avaliar as técnicas de análise de dados apresentadas à rede e formas de visualização desses resultados. Na versão 2.0 do CRITIC, houve a troca de toda a arquitetura do software: (a) substituição dos processos anteriormente executados pela SABIIA, tais como a persistência dos dados, indexação, busca e visualização dos resultados de busca; (b) atualização da indexação e pré-processamento dos textos, de forma incremental e paralela; (c) troca do processo de geoespacialização dos documentos; (d) processo de busca; e, (e) componentes de visualização dos resultados da análise exploratória dos resultados de busca. Os processos são revistos no item material e métodos, desde a persistência de dados até os processos de análise implementados. A seguir, um resultado de busca e da análise exploratória é discutido, bem como possíveis desmembramentos desse ferramental.

MATERIAL E MÉTODOS

Os processos implementados no ambiente de software CRITIC 2.0 são:

- 1) Atualização incremental do repositório de documentos: os documentos são recuperados via JOAI harvester (JOAI SOFTWARE, 2016), incrementalmente de mês em mês a partir de uma lista de provedores de interesse. As pastas de documentos com as atualizações são submetidas ao pré-processamento e depois juntadas às pastas anteriores, via Shell scripts.
- 2) Pré-processamento: composto por duas etapas (a) geoespacialização e (b) indexação. Para a geoespacialização extraem-se entidades nomeadas, com o uso de uma ferramenta linguística de nome OpenCalais (THOMSON REUTERS, 2016). Como o OpenCalais trabalha apenas com textos em inglês, utiliza-se um processo de tradução para os textos em outras línguas. Identificados os topônimos, há um processo de desambiguação para georeferenciar cada texto; então,

essa informação é incluída nos metadados do texto. O processo de indexação é incremental, isto é, indexa apenas os novos textos considerando a indexação realizada nas atualizações anteriores e, pode ser paralelizado. A indexação é realizada com base em um vocabulário fixado para a Rede AgroHidro (UNGARO; MOURA, 2013), que pode ser reconfigurado. O filtro de vocabulário é aplicado apenas aos campos título, resumo, descrição, palavras-chaves e texto completo (quando existente).

- 3) Processo de busca: a nova busca é semelhante àquela existente na ferramenta SABIIA, sendo que as expressões podem especificar campos específicos dos documentos (título, autor, etc), usar operadores booleanos e distância de caracteres para termos lexicamente semelhantes. As estatísticas mostradas na apresentação de resultados, tais como, número de provedores, etc, foram mantidas, bem como novos filtros de busca a partir dos resultados de busca (por exemplo, só tais autores e (ou) um intervalo de tempo).
- 4) Análise exploratória dos resultados de busca: os resultados são divididos em: (a) tópicos hierárquicos, obtidos por agrupamento hierárquico de documentos e descrição dos grupos; para cada tópico há um gráfico de sua (b) cobertura temporal dentre os resultados de busca, considerando a distribuição conjunta dos descritores do tópico; e, de sua (c) cobertura geográfica – retângulos envolventes de cada texto do tópico.
- 5) Visualização da análise exploratória: foram utilizados componentes da biblioteca Java D3 (D3.JS, 2016) para as hierarquias e componente Google para mapas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seja a expressão de busca “(mata atlantica)OR(polinizacao)OR(biomassa)”, cujos resultados e análise exploratória de um dos tópicos são apresentados na Figura 1. A parte Busca da Figura 1 tem interface compatível com as ferramentas de busca de documentos da Embrapa, já amplamente difundidas. Ainda, na Busca, à esquerda, é possível observar as estatísticas descritivas de cada assunto de interesse, sejam palavras-chaves

ves, nomes dos autores, repositórios, tipos de publicação, etc; e, nessa mesma parte da tela, é possível realizar mais filtros sobre os resultados de busca. Acionando o botão Analisar Busca, são apresentados os tópicos hierárquicos estimados para aquele resultado de busca, como mostrado na parte Tópicos da Figura 1; e, na parte Tópicos TreeMap, uma forma diferenciada de se observar a mesma hierarquia. A cada tópico corresponde: (a) um mapa com a cobertura geográfica do mesmo – todos os polígonos envolventes dos textos do tópico; (b) o conjunto de textos do tópico; e (c) gráfico com a série temporal correspondente ao tópico dentro do resultado de busca. Na Figura 1, foi ilustrado o tópico referente a “crescimento de espécies e biomassa na área de floresta da Mata Atlântica”, cujos descritores encontrados foram “Espécies, Atlantica, Crescimento, Area, Floresta, Biomassa”. Essa análise de dados também pode ser filtrada para que se possa ir delimitando assuntos mais específicos.

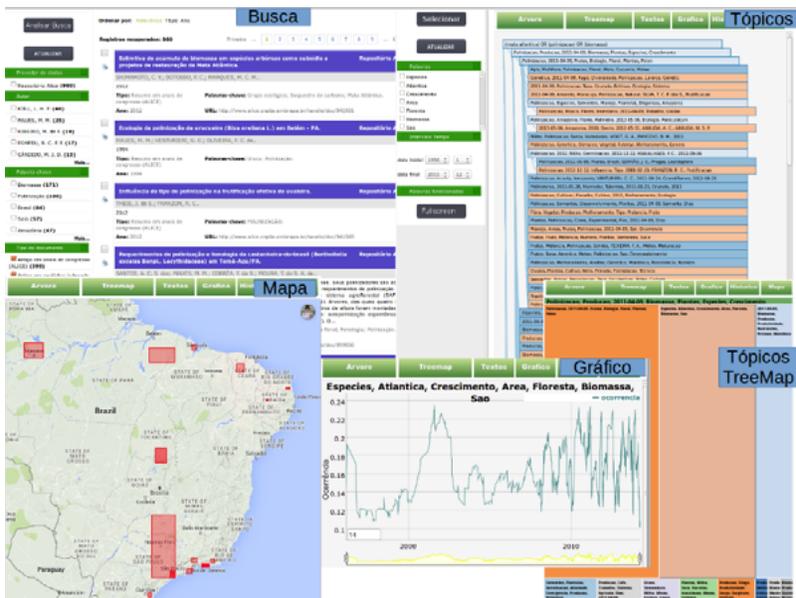


Figura 1. Exemplo de busca e exploração de seus resultados.

CONCLUSÕES

Com a versão 2.0 do software CRITIC, a partir dos dados de interesse da Rede Agrohidro, em repositórios de dados Open Access, pode-se: especificar com precisão uma expressão de busca; filtrar os resultados dessa busca; explorar os resultados dessa busca por meio de tópicos hierárquicos inferidos; e, para cada tópico, explorar sua distribuição geográfica e temporal.

O software foi desenvolvido para ser Open Source, facilmente reconfigurável e expandido; a fim que se possa ter um desenvolvimento colaborativo de novas funcionalidades. Após os testes finais de estabilidade, ele deverá ser colocado em um repositório público. Futuramente, ele pode ser integrado a outros softwares de busca da Embrapa, ou de quaisquer outras instituições que tenham interesse no mesmo.

REFERÊNCIAS

D3JS - DATA-driven documents. Disponível em: <<https://d3js.org/>>. Acesso em: 20 maio 2016.

JOAI SOFTWARE digital library for earth system education. Disponível em: <http://www.dlese.org/dds/services/joai_software.jsp>. Acesso em: 20 maio 2016.

MOURA, M. F.; TARARAM, G. M.; MARCACINI, R. M.; GONZALES, L. E.; TAKEMURA, C. M.; SILVA, L. E. A.; SANTOS, F. F. dos; REZENDE, S. O.; EVANGELISTA, S. R. M. Um software para recuperar e analisar artigos Open Access em agricultura utilizando técnicas de mineração de textos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 10., 2015, Ponta Grossa. **Uso de VANTs e sensores para avanços no agronegócio**: anais. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2015.

THOMSON REUTERS. **OpenCalais**. Disponível em: <<http://www.opencalais.com/>>. Acesso em: 9 maio 2016.

UNGARO, F. P.; MOURA, M. F. Análise de tendências tecnológicas em recursos hídricos. In: MOSTRA DE ESTAGIÁRIOS E BOLSISTAS DA EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA, 9., 2013, Campinas. **Resumos...** Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 82-85.

VACARI, I.; VISOLI, M. C.; GONZALES, L. E. Acesso aberto a informação científica agropecuária na internet: caso do sistema aberto e integrado de informação em agricultura (Sabiia). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 8., 2011, Bento Gonçalves. **Anais...** Florianópolis: UFSC; Pelotas: UFPel, 2011.

EXTRAÇÃO DE PORTFÓLIO DE TECNOLOGIAS DE IRRIGAÇÃO A PARTIR DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

**STANLEY ROBSON DE M. OLIVEIRA; MARIA FERNANDA MOURA;
CELINA MAKI TAKEMURA; LUÍSA MIYASHIRO TÁPIAS;
CAROLINA TAVARES DE OLIVEIRA; LUIS HENRIQUE BASSOI**

RESUMO

O objetivo do trabalho é apresentar uma metodologia para extração de portfólio de tecnologias de irrigação, a partir de publicações científicas, para melhorar o uso sustentável da água na agricultura. A construção do portfólio foi semiautomatizada por meio de um processo de mineração de textos em documentos selecionados do Sistema Aberto e Integrado de Informação em Agricultura (SABIIA). Com base nesse portfólio, foram geradas regras de associação para identificar a relação entre tecnologias, localidade e culturas, nas regiões do Brasil, com a finalidade de subsidiar especialistas do domínio na verificação de quais tecnologias podem ser adaptadas para os biomas brasileiros.

Termos para indexação: recursos hídricos, mineração de textos, manejo da água.



EXTRACTION OF IRRIGATION TECHNOLOGY PORTFOLIO FROM SCIENTIFIC PUBLICATIONS

ABSTRACT

In this work, we present a methodology for extraction of irrigation technology portfolio from scientific publications to improve the sustainable use of water in agriculture. The construction of the portfolio was semi-automated through a text mining process in documents selected from the Integrated and Open Information System in Agriculture (SABIA). Based on this portfolio, association rules were generated to identify the relationship among technologies, localities and cultures in the Brazilian regions, in order to subsidize domain experts in the verification of which technologies can be adapted to the Brazilian biomes.

Index terms: hydric resources, text mining, management of water.

INTRODUÇÃO

Informações sobre variáveis hídricas são essenciais para o manejo dos recursos hídricos em qualquer ecossistema ou região. Dependendo da região ou ecossistema considerado, podem ser destacadas tecnologias como sistema de produção agrícola irrigado para pequenos produtores, sistema de plantio direto, e o uso da barragem subterrânea e do açude para captação e armazenamento de água. O impacto dessas práticas sobre a recuperação da qualidade e conservação de solo e da água é de fácil percepção, no entanto, dependente da especificidade de cada tecnologia.

Uma das alternativas para colaborar com o manejo dos recursos hídricos na agricultura é a elaboração de um portfólio de tecnologias que contemple diversas escalas (parcela, propriedade agrícola, perímetro irrigado, bacia hidrográfica), cada uma com suas particularidades. O portfólio pode ser representado por uma planilha contendo a relação de tecnologias, locais, época, tipo de solo, culturas e possíveis tecnologias associadas.

Considerando a contribuição da Tecnologia da Informação (TI) no âmbito do Projeto AgroHidro, tanto na geração de soluções como na sua gestão, o objetivo deste trabalho foi construir um portfólio de tecnologias de irrigação a partir de publicações científicas. A partir deste portfólio foram geradas regras de associação para identificar a relação entre tecnologias, localidade e culturas, nas regiões do Brasil, com a finalidade de subsidiar os especialistas do domínio na verificação de quais tecnologias podem ser adaptadas para os biomas brasileiros.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho é constituída de um processo de mineração de textos, cujas etapas são descritas a seguir:

- 1) Busca por textos: os textos foram selecionados do Sistema Aberto e Integrado de Informação em Agricultura – SABIIA (VACARI et al., 2011). Este é um mecanismo de busca automatizado que coleta

metadados de provedores de acesso aberto, artigos científicos e tecnológicos, todos no padrão OAI – Open Archives Initiative. Esses provedores contêm a maior parte das publicações utilizadas pelos pesquisadores da Rede AgroHidro, bem como todas as publicações técnico-científicas da Embrapa; o que se mostrou como uma fonte única e suficiente de informação. Primeiramente, buscou-se obter informações nos textos referentes às datas, às localidades, às tecnologias e algumas informações adicionais relevantes. Para isso, foram utilizadas algumas palavras-chave selecionadas por especialistas do domínio.

- 2) Pré-processamento: nesta etapa utilizou-se a ferramenta I-PreProc (PEREIRA; MOURA, 2015), em desenvolvimento pela Embrapa Informática Agropecuária, para gerar uma matriz de termos (colunas) por documentos (linhas); considerando-se a intersecção entre os termos presentes nos documentos e uma lista de vocábulos previamente fixados. Cada célula da matriz contém a frequência de ocorrência do vocábulo no documento. São gerados dois arquivos: o de extensão DAT com os valores das células (grau de importância de cada termo/palavra em cada documento) e o de extensão HDR com a descrição dos textos (nomes) e vocábulos (termos) presentes nos textos.
- 3) Extração de padrões: como a base de textos não é pré-categorizada, nesta etapa utilizaram-se algumas técnicas de aprendizado de máquina não supervisionado, tais como a obtenção de hierarquias de tópicos e regras de associação sobre os textos já pré-processados.
 - a) Hierarquias de tópicos: a extração de uma hierarquia de tópicos visa facilitar a navegação e exploração da coleção de textos, que é hierarquicamente agrupada de acordo com a similaridade entre os documentos – descritos como vetores de frequência de termos. Cada tópico é descrito por uma relação de palavras (ou termos); a relação contém as palavras estatisticamente mais significativas no grupo, dado algum critério. A função dessa relação de palavras é ajudar a identificar a que tópico (tema) o grupo de documentos se refere; o que auxiliou a construção do portfólio.

- b) Regras de associação: as regras de associação buscam encontrar o relacionamento entre itens de dados que ocorram com uma certa frequência, ou seja, identificar padrões em dados históricos (AGRAWAL; SRIKANT, 1994). Para a geração das regras de associação foi utilizado o algoritmo Apriori (LIU et al., 1998). As regras de associação podem ser representadas da forma $X \rightarrow Y$, em que X e Y são conjuntos de atributos tais como tecnologia, tipo de solo, local, cultura, tal que $X \cap Y = \emptyset$. Para cada regra estão associadas duas medidas tradicionais: confiança (Conf) e suporte (Sup). Sup representa o número de tuplas que contêm X e Y, ao passo que Conf constitui a razão entre o número de tuplas que contêm X e Y sobre o número de tuplas que contêm X. Uma regra é considerada interessante quando ela apresenta um suporte e uma confiança iguais ou superiores ao mínimo estabelecido pelo usuário.
- 4) Pós-processamento: com base no o portfólio, regras de associação foram geradas para identificar a relação entre tecnologias, localidade e culturas, nas regiões do Brasil. O objetivo dessas regras é obter relações tais como “região nordeste e irrigação por gotejamento implica que a cultura é uva de mesa”, ou seja, que possam auxiliar a identificação das relações de tecnologias com cultura, e, conseqüentemente, a classificação dessas tecnologias. Ainda no pós-processamento, avaliou-se a qualidade das regras obtidas e da própria metodologia empregada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da SABIIA foram reunidos 2.209 documentos e metadados, originados das expressões de busca fornecidas pelos especialistas do domínio. O conjunto de resultados da SABIIA foi utilizado para acessar os textos completos de todos os papers de acesso livre e, para aqueles cujo acesso não é livre, foram utilizados os metadados; criando-se uma base de textos. Esta base foi pré-processada com o uso da ferramenta

I-PreProc e um vocabulário controlado. O vocabulário foi criado a partir da junção de quatro glossários da área de recursos hídricos e dois tesaurus (Thesagro e Agrovoc). Após o pré-processamento, gerou-se a hierarquia de tópicos. A partir da hierarquia realizou-se uma análise exploratória nos tópicos identificados, para extrair localidades, tipos de solos, etc, e documentos repetidos. Com a eliminação dos documentos repetidos, o portfólio ficou constituído por uma planilha com 1.490 linhas e sete atributos (Tecnologia, Tecnologia Associada, Local, UF, Região, Tipo de Solo e Cultura Agrícola).

Para a geração das regras, foram conduzidos vários experimentos em que a Cultura foi fixada como o conseqüente da regra (Y) e os demais atributos foram combinados no antecedente da regra (X). Desta forma, as regras identificaram quais tecnologias, locais, tipos de solo ou UF estão associados a uma determinada cultura agrícola. As 1.490 linhas do portfólio foram segmentadas por região para facilitar a geração de regras nesta escala: (a) Norte (21 instâncias); (b) Nordeste (773 instâncias); (c) Sudeste (199 instâncias); (d) Centro-Oeste (72 instâncias); (e) Sul (65 instâncias); (f) 360 instâncias sem a definição de UF e Região foram descartadas para não influenciar os resultados.

Para a região Norte, foram encontradas 22 regras, considerando o suporte de 6% e a confiança de 90%, sendo boa parte delas redundante ou não apresentava novidade. Um dos exemplos dessas regras foi (*Se Localidade = Capitão Poço & UF=PA & Solo=latossolo ==> Cultura=banana*). Outro exemplo foi (*Se Tecnologia_associada=manejo de água & UF=RO ==> Cultura=feijão*). Para dados disponíveis das demais regiões do Brasil foram geradas regras similares. Por exemplo, para a região Nordeste, com suporte de 1% e confiança de 80%, foram geradas 21 regras. Exemplos dessas regras incluem (*Se Tecnologia_associada=manejo de irrigação & Localidade=Cruz das Almas & UF=BA ==> Cultura=banana*) e (*Se Tecnologia_associada=irrigação por aspersão & UF=PE ==> Cultura=uva*). Na análise para a região Sudeste, foram geradas 21 regras com suporte igual a 2% e confiança igual a 80%, como por exemplo, (*Se Tecnologia_associada=irrigação por gotejamento & Localidade = viçosa ==>*

Cultura=tomate) e (*Se Tecnologia_associada*= manejo de cobertura de solo & *Localidade*=Paty dos Alferes & UF=RJ ==> *Cultura*=tomate). Para a região Centro-Oeste, foram geradas 48 regras, considerando suporte igual a 4% e confiança igual a 90%. Exemplos dessas regras incluem: (*Se Tecnologia_associada*=manejo de água & *Localidade*=Brasília ==> *Cultura*=tomate) e (*Se Tecnologia_associada*=variabilidade melhoramento genético & UF=DF ==> *Cultura*= batata-doce). Por fim, para a região Sul, foram geradas 31 regras de associação para o suporte igual a 4% e a confiança igual a 80%, com destaque para as regras (*Se Tecnologia_associada*=irrigação por gotejamento & *Localidade*=Santa Maria ==> *Cultura*=tomate) e (*Se Localidade*=Santana do Livramento & UF =RS ==> *Cultura*=uva).

Embora o portfólio seja constituído dos atributos: tecnologias, locais, época, tipo de solo, culturas e tecnologias associadas, nota-se que apenas alguns destes estiveram presentes nas regras. Por exemplo, localidade, tecnologia associada e cultura apresentaram uma frequência mais expressiva nas informações extraídas dos textos. Esses resultados reforçam a necessidade de: (a) avaliar a inclusão de outros atributos de interesse dos especialistas, resultando na geração de regras com mais específicas (com mais atributos) ou (b) selecionar outros repositórios de informações agrícolas para a geração do portfólio de tecnologias.

CONCLUSÕES

A construção dessa primeira versão do portfólio ainda envolveu muito trabalho manual, com base na análise exploratória das hierarquias. Essa experiência revela a necessidade de revisão do processo semiautomatizado para a criação de futuros portfólios. Um dos problemas encontrados foi na construção dos tópicos. Ela foi baseada em técnicas que não envolvem processamento de língua natural, logo obtém resultados puramente estatísticos. A maioria das ferramentas para lidar com processamento de língua natural foram concebidas para a língua inglesa, exigindo uma tradução do português para o inglês das publicações científicas, nos experimentos realizados. A tradução dos textos para o inglês pode gerar erros de sintaxe e de semântica, de forma que infor-

mações importantes nos documentos podem ser perdidas; por isso não foi utilizado na metodologia proposta. E, outro problema encontrado foi a grande quantidade de dados esparsos na constituição do portfólio. Muitos documentos não apresentavam tipo de solo, localidade, tecnologia associada, entre outras. Por essa razão, os valores do suporte foram muito baixos em quase todos os casos analisados, variando de 1% a 4%, ao passo que a confiança variou de 80% a 90%, sendo estes resultados, no entanto, compatíveis com aqueles apresentados na literatura. Dessa forma, o processo interativo está sendo revisado para que se obtenham melhores resultados e mais especificidade na construção do portfólio, à medida que novas buscas são realizadas e outras ferramentas para processamento de língua natural são avaliadas. A versão atual do portfólio encontra-se em análise por especialistas do domínio. O objetivo é ter, na versão final do portfólio, uma avaliação das tecnologias encontradas, com apontamentos sobre sua contribuição para o melhor uso de água e solo, delimitadas espacialmente, por bioma e região.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, R.; SRIKANT, R. Fast algorithms for mining association rules in large databases. In: BOCCA, J. B.; JARKE, M.; ZANIOLO, C. (Ed.). **Proceeding of the 20th International Conference on Very Large Data Bases**. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1994. p. 478-499.

LIU, B.; HSU, W.; MA, Y. Integrating classification and association rule mining. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON KNOWLEDGE DISCOVERY AND DATA MINING, 4., 1998, Palo Alto. **Proceedings...** Menlo Park: AAAI Press, 1998. p. 80-86.

PEREIRA, R. G.; MOURA, M. F. I-Preproc: uma ferramenta para pré-processamento e indexação incremental de documentos. In: MOSTRA DE ESTAGIÁRIOS E BOLSISTAS DA EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA, 11., 2015, Campinas. **Resumos expandidos...** Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 17-23.

VACARI, I.; VISOLI, M. C.; GONZALES, L. E. Acesso aberto a informação científica agropecuária na internet: caso do sistema aberto e integrado de informação em agricultura (Sabiia). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 8., 2011, Bento Gonçalves. **Anais...** Florianópolis: UFSC; Pelotas: UFPel, 2011.

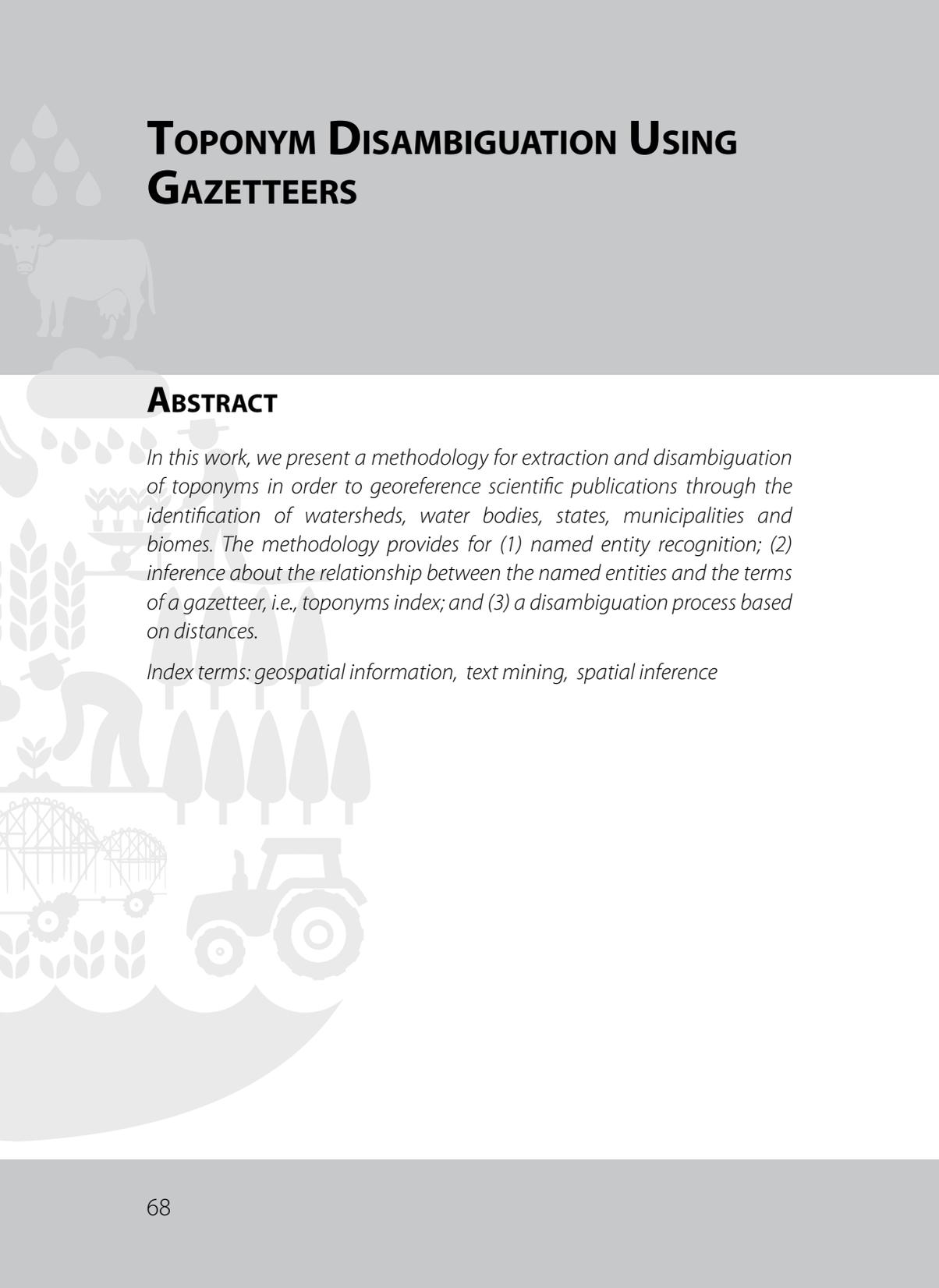
DESAMBIGUAÇÃO DE TOPÔNIMOS USANDO DICIONÁRIOS GEOGRÁFICOS

**CELINA MAKI TAKEMURA; GUSTAVO BAYMA-SILVA;
STANLEY ROBSON DE MEDEIROS OLIVEIRA;
MARIA FERNANDA MOURA**

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma metodologia de extração e desambiguação de topônimos a fim de georreferenciar publicações técnico-científicas através da identificação de regiões geográficas, tais como: bacias hidrográficas, corpos d'água, estados, municípios e biomas associados. A metodologia prevê o (1) reconhecimento de entidades nomeadas; (2) inferência sobre relação das entidades nomeadas com os termos de um *gazetteer*, i.e., índice de topônimos; e (3) um processo de desambiguação baseado em distâncias.

Termos para indexação: informação geoespacial, mineração de textos, inferência espacial.



TOPONYM DISAMBIGUATION USING GAZETTEERS

ABSTRACT

In this work, we present a methodology for extraction and disambiguation of toponyms in order to georeference scientific publications through the identification of watersheds, water bodies, states, municipalities and biomes. The methodology provides for (1) named entity recognition; (2) inference about the relationship between the named entities and the terms of a gazetteer, i.e., toponyms index; and (3) a disambiguation process based on distances.

Index terms: geospatial information, text mining, spatial inference

INTRODUÇÃO

O alinhamento de conceitos geoespaciais (i.e., localização: cidade, estado, país), tipos de lugares (bioma, região hidrográfica, município) à informação geoespacial (e.g., polígono envolvente) é importante e necessário em atividades de planejamento, gestão de recursos, tomada de decisão e para a elaboração de políticas públicas. A extração da geoinformação em textos tem importância estratégica para inúmeros setores, incluindo o fortalecimento da agricultura brasileira e a análise dos impactos do uso agrícola e das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos em diferentes ecorregiões brasileiras.

Neste contexto, o trabalho desenvolvido junto à Rede AgroHidro para a extração, identificação e desambiguação de topônimos em publicações científicas utilizadas e produzidas pela Rede, visa a georreferenciação de textos para diversos fins, tais como: (1) a análise da distribuição espacial das publicações em determinados assuntos (e.g., “aumento das temperaturas” ou “manejo de água e solo”, etc); (2) auxílio à construção de um portfólio de tecnologias que indiquem soluções tecnológicas para o uso sustentável da água na agricultura, levando em consideração particularidades do manejo em diferentes escalas (e.g., bacia hidrográfica ou região; perímetro irrigado; parcela). Dessa forma, a metodologia apresentada procura associar a textos polígonos delimitadores de regiões geográficas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os documentos utilizados e produzidos pela Rede AgroHidro são, em sua maioria, disponíveis em provedores de dados de livre acesso no padrão OAI¹. Foram selecionados dentre esses provedores os repositórios de publicações técnico-científicas da Embrapa e de diversos jornais e revistas do domínio agrícola de maior interesse para a Rede. Como entrada da metodologia apresentada nesse resumo, foram utilizados arquivos recuperados dos provedores selecionados.

¹ Protocolo Open Archives Initiative (Iniciativa de Arquivos Abertos)/Dublin Core (DCMI, 2016).

Para georreferenciar o arquivo, são utilizados os campos OAI/DCMI: título, descrição (abstract/resumo) e, quando disponível, o texto completo da publicação (normalizado para a codificação UTF-8). A partir deles, as entidades nomeadas são extraídas com o uso de uma ferramenta linguística. Essas entidades nomeadas podem ser locais, nomes próprios, datas, tecnologias, termos da indústria, etc. A ferramenta OpenCalais (THOMSON REUTERS, 2016) foi utilizada como Reconhecedor de Entidades Nomeadas (REN). OpenCalais trabalha com textos em inglês, portanto, faz-se necessário um processo de tradução para os textos em outras línguas e, neste trabalho, utilizamos o pacote de processamento de língua natural TEXTBLOB (LORIA, 2016) para Python.

Encontradas as entidades nomeadas, o interesse é desambiguar aquelas reconhecidas como '*NaturalFeature*', '*ProvinceOrState*' e '*City*'. Por exemplo, é necessário identificar se a cidade Bom Jesus, citada em um texto, é a Bom Jesus da Paraíba, do Piauí, do Rio Grande do Norte, de Santa Catarina ou do Rio Grande do Sul. Para tanto, calcula-se a similaridade de cada entidade com cada um dos termos do índice de topônimos. Foram usados para a geração do índice de topônimos, com 19.013 termos, os arquivos vetoriais em formato *shapefile*: (a) Malha municipal brasileira contendo feições poligonais da divisão político-administrativa brasileira (IBGE, 2007); (b) Malha estadual brasileira, derivada de (IBGE, 2007); (c) Mapa Temático de Biomas do Brasil (IBGE, 2004); (d) Rede hidrográfica brasileira, contendo feições lineares de recursos hídricos topologicamente tratadas e codificadas pelo método de Otto Pfafstetter (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2013); (e) Mapas das Grandes Bacias Hidrográficas brasileiras (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2016).

Para normalizar a representação da região geográfica, cada topônimo é associado a um polígono ou área de interesse no sistema de referência SAD69, i.e., o envelope da geometria que o representa, gerando um arquivo com o tipo (referência ao mapa), um identificador único, o topônimo em si e o polígono, usado no processo de desambiguação.

Ou seja, para cada documento extrai-se um conjunto de n entidades, $E = \{e_1, \dots, e_n\}$, e para cada, e_i , $i = 1, \dots, n$, um conjunto associado de polígo-

nos $P_i = \{p_{i1}, \dots, p_{it_i}\}$, $j=1, \dots, t_i$, onde t_i é o número de possíveis topônimos correspondentes à i -ésima entidade, e_i . O processo de desambiguação consiste em encontrar o polígono envolvente, entre os possíveis topônimos, que minimiza a distância entre todos os possíveis polígonos das diferentes entidades. Para isso, gera-se um arranjo T de todos os possíveis polígonos p_{ij} , $i=1, \dots, n$, e $j=1, \dots, t_i$ com $i \neq j$. Assim tem-se $T = \{G_1, \dots, G_N\}$, onde N é o número de possíveis polígonos envoltentes, com $G_k = \{p_1, \dots, p_k\}$ e calcula-se as somas das distâncias euclidianas entre cada p_1, \dots, p_k em G_k ; lembrando que cada p_k está em um P_i , $i=1, \dots, n$. O conjunto de polígonos desambiguados será o G_k com a menor soma de distâncias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seja o documento abaixo, com o título e a descrição (resumo/abstract):

<Title> Sistemas de produção praticados e sistemas melhorados propostos - Bacia do Rio Formoso, Bonito, MS. </Title>

<Description> O presente trabalho faz parte do Projeto "Gestão Integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso", financiado pelo Fundo para o Meio Ambiente Mundial (Global Environment Facility - GEF) e implementado pelo Banco Internacional para a Reconstrução e o Desenvolvimento (Bird). O objetivo deste trabalho foi de caracterizar os sistemas de produção modais (predominantes) praticados pelos produtores rurais da Bacia do Rio Formoso, Bonito, MS e a partir destes, propor sistemas melhorados, mais sustentáveis. As informações para a caracterização de cada sistema foram levantadas por meio de painéis participativos, com a presença de técnicos, pesquisadores, produtores rurais e outros interessados. Foram realizados em 2006, quatro painéis para caracterização dos sistemas... </Description>

O reconhecedor de entidades nomeadas retorna, para a versão traduzida do texto:

entities (NaturalFeature): Formoso River

entities (City): Bonito

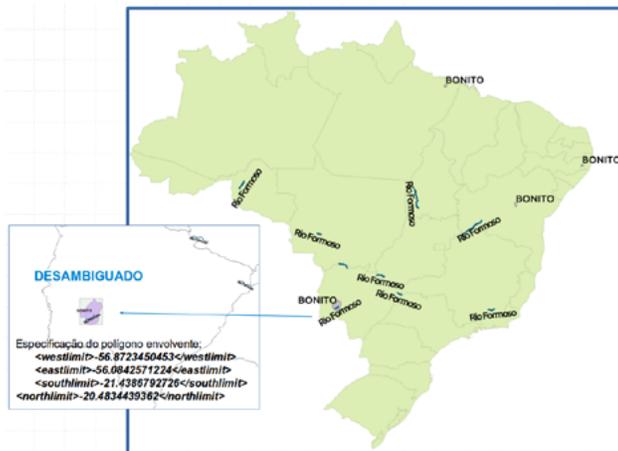


Figura 1. Resultado do processo de extração de topônimos (Rio Formoso e Município de Bonito selecionados e o envelope envolvente resultante).

O resultado do processo de desambiguação, expresso na forma do envelope envolvente das estruturas e dos termos selecionados, é mostrado na Figura 1. Nota-se, neste exemplo, que os erros acumulados na tradução para inglês e o próprio processamento do reconhecedor de entidades nomeadas pode trazer prejuízos ao resultado da extração e associação de topônimos, bem como da geometria da área de interesse de cada documento. Note que o texto cita o Estado do Mato Grosso do Sul (representado na sigla MS) e Bacia do Rio Formoso, que não aparecem nas entidades nomeadas e conseqüentemente não são utilizadas no processo de desambiguação e, por fim, não constam do resultado. Todavia, observa-se que o resultado, para um processo sem supervisão, é subjetivamente julgado satisfatório.

CONCLUSÕES

Esse resumo apresenta a metodologia utilizada para georreferenciar textos de interesse da Rede AgroHidro. O processo implementado a partir desta metodologia pode auxiliar a análise de grandes volumes de documentos combinando extração de topônimos e representação geo-

espacial dos mesmos. A automatização do processo implica em alguns erros, porém a maior parte dos resultados encontrados, aleatoriamente selecionados para conferência, tem sido satisfatória. Espera-se, para trabalhos futuros, a inclusão de outros shapefiles no índice de topônimos, com informações tais como meso e microrregiões e sub-bacias, para obter da melhor forma a escala de manejo de solo e água a que os textos se referem. Em adição, deverão ser avaliados outros pacotes para a tradução automática dos textos, visando aumentar a eficácia do reconhecedor de entidades nomeadas utilizado, bem como testar alguns reconhedores de entidades nomeadas para a língua portuguesa. Por fim, devem ser realizados experimentos de validação junto a especialistas de domínio.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Bacias hidrográficas brasileiras**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?ToCltem=4100>>. Acesso em: 9 maio 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Rede hidrográfica brasileira**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/redeHidrografica.asp>>. Acesso em: 9 set. 2013.

DUBLIN CORE METADATA INITIATIVE. **CDMI Home**: Dublin Core Metadata Initiative (DCMI). Disponível em: <dublincore.org>. Acesso em: 9 maio 2016.

EMBRAPA. **SABIIA – Sistema Aberto e Integrado de Informação em Agricultura**. Disponível em: <<https://www.sabiia.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 9 maio 2016.

IBGE. **Malha municipal brasileira**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/municipio_2007/escala_2500mil/proj_geografica_sad69/brasil/55mu2500gsd.zip>. Acesso em: 9 set 2013.

IBGE. **Mapa temático**: mapa de biomas do Brasil. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/shapes/biomas>. Acesso em: 9 maio 2016.

LORIA, S.; KEEN, P.; HONNIBAL, M.; YANKOVSKY, R.; KARESH, D.; DEMPSEY, E.; CHILDS, W.; SCHNURR, J.; QALIEH, A.; RAGNARSSON, L.; COE, J.; CALVO, A.L. **TextBlob**: simplified text processing. [Charlottesville, 2016]. Disponível em: < <https://textblob.readthedocs.io>>. Acesso em: 9 maio 2016.

MOURA, M. F.; TARARAM, G. M.; MARCACINI, R. M.; GONZALES, L. E.; TAKEMURA, C. M.; SILVA, L. E. A.; SANTOS, F. F. dos; REZENDE, S. O.; EVANGELISTA, S. R. M. Um software para recuperar e analisar artigos Open Access em agricultura utilizando técnicas de mineração de textos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 10., 2015, Ponta Grossa. **Uso de VANTs e sensores para avanços no agronegócio**: anais... Ponta Grossa: UEPG, 2015.

THOMSON REUTERS. **OpenCalais**. Disponível em: <<http://www.opencalais.com/>>. Acesso em: 9 maio 2016.

VACARI, I.; VISOLI, M. C.; GONZALES, L. E. Acesso aberto a informação científica agropecuária na internet: caso do sistema aberto e integrado de informação em agricultura (Sabiiia). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 8., 2011, Bento Gonçalves. **Anais...** Florianópolis: UFSC; Pelotas: UFPel, 2011.

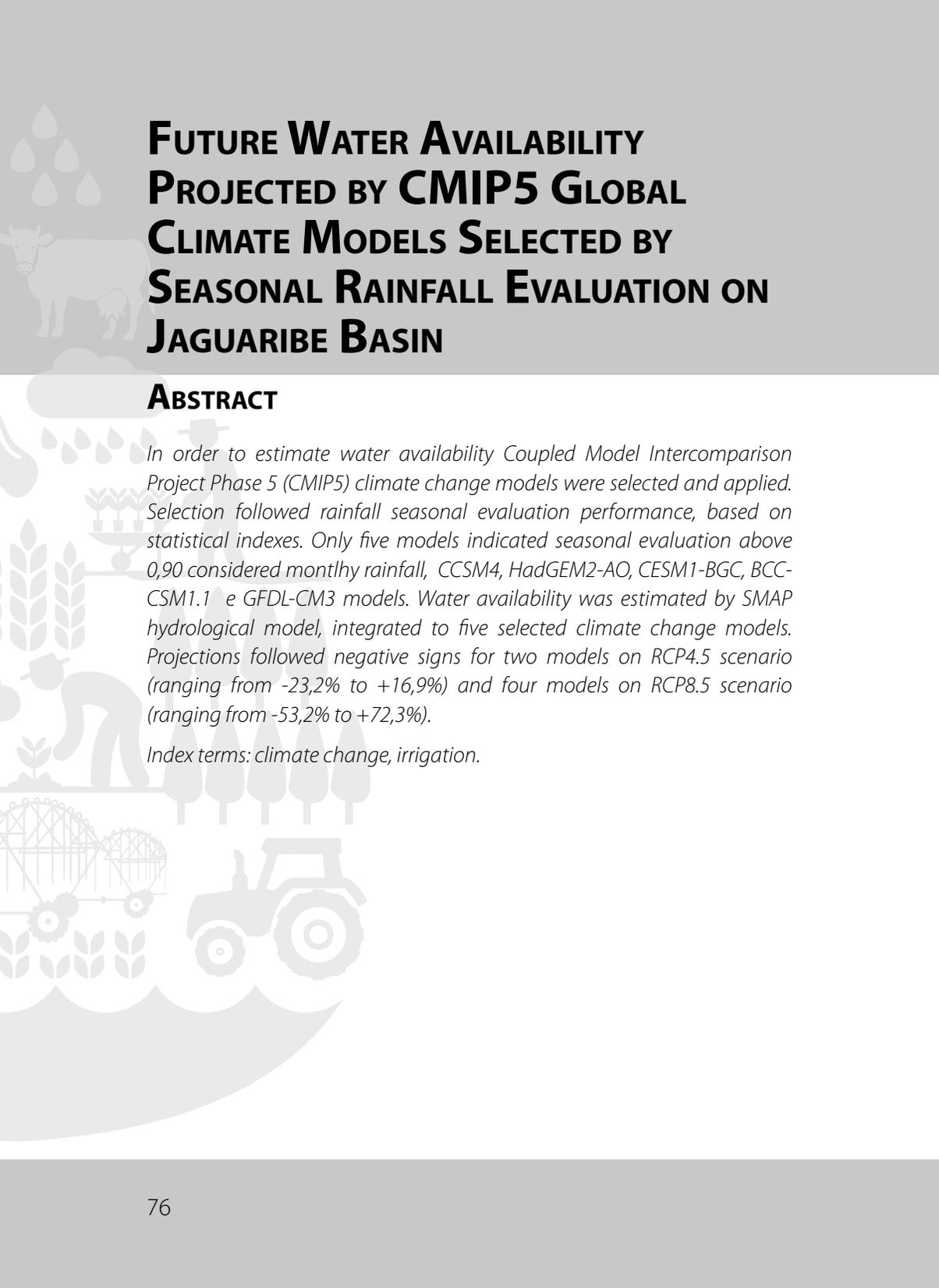
DISPONIBILIDADE HÍDRICA FUTURA PROJETADA POR MODELOS GLOBAIS DO CMIP5 SELECIONADOS PELA AVALIAÇÃO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO JAGUARIBE

RUBENS SONSOL GONDIM; CLEITON DA SILVA SILVEIRA
FRANCISCO VASCONCELOS JÚNIOR;
FRANCISCO DE ASSIS DE SOUZA FILHO;
JANDERSON PEDRO DA SILVA

RESUMO

Para estimativa da disponibilidade hídrica foram aplicados os modelos de mudanças climáticas do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5). Em busca de se identificar os modelos que melhor representam os padrões de variação do século XX, foi adotada a avaliação sazonal (AVALS), baseada em índices estatísticos, apenas cinco modelos indicaram avaliação superiores a 0,90 em relação ao percentual de chuva mensal. Os modelos CCSM4, HadGEM2-AO, CESM1-BGC, BCC-CSM1.1 e GFDL-CM3. A disponibilidade hídrica foi estimada pelo modelo hidrológico chuva-vazão SMAP, integrado aos cinco modelos de mudanças climáticas. As projeções seguem os sinais da precipitação, negativo por dois modelos no cenário RCP4.5 (variando de -23,2% a +16,9%) e quatro modelos no cenário RCP8.5 (variando de -53,2% a +72,3%).

Termos para indexação: mudanças climáticas, irrigação.



FUTURE WATER AVAILABILITY PROJECTED BY CMIP5 GLOBAL CLIMATE MODELS SELECTED BY SEASONAL RAINFALL EVALUATION ON JAGUARIBE BASIN

ABSTRACT

In order to estimate water availability Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) climate change models were selected and applied. Selection followed rainfall seasonal evaluation performance, based on statistical indexes. Only five models indicated seasonal evaluation above 0,90 considered monthly rainfall, CCSM4, HadGEM2-AO, CESM1-BGC, BCC-CSM1.1 e GFDL-CM3 models. Water availability was estimated by SMAP hydrological model, integrated to five selected climate change models. Projections followed negative signs for two models on RCP4.5 scenario (ranging from -23,2% to +16,9%) and four models on RCP8.5 scenario (ranging from -53,2% to +72,3%).

Index terms: climate change, irrigation.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, decorrentes do acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera, podem constituir fator adicional na pressão sobre os recursos hídricos, especialmente para a agricultura irrigada, cuja demanda de água é afetada por mudanças na evapotranspiração e precipitação na região de cultivo. No Nordeste do Brasil, a preocupação com possíveis aumentos na demanda hídrica gera necessidade por informações para delineamento de estratégias de adaptação e mitigação às alterações do clima. Estudos de mudanças climáticas nos estados do Ceará e Piauí (KROL; BRONSTERT, 2007), utilizando os Modelos de Circulação Global ECHAM4 e HadCM2 via redução de escala estatística, apresentaram resultados contraditórios quanto a alterações na precipitação no período 2070-2090 em relação a 1961-1990, com redução de 50% pelo modelo ECHAM4 e aumento de 21% pelo modelo HadCM2. Projeções de mudanças climáticas do modelo regionalizado HadRM3P com correção de viés resultaram em elevações nas necessidades hídricas para irrigação na Bacia do Jaguaribe de 7,9% a 9,1% para a climatologia de 2025 a 2055, em relação ao período de 1961 a 1990, para os cenários A2 e B2 do IPCC (NAKICENOVIC et al., 2000), respectivamente (GONDIM et al., 2012). A Bacia Hidrográfica do Jaguaribe ocupa uma área de 74.621 km², cerca de 48% do território cearense. Tem-se que suas principais demandas são destinadas ao abastecimento urbano e irrigação. Em períodos de escassez hídrica, há conflitos entre a grande demanda da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) e as demandas da Bacia do rio Jaguaribe. Segundo Souza Filho e Lall (2004), oitenta por cento da demanda da água da Bacia do Jaguaribe é para irrigação e 20% para consumo urbano e a demanda se concentra no período de estiagem ou de irrigação (agosto a novembro). O objetivo do presente trabalho foi analisar os impactos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica para a agricultura irrigada aplicando os modelos do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) – Coupled Model intercomparison Project phase 5 (CMIP5).

MATERIAL E MÉTODOS

Para estimativa da disponibilidade hídrica, a modelagem hidrológica correspondeu à área de captação da barragem do Castanhão, sustentando a demanda hídrica para agricultura irrigada a jusante, área delimitada entre 4°39'30" e 4°40'00" de latitude sul e 37°35'30" e 38°27'00" de longitude oeste, ocupando uma área de 6.415,10 km², até a barragem de Itaiçaba. No presente estudo, foram aplicados os modelos de mudanças climáticas do Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), para projeções de disponibilidade na Bacia do Jaguaribe. Foi utilizado o período 1971 a 2000 para climatologia presente e projeções futuras para 2025 a 2055. Em busca de se identificar os modelos que melhor representam os padrões de variação do século 20, foi adotada a avaliação sazonal (AVALs) para o Nordeste Setentrional brasileiro (0 °S a 10 °S e 33 °W a 44 °W de longitude, conforme proposto por Silveira et al. (2013). Para avaliação sazonal dos modelos foi calculada a climatologia mensal média sobre o Nordeste Setentrional, onde se localiza a bacia do Jaguaribe, para todos os modelos do IPCC CMIP5 e a observação – Climate Research Unit (CRU) continente (HARRIS et al., 2014) e National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA oceano). Dessa forma, a AVALs foi baseada em índices estatísticos: Raiz do Erro do Quadrado Médio (RMSE) da contribuição percentual mensal em relação às chuvas anuais e a correlação de Pearson (CORREL.), a qual assume valores de -1 a 1 que indica respectivamente, a perfeita anticorrelação, um valor nulo representando a ausência total de correlação e a perfeita correlação. Após o cálculo desses dois índices, foi calculado um índice de avaliação ponderada, envolvendo CORREL_{MÍN} (a menor correlação obtida entre os modelos) e CORREL_{MÁX} (máxima correlação entre os modelos), RMSE_{MÁX} (máximo erro quadrático médio percentual dos modelos) e RMSE_{MÍN} (mínimo erro quadrático médio percentual dos modelos), para obtenção da AVALs, conforme Equação 1:

$$AVAL_s = \alpha_c \frac{CORREL - CORREL_{MÍN}}{CORREL_{MÁX} - CORREL_{MÍN}} + \alpha_r \frac{RMSE_{MÁX} - RMSE_{MÍN}}{RMSE_{MÁX} - RMSE_{MÍN}} \quad (1)$$

$$\alpha_c + \alpha_r = 1 \quad (2)$$

As variáveis α_c e α_r assumem valores entre 0 e 1, dependendo da influência da Correlação e RMSE dos modelos. Neste trabalho foi atribuído valor de 0,5, conferindo-se pesos iguais para as duas estatísticas. A disponibilidade hídrica atual e futura nas bacias hidrográficas estudadas foi avaliada por meio do modelo hidrológico chuva-vazão *Soil Moisture Accounting Procedure - SMAP* (BLOCK et al., 2009), o qual foi aplicado na bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da avaliação sazonal, apenas cinco modelos indicaram valores superiores a 0,90 (Tabela 1) em relação ao percentual de chuva mensal. Os modelos CCSM4, HadGEM2-AO, CESM1-BGC, BCC-CSM1.1 e GFDL-CM3 apresentaram correlações de 1,000; 0,948; 0,947; 0,913 e 0,903, respectivamente, o que os classificam como os melhores modelos para a região Nordeste Setentrional do Brasil, segundo a avaliação sazonal proposta neste trabalho.

Tabela 1. Modelos do CMIP5 com Avaliação Sazonal (AVALS) para o Nordeste Setentrional do Brasil.

Modelo	Instituição	AVALS
BCC-CSM1.1	Beijing Climate Center, China teorological Administration	0,913
HadGEM2-AO	National Institute of Meteorological Research/Korea Meteorological Administration	0,948
CCSM4	National Center for Atmospheric Research, USA	1,000
CESM1-BGC	National Science Foundation, Department of Energy, National Center for Atmospheric Research, USA	0,947
GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA	0,903

Com relação à precipitação dos modelos selecionados, verifica-se que seguem a sazonalidade de dados observados (1971 a 2000) do Climate Research Unit (CRU) com estação chuvosa de janeiro a maio e estação seca de junho a novembro bem definida.

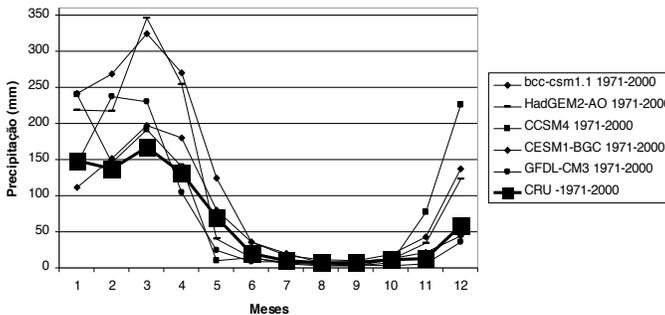


Figura 1. Precipitação observada CRU e modelos 1971 a 2000.

Conforme apresentado nas Tabelas 2 e 3, pode-se denotar que as projeções vazão seguem os sinais da precipitação, negativo por dois modelos no cenário RCP4.5 (variando de -23,2% a +16,9%) e quatro modelos no cenário RCP8.5 (variando de -53,2% a +72,3%).

Tabela 2. Anomalias na precipitação (mm) para a climatologia de 2025 a 2055, em relação a 1971 a 2000.

Modelo	Cenário/Mudança (%)				
	1971-2000	RCP4.5	(%)	RCP8.5	(%)
CRU	781				
CCSM4	1.064	1.019	-4,2	1.017	-4,6
HadGEM2-AO	1.268	1.339	5,6	1.200	-5,0
CESM1-BGC	1.064	1.373	-8,5	1.348	-11,2
BCC-CSM1.1	869	905	4,2	794	-8,3
GFDL-CM3	811	863	6,5	1.008	22,8

Tabela 3. Anomalias na vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) para a climatologia de 2025 a 2055, em relação a 1971 a 2000.

Modelo	Cenário/Mudança (%)				
	1971-2000	RCP4.5	(%)	RCP8.5	(%)
CCSM4	1.411	1.185	-16,0	1.325	-7,3
HadGEM2-A0	2.586	2.941	13,8	2.200	-53,9
CESM1-BGC	3.736	2.868	-23,2	2.801	-32,6
BCC-CSM1.1	715	832	16,3	1.199	-31,8
GFDL-CM3	696	814	16,9	1.199	72,3

CONCLUSÕES

As incertezas de precipitação recaem sobre incertezas na disponibilidade hídrica futura para a bacia, mesmo trabalhando-se com modelos selecionados pela avaliação sazonal. Reduções de disponibilidade hídrica são mais prováveis no cenário RCP8.5. Esses resultados demandam aprofundamento da análise, considerando a demanda para agricultura irrigada diante das mudanças climáticas e evolução das áreas.

REFERÊNCIAS

- BLOCK, P. J.; SOUZA FILHO, F. A.; SUN, L.; KWON, H-H. A streamflow forecasting framework using multiple climate and hydrological models. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 45, n. 4, p. 828-843, 2009.
- GONDIM, R. S.; CASTRO, M. A. H. de; MAIA, A. de H. N.; EVANGELISTA, S. R. M.; FUCK, S. C. de F. Climate change impacts on irrigation water needs in the Jaguaribe River Basin. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 48, n. 2, p. 355-365, 2012.
- HARRIS, I.; JONES, P. D.; OSBORN, T. J.; LISTER, D. H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. **International Journal Of Climatology**, v. 34, n. 3, p. 623-642, 2014.
- KROL, M. S.; BRONSTERT, A. Regional integrated modeling of climate change impacts on natural resources and resources usage in semi-arid Northeast Brazil. **Environmental Modelling & Software**, v. 22, n. 2, p. 259-268, 2007.

NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; DE VRIES, B.; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GREGORY, K.; GRÜBLER A.; JUNG, T. Y.; KRAM, T.; LA ROVERE, E. L.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.; RIAHI, K.; ROEHRL, A.; ROGNER, H-H.; SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; VAN ROOIJEN, S.; VICTOR, N.; DADI, Z. Emission scenarios. In: NAKICENOVIC, N.; SWART, R. (Ed.). **Intergovernmental Panel on Climate Change**: emission scenarios. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.htm>>. Acesso em: 20 abr.2016.

SILVEIRA, C. da S. S.; SOUZA FILHO, F. de A.; COSTA, A. A. C.; CABRAL, S. L. Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região Nordeste do Brasil, Amazônia e Bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 317-330, 2013.

SOUZA FILHO, F. de A.; LALL, U. Modelo de previsão de vazões sazonais e interanuais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n.2, p. 61-74, 2004.

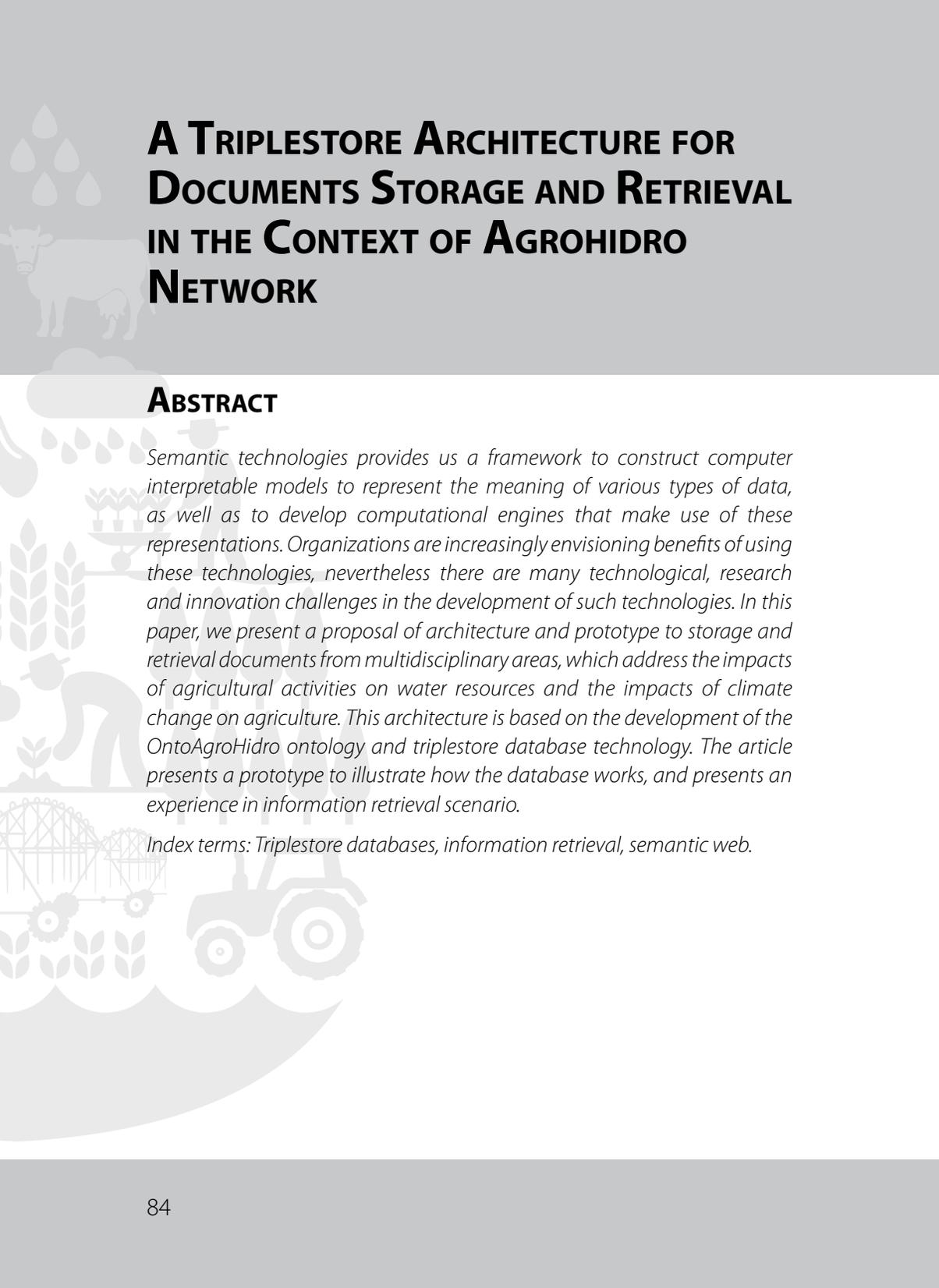
UMA ARQUITETURA TRIPLESTORE PARA ARMAZENAMENTO E RECUPERAÇÃO DE DOCUMENTOS NO CONTEXTO DA REDE AGROHIDRO

RODRIGO BONACIN

RESUMO

Por meio do uso de tecnologias semânticas é possível construir modelos computacionais para representar o significado de vários tipos de dados, bem como mecanismos computacionais que fazem uso destas representações. Organizações vêm vislumbrando cada vez mais benefícios do uso destas tecnologias, ao mesmo tempo em que existem diversos desafios de desenvolvimento tecnológico, pesquisa e inovação ao empregar estas tecnologias. Neste artigo, são apresentados proposta de arquitetura e protótipo para armazenamento de documentos e recuperação de informações de áreas multidisciplinares que abordam os impactos das atividades agrícolas sobre os recursos hídricos, bem como os impactos de mudanças climáticas na agricultura. Esta arquitetura está pautada na construção da ontologia *OntoAgroHidro* e a tecnologia de banco de dados *Triplestore*. O artigo apresenta protótipo com funcionamento do banco de dados e experimento em cenário de recuperação de informações.

Termos para indexação: banco de dados *Triplestore*, recuperação de informações, web semântica.



A TRIPLESTORE ARCHITECTURE FOR DOCUMENTS STORAGE AND RETRIEVAL IN THE CONTEXT OF AGROHIDRO NETWORK

ABSTRACT

Semantic technologies provides us a framework to construct computer interpretable models to represent the meaning of various types of data, as well as to develop computational engines that make use of these representations. Organizations are increasingly envisioning benefits of using these technologies, nevertheless there are many technological, research and innovation challenges in the development of such technologies. In this paper, we present a proposal of architecture and prototype to storage and retrieval documents from multidisciplinary areas, which address the impacts of agricultural activities on water resources and the impacts of climate change on agriculture. This architecture is based on the development of the OntoAgroHidro ontology and triplestore database technology. The article presents a prototype to illustrate how the database works, and presents an experience in information retrieval scenario.

Index terms: Triplestore databases, information retrieval, semantic web.

INTRODUÇÃO

O avanço da Web colaborativa trouxe novas possibilidades para pesquisa de tópicos interdisciplinares por meio de redes científicas. Potencialmente, sistemas computacionais podem apoiar o gerenciamento de grandes bases de dados complexas sobre problemas multifacetados, provendo assim informações mais precisas aos pesquisadores do domínio. Entretanto, estas soluções recaem sobre problemas de interoperabilidade semântica e recuperação de informações.

A partir de 2001, as tecnologias semânticas têm sido estudadas de maneira intensa também no contexto da Web Semântica Berners-Lee et al. (2001). Sistemas com capacidades semânticas normalmente utilizam ontologias para criar representações do conhecimento relacionadas a diversos domínios Gruber (1993). Essas ontologias permitem a interpretação dos significados e a estruturação de dados em sistemas que apoiam o gerenciamento de informações. Bancos de dados Triplestore permitem o armazenamento de informações e recuperação por meio de pesquisas semânticas, utilizando estruturas em Resource Description Framework (RDF) e ontologias Web Ontology Language (OWL).

Nesse contexto, este artigo apresenta arquitetura e protótipo de banco de dados Triplestore para armazenamento e recuperação de documentos de áreas multidisciplinares que abordam os impactos das atividades agrícolas sobre os recursos hídricos, bem como os impactos de mudanças climáticas na agricultura, com modelo baseado na OntoAgroHidro.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho está fundamentado na aplicação de tecnologias semânticas para representação de conhecimento, armazenamento e recuperação de informações. As tecnologias semânticas atuais utilizam arquitetura composta por uma pilha de protocolos apresentada por Berners-Lee et al. (2001). As linguagens de descrição de ontologias são construídas utilizando como base outras linguagens da Web, tais como RDF, RDF Schema e a Extensible Markup Language (XML).

A OWL (W3C, 2012) está atualmente na versão 2.0, conforme definem um conjunto de recomendações do consórcio World Wide Web (W3C). A OWL tem sido amplamente usada para muitas finalidades, tais como busca semântica, compartilhamento de informação e gestão da informação. Em OWL, os conceitos de um domínio em foco são representados utilizando definições baseadas na teoria da orientação a objeto e lógica descritiva.

Já a SPARQL (W3C, 2013) é uma linguagem que pode ser utilizada para expressar consultas em diversas fontes de dados nativas ou disponíveis em RDF. SPARQL contém capacidades para pesquisar padrões em grafos RDF, incluindo conjunções e disjunções. Além disso, tem suporte para testes de valores e restrições de consultas em grafos RDF. O resultado de uma pesquisa em SPARQL pode ser listas ou grafos RDF.

Um banco de dados Triplestore permite o armazenamento em disco e consulta de grande volume de dados armazenados em triplas RDF. As consultas normalmente são efetuadas utilizando SPARQL. Ontologias em OWL podem ser armazenadas nesses bancos, assim é possível utilizar a estrutura conceitual de uma ontologia para organizar a informação por meio dos *objectProperties*, *dataProperties* e classes, bem como utilizar *axiomas* para inferência lógica. As instâncias e demais conceitos da ontologia podem ser pesquisadas utilizando SPARQL ou ainda integrar com máquinas de inferências.

Neste trabalho, foi utilizada a ferramenta Protégé 5 (STANFORD UNIVERSITY, 2016) para a modelagem da OntoAgroHidro em OWL 2.0. Conforme descrito em Bonacin et al. (2013, 2014, 2016), essa ontologia representa um modelo do conhecimento sobre impactos das atividades agrícolas em recursos hídricos no âmbito da Rede AgroHidro. Na modelagem da ontologia foram utilizadas técnicas de reuso que permitiram incorporar milhares de conceitos e descrições de padrões previamente existentes. Esta ontologia foi então readequada (*e.g.*, mudanças nos descritores de tipos) para o armazenamento em Triplestore. A Apache Jena TBD (THE APACHE SOFTWARE FOUNDATION, 2016) foi utilizada como ferramenta para armazenamento e recuperação em Triplestore. A decisão se deu por ser ferramenta amplamente utilizada, de código aberto e alta performance. Como resultado desse estudo inicial foi proposta a arquitetura apresentada na Figura 1.

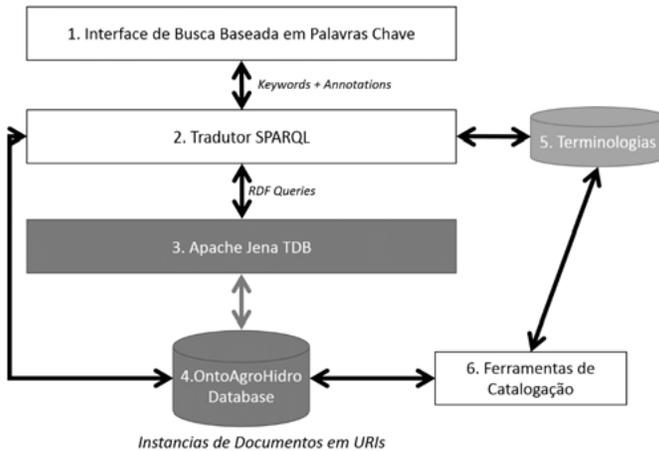


Figura 1. Proposta de arquitetura para armazenamento e recuperação de informações pela OntoAgroHidro.

Os principais componentes desta arquitetura são:

- 1) Interface de Busca Baseada em Palavras Chave que está baseada em um conjunto de termos em estrutura preestabelecida, que indicam agentes, objetos e eventos que descrevem transformações ambientais.
- 2) Tradutor SPARQL que traduz as pesquisas com base em palavras chaves em pesquisas em SPARQL utilizando terminologias padrões.
- 3) Apache Jena TDB como gerenciador de banco de dados.
- 4) OntoAgroHidro Database que é a base de dados construída com a estrutura da OntoAgroHidro, ela contém triplas que descrevem documentos catalogados.
- 5) Terminologias padrões utilizadas para tradução, catalogação e anotações de conceitos da ontologia.
- 6) Ferramentas de Catalogação para armazenar documentos utilizando a estrutura da OntoAgroHidro e terminologias padrões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na versão atual do protótipo, foram implementados os itens 3 e 4, e parcialmente o item 5 da Figura 1. Os demais itens foram simulados para fins experimentais. O objetivo do experimento conduzido foi analisar a viabilidade da proposta e calcular medidas padrão de precisão, cobertura e “medida F”. O experimento foi baseado na seguinte questão de pesquisa: “A expansão da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo está afetando a qualidade da água?”. O total de 393 documentos da Base de Dados da Pesquisa Agropecuária (BDPA) foi catalogado na OntoAgroHidro. Esses documentos foram obtidos a partir da interface da BDPA por “pesquisas relaxadas” com termos simples como água, cana de açúcar e sinônimos. Após isso, 22 variações de pesquisas sintáticas foram realizadas na BDPA (BONACIN et al., 2016) para serem comparadas com a pesquisa na OntoAgroHidro. A classificação dos resultados relevantes e irrelevantes foi realizada por um especialista no domínio. Detalhes sobre esses experimentos podem ser encontrados em Bonacin et al. (2016), que apresenta inicialmente resultados de buscas em memória, que são os mesmos obtidos com o protótipo que implementa a arquitetura.

Um especialista de domínio classificou 28 resultados como relevantes para a pesquisa e 365 resultados como irrelevantes. As pesquisas realizadas com a OntoAgroHidro retornaram 29 resultados, sendo 24 dos 28 resultados relevantes e 5 irrelevantes; obtendo assim, 0,84 (84%) de medida-F (média harmônica entre as medidas de precisão e cobertura) combinando uma boa precisão de 0,83 com uma boa cobertura de 0,86.

A pesquisa sintática com sete termos (expansão, cana-de-açúcar, estado, São Paulo, afetando, qualidade e água) e a melhor pesquisa com seis termos retornaram apenas um documento, sendo este relevante, portanto, resultando em uma precisão de 1,00 e cobertura de 0,04 com medida-F de 0,07. A pesquisa com melhor resultado entre as combinações de cinco termos retornou 7 resultados sendo 3 relevantes, marcando 0,43 de precisão, 0,11 de cobertura e 0,17 de medida-F. A pesquisa sintática com melhor resultado global foram utilizados 4 termos com medida-F de 0,24, sendo 13 resultados com 5 relevantes, medindo 0,38

de precisão e 0,18 de cobertura. Adicionalmente foram realizadas pesquisas utilizando as sete palavras-chave no buscador do Google, resultando em uma precisão de 0,63 para os 30 primeiros resultados e 0,55 para os 60 primeiros resultados.

A partir da análise de cada resultado individual, é possível formular uma explicação para os melhores resultados da OntoAgroHidro quando comparada com os resultados das buscas sintáticas. Com o uso da arquitetura proposta, foi possível identificar o conteúdo relacionado ao estado de São Paulo, mesmo quando este não foi citado explicitamente no texto. São Paulo tem 645 municípios e milhares de corpos de água. Alguns textos citavam regiões ou municípios, por exemplo, um documento sobre o impacto da cana de açúcar em um rio na região de Ribeirão Preto pode ser facilmente encontrado pela busca utilizando a arquitetura proposta, mesmo que este não faça menção explícita ao estado de São Paulo, isto melhorou a cobertura da busca. O uso da ontologia também possibilitou a desambiguação durante o processo de categorização. Por exemplo, alguns resultados recuperados na busca sintática estavam relacionados a São Paulo como a localização da publicação ou instituição de quem realizou o estudo, estes resultados foram filtrados na busca via Triplestore, aumentando a precisão da busca. Com a ontologia também é possível modelar termos complexos como “afetando”, “expansão” e “qualidade”. Com ela é possível relacionar estes conceitos com medidas de qualidade e quantidade de água. A palavra-chave “afetando”, por exemplo, tem um impacto negativo na precisão da busca sintática (quando não desconsiderada), enquanto na busca semântica ela é contextualizada em função de outros termos relacionados.

CONCLUSÕES

Problemas de interoperabilidade semântica e recuperação de informações são barreiras que dificultam o real compartilhamento em redes colaborativas de pesquisas. Domínios multidisciplinares demandam modelos semânticos e soluções arquiteturais complexas para armazenamento e recuperação de informações. Neste artigo, foi apresentada proposta de arquitetura baseada em bancos de dados Triplestore que foi estruturada pela ontologia OntoAgroHidro. A arquitetura encontra-

-se parcialmente implementada utilizando ferramenta Apache Jena TDB. Experimentos preliminares em cenário de uso demonstram as potencialidades da proposta ao apresentar melhores medidas de desempenho de recuperação de informação quando comparadas à busca sintática. Isto se deve principalmente a melhor estruturação e representação da informação propiciada pela OntoAgroHidro. Entretanto, a implementação atual é limitada em termos de possibilidade de uso, bem como não foram realizados experimentos em larga escala. Como próximos passos, é proposta a implementação completa da arquitetura e experimentação com maior número de documentos e cenários.

REFERÊNCIAS

BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. The semantic web. **Scientific American**, v. 284, n. 5, p. 34-43, 2001.

BONACIN, R.; NABUCO, O. F.; PIEROZZI JUNIOR, I. Conceptualizing the impacts of agriculture on water resources. In: Fifth International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems, 10., 2013, Luxembourg. **Proceedings** ... New York: ACM Press, p. 262-269, 2013.

BONACIN, R.; NABUCO, O. F.; PIEROZZI JUNIOR, I. Modeling the impacts of agriculture on water resources: semantic interoperability issues. In: 23rd IEEE International WETICE Conference, 6., 2014, Parma. **Proceedings** ... Parma: IEEE, 2014. p. 447-452.

BONACIN, R.; NABUCO, O. F.; PIEROZZI JUNIOR, I. Ontology models of the impacts of agriculture and climate changes on water resources: scenarios on interoperability and information recovery. **Future Generation Computer Systems**, v. 54, p. 423-434, 2016.

GRUBER, T. R. A translation approach to portable ontology specifications. **Knowledge Acquisition**, v. 5, n. 2, p. 199-220, 1993.

STANFORD UNIVERSITY. **Protege desktop user documentation**. Disponível em: <http://protegewiki.stanford.edu/wiki/Protege4UserDocs>. Acesso em: 25 maio 2016.

THE APACHE SOFTWARE FOUNDATION. **Apache jena documentation**. Disponível em: <https://jena.apache.org/documentation/tdb/>. Acesso em: 25 maio 2016.

W3C. **OWL 2 web ontology language document overview (second edition)**: W3C recommendation, 11 December 2012. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/sparql11-overview/>. Acesso em: 25 maio 2016.

W3C. **SPARQL 1.1 Overview**: W3C recommendation 21 March 2013. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/sparql11-overview/>. Acesso em: 25 maio 2016.

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO SIRIRI POR MEIO DE ANÁLISE MULTIVARIADA

AMANDA DE AZEVEDO GONÇALVES; MARCUS AURÉLIO SOARES CRUZ; JULIO ROBERTO ARAUJO DE AMORIM; RICARDO DE ARAGÃO; PAULO VINÍCIUS MELO DA MOTA

RESUMO

A sub-bacia do Rio Siriri no Estado de Sergipe tem apresentado sinais de queda de sua qualidade ambiental, principalmente por apresentar atividades agrícolas e de extração mineral de grande extensão e intensidade. Visando identificar fatores atuantes sobre a qualidade da água, durante um ano foram realizadas coletas de amostras de água em cinco pontos e analisadas 12 variáveis: temperatura, pH, OD, CE, turbidez, NO_3^- , Pt, Nt, SDT, clorofila-a, PRD e coliformes termotolerantes. Foram também consideradas no estudo outras variáveis, como nível d'água na coleta, precipitação antecedente e quantidade de áreas agrícolas. A aplicação da ACP com rotação Varimax redistribuiu as variáveis em cinco componentes principais: PC1, englobando a influência das atividades agrícolas sobre CE, SDT e OD; PC2, a sazonalidade e pH; PC3, as cargas nitrogenadas; PC4, influência dos sedimentos sobre cargas de Pt e Clorofila a e PC5, refletindo altas cargas biológicas a baixas profundidades.

Termos para indexação: ACP, poluição hídrica, Sergipe.

EVALUATION OF WATER QUALITY IN SIRIRI RIVER BY MULTIVARIATE ANALYSIS

ABSTRACT

The Siriri river sub-basin in the state of Sergipe has shown signs of degradation in environmental quality, mainly by presenting agricultural and mining large extent and intensity activities. Aiming to identify main water quality influence factors, during one year, samples of water were taken at five points and 12 variables were analyzed: temperature, pH, DO, EC, turbidity, NO₃, TP, TN, TDS, chlorophyll a, RDP and thermotolerant coliforms. Other variables were also considered in the study, such as water level in the collection, previous precipitation volumes and amount of agricultural areas. The application of PCA with Varimax rotation method redistributed all variables into five main components: PC1, the influence of agricultural activities on EC, TDS and DO; PC2, seasonality and pH; PC3, the nitrogen loads; PC4, influence of sediment on charges of Pt and chlorophyll a and PC5, showing high biological loads at low depths.

Index terms: PCA, water pollution, Sergipe.

INTRODUÇÃO

A alteração do uso e cobertura do solo é um dos principais fatores que afetam a qualidade da água dos corpos hídricos (ZAMPELLA; PROCOPPIO, 2009). A avaliação dos potenciais impactos ambientais de fontes de poluição pontual e difusas em nível de escala regional é necessária para atingir o desenvolvimento sustentável com a conservação dos recursos naturais, como solo e água. (OLIVEIRA; MAILLARD, 2015). Para identificação e controle da poluição é necessário monitorar o corpo hídrico regularmente, analisando parâmetros de qualidade da água. A Análise de Componentes Principais (PCA) é um método que permite que os dados multivariados sejam reorientados de modo que as primeiras dimensões expliquem o maior número de informações possíveis (LATTIN et al., 2011), eliminando a informação redundante em um menor número de variáveis não correlacionadas que representam toda a estrutura dos dados originais (SIMEONOV et al., 2003). Este artigo apresenta os resultados da aplicação de PCA a variáveis monitoradas no rio Siriri em Sergipe buscando identificar o grau de influência destas na variabilidade da qualidade da água nesta sub-bacia.

MATERIAL E MÉTODOS

A sub-bacia hidrográfica do rio Siriri, com cerca de 429 km², está localizada entre as coordenadas geográficas 37° 12' 52" O, 10° 24' 20" S e 36° 54' 22" O, 10° 45' 44", sendo uma importante contribuinte do rio Japarutuba em Sergipe (CRUZ et al., 2012) (Figura 1A). A precipitação na bacia apresenta valores anuais médios de 1.500 mm próximo à sua foz no rio Japarutuba e cerca de 700 mm/ano na sua porção extrema noroeste, com período chuvoso concentrado nos meses de maio a agosto (CRUZ et al., 2012). Esta sub-bacia tem apresentado sinais de queda de sua qualidade ambiental, principalmente, decorrentes de atividades agrícolas e de extração mineral de grande extensão e intensidade.

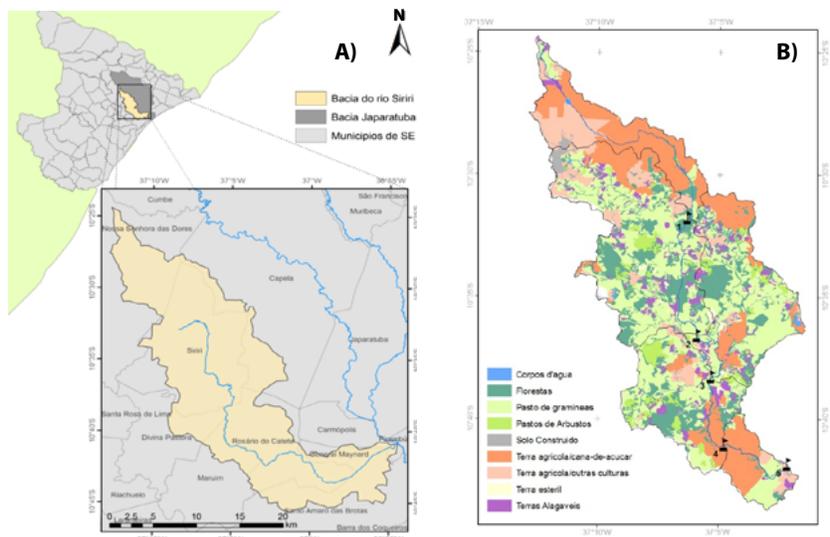


Figura 1. Localização da bacia do Rio Japarutuba/Siriri no Estado de Sergipe (A) e dos pontos de coleta de amostras de água na sub-bacia do Rio Siriri (B).

Os Argissolos ocupam aproximadamente 65% da área e têm como característica peculiar a presença do horizonte B textural, que reduz a capacidade de infiltração de água no solo. O uso do solo é caracterizado por áreas urbanas e rurais, apresentando polos industriais, extração mineral de petróleo, pequenos remanescentes de florestas, áreas úmidas, predominando a atividade agropecuária, com destaque para o cultivo da cana-de-açúcar e o estabelecimento de pastagens. Para analisar a qualidade das águas no rio Siriri, foram selecionados cinco pontos para a coleta de amostras de água, sendo dois com monitoramento de vazão pela Agência Nacional de Águas: estações Siriri (cod. 50046000, 140 km₂) e Rosário do Catete (cod. 50047000, 300 km₂). Os cinco pontos de coleta foram escolhidos considerando a diversidade das atividades do uso da terra (Tabela 1 e Figura 1B). As coletas mensais foram realizadas de outubro/2014 a setembro/2015. No momento da coleta foram realizadas as medidas de temperatura (T) pH, CE, OD, NO₃⁻, turbidez, SDT por meio de uma sonda multiparâmetro.

Tabela 1. Pontos de coleta e suas respectivas coordenadas na sub-bacia do rio Siriri.

Ponto	Descrição	Município	Latitude	Longitude	Área (km ²)
1	Riacho Sangradouro	Capela	10° 31' 46.4" S	37° 6' 18.9" W	46,65
2	Rio Siriri	Siriri	10° 36' 34.2" S	37° 5' 54.6" W	156,13
3	Rio Siriri	Siriri	10° 38' 15.4" S	37° 5' 18.5" W	228,08
4	Rio Siriri	Rosário do Catete	10° 41' 2.2" S	37° 4' 45.6" W	286,10
5	Rio Siriri	Rosário do Catete	10° 41' 49.0" S	37° 2' 8.7" W	307,77

Foram analisados em laboratório os seguintes parâmetros, segundo metodologias recomendadas por Standard Methods (CLESCERI; GREENBERG, 2005): pH, OD, CE, turbidez, NO₃⁻, fósforo total (P_t), nitrogênio total (Nt), SDT, Clorofila-a, fósforo reativo dissolvido (P_{RD}) e coliformes termotolerantes (CTT).

As análises estatísticas exploratórias e a aplicação da PCA e método Varimax foram realizadas por meio do programa R x64, versão 3.2.2. Além das variáveis de qualidade da água foram consideradas também a profundidade da água (Prof.), a quantidade de área agrícola (agricultura – Agr e pastagem – Pas) em cada sub-área contribuinte aos pontos monitorados, bem como as precipitações ocorridas previamente às datas das coletas, na forma de totais precipitados no dia anterior a coleta (Pr1d), dez dias (Pr10d) antes e 30 dias antes (Pr30d). Os valores pluviométricos foram obtidos no site do INPE através da plataforma de coleta de dados dos municípios de Capela, Nossa Senhora das Dores e Santo Amaro das Brotas, que tem influência sobre a sub-bacia hidrográfica e apresentam dados completos para os doze meses de coleta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi aplicada a rotação Varimax às componentes principais selecionadas que responderam por cerca de 75% da proporção da variância da

qualidade da água (Tabela 2). Assim, observou-se que na PC1 foram destacadas as variáveis CE, SDT, OD, P, agricultura e pastagem. Essa componente pode estar relacionada com a influência da atividade agrícola com aumento em CE, SDT, P e diminuição na concentração de OD nas águas. A componente 1 respondeu por 27% da variação da qualidade da água. Na PC2 destacaram-se as variáveis pH, precipitação em trinta dias, em dez dias e diária indicando a variação sazonal, ressaltando o peso de 16% relativo a ocorrência das precipitações. A PC3 respondeu por 15% da variação da qualidade da água, destacando-se Nt, nitrato e T, indicando que a T pode ter influência nas componentes nitrogenados presentes. A PC4 representou 9% da variância da qualidade da água. Afetando as variáveis PRD, turbidez e clorofila-a, provavelmente relacionada à presença de sedimentos na água. Com maior peso para turbidez e clorofila-a. A PC5 respondeu por 8% da variância da qualidade da água. Destacando o CTT e a profundidade, podendo estar associado ao componente biológico por uma possível contaminação por esgoto doméstico, pontual e com intensificação em baixas vazões.

Tabela 2. Fatores das componentes da ACP rotacionada pelo algoritmo Varimax.

Variável	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
T	0,42	-0,12	-0,69	-0,24	0,31
pH	0,38	-0,46	-0,28	0,29	0,28
CE	0,92	-0,09	-0,11	-0,14	0,16
NO ₃ ⁻	-0,07	-0,04	0,94	-0,05	0,06
N	0,01	0,04	0,95	-0,15	-0,09
PRD	0,25	-0,09	0,03	-0,56	-0,02
P	0,48	0,10	0,28	0,12	-0,39
Turb	0,40	0,13	0,05	0,69	-0,26
SDT	0,92	-0,09	-0,11	-0,14	0,16
OD	-0,77	-0,04	0,37	0,14	0,14
Clor-a	0,13	0,26	-0,10	0,58	0,30
CTT	0,31	0,03	-0,02	0,19	0,62
Pr30d	-0,16	0,90	0,06	0,08	-0,05

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Variável	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Pr10d	-0,07	0,94	-0,06	0,08	-0,03
Pr1d	-0,06	0,80	0,03	0,35	-0,02
Prof.	0,11	0,10	0,05	0,07	-0,74
Agr	0,89	-0,23	0,03	0,27	0,05
Pas	0,87	-0,26	-0,01	0,29	-0,03
Autovalor	4,77	2,83	2,61	1,70	1,51
% Variância explicada	0,27	0,16	0,15	0,09	0,08
% Variância acumulada	0,27	0,42	0,57	0,66	0,75

T (°C) – temperatura; OD (mg.L⁻¹) – oxigênio dissolvido; CE (μS.cm⁻¹) – condutividade elétrica; Turb (UNT) – turbidez; SDT (mg.L⁻¹) – sólidos totais dissolvidos; NO₃ (mg.L⁻¹) – nitrato; N (mg.L⁻¹) – nitrogênio total; P (mg.L⁻¹) – fósforo total; PRD (mg.L⁻¹) – fósforo reativo dissolvido; Clor-a (μg.L⁻¹) – clorofila-a; CTT (NMP.100mL⁻¹) – coliformes totais; Pumd. (mm.dia⁻¹) – precipitação diária; P.d.d. (mm) – precipitação durante dez dias; Pt.d. (mm.mes⁻¹) – precipitação durante trinta dias; Prof (m) – profundidade; Agr (Km²) – agricultura; Pas (Km²) – pastagem; PC – Componentes Principais.

CONCLUSÕES

A ACP apontou a influência das atividades agrícolas prioritariamente sobre os sais e decaimento de OD, respondendo por 27% da variância.

A segunda componente concentrou a variabilidade das precipitações.

A terceira componente indicou a parcela relativa aos compostos nitrogenados.

A quarta componente refletiu a presença de sedimentos.

A quinta componente concentrou a parte biológica e sua relação com o nível d'água.

REFERÊNCIAS

- CLESCERI, L.; GREENBERG, A. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. São Paulo: Editora Pharmabooks, 2005. 300 p.
- CRUZ, M. A. S.; AMORIM, J. R. A.; ARAGÃO, R.; GOMES, L. J.; MARQUES, M. N.; SANTOS, R. C.; VIANA, R. D.; SOUZA, R. A.; SOUZA, A. M. B.; SILVA, R. R. S.; MOTA, P. V. M. **Base de dados do Projeto Japarutuba**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 1 DVD.

LATTIN, J.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de dados multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 455 p.

OLIVEIRA, L. M. de; MAILLARD, P. Aplicação de árvores de decisão na modelagem das concentrações de nitrato e fósforo total: estudo de caso no rio das Velhas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 795-808, 2015.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, T. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. **Water Research**, n. 37, p. 4119-4124, 2003.

ZAMPELLA, R. A.; PROCOPIO, N. A. **Landscape patterns and water-quality relationships in New Jersey pinelands streams**. New Lisbon: Pinelands Commission, 2009. 11 p.

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTRESSE HÍDRICO DO FEIJOEIRO CULTIVADO NO PERÍODO DAS ÁGUAS

**ALEXANDRE BRYAN HEINEMANN; SILVANDO CARLOS DA SILVA
LUÍS FERNANDO STONE**

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar o impacto das mudanças climáticas no estresse hídrico do feijoeiro cultivado no período das águas em Goiás, considerando o presente (1980 a 2013, "baseline") e quatro cenários de trajetórias representativas de concentração (RCPs) para o período de 2020 a 2045. O modelo de simulação da cultura do feijoeiro, CSM-CRO-PGRO-DRY BEAN, foi calibrado e validado para duas cultivares, Pérola e BRS Radiante. Estimativas da produtividade do feijoeiro foram executadas considerando a produtividade potencial (irrigada) e atual (sem irrigação) para o presente e para os cenários RCPs 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5. O impacto do estresse hídrico na produtividade foi quantificado por meio do impacto relativo do estresse hídrico (RWSI) e impacto do estresse hídrico (WSI). Concluiu-se que houve incremento do impacto do estresse hídrico nos quatro cenários considerados neste estudo (RCPs 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5). Para a cultivar Pérola, houve incremento da produtividade média para todos os cenários de mudanças climáticas utilizados.

Termos para indexação: cenários futuros, modelo de simulação, produtividade.

CIMATE CHANGE IMPACT ON THE WATER DEFICIT OF DRY BEANS CROPPED IN WET SEASON

ABSTRACT

The objective of this study was to analyse the climate change impacts on the water deficit of dry beans cropped in the wet season at Goiás State, Brazil. It was considerate the baseline (1980 a 2013) and four representative concentration pathways (RCP - 2.6, 4.5, 6.0 and 8.5) for the period from 2020 to 2045. For that, it was applied the crop growth model CSM-CROPGRO-DRY BEAN, calibrated and validated for two cultivars Pérola and BRS Radiante. The model was run considering the potential yield (with irrigation) and actual yield (rainfed) for the baseline and four RCPs (2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) scenarios. The water stress impact on the yield was quantified based on the relative water stress impact (RWSI) and water stress impact (WSI). There was increase on the water stress impact for the four RCPs used in this study (2.6, 4.5, 6.0 and 8.5). For cultivar Pérola, there was an increment on the average yield for all climate change scenarios applied in this study.

Index terms: futuresscenarios, simulation model, grain yield.

INTRODUÇÃO

O feijão é considerado a leguminosa mais importante no mundo para consumo humano direto, com uma produção global em torno de 23 mil toneladas. Entre as espécies de feijoeiro, as do gênero *Phaseolus* são as mais cultivadas, ocupando mais de 85% da área de produção de feijão no mundo. O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é responsável por 80% das espécies de feijão consumidas. O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de feijão (~ 2,5 milhões de toneladas em 2013) (IBGE, 2016), sendo essa a principal fonte de proteína na dieta da população brasileira, com consumo per capita estimado em 17,8 kg ano⁻¹. O sistema de produção de feijão não irrigado representa 93% (2,8 milhões ha) da área de produção brasileira do feijão (IBGE, 2016). No estado de Goiás, um dos principais estados produtores de feijão no Brasil e foco deste estudo, a produção do feijão não irrigado está concentrada no período de semeadura de 01 de novembro a 31 de dezembro. Devido à variabilidade ambiental, o desempenho das cultivares varia substancialmente entre locais e anos, com rendimento médio de 1.500 kg ha⁻¹ (IBGE, 2016). O feijoeiro cultivado no período das águas sofre restrições de produção abióticas e bióticas. As restrições abióticas mais comuns são baixa fertilidade do solo, estresse hídrico e deficiência de nitrogênio devido à irregularidade na fixação de nitrogênio. Devido à gama de restrições e suas interações, não está claro para os melhoristas quais as principais restrições que afetam a cultura e como as mesmas variam no espaço e no tempo. Como a maior parte da produção de feijão no período das águas está associada à agricultura familiar, o conhecimento dessas restrições no presente e no futuro é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias e conhecimentos para a melhoria da produtividade (RODRIGUEZ DE LUQUE; CREAMER, 2014). O objetivo deste estudo foi analisar o impacto do estresse hídrico no feijoeiro produzido no período das águas considerando o presente (1980 a 2013, “baseline”) e quatro cenários de trajetórias representativas de concentração (Representative Concentration Pathways (RCPs) – 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) para o período de 2020 a 2045.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende o estado de Goiás. Neste estudo foram consideradas 26 estações climáticas, com dados diários de precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima do ar e radiação solar global para o período de 1980 a 2013, consideradas como “baseline”. A localização e caracterização dessas estações estão descritas em Heinemann et al. (2016). Foram consideradas três classes de solo, Latossolo, Argissolo e Cambissolo, que representam 64%, 19% e 6% da área agrícola do estado de Goiás. As propriedades físicas desses solos são provenientes da base de dados solo brasileiro (BENEDETTI et al., 2008) e as características hídricas foram derivadas utilizando as funções de pedotransferência descritas em Heinemann et al. (2015). A capacidade de água disponível (CAD) foi de $0,813 \text{ mm cm}^{-1}$, $0,476 \text{ mm cm}^{-1}$ e $0,588 \text{ mm cm}^{-1}$ para o Latossolo, Argissolo e Cambissolo, respectivamente. A área de influência de cada uma das 26 estações climáticas foi determinada por meio de polígonos de Thiessen, permitindo explicitá-las espacialmente.

Os dados de clima futuro utilizados neste estudo para os quatro cenários de trajetórias representativas de concentração, denominados neste estudo RCPs, são provenientes do CMIP5. Para cada RCP foram utilizados doze modelos climáticos globais (GCMs) que possuíam escalas diárias para os elementos climáticos precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima do ar e radiação solar global. Como os dados dos GCMs em escala diária tem erros inerentes, foi necessário realizar correções de viés (CV). Assim, dois métodos de CV foram aplicados: (a) o método delta, que aplica uma correção sobre as médias, e (b) o método de fator de mudança, que corrige tanto as médias como a variabilidade das saídas dos GCMs (HAWKINS et al., 2013).

Foram utilizados 96 cenários climáticos individuais para o período 2020 a 2045, resultantes do produto de 12 GCMs por 4 RCPs e por 2 métodos CV. O desenvolvimento, crescimento e produtividade da cultura do feijoeiro foram simulados pelo modelo CSM-CROPGRO-DRY BEAN, que é um modelo de processo orientado e que considera condições am-

bientais, manejo da cultura e parâmetros específicos da cultivar. Esse modelo vem sendo amplamente utilizado no Brasil (HEINEMANN et al., 2002, 2016) e apresenta saídas para o crescimento e desenvolvimento da cultura e para os balanços hídricos do solo e da planta, nitrogênio e carbono. O modelo CSM-CROPGRO-DRY BEAN foi calibrado e validado para duas cultivares contrastantes em relação ao hábito de crescimento e ciclo, denominadas Pérola e BRS Radiante.

Detalhes do processo de calibração e validação e os respectivos coeficientes genéticos das cultivares estão descritos em Heinemann et al. (2016). As simulações foram realizadas considerando sete datas de semeadura (de 1º de novembro a 30 de dezembro), duas cultivares (Pérola e BRS Radiante), três classes de solos e dados climáticos “baseline” (1980 a 2013) e dados climáticos futuros (2020 a 2045 – 96 cenários e quatro RCPs). As simulações foram realizadas para determinar a produtividade potencial (Y_{ns} , irrigado) e a produtividade atual (Y_{wl} , sem irrigação), considerando que não há limitação de nutrientes, insetos-praga ou doenças. Para as simulações de Y_{ns} , o manejo da irrigação foi similar ao utilizado pelos agricultores, aplicando uma lâmina de 20 mm quando a umidade do solo nos primeiros 30 cm decresce abaixo de 50% da capacidade de campo.

O impacto do estresse hídrico sobre a produtividade foi mensurado pela quantificação do estresse hídrico relativo (RWSI), Equação 1, e estresse hídrico (WSI), Equação 2.

$$RWSI = (Y_{ns} - Y_{wl}) / Y_{ns} * 100 \quad (1)$$

$$WSI = (Y_{ns} - Y_{wl}) \quad (2)$$

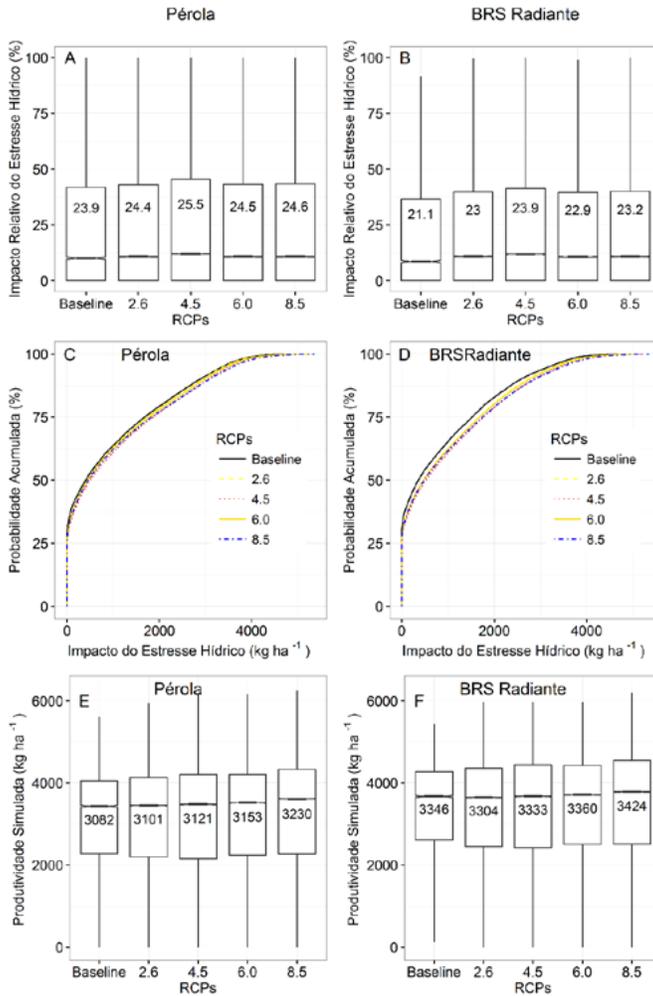
em que,

Y_{ns} – produtividade potencial do feijoeiro (com irrigação).

Y_{wl} – produtividade atual do feijoeiro (sem irrigação).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseado nos resultados obtidos neste estudo, para ambas as cultivares, Pérola e BRS Radiante, houve aumento do impacto do estresse hídrico na produtividade do feijoeiro para todos os RCPs comparado com a “baseline” (Figura 1A e 1B). O cenário que apresentou o maior aumento médio foi o RCP 4.5, com aumento médio do impacto do estresse hídrico na produtividade de 1,6% e 2,8% em relação à “baseline”, para as cultivares Pérola e BRS Radiante. Observou-se que nos cenários de mudanças climáticas considerados neste estudo, o estresse hídrico apresentou maior impacto na cultivar de menor ciclo, BRS Radiante. Basicamente, isso deve-se ao aumento na temperatura do ar e conseqüente redução de ciclo. Para ambas as cultivares houve redução média de dois dias no ciclo em relação à “baseline”. Entretanto, essa redução de ciclo teve maior impacto na cultivar BRS Radiante (dados não mostrados). Para os quatro RCPs estudados, houve maior impacto do estresse hídrico em relação a “baseline”. Considerando uma análise de risco, para ambas cultivares, os RCPs 8.5 e 4.5 apresentaram a pior situação (Figura 1C e 1D), ou seja, os maiores impactos do estresse hídrico nas produtividades. Para a cultivar Pérola, houve aumento na produtividade média para os quatro RCPs em relação à “baseline” (Figura 1E). Isso provavelmente se deve ao efeito do CO₂, que é maior nos RCPs que na baseline. Já para a cultivar BRS Radiante, esse aumento na produtividade ocorreu somente para os RCPs 6.0 e 8.5 (Figura 1F).



Legenda: Radiante, considerando todas as datas de semeaduras. Linha horizontal representa a mediana e valores indicados por números a média (A, B); (C, D) risco do impacto do estresse hídrico nos diferentes cenários (C) para a cultivar Pérola e (D) para a cultivar BRS Radiante, considerando todas as datas de semeaduras; (E, F) impacto dos cenários de mudanças climáticas na produtividade simulada para (E) cultivar Pérola e (F) cultivar BRS Radiante, considerando todas as datas de semeadura.

Figura 1. Gráficos do impacto do estresse hídrico relativo e seu risco associado. Impacto relativo do estresse hídrico (RWSI, %) na produtividade para a cultivar Pérola (A) e para a cultivar BRS (B).

CONCLUSÕES

Houve incremento do impacto do estresse hídrico nos quatro cenários considerados neste estudo (RCPs 2.6; 4.5; 6.0 e 8.5). Para a cultivar Pérola, houve incremento da produtividade média para todos os cenários de mudanças climáticas utilizados.

REFERÊNCIAS

BENEDETTI, M. M.; SPAROVEK, G.; COOPER, M.; CURI, N.; CARVALHO FILHO, A. Representatividade e potencial de utilização de um banco de dados de solos do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2591-2600, nov./dez. 2008.

HAWKINS, E.; OSBORNE, T. M.; HO, C. K.; CHALLINOR, A. J. Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: an idealized case study over Europe. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 170, p. 19-31, Mar. 2013.

HEINEMANN, A. B.; BARRIOS-PEREZ, C.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; ARANGO-LONDOÑO, D.; BONILLA-FINDJI, O.; MEDEIROS, J. C.; JARVIS, A. Variation and impact of drought-stress patterns across upland rice target population of environments in Brazil. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 12, p. 3625-3638, June 2015.

HEINEMANN, A. B.; HOOGENBOOM, G.; FARIA, R. T. de. Determination of spatial water requirements at county and regional levels using crop models and GIS: an example for the State of Parana, Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 52, n. 3, p. 177-196, Jan. 2002.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; SOUZA, T. L. P. O.; DIDONET, A. D.; DI STEFANO, J. G.; BOOTE, K. J.; JARVIS, A. Drought impact on rainfed common bean production areas in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 225, p. 57-74, Sept. 2016.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Banco de Dados Agregados. **Produção agrícola municipal**: área plantada, área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura temporária. [Rio de Janeiro, 2016]. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PA&z=t&o=11>>. Acesso em: 10 maio 2016.

RODRIGUEZ DE LUQUE, J. J.; CREAMER, B. Major constraints and trends for common bean production and commercialization, establishing priorities for future research. **Agronomia Colombiana**, v. 32, n. 3, p. 423-431, 2014.

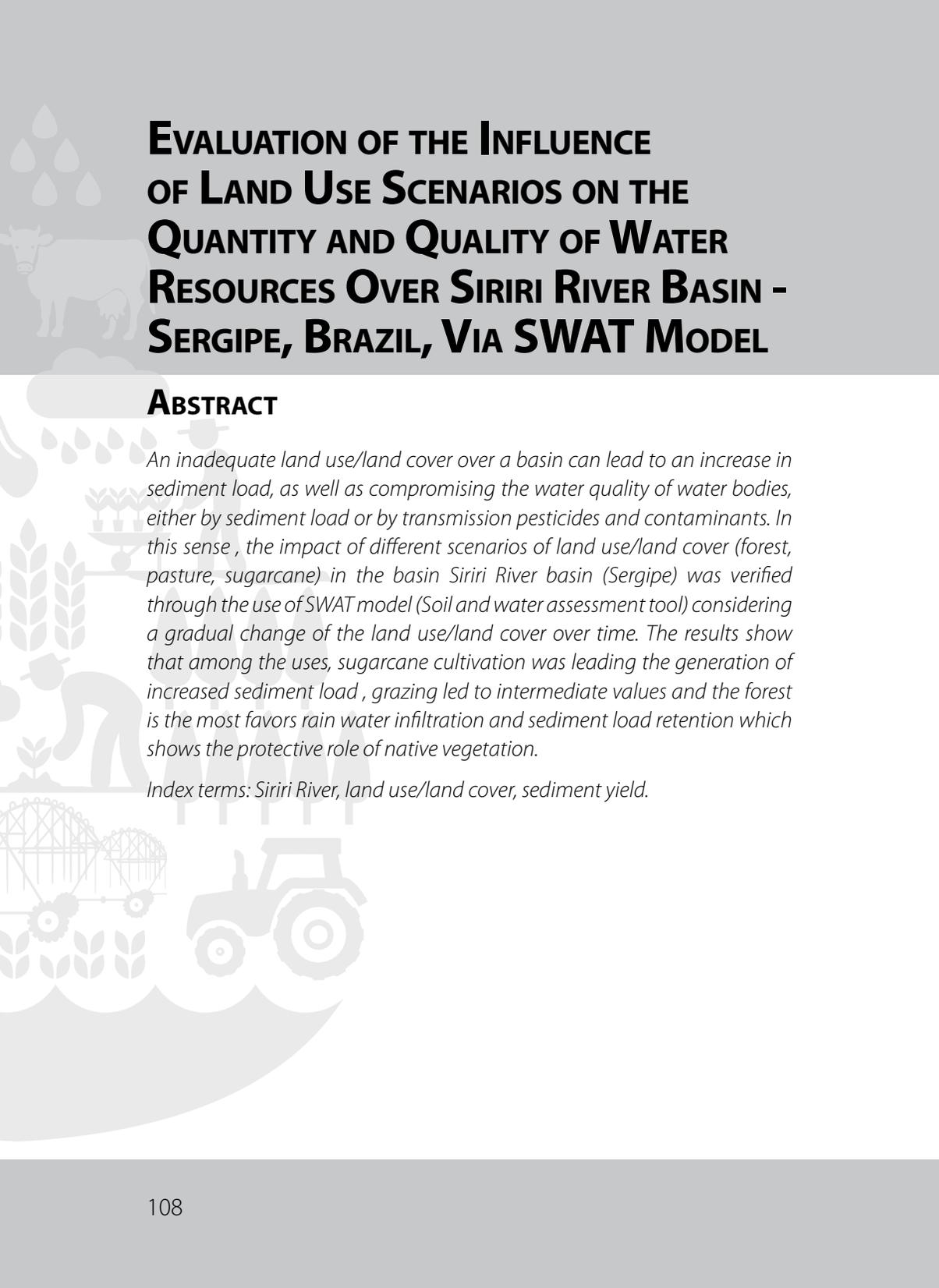
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE CENÁRIOS DE USO DE SOLO SOBRE A QUANTIDADE E QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO SIRIRI-SERGIPE VIA MODELO SWAT

RICARDO DE ARAGÃO; MARCUS AURÉLIO SOARES CRUZ; JULIO ROBERTO ARAUJO DE AMORIM; EDUARDO ENEAS DE FIGUEIREDO; VAJAPEYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN

RESUMO

O uso e ocupação do solo de uma bacia, quando não é corretamente adequado para a mesma, podem levar a um aumento no aporte de sedimentos, bem como comprometer a qualidade e quantidade da água dos corpos hídricos, quer seja pela carga de sedimento, quer seja pelo transporte de pesticidas e contaminantes. Neste sentido, o impacto de diferentes cenários de uso e ocupação do solo (floresta, pastagem, cana-de-açúcar) na área da Bacia do Rio Siriri (Sergipe) foi verificado através do emprego do modelo Soil and water assessment tool (SWAT), considerando uma modificação gradual do uso/ocupação ao longo do tempo. Os resultados mostram que dentre os usos, o cultivo de cana-de-açúcar foi o que levou a geração da maior carga de sedimento, a pastagem levou a valores intermediários e a floresta nativa ou plantada é o que mais favorece a infiltração da água de chuva e a retenção da carga de sedimento o que mostra o papel protetor da floresta nativa.

Termos para indexação: Rio Siriri, uso e ocupação, produção de sedimentos



EVALUATION OF THE INFLUENCE OF LAND USE SCENARIOS ON THE QUANTITY AND QUALITY OF WATER RESOURCES OVER SIRIRI RIVER BASIN - SERGIPE, BRAZIL, VIA SWAT MODEL

ABSTRACT

An inadequate land use/land cover over a basin can lead to an increase in sediment load, as well as compromising the water quality of water bodies, either by sediment load or by transmission pesticides and contaminants. In this sense, the impact of different scenarios of land use/land cover (forest, pasture, sugarcane) in the basin Siriri River basin (Sergipe) was verified through the use of SWAT model (Soil and water assessment tool) considering a gradual change of the land use/land cover over time. The results show that among the uses, sugarcane cultivation was leading the generation of increased sediment load, grazing led to intermediate values and the forest is the most favors rain water infiltration and sediment load retention which shows the protective role of native vegetation.

Index terms: Siriri River, land use/land cover, sediment yield.

INTRODUÇÃO

Entre as principais consequências das atividades humanas estão o desmatamento, a ocupação desordenada e a impermeabilização do solo, que por sua vez levam ao aumento de vazão e da produção de sedimentos (ARAGÃO et al., 2012; CRUZ et al., 2012). Para quantificar o impacto destas atividades e simular cenários de uso e ocupação com a máxima preservação dos recursos naturais, tem-se utilizado a modelagem hidrossedimentológica de base física. Dentre estes modelos foi aplicado o modelo Soil and water assessment tool (SWAT) (NEITSCH et al., 2005), acoplado a um SIG, o ArcSWAT (WINCHELL et al., 2009) à sub-bacia do Rio Siriri, no Estado de Sergipe, visando estimar a produção de água, sedimentos e o impacto destes na qualidade da água sob diferentes cenários de uso e ocupação ao longo do tempo. Nessa sub-bacia, diversas atividades antrópicas têm sido desenvolvidas ao longo dos últimos séculos (cultivo, pastagem, mineração) degradando o meio ambiente, pelo impacto nos recursos hídricos, no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia do Rio Japaratuba (10°13'00" e 10°47'00" de latitude Sul e 36°48'00" e 37°19'00" de longitude Oeste) tem uma área de 1.687,67 km², é composta por três sub-bacias: Japaratuba (54% da área total), Siriri (23,37% da área total) e Japaratuba-Mirim (22,63% da área total). A sub-bacia do Rio Siriri é a que tem sido mais impactada por ações antrópicas (cultivo de cana e milho, pastagem, mineração de petróleo e potássio).

Para simular os processos hidrossedimentológicos e a influência do uso e ocupação do solo foi empregado o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT), onde a bacia é dividida em sub-bacias e trechos de canais e cada elemento, plano ou canal, poderá ter seu próprio conjunto de parâmetros que o caracteriza adequadamente (NEITSCH et al., 2005).

Para o período 1987-2014, foram utilizados dados diários de precipitação e clima (evaporação, temperatura, velocidade do vento), provenientes da estação Capela (latitude 10°29 Sul e longitude 37°04 Oeste (ANA,

2002). O modelo digital do terreno (espaçamento de 30 m x 30 m), é oriundo dos dados da missão topográfica SRTM (ARAGÃO et al., 2012) e foi empregado na discretização da sub-bacia para uso no modelo. Os dados de uso e ocupação no período 1987, 1997, 2000, 2001, 2006, 2012 são provenientes do Atlas Digital de Recursos Hídricos (2004) e também produzidos nesta pesquisa. Os dados relativos ao solo (tipo, textura, granulometria, profundidade e quantidade de horizontes do solo) são oriundos do Atlas Digital de Recursos Hídricos (2004) e, quando estes não estavam disponíveis, empregou-se valores disponíveis na literatura (NEITSCH et al., 2005).

Foi avaliada a influência de cenários de uso do solo tanto na quantidade como também na qualidade dos recursos hídricos e na produção de sedimentos, utilizando-se uma funcionalidade do ambiente ArcSWAT denominada de Land Use Update (LUP) (WINCHELL et al., 2009), que permite a atualização do tipo de uso e ocupação ao longo da modelagem. Foi considerada uma variação gradual da condição inicial de uso do solo de 1987 até 2014. Considerou-se que, nessa condição a cultura/vegetação vai paulatinamente crescendo e se expandindo, tomando lugar de outros usos, comportamento bem diferente de considerar um cenário fixo. O ponto de partida foi o ano de 1987 e a mudança de floresta nativa para pastagem ou cana-de-açúcar aconteceu na passagem dos anos 1990, 1997, 2000, 2005, 2010, considerando as mudanças no uso/ocupação do solo apresentadas nos mapas de uso e ocupação dos anos 1987, 1997, 2000, 2001, 2006, 2012.

Os seguintes cenários foram avaliados (Figura 1): (a) o uso e ocupação do solo se manteve constante desde 1987 até 2014, e foi tomado como base para comparação; (b) a progressiva substituição, a partir de 1987, da pastagem e da plantação de cana-de-açúcar por floresta plantada; (c) a progressiva substituição, da pastagem e da floresta nativa por cana-de-açúcar; (d) a progressiva substituição, da floresta nativa e da cana-de-açúcar por pastagem (não apresentado na Figura 1). Para os cenários considerou-se que dos usos acima citados, apenas a área relativa a corpos de água, solo construído e terras estéreis se mantiveram constante.

Os parâmetros do modelo não foram calibrados, pois não se tem dados de vazão para os cenários citados. A análise foi efetuada via comparação dos seguintes dados simulados: a vazão média anual (Q_{sup}), a produção de sedimentos média anual ($SedYield$), recarga para o aquífero raso (Shal aq), recarga total para o aquífero (TotAqrec), carga de nitrogênio (OrgN), fósforo (OrgP) e nitrato (NO_3).

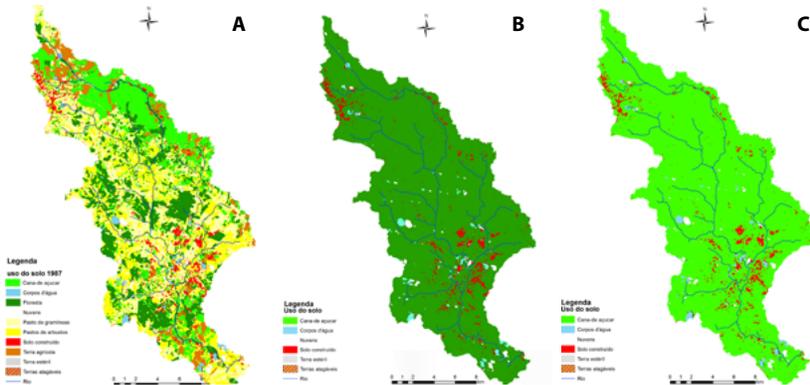


Figura 1. Uso do solo da bacia no ano 1987 (A); solo da bacia progressivamente substituído por floresta plantada de 1987 até 2014 (B); solo da bacia progressivamente substituído por cana-de-açúcar de 1987 até 2014 (C).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da suposição de mudança gradual no uso do solo foram obtidos os resultados listados na Tabela 1. Observa-se que o escoamento superficial foi bem menor (14,22%) no cenário de substituição progressiva para floresta se comparado aos outros cenários, sendo o que oferece menor impacto ao processo hidrossedimentológico. Esse fato pode ser constatado observando-se o valor da produção total de água, da produção de sedimentos e dos parâmetros de qualidade de água, nitrogênio, fósforo e nitrato, cujas cargas foram menores. Para o cenário de substituição progressiva para cana-de-açúcar, todos os parâmetros analisados atingiram os maiores valores, notando-se que o escoamento superficial teve um aumento de 17% e a carga de nitrogênio, fósforo e nitrato que

chega ao rio atingiu os maiores valores, conseqüentemente, poluindo os cursos de água. Também foi observado um maior valor de nitrogênio e fósforo no solo o que pode não ser benéfico.

Tabela 1. Influência dos diferentes usos do solo sobre o processo hidrossedimentológico considerando um percentual progressivo de ocupação

Variável	Uso em 1987	Floresta ¹	Pastagem	Cana ²
Precipitação média (mm)	1.294,4	1.294,4	12.94,4	1.294,4
Escoamento superficial (mm)	309,2	265,2	315,4	347,5
Escoamento lateral p/rio (mm)	25,9	28,4	25,6	23,9
Água do aquífero raso para o rio (mm)	350,2	386,9	345,4	315,1
Água do aquífero profundo para o rio (mm)	19,4	21,3	19,1	17,5
Água movendo do aquífero para o solo (mm)	17,3	17,3	17,3	17,3
Recarga para o aquífero profundo (mm)	19,4	21,3	19,1	17,5
Recarga total para o aquífero (mm)	387,5	426,3	382,5	350,4
Produção total de água (mm)	704,7	701,9	705,5	704,07
Percolação (mm)	388,3	427,3	383,3	351,1
Evapotranspiração real (mm)	504,9	507,1	504,5	506,0
Evapotranspiração potencial (mm)	868,4	868,5	868,5	868,5
Produção de sedimentos (t/ha)=	8,3	5,0	9,8	18,5
Carga de nitrogênio orgânico p/rio (kg/ha)	1,1	0,7	1,6	3,7
Carga de fósforo orgânico p/rio (kg/ha)	1,5	0,8	2,3	5,3
Carga de nitrato para o rio (kg/ha)	1,3	1,1	1,4	1,7
Quantidade de nitrogênio removido da bacia (kg/ha)	18,5	19,2	17,6	14,8
Quantidade de fósforo removido da bacia (kg/ha)	5,0	4,8	4,7	3,8

¹ Floresta refere-se às florestas nativas ou plantadas.

² Refere-se à cana-de-açúcar.

No cenário de substituição progressiva para pastagem, os valores dos parâmetros analisados, foram, na sua maioria, intermediários entre o cenário de substituição progressiva para floresta e para cana-de-açúcar. Ou seja, esse cenário, guardadas as proporções e o manejo do solo, chega a ser mais benéfico para a bacia do que o de cana-de-açúcar, visto que a pastagem cria uma grande área de proteção para o solo contra os

impactos das gotas chuva, reduzindo a erosão por desagregação e pelo escoamento.

CONCLUSÕES

Considerando o uso do solo de 1987 como base, dos cenários simulados o mais danoso para a bacia foi o cultivo da cana-de-açúcar e o que menos impacto gerou foi a conservação da floresta nativa ou plantada. Nesse sentido, o SWAT se mostrou uma ferramenta muito promissora para a análise em questão.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **HIDRO**: sistema de informações hidrológicas: manual do usuário. [Brasília, DF]: 2002.

ARAGÃO, R.; CRUZ, M. A. S.; AMORIM, J. R. A.; MENDONÇA, L. C.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Modelagem do escoamento na sub-bacia do rio Japarutuba-Mirim (SE) através do modelo SWAT. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 11., 2012, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2012.

ATLAS digital de recursos hídricos. Aracaju: Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia de Sergipe: Superintendência de Recursos Hídricos, 2004.

CRUZ, M. A. S.; AMORIM, J. R. A.; ARAGAO, R.; GOMES, L. J.; MARQUES, M. N.; SANTOS, R. C. L.; VIANA, R. D. **Base de dados do Projeto Japarutuba**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. v. 1.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and water assessment tool**: theoretical documentation: version 2005. Washington, DC: USDA Agricultural Research Service, 2005.

WINCHELL, M.; SRINIVASAN, R.; DI LUZIO, M.; ARNOLD, J. **ARCSWAT 2.3.4 interface for SWAT2005**: user's guide. Washington, DC: USDA Agricultural Research Service, 2009.

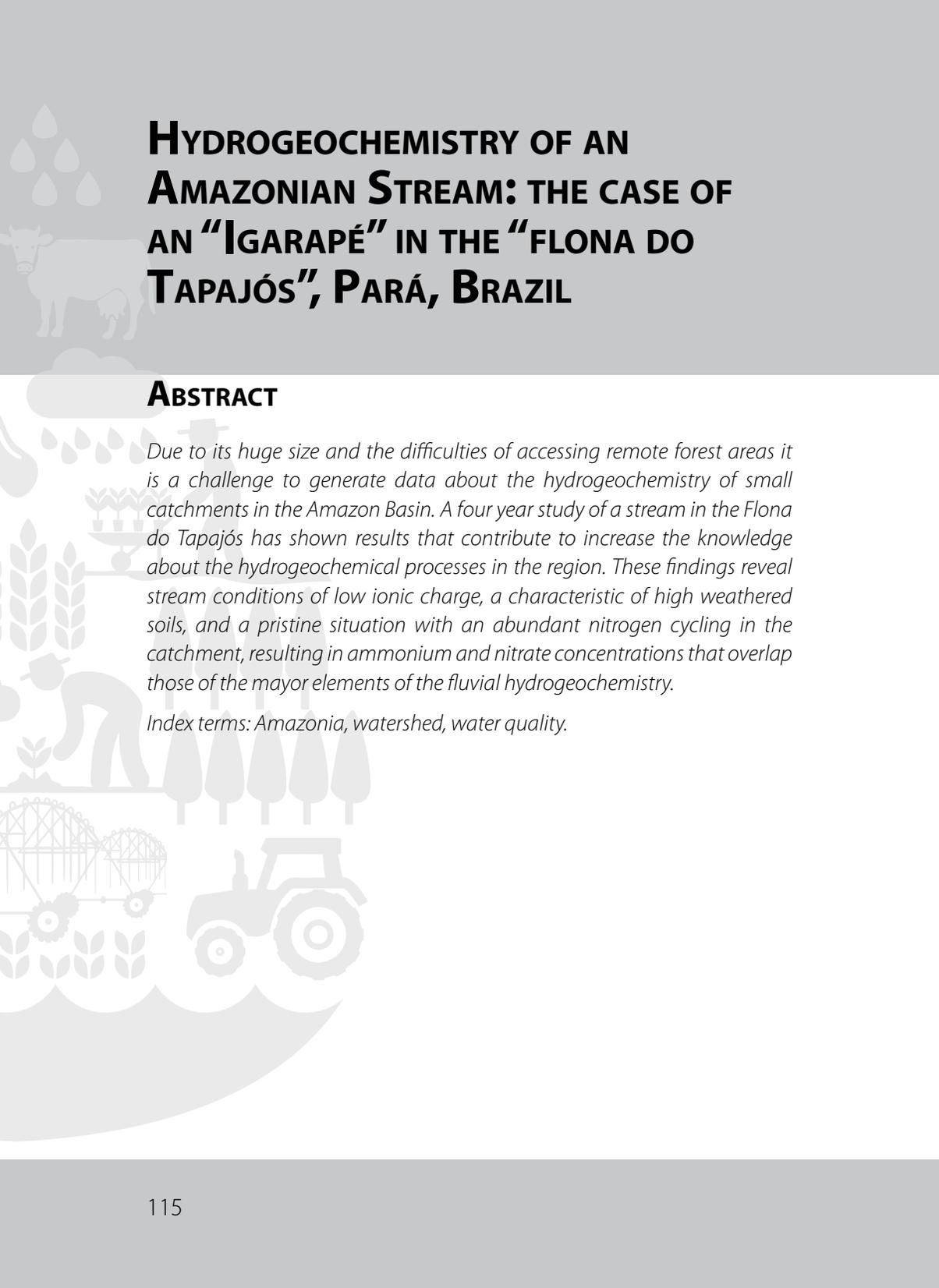
HIDROGEOQUÍMICA DE UM CÓRREGO AMAZÔNICO: O CASO DE UM IGARAPÉ NA FLONA DO TAPAJÓS, PARÁ, BRASIL

RICARDO DE OLIVEIRA FIGUEIREDO; DANIEL MARKEWITZ

RESUMO

Decorrente do seu imenso tamanho e das dificuldades de acesso a áreas remotas é desafiadora a geração de informação sobre a hidrogeoquímica de microbacias na Bacia Amazônica. Um estudo, ao longo de quatro anos, em um igarapé na Flona do Tapajós, apresentou resultados que contribuem para a ampliação do conhecimento sobre os processos hidrogeoquímicos atuantes na região. Estes revelam condições fluviais de baixa carga iônica, característica de solos bastante intemperizados, e uma situação prístina com abundante ciclagem de nitrogênio na microbacia, refletidas em concentrações de amônio e nitrato que superam as de constituintes maiores da hidrogeoquímica fluvial.

Termos para indexação: Amazônia, bacia hidrográfica, qualidade de água.



HYDROGEOCHEMISTRY OF AN AMAZONIAN STREAM: THE CASE OF AN “IGARAPÉ” IN THE “FLONA DO TAPAJÓS”, PARÁ, BRAZIL

ABSTRACT

Due to its huge size and the difficulties of accessing remote forest areas it is a challenge to generate data about the hydrogeochemistry of small catchments in the Amazon Basin. A four year study of a stream in the Flona do Tapajós has shown results that contribute to increase the knowledge about the hydrogeochemical processes in the region. These findings reveal stream conditions of low ionic charge, a characteristic of high weathered soils, and a pristine situation with an abundant nitrogen cycling in the catchment, resulting in ammonium and nitrate concentrations that overlap those of the mayor elements of the fluvial hydrogeochemistry.

Index terms: Amazonia, watershed, water quality.

INTRODUÇÃO

De acordo com Barthem et al. (2004) a Bacia Amazônica é a maior do planeta e também a menos conhecida, e mesmo enfrentando uma importante expansão agrícola que modifica significativamente o ambiente existe uma lacuna de conhecimento sobre as condições prístinas como seria desejável (CAK et al., 2016; NEILL et al., 2006). A heterogeneidade de suas principais estruturas geológicas é de importância fundamental para qualidade química da água, e define os tipos de água na Amazônia como brancas, claras e pretas, de acordo com suas cores (SIOLI, 1975). O imenso tamanho da bacia e as dificuldades de acesso a áreas florestais remotas aumentam o desafio para geração de informação da hidrogeoquímica de seus córregos e ribeirões (os igarapés, como regionalmente conhecidos). Tem sido relatado por alguns pesquisadores ser algumas vezes impossível encontrar-se uma microbacia pareada em áreas prístinas para comparação com microbacias impactadas pelo desflorestamento na Amazônia (FIGUEIREDO et al., 2010; NEILL et al., 2011). Também tem sido discutida na comunidade científica como alguns índices usados para classificação de corpos d'água na legislação brasileira são inapropriados para as diferentes ecorregiões do país (ECORREGIÕES..., 2015), incluindo aquelas do bioma amazônico. Dessa maneira, quando surge uma oportunidade para a geração de tais dados hidrogeoquímicos torna-se necessário divulgá-los, mesmo se não associados a outros estudos de processos relacionados ao acoplamento de sistemas terrestre e aquático. Nesse contexto, por um período de quatro anos (2001 a 2005) ocorreu uma destas oportunidades, de forma que os seus resultados são aqui apresentados e discutidos. Dessa maneira, esse trabalho tem o objetivo de ampliar o conhecimento sobre os processos hidrogeoquímicos atuantes na Bacia Amazônica.

MATERIAL E MÉTODOS

O Igarapé da Onça está localizado na Floresta Nacional do Tapajós (2,8968°S; 54,9519°W), no município paraense de Belterra (Figura 1), o qual se localiza a 67 km da cidade de Santarém. Nesse ecossistema,

Nepstad et al., (2002) encontraram 169 e 188 espécies de árvores e lianas, respectivamente. A precipitação anual local apresenta média de 2000 mm, no entanto, em função principalmente do fenômeno climático do El Niño, a precipitação anual varia grandemente de 600 mm a 3.000 mm. A floresta encontra-se sobre sedimentos recobertos pela formação argilosa denominada Belterra (CLAPPERTON, 1993) e situa-se em sua maior parte na faixa de 100 m a 200 m acima do nível da água do Rio Tapajós, a oeste. Possui latossolos dominados pela argila caulinita e livre de concreções de óxido de ferro e “hardpan” nos horizontes superficiais.

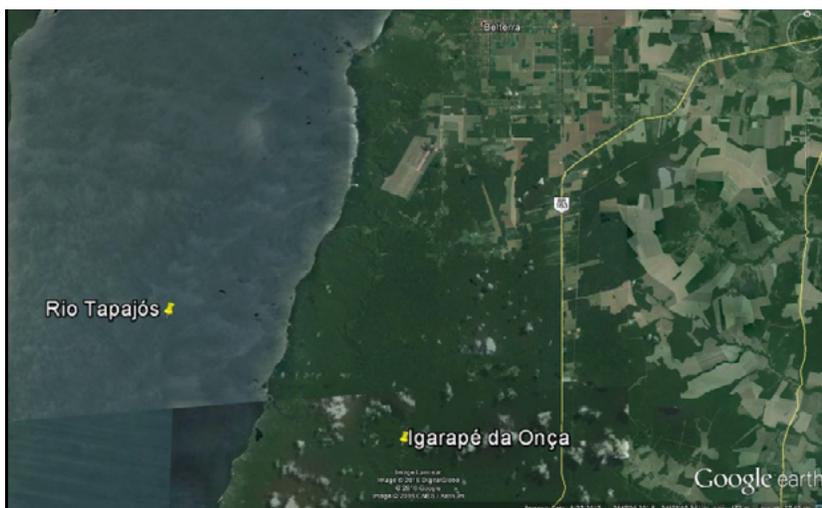


Figura 1. Localização do Igarapé da Onça na Flona do Tapajós, em relação ao Município de Belterra, à Rodovia BR-163 e ao Rio Tapajós.

Fonte: Google Earth (2016). Disponível em: <https://earth.google.com>

Ao longo de quatro anos, de 14/8/2001 a 18/8/2005, em geral a cada duas semanas, realizaram-se 95 campanhas para coleta de amostras de água no referido córrego por meio de frascos de polipropileno (lavados com HCl 1,0M e água deionizada). As amostras foram levadas para um laboratório em Santarém, e colocadas sob refrigeração, e analisadas num prazo de 24 horas, utilizando-se agitador magnético, pHmetro e condutivímetro, as medidas de pH e condutividade, assim como deter-

minada a alcalinidade por titulação com dois “end points” (CLESCERI, et al., 1998). Posteriormente as amostras foram filtradas através de membranas de policarbonato (porosidade = 0,4 μm), e então estocadas em frascos de polipropileno a 4 °C até as análises por cromatografia iônica (Dionex DX-120) na Embrapa Amazônia Oriental, em Belém, PA, para determinação das concentrações dos seguintes cátions e ânions: cálcio, magnésio, potássio, sódio, amônio, nitrato, fosfato, cloreto e sulfato. Tais concentrações foram então utilizadas para avaliar-se a dinâmica de nutrientes no sistema estudado, e assim disponibilizar informações sobre as características hidrogeoquímicas desse igarapé, que se caracteriza por ser um curso d’água de águas claras em área prístina na Amazônia. Visando a garantia da qualidade das análises, foram utilizadas soluções-padrão internacionais de referência (Environmental Research Associates) e realizadas intercalibrações com laboratórios da University of Georgia (Athens, GA, EUA) e do CENA/USP (Piracicaba, SP).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, pode-se observar os valores medidos no Igarapé do Onça durante o período estudado. Os valores de pH, variando de 3,85 a 4,76, ao lado de uma baixa alcalinidade (média de 10 $\mu\text{eq L}^{-1}$), apontam para acidez característica de solos florestais onde a presença da matéria orgânica e conseqüentemente de ácidos orgânicos reflete-se nessas águas (DREVER, 1982). Trata-se de questão que deveria ser considerada na legislação, dado que a Resolução Conama nº 357, de 17/3/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelece para águas doces das classes 1, 2, 3 e 4 condições de pH na faixa de 6,0 a 9,0. Ressalta-se que esses valores estão totalmente desconexos em relação às condições das águas límpidas e prístinas na Amazônia. Essas condições são demonstradas aqui pela baixa condutividade elétrica, a qual reflete baixa carga iônica característica de solos muito intemperizados e condições ambientais não impactadas.

Tabela 1. Valores dos parâmetros medidos no Igarapé do Onça no período estudado. Condutividade elétrica (CE) em $\mu\text{S cm}^{-1}$, alcalinidade, cátions e ânions em $\mu\text{eq L}^{-1}$. N refere-se a número de amostras.

	Parâmetro	N	Média	Mediana	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo
	pH	72	4,48	4,53	0,19	3,85	4,76
	CE	72	15,4	15,7	1,7	11,7	20,0
	Alcalinidade	72	10	5	12	0	38
Cátions	Na ⁺	87	27,18	29,23	9,01	0,75	45,23
	K ⁺	57	3,91	2,04	8,43	0,26	59,83
	Mg ²⁺	57	2,10	1,33	2,43	0,26	15,40
	Ca ²⁺	86	3,23	1,84	3,95	0,48	30,76
	N-NH ₄ ⁺	87	6,14	3,00	11,06	0	79,33
Ânions	N-NO ₃ ⁻	93	19,39	11,42	37,77	0	341,53
	P-PO ₄ ³⁻	93	0,18	0,00	0,68	0	3,62
	Cl ⁻	93	35,54	37,73	13,49	4,64	83,74
	SO ₄ ²⁻	93	2,09	1,84	1,87	0	17,15

Destaca-se em relação aos cátions e ânions maiores, ao lado do nitrogênio, a predominância de sódio e cloreto, agrupado nos chamados sais cíclicos que refletem a importância das entradas atmosféricas na hidrogeoquímica fluvial. Há de se destacar também a abundância da ciclagem de nitrogênio, já que as concentrações de amônio e nitrato nivelam-se e, por vezes, superam àquelas dos constituintes maiores da hidrogeoquímica fluvial, como o potássio, magnésio, cálcio e sulfato (WALLING; WEBB, 1986). Comparando-se as concentrações de cátions e ânions maiores do Igarapé do Onça com as medidas em igarapés sob pressão antrópica relacionada à agricultura e urbanização em Altamira (PA), assim como em Paragominas (PA), observa-se, de uma maneira geral, valores bem maiores nessas bacias sob impacto (CAK et al., 2015; FIGUEIREDO et al., 2010). Tal fato está de acordo com o preconizado por Borman e Likens (1979): fluxos de nutrientes são grandemente alterados pelo desmatamento, queima de florestas e pelo volume das chuvas.

CONCLUSÃO

Dada a lacuna de informações no que se refere ao conhecimento das condições prístinas dos igarapés na Amazônia, a disponibilização dos resultados aqui apresentados traz uma contribuição importante para o entendimento dos processos hidrobiogeoquímicos atuantes nessa região.

REFERÊNCIAS

BARTHEM, R. B.; CHARVET-ALMEIDA, P.; MONTAG, L. F. A.; LANNA, A. E. **Amazon Basin: GIWA Regional assessment 40b**. Kalmar: University of Kalmar, 2004. 76 p. (Global International Waters Assessment).

BORMAN, F. H.; LIKENS, G. E. **Patterns and process in a forested ecosystem**. New York: Springer-Verlag, 1979. 253 p.

CAK, A. D.; MORAN, E. F.; FIGUEIREDO, R. O.; LU, D.; LI, G.; HETRICK, S. Urbanization and small household agricultural land use choices in the Brazilian Amazon and the role for the water chemistry of small streams. **Journal of Land Use Science**, v. 11, n. 2, p. 203-221, 2016.

CLAPPERTON, C. **Quaternary geology of South America**. New York: Elsevier Science, 1993.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th edition. Baltimore: United Book, 1998.

DREVER, J. I. **The Geochemistry of Natural Waters**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1982. 388 p.

ECORREGIÕES do Brasil: prioridades terrestres e marinhas. Curitiba: Instituto Life, 2015. 397 p. (Série Cadernos Técnicos, v. 3).

FIGUEIREDO, R. O.; MARKEWITZ, D.; DAVIDSON, E. A.; SCHULER, A. E.; WATRIN, O. S.; SILVA P.S. Land-use effects on the chemical attributes of low-order streams in the eastern Amazon. **Journal of Geophysical Research**, v. 115, n. G4, 2010.

NEILL, C.; CHAVES, J. E.; BIGGS, T.; DEEGAN, L. A.; ELSENBEER, H.; FIGUEIREDO, R. O.; GERMER, S.; JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J.; MARKEWITZ, D.; PICCOLO, M. C. Runoff sources and land cover change in the Amazon: an end-member mixing analysis from small watersheds. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 7, 2011.

NEILL, C.; ELSENBEEER, H.; KRUSCHE, A.V.; LEHMANN, J.; MARKEWITZ, D.; FIGUEIREDO, R. O. Hydrological and biogeochemical processes in a changing Amazon: results from small watershed studies and the large-scale biosphere-atmosphere experiment. **Hydrological Processes**, v. 20, p. 2467–2476, 2006.

NEPSTAD, D. C.; MOUTINHO, P. R.; DIAS-FILHO, M. B.; DAVIDSON, E. A.; CARDINOT, G. K.; MARKEWITZ, D.; FIGUEIREDO, R. O.; VIANA, N.; CHAMBERS, J.; RAY, D.; GUERRERO, J. B.; LEFEBVRE, P.; STERNBERG, L.; MOREIRA, M.; BARROS, L.; ISHIDA, F. Y.; TOHLVER, I.; BELK, E.; KALIF, K.; SCHWALBE, K. The effects of partial throughfall exclusion on canopy processes, aboveground production and biogeochemistry of an Amazon Forest. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, p. LBA 53-1–LBA 53-18, 2002.

SIOLI, H. Amazon Tributaries and Drainage Basins. In: HASLER, A. D. (Ed). **Coupling of land and water system**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. p. 199-213.

WALLING, D. E.; WEBB, B. W. Solutes in rivers systems. In: TRUDGILL, S. T. (Ed.). **Solutes processes**. Chichester: John Willey & Sons, 1986. p. 251-327. (Landscape Systems).

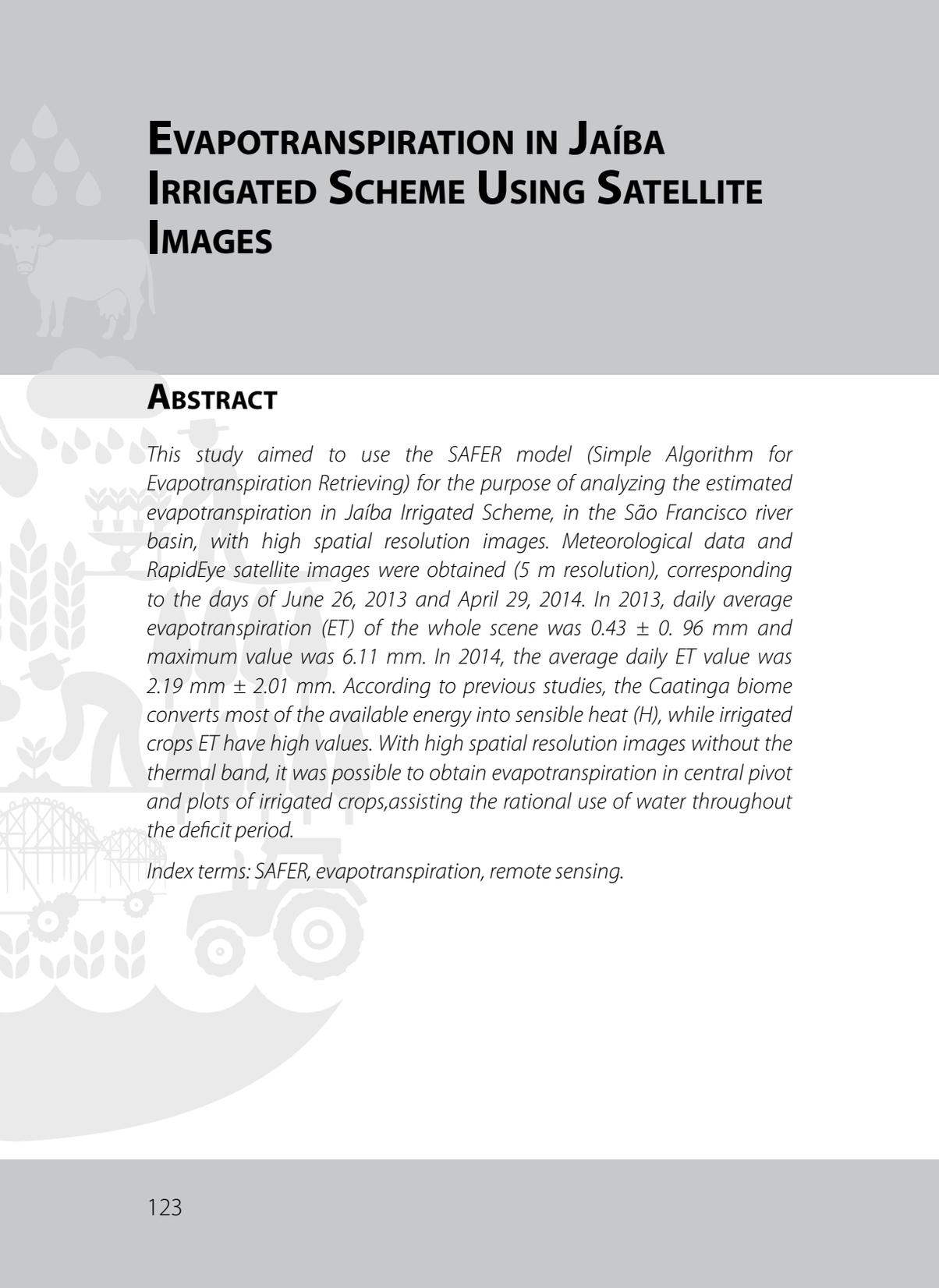
EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO PERÍMETRO IRRIGADO DE JAÍBA UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITE

**JANICE F. LEIVAS; ANTÔNIO HERIBERTO DE CASTRO TEIXEIRA;
GUSTAVO BAYMA SIQUEIRA DA SILVA**

RESUMO

O objetivo do trabalho foi aplicar o modelo Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving (SAFER) com a finalidade de analisar a evapotranspiração estimada na área do Perímetro Irrigado de Jaíba, na Baía do São Francisco, com imagens de alta resolução espacial. Foram obtidos dados meteorológicos e imagens do satélite RapidEye (resolução de 5 m), referente aos dias 26 de junho de 2013 e 29 de abril de 2014. A evapotranspiração (ET) média diária de toda a área de 2013 foi $0,43 \text{ mm} \pm 0,96 \text{ mm}$ e valor máximo de 6,11 mm. Em 2014, o valor de ET médio diário foi de $2,19 \pm 2,01 \text{ mm}$. Conforme estudos anteriores, a Caatinga converte a maior parte da energia disponível em calor sensível (H), enquanto as culturas irrigadas apresentam altos valores de ET. Com imagens de alta resolução espacial, sem a banda termal, foi possível obter a evapotranspiração em nível de pivô central e talhões de culturas irrigadas, auxiliando o uso racional da água em tempos de deficiência hídrica.

Termos para indexação: SAFER, evapotranspiração, sensoriamento remoto.



EVAPOTRANSPIRATION IN JAÍBA IRRIGATED SCHEME USING SATELLITE IMAGES

ABSTRACT

This study aimed to use the SAFER model (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) for the purpose of analyzing the estimated evapotranspiration in Jaíba Irrigated Scheme, in the São Francisco river basin, with high spatial resolution images. Meteorological data and RapidEye satellite images were obtained (5 m resolution), corresponding to the days of June 26, 2013 and April 29, 2014. In 2013, daily average evapotranspiration (ET) of the whole scene was 0.43 ± 0.96 mm and maximum value was 6.11 mm. In 2014, the average daily ET value was $2.19 \text{ mm} \pm 2.01$ mm. According to previous studies, the Caatinga biome converts most of the available energy into sensible heat (H), while irrigated crops ET have high values. With high spatial resolution images without the thermal band, it was possible to obtain evapotranspiration in central pivot and plots of irrigated crops, assisting the rational use of water throughout the deficit period.

Index terms: SAFER, evapotranspiration, remote sensing.

INTRODUÇÃO

Em 2014, os irrigantes do Perímetro Irrigado de Jaíba enfrentaram prejuízos com a interrupção de novos plantios devido à escassez de água. O Perímetro Irrigado de Jaíba apresenta uma grande área com agricultura irrigada, localizada nos municípios de Jaíba, Matias Cardoso e Verdelândia, no Estado de Minas Gerais, na margem direita do Rio São Francisco. Jaíba é um polo de produção de frutas e está entre os maiores do país no suprimento de banana, manga, limão, tomate, entre outros. A implementação do perímetro irrigado visou aumentar a produção e a produtividade agrícola, aumentando as oportunidades de emprego e, conseqüentemente, promovendo o desenvolvimento regional.

O monitoramento dos parâmetros biofísicos em larga escala tem fundamental importância na tomada de decisão para o uso racional da água. Uma das grandes dificuldades desse monitoramento é a necessidade de algoritmos biofísicamente realísticos, mas que sejam simples para a sua operacionalização. O modelo agrometeorológico espectral Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving (SAFER) foi desenvolvido e validado com dados de experimentos de campo e imagens Landsat, envolvendo vegetação natural e culturas irrigadas nas condições semi-áridas brasileiras (TEIXEIRA, 2010). A vantagem da aplicação do modelo é a não obrigatoriedade de utilizar imagens de satélite com a banda termal, além da possibilidade de utilização de dados de estações agrometeorológicas (automáticas ou convencionais), possibilitando avaliar a série histórica de parâmetros como biomassa e evapotranspiração, em larga escala.

O objetivo deste estudo foi obter parâmetros biofísicos em área do Perímetro Irrigado de Jaíba, utilizando o modelo SAFER, sem utilizar a banda termal, visando aumento da resolução espacial e obter maior detalhamento da superfície, possibilitando monitoramento das áreas irrigadas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo deste trabalho compreende parte do município de Jaíba, localizada no norte de Minas Gerais, pertencente à Bacia do Rio São Francisco (Figura 1). Para a realização deste estudo foram utilizados dados da estação meteorológica automática de Jaíba e duas imagens do satélite RapidEye (*tiles* 2332020) referente aos dias 26 de junho de 2013 e 29 de abril de 2014.

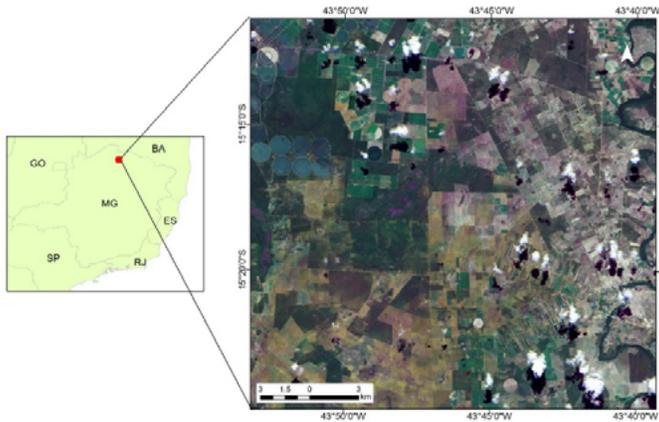


Figura 1. Localização da área de estudo.

A evapotranspiração foi obtida por meio do modelo agrometeorológico espectral Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER) (TEIXEIRA, 2013). O SAFER envolve parâmetros obtidos por sensoriamento remoto como albedo da superfície (α_0), a temperatura da superfície (T_s) e o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), assim como dados meteorológicos para cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0). Foram utilizados dados da estação de Jaíba, pertencente à rede de estações do norte de Minas Gerais, da Embrapa Milho e Sorgo.

A partir das imagens RapidEye, foi calculado o albedo da superfície (α_0):

$$\alpha P_{\text{band}} = \frac{L_{\text{band}} \pi d^2}{R_{\text{band}} = \text{COS}\varphi} \quad (1)$$

Em que L_{band} é a radiação espectral para os comprimentos de onda de cada banda, d é distância relativa Terra-Sol; R_{aband} é a irradiância solar média no topo da atmosfera para cada banda ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$) e σ é o ângulo zenital solar.

As bandas 1 a 5 do RapidEye foram usadas para o cômputo de α_p , sendo calculado como a média ponderada de α_{pband} de acordo com o peso de cada banda (w_{band}) (TEIXEIRA et al., 2014):

$$\alpha_p = \sum w_{band} \alpha_{pband} \quad (2)$$

A temperatura da superfície (T_s) foi obtida por resíduo na equação do balanço de radiação (TEIXEIRA et al., 2014):

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{R_G - \alpha_0 R_G + \epsilon_A \sigma T_a^4 - R_n}{\epsilon_s \sigma}} \quad (3)$$

Em que R_G e T_a são os valores diários da radiação solar global incidente e a temperatura média do ar, respectivamente, provenientes das estações meteorológicas, e R_n é o saldo de radiação diário.

O algoritmo SAFER foi usado para modelagem dos valores instantâneos da razão da ET para a evapotranspiração de referência (ET_0), a qual multiplicada pelos valores diários da ET_0 da estação meteorológica fornece a evapotranspiração (ET) em larga escala.

$$\frac{ET}{ET_0} = \left\{ \exp \left[g + h \left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \right\} \quad (4)$$

Em que ET_0 é calculada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) e g e h são os coeficientes de regressão (Teixeira et al., 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evapotranspiração média diária de toda a cena de 2013 foi 0,43 mm \pm 0,96 mm, e seu valor máximo foi de 6,11 mm. Na imagem de 2014, os

valores máximos de ET alcançaram 8,22 mm e valores médios diários foram de 2,19 mm \pm 2,01 mm. Em 2014, devido à maior demanda evaporativa da atmosfera, a ET alcançou valores superiores aos observados na cena de 2013. Isso pode ser devido à ocorrência do fenômeno El Niño que acarretou diminuição na precipitação na região. Analisando os dados meteorológicos da estação de Jaíba, observa-se que precipitação ficou abaixo da normal climatológica (64 mm), não sendo registrada ocorrência de chuvas na região. Em 2014, os irrigantes dessa região enfrentaram prejuízos com a interrupção de novos plantios nas áreas irrigadas, devido à escassez de água.

Nas áreas de vegetação natural (Caatinga), foram observados os menores valores de ET contrastando com as áreas irrigadas, com ET superiores a 5 mm (Figura 2). Isso se deve ao fato de que a energia disponível no sistema é utilizada para aquecimento do ar, enquanto que nas áreas irrigadas essa energia é dispendida para o processo evapotranspiratório. Durante a época seca, a Caatinga converte a maior parte da energia disponível em calor sensível (H), enquanto as culturas irrigadas apresentam altos valores de ET (TEIXEIRA et al., 2008).

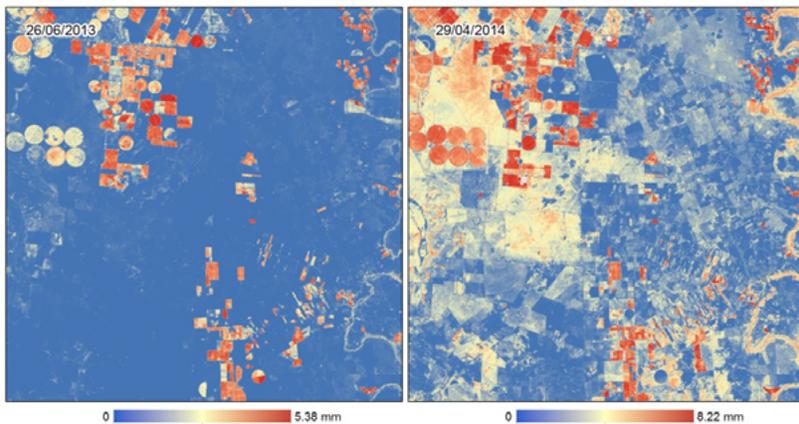


Figura 2. Distribuição espacial dos valores de ET obtidos por meio do modelo SAFER, utilizando imagens RapidEye, em Jaíba.

CONCLUSÕES

Com a utilização de imagens de alta resolução espacial do sensor RapidEye foi possível determinar a evapotranspiração em áreas extensas com irrigação e vegetação natural, com a vantagem de não ser necessário utilizar a banda termal.

O modelo agrometeorológico foi sensível às variações das condições hídricas.

Recomenda-se analisar uma série temporal de imagens de satélite juntamente com dados meteorológicos históricos, para contribuir para o gerenciamento culturas irrigadas, principalmente em períodos de déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56)

TEIXEIRA, A. H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith Equation. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1287-1319, 2010.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; MOURA, M. S. B.; BOS, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 362, p. 110-127, 2008.

TEIXEIRA, A. H. de C.; HERNANDEZ, F. B. T.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; BOLFE, E. L. Energy balance with Landsat images in irrigated central pivots with corn crop in the São Paulo State, Brazil. **Proceedings of SPIE - International Society for Optical Engineering**, v. 9239, p. 923900-1-923900-10, 2014.

TEIXEIRA, A. H. de C.; SCHERER-WARREN, M.; HERNANDEZ, F.B.T.; ANDRADE, R.G.; LEIVAS, J.F. large-scale water productivity assessments with MODIS images in a changing semi-arid environment: a brazilian case study. **Remote sensing**, v. 5, p. 5783-5804, 2013.

FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO NO PERÍMETRO IRRIGADO PONTAL SUL

**GÉSSICA SILVA LIMA; CLÓVIS MANOEL CARVALHO RAMOS;
LUÍS HENRIQUE BASSOI**

RESUMO

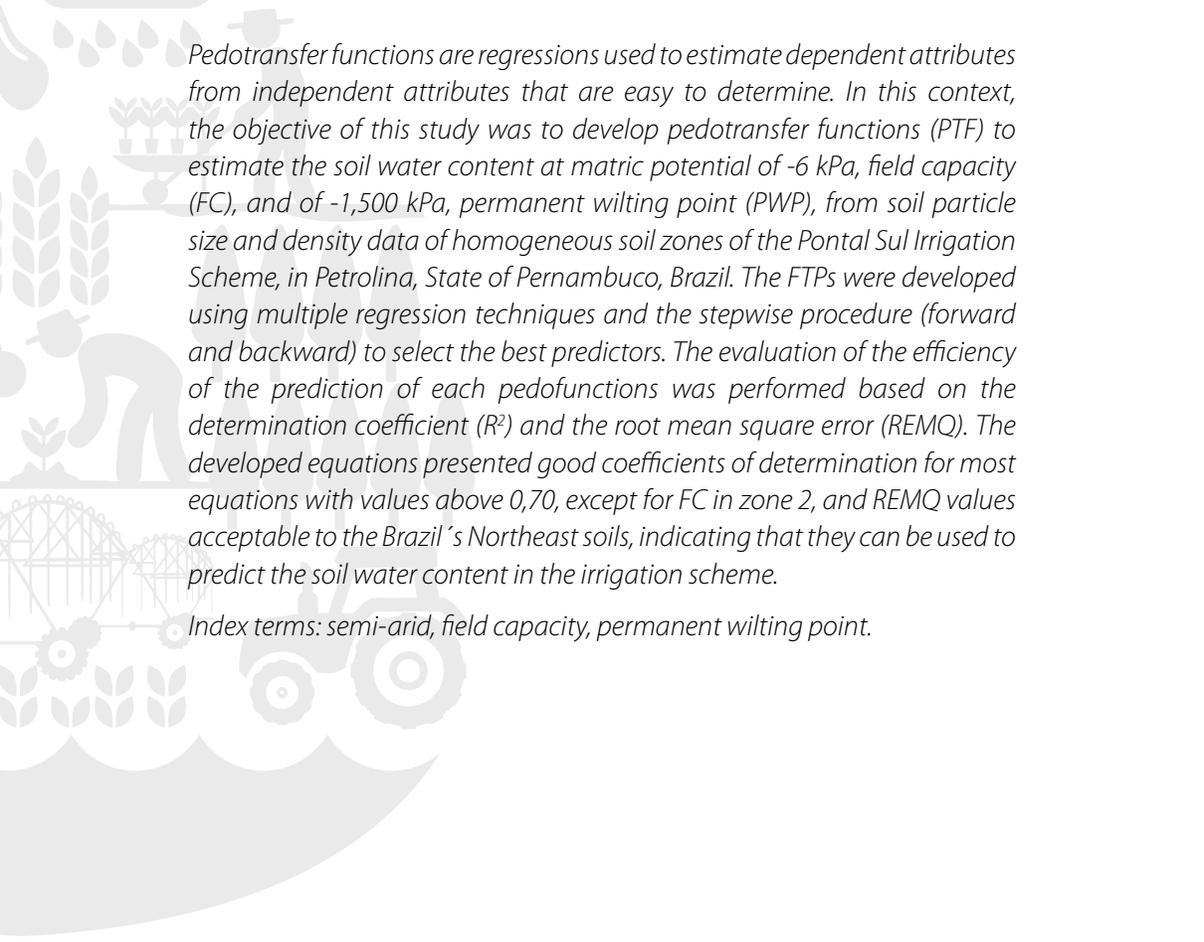
Funções de pedotransferência são regressões utilizadas para estimar atributos dependentes a partir de atributos independentes e de fácil determinação. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi desenvolver funções de pedotransferência (FPT) para estimar o conteúdo de água no solo nos potenciais de -6 kPa, capacidade de campo, (CC) e -1.500 kPa, ponto de murcha permanente (PMP), a partir de dados de granulometria e densidade de zonas homogêneas de solo do Perímetro Irrigado Pontal Sul, em Petrolina, PE. As FPTs foram desenvolvidas utilizando técnicas de regressão múltipla e o procedimento stepwise (forward e backward) para selecionar os melhores preditores. A avaliação da eficiência da predição de cada pedofunção foi feita com base no coeficiente de determinação (R^2) e na raiz do erro médio quadrático (REMQ). As equações desenvolvidas apresentaram bons coeficientes de determinação para a maioria das equações, com valores acima de 0,70, exceção aconteceu para CC na zona 2, e valores de REMQ aceitáveis para solos da região Nordeste, indicando que poderão ser utilizadas para predição do conteúdo de água em solos do perímetro irrigado.

Termos para indexação: semiárido, capacidade de campo, ponto de murcha permanente.



PEDOTRANSFER FUNCTIONS FOR WATER CONTENT IN SOIL IN THE IRRIGATED PERIMETER SOUTH PONTAL

ABSTRACT



Pedotransfer functions are regressions used to estimate dependent attributes from independent attributes that are easy to determine. In this context, the objective of this study was to develop pedotransfer functions (PTF) to estimate the soil water content at matric potential of -6 kPa, field capacity (FC), and of -1,500 kPa, permanent wilting point (PWP), from soil particle size and density data of homogeneous soil zones of the Pontal Sul Irrigation Scheme, in Petrolina, State of Pernambuco, Brazil. The FTPs were developed using multiple regression techniques and the stepwise procedure (forward and backward) to select the best predictors. The evaluation of the efficiency of the prediction of each pedofunctions was performed based on the determination coefficient (R^2) and the root mean square error (REMQ). The developed equations presented good coefficients of determination for most equations with values above 0,70, except for FC in zone 2, and REMQ values acceptable to the Brazil's Northeast soils, indicating that they can be used to predict the soil water content in the irrigation scheme.

Index terms: semi-arid, field capacity, permanent wilting point.

INTRODUÇÃO

A umidade retida no solo em potenciais matriciais específicos é largamente utilizada como critério no dimensionamento de projetos de irrigação. A determinação da capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha permanente (PMP) é de fundamental importância no planejamento do uso racional do solo e da água. Como estas determinações em laboratório são demoradas e bem mais trabalhosas que as determinações de textura e densidade do solo, o uso de funções de pedotransferência (FPT) surge como uma alternativa promissora, pois é um modelo matemático que estima a retenção de água a partir de parâmetros físicos do solo facilmente obtidos e determinados nas análises de rotina dos laboratórios ou em levantamento de solos (MICHELON et al., 2010). Assim, o objetivo deste estudo foi elaborar funções de pedotransferência para estimar o conteúdo de água do solo nos potenciais matriciais de -6 kPa (CC) e -1.500 kPa (PMP), a partir das frações granulométricas e da densidade do solo em uma área de Perímetro Irrigado Pontal Sul, em Petrolina, PE.

MATERIAL E MÉTODOS

Para desenvolvimento das funções de pedotransferência, foi utilizado o banco de dados da camada de solo de 0 m a 0,2 m, contendo frações granulométricas (argila, silte e areia), densidade do solo (DS) e conteúdos de água nos potenciais de -6 kPa (CC) e -1.500 kPa (PMP) do Perímetro Irrigado Pontal Sul, em Petrolina, PE. Foram utilizados 62 dados considerados independentes, provenientes do estudo realizado por Ramos (2012). Os dados foram divididos em dois grupos, um com 70% dos dados para desenvolvimento e outro com 30% para validação das pedotransferências (Tabela 1). As funções de pedotransferência foram desenvolvidas para as três zonas de manejo obtidas para a profundidade de 0 m a 0,2 m com auxílio da geoestatística e por meio de análise multivariada de agrupamento pelo algoritmo fuzzy c-means. Para a elaboração das funções de pedotransferências, realizaram-se a divisão aleatória dos dados para desenvolvimento e validação; análise estatística descritiva; análise de correlação simples entre todas as variáveis; verificação da presença de outliers e dados atípicos para as variáveis estudadas por meio da análise gráfica no software minitab; e o ajuste do modelo

de regressão linear múltipla por meio da opção stepwise no software minitab, versão 17.0 (2014), para cada variável estudada.

Tabela 1. Número de pontos utilizados para o desenvolvimento e validação das funções de pedotransferência por zona na camada de solo de 0 m a 0,2 m.

Camada	Zona	Total	Desenvolvimento	Validação
0 m a 0,2 m	1	8	5	3
	2	27	19	8
	3	27	19	8

Foram geradas FPTs para estimativa da CC e PMP referentes às umidades nas tensões de -6 kPa e -1.500 kPa, respectivamente, utilizando como variáveis predictoras dados de granulometria (areia, silte e argila) e DS. O desempenho das FPTs foi analisado por meio dos indicadores estatísticos coeficiente de determinação (R^2) e raiz do erro médio quadrado (REMQ).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, é apresentada a descrição estatística dos dados utilizados para gerar e validar as FPTs. Os dois conjuntos de amostras apresentaram valores médios aproximados entre as variáveis dentro de cada zona de manejo.

Na Tabela 3, são apresentadas as correlações entre o teor de água, granulometria (areia, silte, argila) e densidade do solo. Observa-se que, na zona 1, o atributo silte apresentou maior correlação com os teores de água, enquanto, nas zonas 2 e 3, a maior correlação ocorreu para o atributo areia e argila. O atributo silte apresentou moderada correlação com os teores de água para as zonas 2 e 3. Resultados de alta correlação existente entre as variáveis independentes areia e argila com os teores de água na CC e PMP também foram encontrados por Nascimento et al. (2010) trabalhando com FPT do conteúdo de água em Latossolos Amarelo e Argissolos Amarelos. Os teores de água apresentaram correlação negativa para areia em todas as zonas de manejo e correlação positiva para argila nas zonas 2 e 3. É possível observar que a correlação dos atributos areia e argila aumentam com a redução no potencial matricial, destacando a importância da área superficial das partículas na retenção de água em potenciais mais baixos. Resultados semelhantes foram encontrados por Michelon et al. (2010).

Tabela 2. Estatísticas descritivas dos teores de areia, silte e argila, densidade do solo (DS), capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) nos pontos utilizados para o desenvolvimento e validação das funções de pedotransferência nas zonas homogêneas 1, 2 e 3, na camada de solo de 0 m a 0,2 m.

Estatística	Areia	Silte	Argila	DS	CC	PMP	Areia	Silte	Argila	DS	CC	PMP
	kg kg ⁻¹			kg m ⁻³	%			kg kg ⁻¹			kg m ⁻³	%
Desenvolvimento												
----- Zona 1 -----												
Média	0,620	0,175	0,205	1,33	22,29	9,44	0,619	0,193	0,188	1,34	23,14	9,62
Máximo	0,710	0,208	0,358	1,41	26,33	11,26	0,748	0,229	0,296	1,40	25,64	12,50
Mínimo	0,466	0,121	0,157	1,24	19,64	7,39	0,475	0,140	0,112	1,25	18,50	6,49
----- Zona 2 -----												
Média	0,656	0,243	0,101	1,44	24,57	9,33	0,659	0,232	0,109	1,43	24,39	9,55
Máximo	0,756	0,366	0,258	1,54	33,32	16,78	0,705	0,290	0,143	1,48	30,45	11,85
Mínimo	0,506	0,165	0,029	1,35	17,25	6,24	0,610	0,189	0,072	1,37	18,66	7,26
----- Zona 3 -----												
Média	0,778	0,138	0,083	1,48	16,59	6,57	0,777	0,133	0,090	1,45	15,83	6,10
Máximo	0,866	0,182	0,136	1,62	22,99	9,51	0,835	0,216	0,118	1,58	21,17	7,59
Mínimo	0,683	0,077	0,020	1,40	10,74	3,60	0,712	0,073	0,050	1,37	11,17	4,40

Tabela 3. Análise de correlação entre as variáveis estudadas para as zonas homogêneas 1, 2 e 3 na camada de solo de 0 m a 0,2 m.

Variável	CC ⁽¹⁾	PMP ⁽¹⁾	CC ⁽¹⁾	PMP ⁽¹⁾	CC ⁽¹⁾	PMP ⁽¹⁾
	%		%		%	
	Zona 1		Zona 2		Zona 3	
Areia (kg kg ⁻¹)	-0,21	-0,34	-0,67**	-0,83**	-0,55**	-0,65**
Silte (kg kg ⁻¹)	0,62	0,67	0,48*	0,51**	0,30	0,29
Argila (kg kg ⁻¹)	-0,03	0,11	0,45*	0,64**	0,48*	0,66**
DS (kg m ⁻³)	0,31	-0,10	-0,11	-0,26	-0,04	-0,06

⁽¹⁾ CC – capacidade de campo, PMP – ponto de murcha permanente

* significativo a 5%.

** significativo 1%.

No desenvolvimento das FPTs específicas para as zonas de manejo 1, 2 e 3 (Tabela 4), foram observados resultados não satisfatórios para a zona 1, devido ao reduzido número de dados para validação, o que levou à decisão de eliminá-la. A estimativa do teor de água pelas FPTs, quando comparada aos dados observados apresentaram valores de REMQ de 0,029 e 0,030 para CC, e de 0,012 e 0,010 para PMP, nas zonas 2 e 3, respectivamente. Esses valores estão dentro do intervalo aceitável para solos da região Nordeste, segundo Oliveira et al. (2002). Nas zonas 2 e 3 foram obtidos valores de R² de 0,71 e 0,31 para CC, e de 0,86 e 0,84 para PMP, respectivamente. Valores de R² mais elevados foram obtidos por Oliveira et al. (2002), considerando as frações areia, silte, argila e Ds para a estimativa do conteúdo de água em solos no Estado de Pernambuco.

Tabela 4. Funções de pedotransferência para a estimativa da capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha permanente (PMP) na camada de solo de 0 m a 0,2 m, em zonas homogêneas de solo do Perímetro Irrigado Pontal Sul.

Zona de manejo	Equação	R ²	REQM PTF x Obs m ³ m ⁻³
Zona 2	CC = 32,7 – 49,91 areia + 17,1 DS	0,71	0,029
	PMP = 33,24 – 36,39 areia	0,86	0,012
Zona 3	CC = 50,4 – 43,4 areia	0,31	0,030
	PMP = 16,89 – 16,28 areia + 28,07 argila	0,84	0,010

CONCLUSÕES

A FPT para o teor de água apresentou maior eficiência para o ponto de murcha permanente quando comparada com a capacidade de campo. O conteúdo de água retido nos potenciais de -6 kPa (CC) e -1.500 kPa (PMP) para o Perímetro Irrigado Pontal Sul, podem ser estimados com razoável precisão, a partir de dados granulométricos e de densidade do solo.

AGRADECIMENTOS

À Rede AgroHidro da Embrapa, pelo suporte financeiro ao projeto de pesquisa; à Embrapa Semiárido, Univasf campus de Juazeiro e FCA/UNESP, campus de Botucatu pelo apoio à realização do projeto de pesquisa; ao CNPq pela concessão das bolsas de pós-graduação.

REFERÊNCIAS

MICHELON, C. J.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z. B. de; KNIES, A. E.; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D. Funções de pedotransferência para estimativa da retenção de água em alguns solos do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 40, n. 4, p. 848-853, 2010.

MINITAB. **Minitab statistical software**. Minitab Release, v. 17, 2014.

NASCIMENTO, G. B. do; ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A.; SANTOS, H. G. dos. Funções de pedotransferência do conteúdo de água em Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 560-569, 2010.

OLIVEIRA, L. B.; RIBEIRO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; RODRIGUES, J. J. V.; MARQUES, F. A. Funções de pedotransferência para predição da umidade retida a potenciais específicos em solos do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 315-323, 2002.

RAMOS, C. M. C. **Variabilidade espacial e temporal de fatores edafoclimáticos na bacia do rio Pontal, Pernambuco**. 2012. 68 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu.

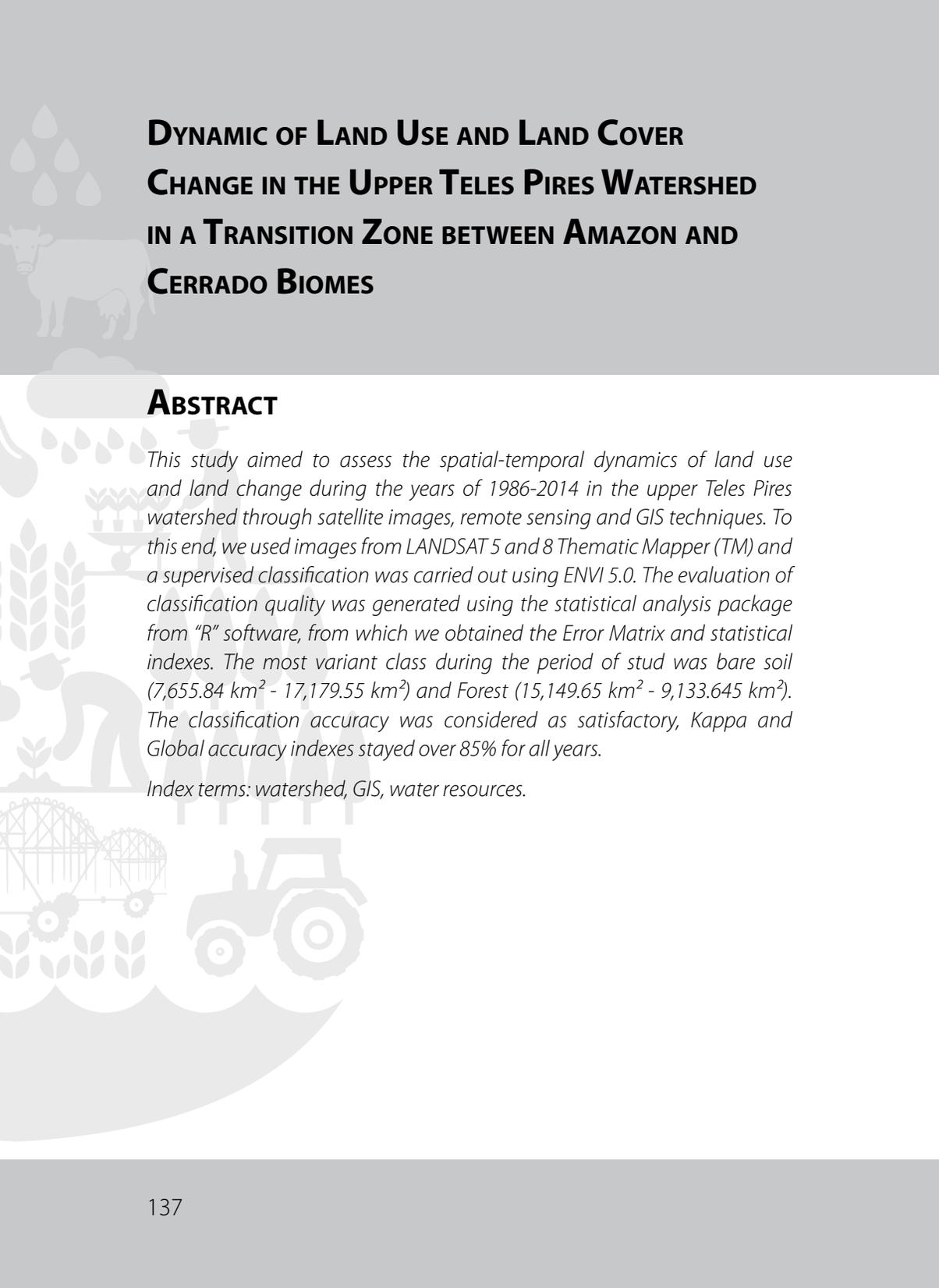
MUDANÇA DO USO DA TERRA EM UMA BACIA NA TRANSIÇÃO CERRADO/ AMAZÔNIA NO NORTE DE MATO GROSSO

**ANA PAULA SOUSA RODRIGUES ZAIATZ;
CORNÉLIO ALBERTO ZOLIN; JANAINA PAULINO;
TARCIO ROCHA LOPES; LAURIMAR GONÇALVES VENDRUSCULO**

RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho estudar a dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação do solo entre os anos de 1986 a 2014 na bacia do alto do Rio Teles Pires por meio de imagens de satélites, técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Para tanto, foram utilizadas imagens do sensor TM (Thematic Mapper) a bordo do satélite LANDSAT5 e LANDSAT8 para classificação supervisionada. Para a avaliação da qualidade da classificação, as comparações entre os mapeamentos gerados e a verdade de campo foram feitas por meio de índices de exatidão e verificação a campo, e gerou-se, com a utilização do “pacote” de análises estatísticas “R”, a Matriz de Erro, pela qual se obteve os parâmetros estatísticos. As classes que mais apresentaram variação no período de estudo foram Agricultura (7.655,84 km² para 17.179,55 km²) e Mata (15.149,65 km² para 9.133,645 km²). Os índices de exatidão avaliados se mostraram satisfatórios: índice Kappa e de Exatidão Global superiores a 85% para todos os anos estudados.

Termos para indexação: bacia hidrográfica, geoprocessamento, recursos hídricos.



DYNAMIC OF LAND USE AND LAND COVER CHANGE IN THE UPPER TELES PIRES WATERSHED IN A TRANSITION ZONE BETWEEN AMAZON AND CERRADO BIOMES

ABSTRACT

This study aimed to assess the spatial-temporal dynamics of land use and land change during the years of 1986-2014 in the upper Teles Pires watershed through satellite images, remote sensing and GIS techniques. To this end, we used images from LANDSAT 5 and 8 Thematic Mapper (TM) and a supervised classification was carried out using ENVI 5.0. The evaluation of classification quality was generated using the statistical analysis package from "R" software, from which we obtained the Error Matrix and statistical indexes. The most variant class during the period of stud was bare soil (7,655.84 km² - 17,179.55 km²) and Forest (15,149.65 km² - 9,133.645 km²). The classification accuracy was considered as satisfactory, Kappa and Global accuracy indexes stayed over 85% for all years.

Index terms: watershed, GIS, water resources.

INTRODUÇÃO

Com considerável notoriedade agrícola no contexto nacional e internacional, ainda são escassos os estudos sobre a dinâmica do uso e ocupação do solo nas áreas de fronteira agrícola do Estado de Mato Grosso, como é o caso da Bacia do Rio Teles Pires, e que forneça subsídios para a gestão territorial do estado e melhor planejamento das atividades agropecuárias.

A Bacia do Rio Teles Pires assume particular importância para Mato Grosso, com destaque para a sub-bacia do alto Rio Teles Pires, pois contém em sua maior extensão o ecossistema Cerrado, áreas de transição entre o Bioma Amazônico e Cerrado, além de intensa atividade agropecuária distribuída em praticamente toda a sua abrangência. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2009), o alto Rio Teles Pires representa 66,3% do PIB da bacia, enquanto o médio e baixo representam 18,7% e 15% do PIB, respectivamente. A análise espaço-temporal da mudança do uso e ocupação do solo na bacia do alto Rio Teles Pires assume importância estratégica para o Estado de Mato Grosso, dada sua relevância econômica e agrícola. Tal análise necessita de uma abordagem sistêmica e integrada dos fatores da paisagem, o que demanda, necessariamente, a utilização de Sistemas de Informações Geográficas e técnicas de sensoriamento remoto.

Considerando o exposto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica do uso e ocupação do solo na sub-bacia do alto Rio Teles Pires no ecótono Cerrado/Amazônia, entre 1986 e 2014, bem como validar os resultados obtidos por meio de “verdades” de campo e índices de desempenho da classificação.

MATERIAL E MÉTODOS

A sub-bacia do alto Rio Teles Pires possui área de aproximadamente 37,444 km², com declividade média de 0,79 (m/km), precipitação média anual de 2.000 mm e representa a maior vazão específica média da bacia: 28,14 L s⁻¹ km⁻² (sendo que o médio e baixo Rio Teles Pires representam médias de 24,39 L s⁻¹ km⁻² e 23,13 L s⁻¹ km⁻², respectivamente) (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2009).

Para compor o mosaico da bacia hidrográfica do alto Rio Teles Pires entre os anos de 1986 e 2014, foram utilizadas imagens do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT5 (1986 a 2011) e LANDSAT8 (2014). Realizou-se, então, a composição colorida das bandas 3 (Azul), 4 (Verde) e 5 (Vermelho) do LANDSAT-5. Para as imagens adquiridas através do LANDSAT-8, a composição colorida de falsa cor correspondente ao mesmo comprimento de onda utilizado na composição de imagens do LANDSAT-5 foi obtida com as Bandas 4, 5 e 6. (RIOS et al., 2010; RIZZI; RUDORFF, 2005).

A classificação supervisionada foi realizada com a seleção de 100 áreas (polígonos) de treinamento para cada classe, que foram fornecidas ao classificador para caracterização individual das classes temáticas, resultando num total de 600 amostras. As classes identificadas na classificação foram: "Agricultura", "Mata", "Água", "Vegetação Rasteira" e "Queimada". Considerou-se a classe "Agricultura" como sendo, predominantemente, área destinada a culturas anuais, uma vez que as imagens foram selecionadas para o período da seca, entre agosto e setembro, quando ocorre menor cobertura de nuvens e as áreas destinadas à agricultura estavam em pousio, aguardando o início das chuvas para o plantio. A classe "Vegetação Rasteira" foi considerada como ocupada, predominantemente, por pastagem.

Para verificações a campo foram realizadas visitas em 39 locais durante o ano de 2011, sendo 13 pontos referentes a classe pastagem, 16 pontos à classe agricultura, 8 pontos à classe de Mata e 2 pontos à classe de água. Para aferição da acurácia, foram amostrados nas imagens de satélite tratadas, 100 pontos de cada classe através de análises visuais, de acordo com critérios abordados por Panizza e Fonseca (2011), tomando estes como verdade. O arquivo de cada ano classificado foi convertido em arquivo vetorial (shapefile) para determinação de suas respectivas áreas.

Um script usando a linguagem estatística do pacote "R" foi elaborado para gerar a matriz de erro, pela qual foram obtidos os seguintes parâmetros estatísticos: índice kappa e exatidão global. Com a finalidade de estimar o grau de relação linear entre as áreas das seis classes avaliadas, procedeu-se a análise de correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do pré-processamento e classificação supervisionada das imagens, obtiveram-se quatro mapas temáticos, representativos das alterações do uso e cobertura do solo na bacia do alto Rio Teles Pires, respectivamente para os anos 1986, 1996, 2006 e 2014 (Figura 1). Durante a comparação das amostras de campo e a classificação supervisionada, observou-se concordância de 76,92 % para classe vegetação rasteira, 94,22 % para Agricultura e 100 % para Mata.

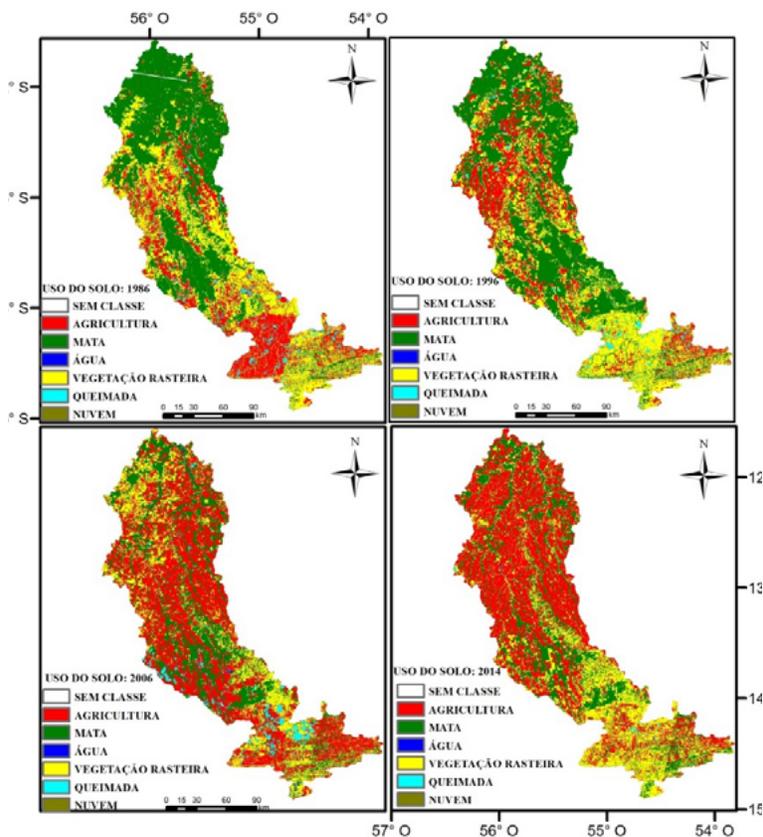


Figura 1. Mapas do uso e da cobertura do solo na bacia hidrográfica do alto Rio Teles Pires entre os anos de 1986 e 2014.

O principal uso da terra no ano de 1986 é representado por Mata, distribuída por 44,06% (15149,65 km²) da área total da bacia hidrográfica do alto Rio Teles Pires. As mudanças mais significativas em relação à área representada por Mata foram observadas entre os anos de 1996 (15.711,7 km²) e 2006 (10.108,910 km²).

A classe correspondente a "Agricultura" ocupou 22,3 % da área total da bacia no ano de 1986, aumentando para 47,8% em 2014. Teste de correlação utilizando as seis classes resultaram em uma forte correlação negativa (corr = - 0,71) para ambos os pares de classes "Agricultura" versus "Vegetação Rasteira" e "Agricultura" versus "Mata" (p-valor < 0,001). Mesmo que o conceito de correlação não possa ser usado para explicar a causa-efeito das classes correlacionadas, ele permite observar a dissimilaridade entre as classes "Agricultura" e "Mata".

Com relação à classe "Vegetação Rasteira", observou-se crescimento entre 2006 (21,29%) e 2014 (26,11%). De acordo com o calendário agrícola do estado, as imagens para o ano de 2014 foram coletadas em período de colheita. Esse fato resultou na classificação de áreas cobertas de resíduos verdes, proveniente de colheitas recentes em áreas com vegetação rasteira.

A classe "Queimada" está intrinsecamente relacionada aos eventos climáticos favoráveis e ações antrópicas. As áreas representadas por classe apresentaram grande variabilidade durante os anos estudados (CV 54,60%). A maior ocorrência foi verificada no ano de 2006 com aproximadamente 1.009,37 km² (aproximadamente 2,13% da área total da bacia do alto Teles Pires). De acordo com Alves et al. (2003), tal padrão de queimada pode ser justificado mediante a conversão inicial direta da floresta em pastagem, após alguns anos, à medida que a pastagem perde qualidade, frequentemente adota-se à prática de repetidos ciclos de queimadas como forma de manejo.

Os níveis de desempenho da classificação obtidos neste trabalho para o valor de Kappa são considerados como satisfatórios (FIGUEIREDO; VIEI-

RA, 2007). De acordo com Landis e Koch (1977), a qualidade da classificação pode ser definida em função dos seguintes intervalos de índice Kappa: ruim ($< 0,20$), aceitável ($0,20$ a $0,40$), bom ($0,41$ a $0,60$), muito bom ($0,61$ a $0,80$), excelente ($0,81$ a $1,00$). Os valores dos índices Kappa e Exatidão Global foram superiores a 80% para todos os anos estudados, apresentando menor valor para o ano de 1986 (89,80 %) e maior valor (97%) para o ano de 1996.

CONCLUSÕES

As principais alterações antrópicas ocorridas na bacia do alto Teles Pires estão relacionadas ao crescimento das áreas de agricultura. A classe correspondente a "Agricultura" apresentou aumento de 25,53% entre os anos de 1986 (22,27%) a 2014 (47,8%). A classe "Mata" foi a que apresentou maior redução de área na bacia, 18,63% entre os anos de 1986 a 2014, onde esta classe representava, respectivamente, 44,06% e 25,43% da área total da bacia. Os índices de exatidões avaliados no presente trabalho apresentaram resultados satisfatórios. Para o índice kappa e exatidão Global, os valores se mantiveram acima de 0,85 para todos os anos analisados, podendo ser, portanto, considerado um resultado excelente.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. S.; ESCADA, M. I. S.; PEREIRA, J. L. G.; LINHARES, C. A. Land use intensification and abandonment in Rondônia, Brazilian Amazônia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 4, p. 899-903, 2003.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Avaliação ambiental integrada da bacia hidrográfica do Rio Teles Pires**: relatório final: sumário executivo. [Brasília, DF]: CONCREMAT, 2009. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/MeioAmbiente/Documents/AAI%20Teles%20Pires/AAI%20Teles%20Pires%20-%20Relat%C3%B3rio%20Final%20-%20Sum%C3%A1rio%20Executivo.pdf>. Acesso em: 19 set. 2015.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do 92 sensoriamento remoto. In: In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE; SELPER, 2007. p. 5755-5762.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 30, p. 30-43, 2011.

RIOS, R. O.; ALMEIDA, M. G.; RIBEIRO, M. M. Análise do uso e ocupação do solo da cidade de Vitória-ES usando a composição colorida de imagens orbitais fornecidas pelo satélite LANDSAT-7. In: ENCONTRO REGIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 1., 2010, São João del-Rei. **Anais...** São João del Rei: Universidade Federal de São João del Rei, 2010. p. 251-257.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Estimativa da área de soja no Rio Grande do Sul por meio de imagens LANDSAT. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 3, p. 226-234, 2005.

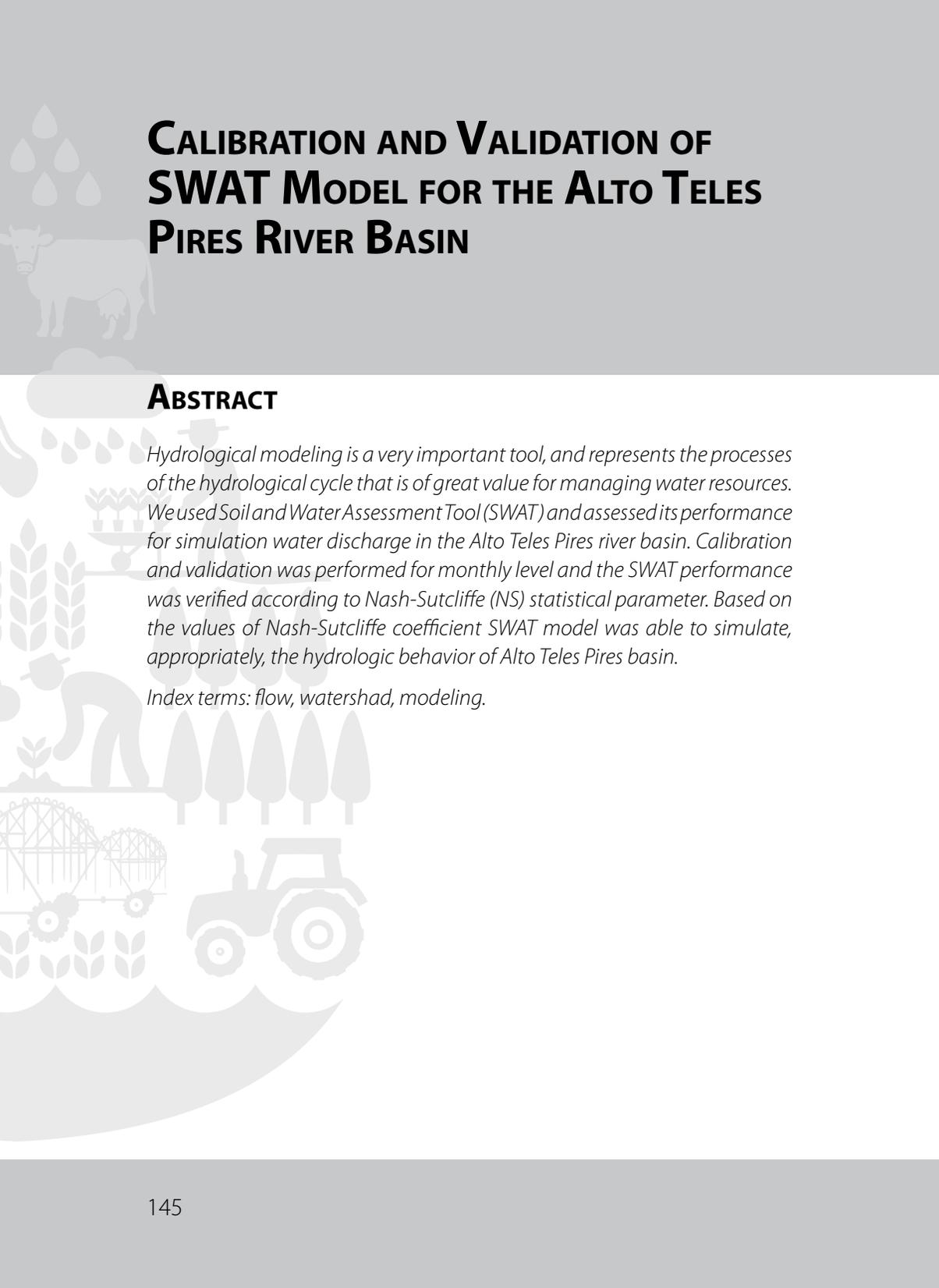
CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO SWAT APLICADO A UMA SUB-BACIA DO RIO TELES PIRES

**TARCIO ROCHA LOPES; CORNÉLIO ALBERTO ZOLIN;
RAFAEL MINGOTI; RIENE FILGUEIRAS DE OLIVEIRA**

RESUMO

A modelagem hidrológica é uma ferramenta muito importante, além de representar os processos do ciclo hidrológico é de grande valia para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. Foi utilizado o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) com objetivo de avaliar seu desempenho para simulação do escoamento superficial no exutório da bacia hidrográfica do Alto Teles Pires. Foi realizada a calibração e validação para nível mensal de escoamento superficial e verificado seu desempenho de acordo com parâmetro estatístico Nash-Sutcliffe (NS). Com base nos valores do coeficiente de Nash-Sutcliffe o modelo SWAT foi capaz de simular o comportamento hidrológico de forma adequada no exutório da bacia hidrográfica do Alto Teles Pires.

Termos para indexação: vazão, bacia hidrográfica, modelagem.



CALIBRATION AND VALIDATION OF SWAT MODEL FOR THE ALTO TELES PIRES RIVER BASIN

ABSTRACT

Hydrological modeling is a very important tool, and represents the processes of the hydrological cycle that is of great value for managing water resources. We used Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and assessed its performance for simulation water discharge in the Alto Teles Pires river basin. Calibration and validation was performed for monthly level and the SWAT performance was verified according to Nash-Sutcliffe (NS) statistical parameter. Based on the values of Nash-Sutcliffe coefficient SWAT model was able to simulate, appropriately, the hydrologic behavior of Alto Teles Pires basin.

Index terms: flow, watershed, modeling.

INTRODUÇÃO

A modelagem hidrológica consiste em representar os processos do ciclo hidrológico (tais como infiltração, escoamento superficial, vazão e evapotranspiração) por meio de equações matemáticas de tal forma que seja possível prever a resposta hidrológica de uma bacia sob condições adversas (TUCCI, 2009; COE et al., 2009).

Dentre os modelos utilizados na simulação hidrológica, o Soil and Water Assessment Tool (SWAT) é um dos mais empregados mundialmente, devido a sua estrutura e capacidade de representação adequada dos fenômenos físicos durante o ciclo hidrológico e da capacidade de permitir que variados processos sejam simulados em uma bacia hidrográfica (ARNOLD et al., 1998). Embora com ampla aplicação pelo globo, trabalhos com o modelo SWAT para as condições climáticas e de dados limitados da região de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado são praticamente inexistentes.

Com isso, objetiva-se com este trabalho aplicar e avaliar o desempenho do modelo hidrológico SWAT para quantificar a vazão na bacia hidrográfica do Alto Teles Pires e subsidiar a tomada de decisão quanto ao uso sustentável dos recursos hídricos.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na bacia hidrográfica do Alto Teles Pires, que possui uma área de aproximadamente 37.444 km² e se estende desde suas nascentes até a foz do Rio Verde, correndo sobre a Chapada dos Parecis (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2009).

Os dados meteorológicos de entrada utilizados no SWAT foram os dados diários de precipitação dos anos de 1991 a 2011 de cinco estações pluviométricas (Tabela 1) obtidos por meio do Sistema de Informação Hidrológica (Hidroweb).

Tabela 1. Estações pluviométricas utilizadas para a obtenção de séries históricas da bacia hidrográfica do Alto Teles Pires.

Código	Estação	Latitude	Longitude
01454000	Paranatinga	-14°25'04"	-54°02'58"
01355001	Porto Roncador	-13°33'23"	-55°19'54"
01255001	Teles Pires	-12°40'30"	-55°47'35"
01155000	Cachoeirão	-11°39'04"	-55°42'09"
01356002	Nova Mutum	-13°48'56"	-56°07'20"

Fonte: Agência Nacional de Águas (2016).

Entre as variáveis físicas exigidas pelo SWAT, estão relevo, pedologia e uso e cobertura da terra. Nesse trabalho foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 1A) do sensor orbital Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) com resolução espacial de 30 m, disponibilizados pelo United States Geological Survey (USGS) (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2016).

O mapa de uso e cobertura da terra (Figura 1B) foi elaborado para a área de estudo. Para isso, foram utilizadas imagens do ano de 2014 do satélite TM-Landsat-8 e feita a posterior classificação supervisionada por meio do software ENVI 5.0.

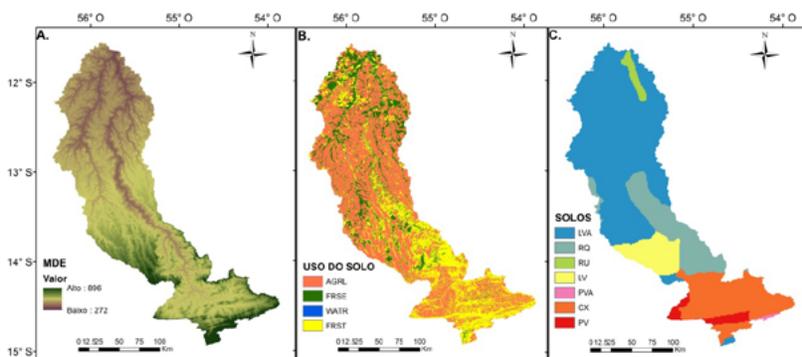


Figura 1. Mapas do modelo digital de elevação (A), uso e cobertura da terra (B) e solos (C) da bacia hidrográfica do Alto Teles Pires para inserção no SWAT.

O mapa pedológico (Figura 1C) utilizado foi o elaborado por Santos et al. (2011), no qual a distribuição espacial percentual das classes de solos encontrada para a área de estudo foi de: Cambissolo (CX) 18,25%, Latossolo Vermelho (LV) 7,32%, Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) 55,39%, Argissolo Vermelho (PV) 2,65%, Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) 0,28%, Neossolo Quartzarênico (RQ) 14,38% e Neossolo Flúvico (RU) 1,76%.

Para avaliar o desempenho do modelo SWAT foi utilizado o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NS).

$$i=1n \frac{Q_m - Q_s}{Q_m}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Q_m - Q_s}{Q_m}^2 \quad (1)$$

Em que Q_m é vazão observada no dia i ($m^3 s^{-1}$); Q_s é vazão simulada no dia i ($m^3 s^{-1}$); Q_m é vazão média observada ($m^3 s^{-1}$); Q_s é vazão média dos dados simulados ($m^3 s^{-1}$) e n é número de eventos.

Moriasi et al. (2007) apresentam uma classificação da faixa de valores NS e a respectiva avaliação do desempenho do modelo SWAT para a escala mensal, que são: $0,75 < NS$ o modelo é considerado muito bom; $0,65 < NS \leq 0,75$ o modelo é considerado bom; $0,50 < NS \leq 0,65$ o modelo é considerado satisfatório e $NS \leq 0,5$ é considerado insatisfatório.

Com o objetivo de confrontar com os dados simulados pelo modelo, foi utilizada a estação fluviométrica denominada Cachoeirão com dados de vazão disponibilizados pela Hidroweb.

Neste trabalho foi utilizado um período de aquecimento de cinco anos (1991 a 1995), um período de calibração de dez anos (1996 a 2006) e cinco anos utilizados para validação (2007 a 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O hidrograma para o nível mensal dos valores observados e simulados pelo modelo SWAT, nas fases de calibração e validação (Figura 2), indicam algumas discrepâncias em diferentes períodos no hidrograma.

Analisando visualmente, o modelo fornece uma boa simulação da tendência da produção de água.

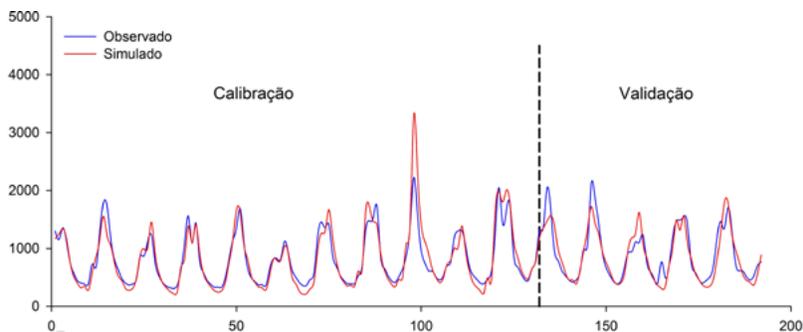


Figura 2. Hidrograma de dados observados e simulados das vazões mensais no período de calibração e validação para a estação Cachoeirão.

Os valores do coeficiente Nash-Sutcliffe, o qual retrata a performance do modelo, sobretudo na estimativa de vazões de pico, foram as seguintes para as vazões mensais, 0.82 e 0.80, respectivamente para o período de calibração e validação, que de acordo com a classificação de Morsiari et al. (2007) o desempenho do modelo aplicado a bacia hidrográfica do Alto Teles Pires é considerado muito bom. Salienta-se que é comum o índice estatístico de Nash-Sutcliffe no período de validação ser menor do que os índices para o período de calibração, conforme observam Fukunaga et al. (2015), Lelis et al. (2012), Monteiro et al. (2015), Neto et al. (2014) e Strauch et al. (2012).

CONCLUSÕES

Com base nos parâmetros estatísticos, pode-se inferir que o modelo SWAT foi capaz de simular a vazão de forma adequada, uma vez que houve um ajuste muito bom entre as vazões observadas e simuladas para as vazões mensais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb**: sistemas de informações hidrológicas. [Brasília, DF], 2016. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I. model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, p. 73-89, 1998.

COE, M. T.; COSTA, M. H.; SOARES FILHO, B. S. The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the Amazon river: land surface processes and atmospheric feedbacks. **Journal of Hydrology**, n. 369, p. 165-174, 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Avaliação ambiental integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Teles Pires**. Brasília, DF: EPE/CONCREMAT, 2009.

FUKUNAGA, D. C.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, L. T.; CAIADO, M. A. C. Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. **Catena**, v. 125, p. 206-213, 2015.

LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L.; FONSECA SANTIAGO, A. da; LIMA, D. C. de; OLIVEIRA ROCHA, E. de. Análise de sensibilidade e calibração do modelo SWAT aplicado em bacia hidrográfica da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 623-634, 2012.

MONTEIRO, J. A.; STRAUCH, M.; SRINIVASAN, R.; ABBASPOUR, K.; GÜCKER, B. Accuracy of grid precipitation data for Brazil: application in river discharge modelling of the Tocantins catchment. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 9, p. 1419-1430, 2015.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W. VAN; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

NETO, J. de O. M.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. Simulação Hidrológica Escalar com o Modelo SWAT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 177-188, 2014.

SANTOS, H.; JÚNIOR, W. C.; DART, R. O.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUZA, J.; PARES, J. G.; OLIVEIRA, A. P. **O novo mapa de solos do Brasil**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2011. 67 p. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000. (Embrapa Solos. Documentos, 130).

STRAUCH, M.; BERNHOFER, C.; KOIDE, S.; VOLK, M.; LORZ, C.; MAKESCHIN, F. Using precipitation data ensemble for uncertainty analysis in SWAT streamflow simulation. **Journal of Hydrology**, v. 414, p. 413-424, 2012.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Global Data Explorer**. 2016. Disponível em: <<http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009, 943 p.

CONSISTÊNCIA ENTRE DADOS ORIGINAIS, INTERPOLAÇÕES GLOBAIS E PROJEÇÕES DO MODELO CLIMÁTICO REGIONAL ETAHADGEM2-ES PARA A PRECIPITAÇÃO NAS BACIAS DOS RIOS PARACATU E SÃO MARCOS

ALFREDO JOSÉ BARRETO LUIZ; ALINE DE HOLANDA NUNES MAIA

RESUMO

Para a utilização segura das projeções de precipitação oriundas de modelos climáticos regionalizados no intuito de estudar os impactos de possíveis mudanças climáticas sobre recursos hídricos, em escala de bacia hidrográfica, é preciso que se tenha confiança que os modelos são capazes de reproduzir com consistência os dados reais. É aceitável que um modelo não reproduza exatamente a realidade e até apresente vieses passíveis de correção. Entretanto, especialmente na escala de bacias e sub-bacias brasileiras, carecemos de estudos que avaliem o desempenho desses modelos. Neste trabalho, avaliamos a consistência do modelo regionalizado Eta-HadGEM2-ES, com relação às projeções médias mensais de chuva (1999 a 2013), para as bacias dos rios Paracatu e São Marcos, na região central do Brasil, comparados aos dados interpolados fornecidos pelo Climate Research Unit (CRU) e dados reais obtidos de estações meteorológicas locais. As diferenças observadas no tempo e no espaço foram elevadas, tanto em valor absoluto quanto relativo e não apresentaram um padrão sistemático de desvios que permitisse a correção de viés.

Termos para indexação: redução de escala, viés, estudos de impacto.

CONSISTENCY BETWEEN ORIGINAL DATA, GLOBAL INTERPOLATIONS (CRU) AND PROJECTIONS OF THE REGIONAL CLIMATE MODEL ETAHADGEM2-ES FOR THE PRECIPITATION IN THE BASIN OF THE PARACATU AND SÃO MARCOS RIVERS

ABSTRACT

For the safe use of precipitation projections arising from regional climate models in order to study the impacts of possible climate change on water resources in river basin scale it is necessary to have confidence that the models are able to reproduce consistently the actual data. It is acceptable that a model does not exactly reproduce the reality and to present biases that we can correct. However, especially on the scale of Brazilian's basins and sub-basins, there are few studies to evaluate the performance of these models. In this paper, we evaluate the consistency of regional model Eta-HadGEM2-ES, with respect to the average monthly projections of rainfall (1999-2013), for the Paracatu and São Marcos river basins, in central Brazil, compared to the interpolated data provided by Climate Research Unit (CRU) and real data from local weather stations. The differences in time and space were high, both in absolute and relative value and did not show a systematic pattern of deviations to allow the bias correction

Index terms: downscaling, bias, impact assessment.

INTRODUÇÃO

Considerando os riscos de mudanças significativas nos regimes de precipitação pluviométrica no futuro, as projeções dos modelos climáticos globais ou regionais são úteis para o planejamento de medidas preventivas ou mitigatórias (MAIA et al., 2011). A avaliação da destreza desses modelos é feita comparando suas projeções retrospectivas com dados interpolados a partir de dados originais, como por exemplo os fornecidos pelo Climate Research Unit (CRU), que é uma base de dados global de observações climáticas mensais.

Os modelos regionais visam melhorar as projeções dos modelos globais para locais específicos do globo e fornecem dados em escala maior (mais detalhada). Esse é o caso do modelo Eta-HadGEM2-ES, derivado do *downscaling* dinâmico do modelo HadGEM2-ES (modelo do quinto relatório do IPCC, IPCC AR5) usando o modelo dinâmico Eta do Inpe, com resolução de 20 km latitude-longitude (CHOU et al., 2014).

Em geral, a avaliação de destreza e as ações de correção de viés dos modelos regionalizados são realizadas a partir da comparação entre as projeções retrospectivas dos modelos e os dados CRU para um mesmo período (CHOU et al., 2014). A comparação realizada para grandes regiões e longos períodos (pensando em atividades agrícolas e bacias de interesse hidrológico) tem mostrado certa inconsistência para a precipitação, em especial para o NE brasileiro e no trimestre chuvoso DJF (CHOU et al., 2014). Além disso, análises mais detalhadas em escala de tempo e espaço mostram que mesmo os dados interpolados (CRU) apresentam inconsistências com os dados originais coletados in loco (LUIZ et al., 2014).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a consistência entre dados originais de estações terrestres, dados interpolados da base global CRU e dados projetados retrospectivamente pelo modelo regionalizado Eta-HadGEM2-ES, de precipitação mensal, nas bacias dos rios Paracatu e São Marcos.

MATERIAL E MÉTODOS

As bacias dos rios Paracatu e São Marcos são vizinhas e estão situadas em área dos estados de Minas Gerais e Goiás e do Distrito Federal, entre 14,5° e 19,5° de latitude Sul e entre 44° e 49° de longitude Oeste, na chamada região Centro Sul (CS) brasileira (CHOU et al., 2014). Os dados originais vieram de 55 estações assim distribuídas: 3 no DF; 3 em GO; e 49 em MG. O período de dados originais disponíveis utilizado foi o de 1999 a 2013.

Foram utilizados os dados de precipitação pluviométrica, latitude e longitude de 55 estações meteorológicas, que estão localizadas dentro da área delimitada pelas duas bacias. Da mesma forma, foram obtidas as localizações dos pontos da grade CRU (que correspondem aos da grade Eta-HadGEM2-ES) que recobrissem a mesma área e plotados juntamente com a posição das estações. Das séries disponíveis (CRU e Eta) foram selecionadas apenas as informações referentes aos anos de 1999 a 2013, para coincidir com o período de dados disponíveis para as 55 estações. A partir dos dados diários, foi realizada a soma e obtido o valor da precipitação mensal em cada estação e em cada ponto CRU e Eta, para todos os meses dos 15 anos estudados.

Pra cada estação foi encontrado o ponto de grade mais próximo e formado um triplete, ou seja, os 180 valores das precipitações mensais medidas na estação, interpoladas pelo CRU ou estimadas pelo Eta foram alinhadas. Foi calculada a média mensal da precipitação, para todas as estações e os seus pontos mais próximos, dos 15 anos estudados.

Foram elaborados gráficos do comportamento local da precipitação, comparando as três diferentes fontes dos dados. Foram ainda calculadas as correlações (SAS, 1990) entre as fontes, por ano e por mês, e expostas em gráficos ou tabelas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Gráficos descritivos das relações entre projeções retrospectivas do modelo EtaHadGEM2-ES, estimativas interpoladas pelo CRU e valores observados de chuva indicam uma razoável reprodução do ciclo anual (Figura 1),

com tendência à subestimação das médias mensais praticamente o ano todo pelo Eta em comparação aos demais dados, exceto no mês de julho. Esse comportamento se repete na maioria das outras estações. É interessante observar o que acontece no mês de fevereiro, que com apenas 28 dias (29 nos anos bissextos) apresenta uma queda natural no total acumulado; isso é quase sempre visível nos gráficos dos dados originais, às vezes corretamente representados pelos dados CRU, mas invariavelmente desconsiderado pelos dados Eta, o que parece ser um erro de modelo que talvez faça uma previsão para 30 dias. Outro indício da subestimação pode ser vista se considerarmos os valores máximos de precipitação obtidos por cada uma das fontes, pois entre os dados originais, o valor máximo para uma média mensal de 15 anos de precipitação ocorreu na estação MG1928, para o mês e janeiro (341,153 mm); para os dados interpolados CRU, o valor máximo ocorreu no ponto mais próximo à estação MG2082 (latitude $-17,4^{\circ}$, longitude $-46,6^{\circ}$), no mês de dezembro (358,727 mm); e para os dados estimados pelo modelo Eta o máximo foi observado no ponto mais próximo à estação MG1930 (latitude $-19,0^{\circ}$, longitude $-47,4^{\circ}$), no mês de janeiro (208,983 mm).

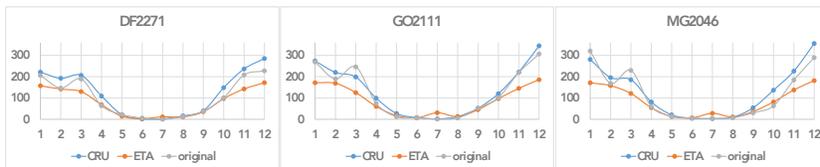


Figura 1. Comportamento anual das médias mensais de precipitação, de 1999 a 2013, medidas em três estações meteorológicas interpoladas (CRU) e estimadas (Eta) para o ponto mais próximo.

Ao analisarmos o comportamento mensal em cada estação ao longo dos anos, a situação se altera drasticamente. Parece não haver uma boa correspondência entre os dados originais e os dados CRU, mas isso se torna ainda mais observável entre os dados originais e as estimativas Eta. O fato do modelo Eta não ser completamente em fase, ou seja, não reproduzir o comportamento diário e mensal da precipitação, mas apenas ciclo anual climatológico da chuva (período seco e chuvoso), certa-

mente está relacionado a esta má correspondência entre os dados mensais. Na Figura 2 é apresentado como exemplo o caso do mês de janeiro para três estações e seus pontos mais próximos. É possível verificar que algumas alterações dos dados originais são seguidas por alterações nos dados CRU, mas raramente pelos dados Eta.

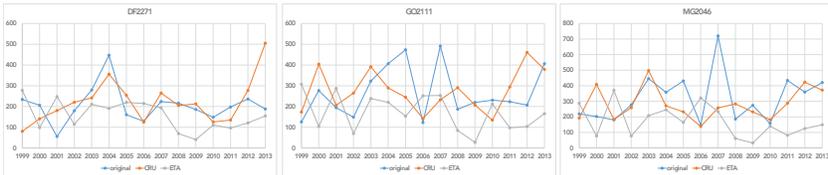


Figura 2. Comportamento da precipitação de janeiro, medida em três estações meteorológicas interpolada (CRU) e estimada (Eta) para o ponto mais próximo, nos 15 anos de estudo.

A maior preocupação para com a utilização dos dados CRU e Eta em escala regional ou local aparece quando é calculada a sua correlação com os dados das médias mensais dos 15 anos obtidos das estações. Na Figura 3 é apresentada a correlação para cada mês e exemplos da dispersão dos dados para os meses de março e novembro.

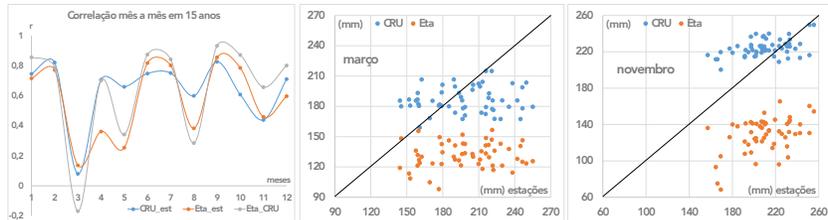


Figura 3. Correlação entre as médias mensais de quinze anos das estações, das interpolações CRU e das estimativas Eta, com exemplos da dispersão dos dados em março e novembro.

O tipo de diferença encontrada não parece se caracterizar como viés, ou seja, não existe uma tendência única do modelo Eta em sempre superestimar ou subestimar a precipitação, mesmo quando considerados meses em separado. O que se verifica são erros de estimativa, erros que podemos dizer aleatórios se considerarmos a comparação com dados

locais e em meses definidos, ou seja, em um momento o modelo erra para mais em outro para menos, variando de local para local e de mês para mês. Essa aleatoriedade das diferenças impede que se calcule um viés que corrija os dados estimados pelo modelo.

CONCLUSÕES

Os dados gerados para o passado, 1999 a 2013, pelo modelo regionalizado EtaHadGEM2-ES apresentam baixa consistência com os dados originais de estações das bacias dos rios Paracatu e São Marcos. Mesmo em relação aos dados interpolados CRU, o modelo Eta subestima a precipitação e não apresenta capacidade de reproduzir o padrão de distribuição da precipitação interanual nem intra-anual quando em escala local. Embora a representação do padrão anual apresente certa similaridade, as diferenças localizadas no tempo (quando se especificam os meses) e no espaço (quando se especifica o local) tornam temerário o seu uso, tanto para fins do cálculo de vazão de bacias (mesmo que a precipitação anual seja semelhante, a distribuição ao longo do ano e no espaço – nascente ou foz – pode ser muito diferente) como principalmente para fins agrícolas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao pesquisador e ao analista da Embrapa Informática Agropecuária, Santiago Vianna Cuadra e Alan Massaru Nakai, pela organização e fornecimento dos dados.

REFERÊNCIAS

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DERECZYNSK, C.; PILOTTO, I; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-527, 2014.

LUIZ, A. J. B.; MAIA, A. de H. N.; GONDIM, R. S. Qualidade de um conjunto de dados globais de precipitação pluvial para a região produtora de melão do NE brasileiro. In: SEMINÁRIO DA REDE AGROHIDRO, 2., 2014, Campinas. **Impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos**: anais... Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 59-63.

MAIA, A. de H. N.; PAZIANOTTO, R. A. A.; COELHO, C. A. dos S. Avaliação da influência do ENOS sobre início da estação chuvosa via modelos semiparamétricos de sobrevivência. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 56.; SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA, 14., 2011, Maringá. **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá; Embrapa Pecuária Sudeste, 2011. 5 p. Disponível em: <<http://www.rbras.org.br/rbras56/doku.php?id=anais>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

SAS Institute. **SAS users procedures guide**: v. 6. 4th ed. Cary, 1990.

MODELAGEM DE PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM BACIAS DE MESOESCALA ESCASSAMENTE MONITORADAS NA MATA ATLÂNTICA, RJ, BRASIL

**ANNIKA KÜNNE; SANTIAGO PENEDO; SVEN KRALISCH;
AZENETH E. SCHULER; RACHEL B. PRADO; JULIANA M. SANTOS;
WOLFGANG-ALBERT FLÜGEL**

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Guapi-Macacu (BHGM), situada na região metropolitana do Rio de Janeiro, é responsável pelo abastecimento de mais de dois milhões de pessoas. A região é sujeita a inundações e deslizamentos no período chuvoso, e escassez hídrica na estação seca, com riscos para o abastecimento doméstico e agrícola nos anos de menor precipitação. Ferramentas de modelagem podem colaborar para a gestão integrada de recursos hídricos e apoiar a tomada de decisão. Este estudo utilizou o modelo hidrológico J2K, desenvolvido na plataforma Jena Adaptable Modeling System (JAMS), para representar o comportamento hidrológico da BHGM. Os procedimentos de parametrização e calibração do modelo foram baseados em dados de campo e de séries temporais meteorológicas e de vazão. O modelo parametrizado para a BHGM foi aplicado numa bacia adjacente, a Bacia Dois Rios (BHDR). Os indicadores de desempenho do modelo foram satisfatórios a bons para ambas as bacias e mostraram a viabilidade de aplicar conjuntos de parâmetros obtidos a partir de bacias instrumentadas em âmbito regional, i.e., em bacias semelhantes quanto às características geomorfológicas e climatológicas.

Termos para indexação: modelo hidrológico J2K, bacias esparsamente monitoradas, processos hidrológicos nos trópicos.



HYDROLOGICAL PROCESSES MODELLING IN SPARSELY GAUGED MESO-SCALE BASINS OF ATLANTIC FOREST, RIO DE JANEIRO, BRAZIL

ABSTRACT

The basin of Guapi-Macacu river (BHGM), located in the metropolitan region of Rio de Janeiro, supplies water to approximately two million people. The region is prone to floods and landslides during rainy season, and water deficit during dry season, with risks of urban and agricultural water supply shortages in drier years. Modelling tools can collaborate to Integrated Water Resources Management and support decision making. This study used J2K model, developed at Jena Adaptable Modelling System (JAMS) platform, to simulate hydrological dynamics of Guapi-Macacu Basin. Model parameterization and calibration procedures were based on field data and available climate and discharge time series. Model, once parameterized to BHGM, was then applied to an adjacent basin called “Dois Rios Basin” (BHDR). Efficiency indicators were satisfactory to good in both basins and showed the feasibility of applying parameter from a gauged basin to regional analysis, i.e., onto basins with similar geomorphological and climatological characteristics.

Index terms: hydrological model J2K, sparsely gauged basins, hydrological processes in tropics.

INTRODUÇÃO

Para garantir segurança hídrica do abastecimento doméstico, agrícola e industrial necessita de medidas de gestão que devem ter por base dados de séries históricas e a compreensão da hidrologia das bacias de captação. A análise hidrológica baseada em séries de dados hidrometeorológicos aliada à modelagem, proporciona o entendimento da dinâmica da bacia, além de identificar incertezas de medição e tendências nas séries climáticas.

A Bacia do Guapi-Macacu, com cabeceiras em um dos raros remanescentes da Mata Atlântica, é responsável pelo abastecimento de dois milhões de pessoas em vários municípios fluminenses, além do uso industrial e agrícola. Nesta região, com clima marcado por estações úmidas e secas distintas, eventos extremos de precipitação nos períodos chuvosos causam inundações e deslizamentos de terras na bacia, enquanto períodos de seca podem levar à escassez de água para abastecimento agrícola e doméstico. Com o objetivo de contribuir para a compreensão da hidrologia na região, o estudo analisou o sistema de bacias hidrográficas do Guapi-Macacu através de dados secundários e medições de campo, usou o modelo J2K para simular a dinâmica hidrológica considerando as condições ambientais específicas da bacia, e avaliou a transferência do modelo parametrizado na BHGM a uma bacia adjacente, Bacia de Dois Rios, com características similares geomorfológicas, pedológicas, de uso da terra e de clima, avaliando o desempenho do modelo nas duas bacias.

MATERIAL E MÉTODOS

A região de estudo compreende duas bacias situadas no interior do estado do Rio de Janeiro ao norte-leste da megacidade do Rio de Janeiro no bioma Mata Atlântica, a Bacia do Guapi-Macacu, com 1.265 km² e a Bacia de Dois Rios, com 3.120 km² (Figura 1). A Serra dos Órgãos, cadeia de montanhas que se estende no sentido SW-NE, atua como divisor de drenagem entre as duas bacias hidrográficas. O clima da região é ca-

racterizado por estações distintas de verão chuvoso e inverno seco. O procedimento metodológico consistiu nas seguintes etapas: (1) desenho e implementação de rede de monitoramento hidroclimático em sub-bacias pequenas de 10 km² a 36 km², visando estudar processos hidrológicos em resoluções espacial e temporal (10 minutos a 1 hora) mais detalhadas; (2) análise estatística e avaliação dos dados hidroclimáticos secundários do Instituto Estadual do Meio Ambiente (INEA), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Agência Nacional de Águas (ANA), do Sistema Integrado de Dados Ambientais (SINDA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e da Embrapa Solos; (3) aplicação do modelo hidrológico distribuído e de base física JAMS/J2K (KRAUSE, 2001; KRALISCH et al., 2007) para simular processos hidrológicos (evapotranspiração, infiltração no solo, escoamento superficial, interfluxo rápido e lento, fluxo de base, etc.) em bacias de meso e macroescala considerando os processos em escala do campo pelo uso dos conceitos de HRU (unidade de resposta hidrológica) e topologia (FLÜGEL, 1996; PFENNIG; WOLF, 2007). A modelagem foi feita em passo de tempo diário e mensal.

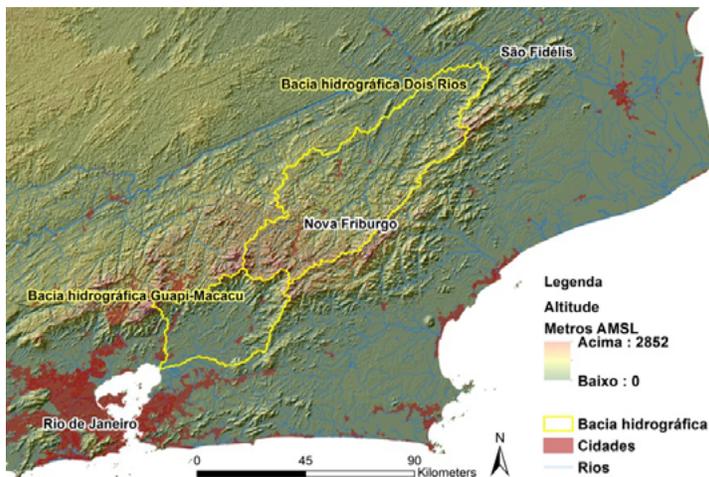


Figura 1. Localização das bacias do Rio Guapi-Macacu e Dois Rios no Estado do Rio de Janeiro.

O conceito de unidade de resposta hidrológica (URH) origina-se da compreensão de que uma sub-bacia pode ser dividida em áreas com características homogêneas sobre a resposta hidrológica de geomorfologia, geologia, declividade, exposição, solo e uso da terra. Cada unidade de resposta hidrológica (URH) é associada aos valores de um conjunto de parâmetros representativos de suas características, os quais serão utilizados nos cálculos de fluxos hidrológicos do modelo.

Após a divisão das bacias em unidades de resposta hidrológica, a etapa de aplicação do modelo J2K compreendeu: (a) parametrização do modelo para a BHGM, a partir dos dados secundários e de campo, utilizando-se um período da série temporal de dados de clima e vazão para calibração; (b) validação do modelo para a bacia com aplicação em outro período da série temporal; (c) aplicação do modelo com os parâmetros da BHGM na Bacia Dois Rios (BHDR). As simulações em ambas as bacias foram avaliadas pelos mesmos indicadores de desempenho: coeficiente de determinação (r^2), o índice de Nash-Sutcliffe (NS), e seu logaritmo (logNS) e a probabilidade de viés (Pbias).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação do escoamento mostra que o modelo físico J2K representa a dinâmica hidrológica diária com desempenho de satisfatório a bom, tanto visualmente quanto estatisticamente (Figuras 2 e 3 e Tabela 1). A parametrização do modelo J2K para o rio Macacu foi transferida para a bacia de Dois Rios sem alterações ou nova calibração.

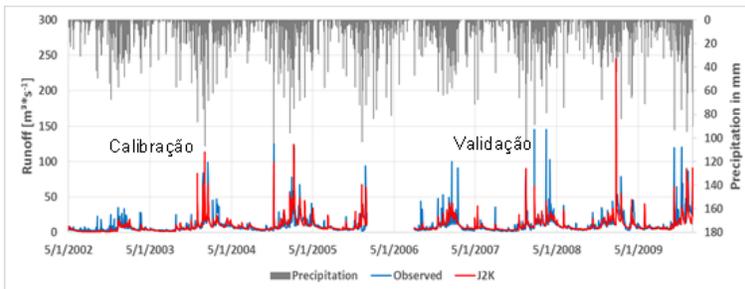


Figura 2. Série temporal da precipitação e da vazão observada e simulada (J2K) do Rio Macacu na estação de Parque Ribeira durante calibração e validação e do critério de eficiência.

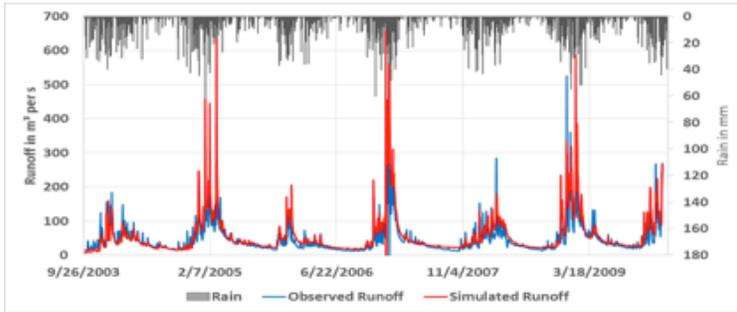


Figura 3. Série temporal da precipitação e da vazão observada e simulada na Bacia de Dois Rios na estação de Dois Rios, com o mesmo conjunto de parâmetros e sem calibração.

Tabela 1. Indicadores de eficiência do modelo com o mesmo conjunto de parâmetros para a bacia do Guapi-Macacu (na calibração e na validação), e para a Bacia Dois Rios (apenas validação).

Nome da bacia e da etapa	Coefficiente de determinação R ²	Coefficiente de Nash-Sutcliffe NS	Logaritmo do coef. logNS	Porcentagem de viés Pbias
Guapi-Macacu				
Calibração	0,6	0,56	0,38	-0,21
Validação	0,44	0,4	0,73	-5,18
Dois Rios				
Validação	0,76	0,56	0,55	9,74

O coeficiente de variação mostrou valor superior para a bacia de transferência (Dois Rios), em relação à bacia de calibração e validação (Guapi-Macacu), enquanto o coeficiente de Nash-Sutcliffe mostrou desempenho equivalente na Bacia Dois Rios em relação à bacia de calibração, com queda no valor deste parâmetro para o período de validação na Bacia do Guapi-Macacu. Distintamente, o parâmetro de porcentagem de viés mostra elevação nos valores absolutos tanto no período de validação (na BHGM) como na bacia de transferência (BHDR), em relação ao resultado obtido na calibração na BHGM (viés de -0,21%), permanecendo negativo no período de validação (viés de -5,18%), enquanto na nova

bacia (BHDR) apresenta valor positivo (9,74%). A análise visual dos gráficos mostra que, embora a simulação das vazões médias seja coerente em ambas as bacias, o cálculo das vazões de pico é, de maneira geral, subestimado na Guapi-Macacu e superestimado na Dois Rios. É possível que o resultado de viés esteja associado ao desempenho do modelo no cálculo das vazões de pico nas duas bacias.

O comportamento da hidrógrafa na ascensão da vazão em evento de chuva relaciona-se às características geomorfológicas e de solo da bacia, responsáveis pela resposta rápida do fluxo à precipitação. Os resultados mostram que a pesquisa de campo foi importante para encontrar parâmetros mais adequados e representativos para classes de solos, geologia e uso da terra, enquanto as medições deram informações adicionais sobre processos hidrológicos na região, por exemplo, o escoamento superficial e o interfluxo.

CONCLUSÕES

O estudo buscou estabelecer uma base para a modelagem de bacias em regiões adjacentes, com características ambientais similares. Tal procedimento é particularmente útil para bacias que não dispõem de séries temporais suficientemente longas para uma calibração razoável. Porém, para tal tipo de aplicação, é necessário o conhecimento das características do meio físico que definem os parâmetros do modelo hidrológico utilizado (geologia, geomorfologia, solos e uso da terra).

Os resultados de desempenho dos modelos mostram a viabilidade da construção de cenários para responder questões relativas à disponibilidade de água, crucial para a região, no caso de ocorrência de eventos extremos com alcance anual.

REFERÊNCIAS

FLÜGEL, W. -A. Hydrological Response Units (HRU) as modelling entities for 28 hydrological river basin simulation and their methodological potential for modelling 29 complex environmental process systems- Results from the Sieg catchment. **Die Erde**, v. 127, p. 42-62, 1996.

KRALISCH, S.; KRAUSE, P.; FINK, M.; FISCHER, C.; FLÜGEL, W. -A. Component based environmental modelling using the JAMS framework. In: KULASIRI, D.; OXLEY, L. (Ed.). THE MODSIM 2007 INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELLING AND SIMULATION, 2007, Christchurch. **Proceedings...** New Zealand: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand , 2007.

KRAUSE, P. **J2000 - Ein Modellsystem zur physikalisch basierten Nachbildung der hydrologischen Prozesse in großen Flusseinzugsgebieten**. Freiburg: Albert-Ludwigs-Universität, 2001.

PFENNIG, B.; WOLF, M. Extraction of process-based topographic model units using SRTM elevation data for Prediction in Ungauged Basins (PUB) in different landscapes. In: KULASIRI, D.; OXLEY, L. (Ed.). THE MODSIM 2007 INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELLING AND SIMULATION, 2007, Christchurch. **Proceedings...** New Zealand: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand , 2007. p. 85-691.

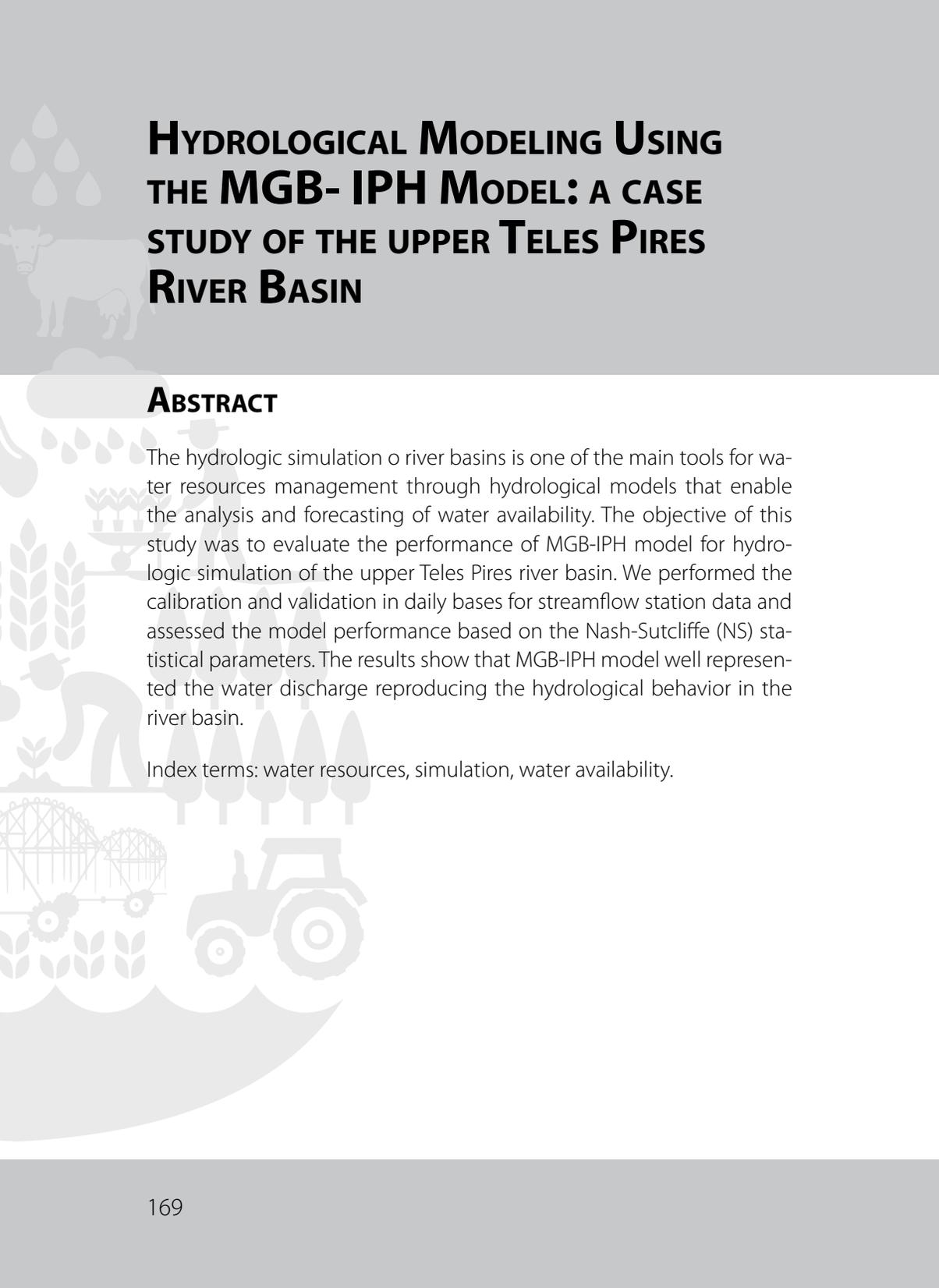
MODELAGEM HIDROLÓGICA UTILIZANDO O MODELO DE GRANDES BACIAS MGB-IPH: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TELES PIRES

**RIENE FILGUEIRAS DE OLIVEIRA; CORNÉLIO ALBERTO ZOLIN;
RENATO CRISTIANO TORRES; TARCIO ROCHA LOPES**

RESUMO

A simulação da dinâmica hidrológica nas bacias hidrográficas é uma das principais ferramentas para a gestão de recursos hídricos e por meio de modelos hidrológicos possibilita a análise e previsão da disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas. Objetiva-se neste estudo avaliar o desempenho do Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH) para a simulação hidrológica da bacia hidrográfica do Alto Teles Pires, por meio da calibração e validação para escala diária de dados fluviométricos. Verifica-se que o modelo MGB-IPH representou adequadamente as tendências do hidrograma de vazões da bacia, podendo ser considerado adequado com base no parâmetro estatístico de Nash-Sutcliffe (NS).

Termos para indexação: recursos hídricos, simulação, disponibilidade hídrica.



HYDROLOGICAL MODELING USING THE MGB- IPH MODEL: A CASE STUDY OF THE UPPER TELES PIRES RIVER BASIN

ABSTRACT

The hydrologic simulation of river basins is one of the main tools for water resources management through hydrological models that enable the analysis and forecasting of water availability. The objective of this study was to evaluate the performance of MGB-IPH model for hydrologic simulation of the upper Teles Pires river basin. We performed the calibration and validation in daily bases for streamflow station data and assessed the model performance based on the Nash-Sutcliffe (NS) statistical parameters. The results show that MGB-IPH model well represented the water discharge reproducing the hydrological behavior in the river basin.

Index terms: water resources, simulation, water availability.

INTRODUÇÃO

Um modelo hidrológico busca a representação matemática simplificada de um sistema no mundo real (PAZ et al., 2011). Seu conceito está relacionado com as interações entre água, clima, solo e uso da terra. Adicionalmente, características espaciais e temporais também são consideradas (FAN; COLLISHONN, 2014), o que permite a simulação de processos físicos da bacia na sua dimensão temporal e espacial (PULLAR; SPRINGER, 2000).

Entre os vários modelos hidrológicos disponíveis, o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH), desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tem seu destaque no sucesso da aplicação em várias bacias brasileiras com diferentes características. O MGB-IPH é um modelo distribuído em células desenvolvido a fim de obter a transformação da chuva em vazão em níveis diários (COLLISCHONN et al., 2007).

Neste sentido, objetiva-se no presente trabalho aplicar e avaliar o desempenho do Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPG) na simulação das vazões da bacia do Alto Teles Pires, visando o entendimento da resposta hidrológica atual da bacia para diagnóstico e prospecção da disponibilidade hídrica.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Bacia hidrográfica do alto Teles Pires, localizada em terras no Estado do Mato Grosso, com aproximadamente 34.626 km² de área de drenagem (VEIGA et al., 2013) e vazão específica média de 28,14 L/s/km² (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2009).

As informações cartográficas utilizadas como dados de entrada foram: altimetria, mapa de uso e ocupação do solo e mapa de solos. A altimetria foi determinada partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido por imagens Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), obtidas a partir de dados do projeto Topodata, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com resolução espacial de 30 m (Figura 1A).

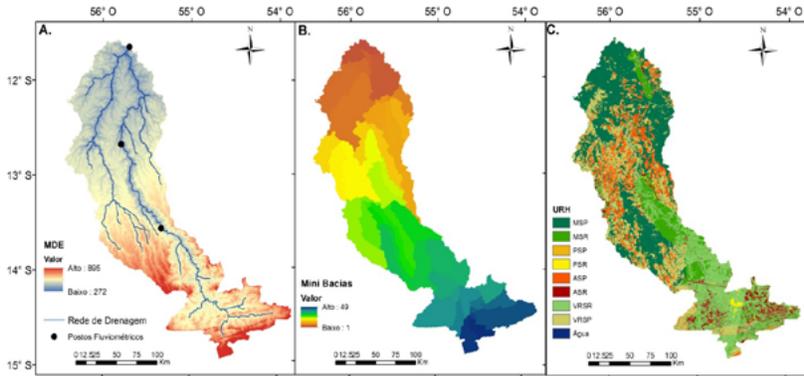


Figura 1. Mapas do modelo digital de elevação (A); discretização em mini bacias (B) e unidades de respostas hidrológicas (C).

O mapa de solos foi obtido através de imagem do satélite TM-Landsat-5 disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e pelo Projeto RADAM-Brasil.

O mapa de uso e ocupação do solo da bacia do alto Teles Pires foi disponibilizado pelo Laboratório de Geotecnologia Agroambiental (SIGEO) da Embrapa Agrossilvipastoril (ZAIATZ et al., 2015).

Os tipos de solos (SANTOS et al., 2011) foram reclassificados e reagrupados em duas classes conforme seu potencial de geração de escoamento, respectivamente solos rasos e solos profundos. O uso e cobertura do solo da bacia foi reclassificado em 5 classes: Mata, Pecuária, Agricultura, Vegetação rasteira e Água.

A versão atual do modelo MGB-IPH adota uma subdivisão das células não regulares, a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), denominadas de mini bacias (Figura 2B). A partir das células é feita a subdivisão de cada uma em blocos de acordo com as características como tipo de solo e uso e cobertura vegetal. Cada bloco equivale a uma área hidrológicamente homogênea (GETRIANA et al., 2011), denominados Unidades de Respostas Hidrológica (URH), classificadas em: (1) Mata em solo profundo (MSP); (2) Mata em solo raso (MSR); (3) Pecuária em solo profundo

(PSP); (4) Pecuária em solo raso (PSR); (5) Agricultura em solo raso (ASR); (6) Agricultura em solo profundo (ASP); (7) Vegetação rasteira em solo raso (VRSR); (8) Vegetação rasteira em solo profundo (VRSP); e (9) Água (Figura 1C).

Além dos dados cartográficos, foram utilizados também dados interpolados de chuva, temperatura, radiação solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica, que foram obtidos de diversos postos localizados na bacia e áreas vizinhas, adquiridos pela Agência Nacional de Águas (2016). Para dados de vazão foi utilizado dados históricos do posto fluviométrico Cachoeirão, localizado no exutório da bacia do Alto Teles Pires. O período de 20 anos (1991-2011) da série histórica de vazão foi dividido da seguinte forma para a simulação da bacia do Alto Teles Pires: os cinco primeiros anos da série (1991-1995) foram utilizados para o “aquecimento” do modelo, ou seja, para a diminuição dos efeitos das incertezas quanto às condições iniciais de alguns parâmetros do modelo (COLLISCHONN et al., 2007; TUCCI, 2009); os 10 anos subsequentes (1996-2006) foram utilizados para a calibração e os últimos cinco anos (2007-2011) foi utilizado para a validação do modelo.

O coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (NS) foi utilizado para avaliação do modelo, conforme equação (1):

$$NS = 1 - \frac{\sum (E_m - E_s)^2}{\sum (E_m - \bar{E}_s)^2} \quad (1)$$

Em que E_m é o evento observado; E_s , o evento simulado pelo modelo \bar{E}_s , a média do evento observado no período de simulação.

Segundo Silva et al. (2008), quando o valor de NS for maior do que 0,75, o desempenho do modelo é considerado bom. Para valores de NS entre 0,36 e 0,75, o desempenho é considerado aceitável, enquanto valores de NS inferiores a 0,36 fazem com que o modelo seja considerado inaceitável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) obtidos, foram de 0.82 após calibração e de 0.76 após validação para as vazões diárias, e que de acordo com Silva et al., (2008), classifica o modelo como bom e adequado para a Bacia hidrográfica do Alto Teles Pires.

É notório a diminuição do valor do NS do período de calibração para o período de verificação, o que é comum devido às variações anuais das chuvas durante os anos (MONTEIRO et al., 2016), mas ainda são superiores a 0.75, indicando que o modelo teve um bom ajuste para a bacia.

Na Figura 2, apresenta as vazões diárias calculadas e observadas no rio Teles Pires, no posto fluviométrico observado. Observa-se que o modelo subestima os maiores picos das cheias, assim como os períodos de recessão, mas de forma geral reproduz muito bem o hidrograma.

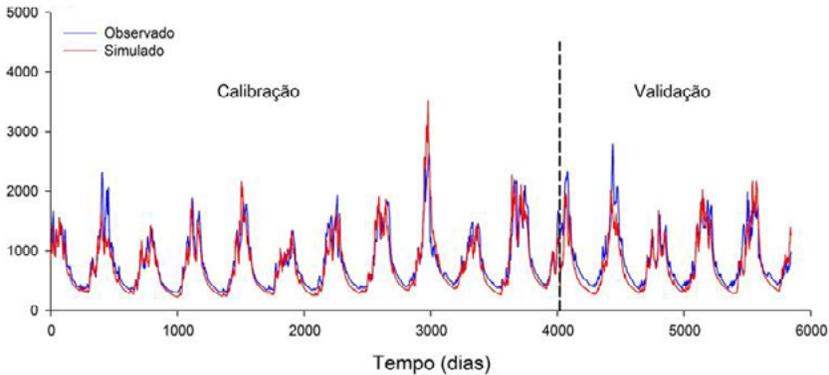


Figura 2. Hidrograma das vazões diárias calculadas e observadas no Rio Teles Pires, na estação Cachoeirão no período de 1996 a 2005 (calibração) e de 2006 a 2011 (validação).

CONCLUSÕES

O modelo MGB-IPH mostrou-se eficiente para a simulação da Bacia do Alto Teles Pires, apresentando valores elevados para o coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (NS), tanto para calibração (0,82) quando para o perí-

odo de validação (0,76). Os valores do NS mantiveram-se acima de 0,75 podendo ser considerado adequados para a simulação hidrológica da bacia estudada, atestando a aplicabilidade do modelo como ferramenta de gestão e planejamento dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb**: sistemas de informações hidrológicas. [Brasília, DF], 2016. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 18 abr 2016.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. The MGB-IPH model for largescale rainfall-runoff modelling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, p. 878-895, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Avaliação ambiental integrada da Bacia Hidrográfica do Rio Teles Pires**. Brasília, DF: Concremat, 2009.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 243-254, 2014.

MONTEIRO, J. A.; STRAUCH, M.; SRINIVASAN, R.; ABBASPOUR, K.; GÜCKER, B. Accuracy of grid precipitation data for Brazil: application in river discharge modelling of the Tocantins catchment. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 9, p. 1419-1430, 30 April 2016.

PAZ, A. R.; BUARQUE, D. C.; COLLISCHONN, W.; VICTORIA, D. C.; ANDRADE, R. G. Discretização de modelos hidrológicos de grandes bacias: grade regular x mini-bacias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2011. p. 18.

PULLAR, D.; SPRINGER, D. Towards integrating GIS and catchment models. **Environmental Modelling & Software**, v. 15, n. 5, p. 451-459, July 2000.

SANTOS, H.; JÚNIOR, W. C.; DART, R. O.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUZA, J.; PARES, J. G.; OLIVEIRA, A. P. **O novo mapa de solos do Brasil**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. 943 p.

VEIGA, A. M.; MELO, D. C. R.; SOARES, A. K.; TRINDADE, M. C.; MELLO, L. T. A.; SOUZA, R. M. Diagnóstico das vazões do Rio Teles Pires. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

VARIAÇÃO ANUAL DE CARBONO DISSOLVIDO E NITROGÊNIO EM DIFERENTES USOS DE TERRA, NORDESTE DO PARÁ-AMAZÔNIA

**JULIANA FEITOSA FILIZZOLA; FELIPE CRUZ;
RICARDO DE OLIVEIRA FIGUEIREDO;
ORLANDO DOS SANTOS WATRIN**

RESUMO

Carbono dissolvido (CD) e nitrogênio dissolvido (ND) desempenham papel importante na atividade biológica e transporte de poluentes e nutrientes no solo, mas pouca informação está disponível sobre o impacto a longo prazo sobre a dinâmica do CD e ND nas práticas de uso do solo. A variação inter-anual de conteúdos CD e ND foram investigados em solos arenosos em experimento com lisímetros, por 1 ano em duas pequenas bacias hidrográficas no nordeste do Pará, Cumaru e São João (SJ). O experimento foi realizado de março/2014 a abril/2015, nos usos da terra: Pasto, Floresta Secundária, Queimada, Sistema Agroflorestal, mata ciliar e áreas de trituração. As áreas queimadas e de pastagem resultaram em altos valores de CD na solução do solo, devido exposição de solos pela perda de nutrientes, principalmente na bacia do SJ. Os sistemas agroflorestais e florestas secundárias também aparecem com o uso da terra relevante como conservadores de nutrientes do solo, assim como a mata ciliar em ambas as bacias hidrográficas, com baixa variação destes elementos de soluções de solo CD ($2,16 \text{ mg ha}^{-1}$ a $3,72 \text{ mg ha}^{-1}$) e ND ($0,34 \text{ mg ha}^{-1}$ a $0,60 \text{ mg ha}^{-1}$).

Termos para indexação: carbono dissolvido, nitrogênio dissolvido, solução do solo.

INTER-ANNUAL VARIATION OF DISSOLVED ORGANIC CARBON AND NITROGEN UNDER LAND USES, NORTHEASTERN PARÁ-AMAZON

ABSTRACT

Dissolved carbon (DC) and dissolved nitrogen (DN) plays an important role in biological activity and transport of pollutants and nutrients in soils, but little information is available with regard to the long-term impact of land uses practices on the dynamics of DC and DN. The inter-annual variation of DC and DN contents were investigated in sandy soils by a 1 year lysimeter experiment in two small watersheds at northeastern Pará, Cumaru and São João (SJ). The experiment was conducted from March 2014 to April 2015 with land use: Pasture, Secondary Forest, Burn, Agroforest System, riparian vegetation and in milling areas. Burned and pasture areas resulted in a high values of DC at soil solutions due exposition of soils with loss of nutrients mainly in the SJ watershed. The Agroforest systems and secondary forests also appear with relevant land use as a conservative nutrients in the soil as riparian vegetation at both watersheds with low variation of these elements from soil solutions DC (2,16-3,72 mg.ha⁻¹) and DN (0,34-0,60 mg.ha⁻¹).

Index terms: dissolved carbon, dissolved nitrogen, soil solution.

INTRODUÇÃO

As dinâmicas e caminhos de COD (carbono orgânico dissolvido) e NOD (nitrogênio orgânico dissolvido) em solos tropicais com alta temperatura e umidade, em diferentes práticas agrícolas e com longos períodos de aplicação de fertilizantes ainda são desconhecidas. O objetivo do estudo foi avaliar as variações temporais e espaciais de carbono dissolvido total (CDT = COD + CID, carbono inorgânico dissolvido) e nitrogênio dissolvido total (NDT) em solução do solo em diferentes usos de terra.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisadas e monitoradas entre março de 2014 e abril de 2015, soluções de solo em duas microbacias pareadas. Foram instalados 96 lisímetros em seis agrossistemas: queima, vegetação ripária, trituração, pastagem, capoeira >2 anos e sistemas agroflorestais com seringueiras e árvores frutíferas, nas microbacias Cumaru e São João –localiza-se no Município de Igarapé – Açú. Essa região enquadra-se no tipo Am da classificação de Koppen, quente e úmido com precipitação pluviométrica em torno de 2.500 mm durante o ano, com período mais seco entre agosto e dezembro e temperatura entre 26 °C a 28 °C. A umidade relativa do ar de média anual de 84% (Laboratório de Meteorologia – Embrapa Amazônia Oriental). Em cada agrossistema, oito lisímetros foram instalados, quatro para análise de cátions e ânions e quatro para análises de carbono distribuídos em profundidades de 30 e 60 cm. Na Figura 1, mostra-se a disposição dos pontos de coleta nas microbacias em diferentes coberturas do solo. A coleta foi realizada mensalmente e os frascos de coleta eram trocados com os preservantes, 10 mg de timol para cátions e ânions e 6 mL ácido fosfórico 10% para preservação do carbono nas amostras.

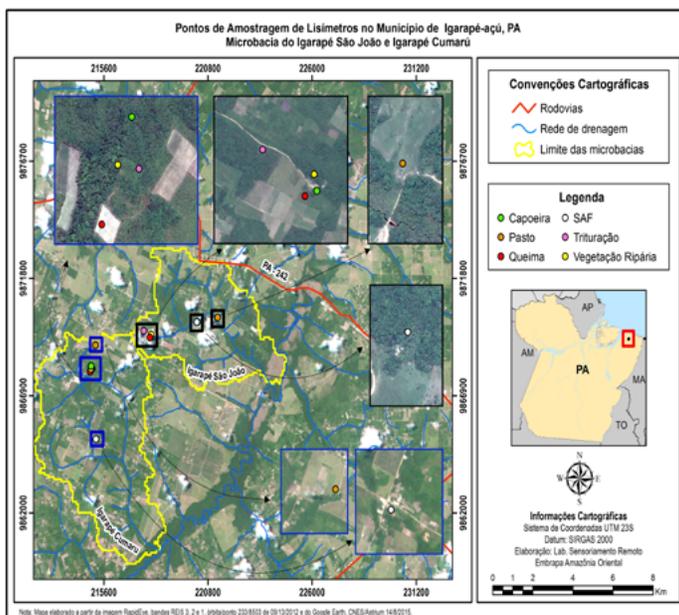


Figura 1. Microbacias Cumaru e São João e a localização dos pontos onde lisímetros foram alocados nos sistemas agrícolas.

As amostras foram filtradas com filtro de vidro 0,45 μm para amostras de carbono, nitrogênio e com membrana acetato de celulose 0,45 μm para análises de macro e micronutrientes e, em seguidas, armazenadas à 4 °C até análise prévia no analisador de carbono TOC-VCSN por forno de combustão e cromatógrafo iônico Dionex 120, respectivamente. Das amostras preservadas com timol, retirou-se uma alíquota para análise de carbono inorgânico dissolvido. As principais propriedades de solo nas camadas superficiais 30 cm e 6 cm no Cumaru foram respectivamente: pH=4,6; matéria orgânica (M.O)=4,4 g kg; Al=0,8 cmolc kg⁻¹ e pH =5,0; matéria orgânica (M.O) =4,89 g kg; Al =0,9 cmolc kg⁻¹. E na microbacia de São João, 30 cm e 60 cm foram: pH = 5,2; matéria orgânica (M.O)=4,87 g kg; Al=0,6 cmolc kg⁻¹ e pH=5,2; matéria orgânica (M.O)=3,18 g kg; Al=0,6 cmolc kg⁻¹. O software estatístico Minitab 17 foi utilizado para os testes de correlação de Pearson entre as propriedades químicas do solo e as concentrações de carbono dissolvido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Altos valores de COD+CID entre os sistemas foram observados principalmente nas áreas de queima do Cumaru 30 cm ($18 \text{ mg L}^{-1} \pm 2,15$) e pastagem 60 cm ($11,77 \text{ mg L}^{-1} \pm 1,05$) e, de SJ, queima 30 cm ($48,27 \text{ mg L}^{-1} \pm 27,8$) e pastagem 30 cm ($35,17 \text{ mg L}^{-1} \pm 17,8$), em que solos se encontram mais expostos e com erosão. Os valores de N são baixos variando de $0,61 \text{ mg L}^{-1}$ a $8,14 \text{ mg L}^{-1}$ no Cumaru e $0,81 \text{ mg L}^{-1}$ a $1,75 \text{ mg L}^{-1}$ no SJ (Figura 2).

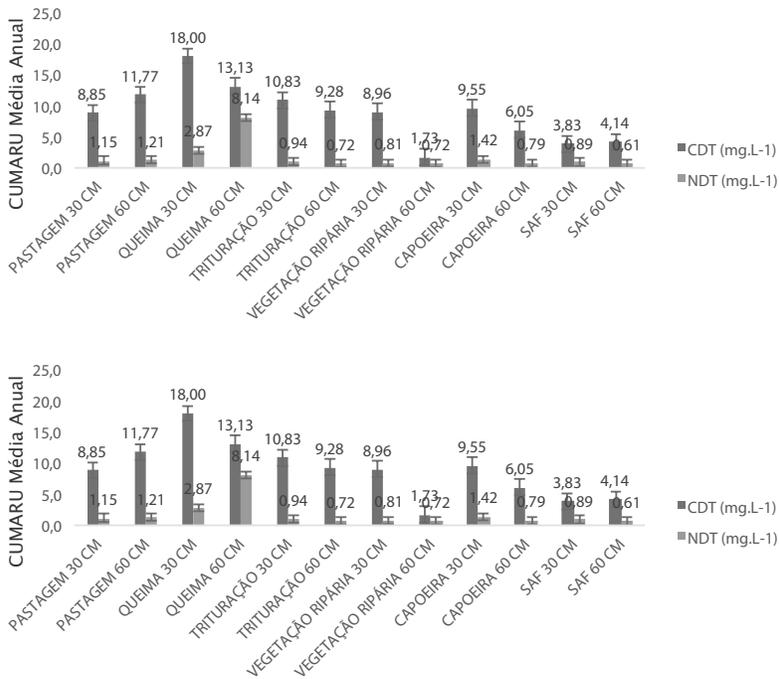


Figura 2. Médias anuais de carbono dissolvido total e nitrogênio dissolvido total em seis agrossistemas nas microbacias de Igarapé-açu e de São João.

Os SAFs retêm mais nutrientes uma vez que não houve grandes variações entre os meses de maior (abril) e menor precipitação (novembro). Oliveira et al. (2012) observaram valores maiores de C para SAF (4 mg L^{-1} a

24,8 mg L⁻¹) em solos argilosos. As áreas de vegetação fechada próximas aos igarapés propiciam alto valor de C e N devido a presença de folhas no solo, alta umidade do solo e atividade microbiana. Os nutrientes menos disponíveis em solução de solo ficam mais retidos no solo devido a presença de óxidos e hidróxidos de Fe e Al e promovem o fenômeno de adsorção da matéria orgânica dissolvida (FUJII et al., 2011). É notado maior disponibilidade de nutrientes em solução do solo no SJ, com teor de Al e MO mais baixos. M.O (0,924) e Al (0,545) se mostraram altamente correlacionados com pH ($p < 0,05$), indicando provavelmente aos fenômenos de complexação dos metais à matéria orgânica. Não foi observado grandes variações de CDT e NDT entre as profundidades, exceto em áreas de queima e pasto. Na tabela 1 é observado maiores teores de nutrientes em solução do solo em mg ha⁻¹ na microbacia de São João, onde observamos queimas e pastos nas áreas. CDT/NDT se sobressai em áreas queimadas ou em áreas com solo coberto por biomassa como na trituração e vegetação ripária.

Tabela 1. Concentrações em mg ha⁻¹ e a razão entre carbono e nitrogênio em diferentes agrossistemas.

Microbacia	Uso de terra	CDT (mg ha ⁻¹) ⁽¹⁾	NDT (mg ha ⁻¹) ⁽²⁾	CDT/NDT
Cumarú	Pastagem 30 cm	3,71	0,48	7,72
	Pastagem 60 cm	4,93	0,51	9,73
	Queima 30 cm	7,77	1,24	6,26
	Queima 60 cm	5,67	3,52	1,61
	Trituração 30 cm	3,39	0,29	11,54
	Trituração 60 cm	2,91	0,22	12,96
	Vegetação ripária 30 cm	4,35	0,39	11,09
	Vegetação ripária 60 cm	0,84	0,35	2,42
	Capoeira 30 cm	4,38	0,65	6,74
	Capoeira 60 cm	2,77	0,36	7,69
	SAF 30 cm	2,16	0,50	4,28
	SAF 60 cm	2,34	0,34	6,78

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Microbacia	Uso de terra	CDT (mg ha ⁻¹) ⁽¹⁾	NDT (mg ha ⁻¹) ⁽²⁾	CDT/NDT
SJ	Pastagem 30 cm	17,85	0,83	21,48
	Pastagem 60 cm	7,22	0,56	12,89
	Queima 30 cm	19,54	0,38	50,91
	Queima 60 cm	8,51	0,58	14,58
	Trituração 30 cm	2,74	0,57	4,84
	Trituração 60 cm	3,83	0,42	9,05
	Vegetação ripária 30 cm	8,42	0,89	9,51
	Vegetação ripária 60 cm	9,13	0,70	13,10
	Capoeira 30 cm	8,77	0,65	13,53
	Capoeira 60 cm	5,21	0,44	11,87
	SAF 30 CM	3,72	0,52	7,09
	SAF 60 CM	3,52	0,60	5,92

Valores médios anuais e erro padrão em 12 meses (de março de 2014 a abril de 2015).

⁽¹⁾ (0,20-20)

⁽²⁾ (0,03-0,2)

CONCLUSÕES

A liberação de C e N do solo é mais alta em áreas com solo desprotegidos e em áreas queimadas. As capoeiras usadas em sistemas rotacionados favorecem o acúmulo de nutrientes, C e N com razão CDT:NDT significativa, assim como a vegetação ripária nas microbacias. A microbacia de São João apresentou quantidades substanciais de C e N em mg.ha⁻¹ em solução do solo, com a frequente presença de queimadas e pastagens. No SAF é sugerido que o C e o N estejam mais retidos no solo que em outros sistemas. Futuros estudos mais acurados são necessários para investigar a degradabilidade destes compostos e seus mecanismos.

REFERÊNCIAS

FUJII, K.; HARTONO, A.; FUNAKWA, S.; UEMURA, M.; KOSAKI, T. Fluxes of dissolved organic carbon in three tropical secondary forests developed on serpentine and mudstone. **Geoderma**, v. 163, p. 119-126, 2011.

OLIVEIRA, M. J. D.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; FERREIRA, S. J. F. Variações de carbono orgânico dissolvido e atributos físicos do solo sob diferentes sistemas de uso de terra na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, p. 611-622, 2012.

UTILIZAÇÃO DOS MODELOS AGES-W E SWAT PARA QUANTIFICAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO RIBEIRÃO DAS POSSES, EXTREMA, MG

PATRÍCIA PORTA NOVA DA CRUZ;
RICARDO DE OLIVEIRA FIGUEIREDO; TIMOTHY R. GREEN

RESUMO

O sudeste do Brasil atravessou um período de seca que afetou a gestão da qualidade e quantidade da água de bacias hidrográficas tanto para as demandas agrícolas como para as urbanas. Neste contexto, ferramentas de modelagem agro-hidrológicas podem gerar informações da resposta hídrica ao longo do tempo frente às mudanças climáticas e de uso da terra. Uma bacia de drenagem de 12 km², que tem sofrido com atividades antrópicas é a microbacia do Ribeirão das PosSES, localizada no extremo sul do Estado de Minas Gerais, cujas áreas de nascentes contribuem para o Rio Jaguari e para o Sistema Cantareira, principal reservatório no estado de São Paulo. Atualmente, o Projeto Conservador das Águas recuperou pequenas áreas com vegetação de espécies nativas, especialmente onde há nascentes e no topo das colinas e nas margens dos cursos d'água, a fim de beneficiar os seus estoques e fluxos hídricos. Dessa maneira, o objetivo do presente trabalho é avaliar a quantidade de água na Bacia do Ribeirão das PosSES utilizando dados já disponíveis, e em seguida, simular essas respostas no espaço e no tempo para testar os modelos AgroEcoSystem-Watershed (AgES-W) e Soil and Water Assessment Tool (SWAT).

Termos para indexação: modelos hidrológicos, uso da terra, quantidade de água.

THE USE OF AGES-W AND SWAT MODELS FOR WATER QUANTIFICATION IN RIBEIRÃO POSSES WATERSHED, MINAS GERAIS

ABSTRACT

Southeastern Brazil is under a period of drought that has impacted the conservation of watersheds and the management of water quality and quantity for agricultural and urban demands. In this context agro-hydrological modeling tools can generate information of water response over time to climate and land use changes. A 12-km² watershed which has suffered from anthropogenic activities is the Ribeirão das Posses watershed that is located in the extreme south of Minas Gerais State and is a headwater catchment of the Jaguarí river, one of the contributing rivers of the Cantareira Reservoir Complex in the state of São Paulo. Currently, the Water Conservation Project has planted some small areas with vegetation of native species, especially where there are springs and at the top of the hills and riparian zones, in order to improve water resources in this study basin. Therefore, the objective of the present work is to evaluate the quantity of water in the Ribeirão das Posses Basin using measured data, then simulate these responses in space and time to test the AgroEcoSystem-Watershed (AgES-W) and Soil and Water Assessment Tool (SWAT).

Index terms: watershed model, land use, water quantify.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e as mudanças climáticas em curso torna-se evidente a importância de quantificar-se a disponibilidade hídrica de uma determinada região, visando estabelecer estratégias de gestão e uso racional e sustentável dos recursos hídricos. Dessa forma, a realização de pesquisas visando à ampliação do conhecimento sobre o comportamento e a dinâmica dos hidrossistemas do nosso planeta precisa ser intensificada. E isto para não somente definir a real disponibilidade hídrica do sistema, mas também, conhecer de que forma alterações antropogênicas, como mudanças do uso e manejo do solo, desmatamento, entre outros, alteram o regime das bacias hidrográficas, bem como qual a sua influência na distribuição e na disponibilidade desses recursos hídricos (CRUZ, 2014).

Para aumentar a sua renda, o homem desmata regiões de floresta para transformar em áreas cultivadas agrícolas e de pastagem, modificando a cobertura vegetal desta região. Alguns pesquisadores, como Andreasian (2004), Bosch e Hewlett (1982), Brown et al. (2005) e Sahin e Hall (1996), concluíram que a redução da cobertura vegetal implica em aumento da produção de água (vazão média anual). Entretanto, tal impacto ocasiona a redução da evapotranspiração real, o aumento do escoamento superficial e a redução da recarga dos aquíferos subterrâneos (TUCCI, 2009), além de extinguir parte da fauna e flora desta região e prejudicar a qualidade da água. Não existe metodologia que permita o aumento da área agrícola sem a mudança na cobertura vegetal, e por isso, precisa-se buscar um equilíbrio entre o aumento da produtividade agrícola e a preservação de reservas e biomas. O objetivo desta pesquisa é quantificar a água disponível na bacia do Ribeirão das Posses através dos modelos AgES-W e SWAT.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO – BACIA DO RIBEIRÃO DAS POSSES

O Ribeirão das Posses (Figura 1) possui um gradiente de topografia acentuado com altitudes que variam de 1.144 m e 1.739 m (LIMA, 2013).

O clima na sub-bacia se caracteriza como mesotérmico de verões brandos e suaves, e estiagem no inverno (Cwb na classificação de Köppen). As temperaturas médias dos meses variam entre 25,6 °C para os meses mais quentes e 13,1 °C para os meses mais frios, havendo ocorrências de geadas anuais e precipitação média anual de 1.477 mm (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2008). Nessa sub-bacia, encontram-se várias nascentes que suprem o Jaguari, ao lado de outras nascentes localizadas nos municípios de Camanducaia, Extrema, Itapeva e Toledo.

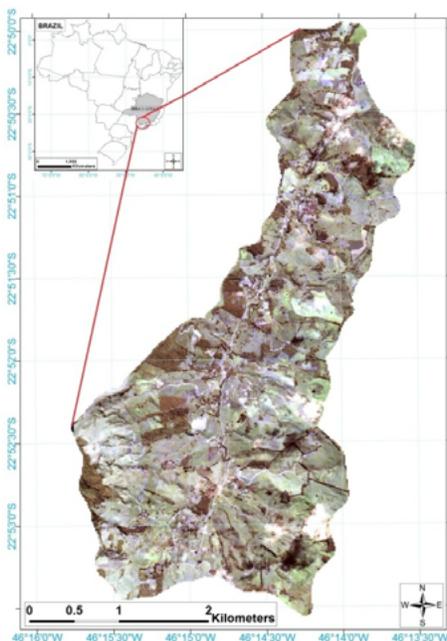


Figura 1. Localização da Bacia do Ribeirão das Posses.

DESCRIÇÃO DOS MODELOS AGES-W E SWAT

O modelo AgroEcoSystem-Watershed (AgES-W) foi desenvolvido no âmbito da plataforma "Modeling System Object" (OMS) (ASCOUGH et al., 2015) e suas componentes principais tiradas do modelo J2000 (KRAUSE et al., 2006) e J2000-SN (FINK et al., 2007). Foi aplicado primeiramente

nas regiões de cultivo do Colorado e Centro-Oeste americano e simula a transferência totalmente distribuída de água e de nitrogênio entre as áreas da bacia hidrográfica e o rio.

Já o modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT) foi inicialmente desenvolvido em 1996, pelo Agricultural Research Service (ARS) nos Estados Unidos da América e uma das principais características desse modelo matemático é permitir modelar diretamente diferentes processos físicos associados ao movimento de água, movimento de sedimentos, crescimento de culturas, ciclagem de nutrientes, transporte de nutrientes no canal principal da bacia entre outros (ARNOLD et al., 1998; NEITSCH et al., 2005), e também em diferentes escalas de bacias hidrográficas. Assim, como o modelo AgES-W, o SWAT não utiliza a vazão fluvial como dado de entrada. Os dois modelos simulam as vazões por meio dos dados climáticos e das características físicas da bacia.

DADOS DE ENTRADA PARA AMBOS OS MODELOS

Os dados de entrada utilizados para gerar as Unidades de Resposta Hidrológica – HRUs (dados de topografia, uso da terra e tipo de solo) nos modelos AgES-W e SWAT foram: dados de precipitações diárias das estações pluviométricas obtidos por meio do site da Agência Nacional de Águas; dados climáticos de umidade relativa do ar, radiação solar, temperatura e velocidade do vento obtidos através dos dados reanálise da NOAA; e dados geoespaciais.

Foram utilizados também, dados de vazão da foz do Ribeirão das Posses disponibilizados no site da Agência Nacional de Águas (ANA) da estação 62584600 no intuito de comparar os valores observados com os dados simulados pelos modelos AgES-W e SWAT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, mostram-se os valores de vazões observadas na ANA e os valores simulados pelo AgES-W e SWAT para a Bacia do Ribeirão das Posses nos anos de 2009 a 2014.

Tabela 1. Vazões anuais observadas e simuladas no AgES-W e no SWAT, respectivamente.

Ano	Vazão anual observada ANA (m ³ /s)	Vazão anual simulada AgES-W (m ³ /s)	Vazão anual simulada SWAT (m ³ /s)
2009	89,723	142,645	160,134
2010	79,12	113,120	134,255
2011	86,934	139,437	146,132
2012	81,455	76,624	130,841
2013	77,278	56,831	110,180
2014 ⁽¹⁾	13,455	21,825	53,759

⁽¹⁾ Até 31/7/2014

Os resultados encontrados dos valores de vazão pelos dois modelos diferem dos dados observados e não são consistentes, porém tratam-se de resultados ainda preliminares. É importante observar-se que os valores de vazão gerados pelo AgES-W e pelo SWAT apresentam a mesma oscilação que os valores observados ao longo do período estudado. Tal inconsistência deve-se ao fato de que os modelos ainda não foram devidamente calibrados, o que provavelmente evidencia a discrepância observada entre os valores observados e simulados.

CONCLUSÕES

Considerando os resultados aqui apresentados, conclui-se que, ainda que estes sejam preliminares, pode-se verificar que os modelos AgES-W e SWAT são ferramentas úteis para estimar a vazão na bacia estudada. Dessa maneira, acredita-se que os dois modelos podem auxiliar nas tomadas de decisões de gerenciamento dos recursos hídricos em questão, pois estes modelos são capazes de realizar simulações a partir de diferentes cenários relativos às mudanças climáticas e de uso da terra.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Programa produtor de água superintendência de usos múltiplos**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2008.

ANDRÉASSIAN, V. Water and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, v. 291, p. 1-27, 2004.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 3, p. 73-89, Feb. 1998.

ASCOUGH, J. C.; GREEN, T. R.; DAVID, O.; KIPKA, H.; MACMASTER, G. S. The spatially-distributed AgroEcoSystem-Watershed (AgES-W) hydrologic/water quality (H/WQ) model for assessment of conservation effects. **Annual Hydrology Days Conference Proceedings**, 2015.

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

BROWN, A. E.; ZHANG, L.; McMAHON, T. A.; WESTERN, A. W.; VERTESSY, R. A. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. **Journal of Hydrology**, v. 310, p. 28-61, 2005.

CRUZ, P. P. N. **Uso do Sensoriamento Remoto Radiométrico para a estimativa da largura do rio na bacia do Araguaia**. 2014. 75 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

FINK, M.; KRAUSE, P.; KRALISCH, S.; BENDE-MICHL, U.; FLÜGEL, W. A. Development and application of the modeling system J2000-SN for the EU-water framework directive. **Advances in Geosciences**, v. 11, p. 123-130, 2007.

KRAUSE, P.; BÄSE, F.; BENDE-MICHL, U.; FINK, M.; FLÜGEL, W.; PFENNIG, B. Multiscale investigations in a mesoscale catchment: Hydrological modeling in the Gera catchment. **Advances in Geosciences**, v. 9, p. 53-61, 2006.

LIMA, G. C. **Variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos e índice de qualidade dos solos da sub-bacia das Posses, Extrema (MG), sob diferentes agroecossistemas**. 2013. 140 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and water assessment tool**: theoretical documentation-version 2005. Temple: Blackland Research Center, 2005. 541 p.

SAHIN, V.; HALL, M. J. The effects of afforestation and deforestation on water yields. **Journal of Hydrology**, v. 178, p. 293-309, 1996.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

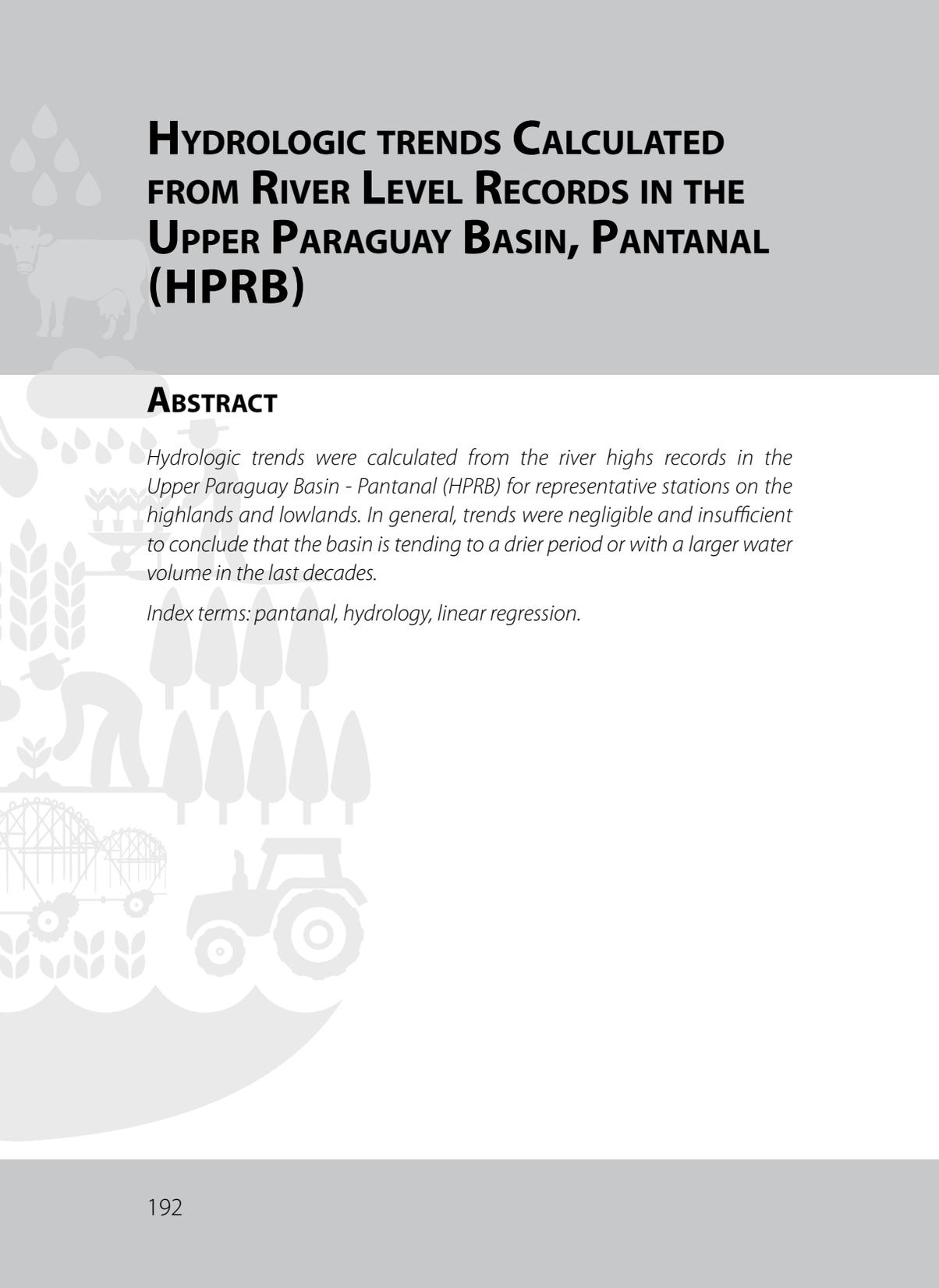
TENDÊNCIAS HIDROLÓGICAS A PARTIR DE REGISTROS DE NÍVEL DOS RIOS DA BACIA DO ALTO PARAGUAI, PANTANAL

CARLOS PADOVANI; VITOR GOMES; IGOR VIEIRA

RESUMO

Foram calculadas as tendências hidrológicas, a partir do nível dos rios da Bacia do Alto Paraguai – Pantanal (BAP), para estações representativas no planalto e planície. Em geral, as tendências foram pouco significativas e insuficientes para concluir que a bacia está tendendo para um período mais seco ou com maior volume de água nas últimas décadas.

Termos para indexação: pantanal, hidrologia, regressão linear.



HYDROLOGIC TRENDS CALCULATED FROM RIVER LEVEL RECORDS IN THE UPPER PARAGUAY BASIN, PANTANAL (HPRB)

ABSTRACT

Hydrologic trends were calculated from the river highs records in the Upper Paraguay Basin - Pantanal (HPRB) for representative stations on the highlands and lowlands. In general, trends were negligible and insufficient to conclude that the basin is tending to a drier period or with a larger water volume in the last decades.

Index terms: pantanal, hydrology, linear regression.

INTRODUÇÃO

A análise das tendências das variáveis hidrológicas e a busca de relações com a variabilidade climática natural ou mudanças climáticas induzidas por atividades humanas dentro e fora da Bacia do Alto Paraguai – Pantanal (BAP) são fundamentais para elaboração de políticas públicas em recursos hídricos. Foram calculadas as tendências hidrológicas, a partir dos registros de nível dos rios da Bacia do Alto Paraguai – Pantanal (BAP), para estações representativas no planalto e planície para verificar a hipótese de tendência da bacia na direção de um período mais seco ou com maior volume de água nos últimos 40 anos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas análises de tendência com o software Excel das séries temporais diárias de nível de 13 estações dos rios, para identificar tendências nas séries hidrológicas nas principais sub-bacias selecionadas no planalto e dentro da planície do Bioma Pantanal. Foram utilizados os valores máximos, médios e mínimos anuais calculados a partir de dados diários, cedidos gentilmente pelo Serviço Geológico Brasileiro. Não foram preenchidas as falhas nos dados. Optou-se apenas pela análise de nível ou cotas dos rios pelo seu caráter integrador do sistema e devido à grande carência de informações de vazões atualizadas e disponíveis, além de grandes períodos com falhas e pela pequena densidade de estações (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2004, 2013, 2016; BRASIL, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, mostram-se os valores do Coeficiente de determinação (R^2) e do Coeficiente de Correlação (r), com as respectivas equações de regressão linear, para as séries históricas de nível. As estações do planalto, Cáceres, Cuiabá e São Lourenço ao norte e nordeste e Miranda ao sudeste da bacia, apresentaram tendências negativas para os parâmetros de níveis mínimos, médios e máximos, com exceção do nível máximo de São Lourenço.

Tabela 1. Valores de "R²", "r" e equações de regressão linear simples para os parâmetros de nível mínimo, médio e máximo de estações limnimétricas dos rios da Bacia do Alto Paraguai – Pantanal, no planalto e planície. O período de análise foi de 40 anos (1974-2014) e foram incluídos os dados da estação de Ladário desde 1900. Os valores de "R²" e "r" em negrito são os valores superiores a 0,5.

Fisiografia	Estação	Parâmetro	R ²	r	Equação
Planalto	Cáceres	Mínimo	0,6752	0,8217	$y = -0,0092x + 474,09$
		Médio	0,6194	0,7870	$y = -0,0086x + 605,55$
		Máximo	0,0127	0,1127	$y = -0,0012x + 558,65$
	Cuiabá	Mínimo	0,5401	0,7349	$y = -0,0056x + 238,34$
		Médio	0,6506	0,8066	$y = -0,0114x + 576,47$
		Máximo	0,2925	0,5408	$y = -0,0181x + 1.318,9$
	São Lourenço	Mínimo	0,7293	0,8540	$y = -0,0051x + 242,34$
		Médio	0,5165	0,7187	$y = -0,0046x + 351,93$
		Máximo	0,0002	0,0141	$y = 0,0002x + 442,75$
	Coxim	Mínimo	0,858	0,9263	$y = 0,0111x - 106,18$
		Médio	0,8927	0,9448	$y = 0,009x + 11,199$
		Máximo	0,1577	0,3971	$y = 0,005x + 274,98$
	Aquidauana	Mínimo	0,4328	0,6579	$y = 0,0042x + 89,37$
		Médio	0,0137	0,1170	$y = 0,0013x + 309,37$
		Máximo	0,0387	0,1967	$y = 0,005x + 629,18$
	Miranda	Mínimo	0,0127	0,1127	$y = -0,0007x + 158,11$
		Médio	0,0255	0,1597	$y = -0,002x + 393,88$
		Máximo	4,00E-05	0,0063	$y = -6E-05x + 699,16$

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Fisiografia	Estação	Parâmetro	R ²	r	Equação
Pantanal	Porto Cercado	Mínimo	0,424	0,6512	$y = 0,0042x - 47,666$
		Médio	0,0236	0,1536	$y = -0,0009x + 304,11$
		Máximo	0,211	0,4593	$y = -0,0026x + 550,59$
	São Jerônimo	Mínimo	2,00E-06	0,0014	$y = -4E-06x + 208,39$
		Médio	0,1957	0,4424	$y = -0,002x + 355,93$
		Máximo	0,1832	0,4280	$y = -0,0047x + 608,35$
	Porto Zé Viana	Mínimo	1,00E-04	0,0100	$y = -5E-05x + 361,02$
		Médio	0,1361	0,3689	$y = -0,0016x + 543,46$
		Máximo	0,2477	0,4977	$y = -0,0026x + 686,59$
	Bela Vista do Norte	Mínimo	0,2837	0,5326	$y = -0,0039x + 441,21$
		Médio	0,3323	0,5765	$y = -0,0041x + 574,68$
		Máximo	0,1065	0,3263	$y = -0,0045x + 732,21$
	Ladário	Mínimo	0,4307	0,6563	$y = -0,0072x + 395,77$
		Médio	0,3056	0,5528	$y = -0,0079x + 601,77$
		Máximo	0,1916	0,4377	$y = -0,0091x + 816,48$
	Ladário desde 1900	Mínimo	0,0319	0,1786	$y = 0,0011x + 77,621$
		Médio	0,0228	0,1510	$y = 0,0013x + 245,2$
		Máximo	0,0266	0,1631	$y = 0,0019x + 386,52$
Porto Esperança	Mínimo	0,5304	0,7283	$y = -0,0105x + 463,87$	
	Médio	0,371	0,6091	$y = -0,0117x + 712,17$	
	Máximo	0,229	0,4785	$y = -0,0119x + 892,73$	
Forte Coimbra	Mínimo	0,5501	0,7417	$y = -0,0106x + 417,4$	
	Médio	0,3254	0,5704	$y = -0,0101x + 606,37$	
	Máximo	0,1794	0,4236	$y = -0,0083x + 690,28$	

As bacias do Norte e Nordeste são as que contribuem com o maior volume de água para o Pantanal, então os valores negativos de tendência podem indicar uma diminuição da quantidade de água disponível para inundações no Pantanal. As estações de Coxim e Aquidauana que estão à leste e sudeste, apresentaram tendência positiva para todos os parâmetros. Estas bacias influenciam as inundações do Pantanal sul e podem influenciar também os valores de nível da estação de Ladário pelo provável aumento no aporte lateral de água acima e abaixo dessa estação.

Para as estações do Pantanal, as tendências foram todas negativas, com exceção dos níveis mínimos em Porto Cercado. Observou-se valores altos de Coeficiente de Determinação (R^2), na ordem de 0,6752, 0,7293, e 0,8927 para as estações de Cáceres, São Lourenço e Coxim no planalto. Valores de Coeficiente de Correlação para as mesmas estações chegaram à ordem de 0,8217, 0,8540 e 0,9448, respectivamente. Os valores altos de (R^2) e (r) ocorreram geralmente para os níveis mínimos e médios. O mesmo pode ser observado para as estações de Bela Vista do Norte e Ladário de 1974 até 2014. Para Porto Esperança e Forte Coimbra, isso ocorreu apenas para o Coeficiente de correlação (r).

Os Coeficientes Angulares das linhas de tendências foram em geral baixos para todas as estações analisadas, no período de 1974 até 2014, provavelmente em função da grande variabilidade dos dados. O assoreamento dos rios em função do aumento dos processos erosivos no planalto devido ao mau uso da terra, nos últimos 40 anos, pode ter uma influência nas análises realizadas, mas ainda não está claro como se dá essa influência. Quando foi considerada toda a série de dados de nível de Ladário, de 1900 até 2014, os valores observados de todas as estatísticas (R^2), (r) e os Coeficientes Angulares foram muito baixos, revelando praticamente nenhuma tendência nos dados. Então, se houve tendências, positivas ou negativas, significativas nas estações analisadas, isso aparentemente ocorreu nos últimos 40 anos e não como uma tendência de longo prazo.

CONCLUSÕES

Embora tenham sido obtidos valores relativamente altos de (R^2) e (r) para estações de planalto no norte da bacia, as demais estações, principalmente no Pantanal, apresentaram valores relativamente baixos de (R^2) e (r).

Apesar de a maioria das linhas de tendência ter sido negativas, seus baixos coeficientes angulares, não permitem afirmar uma possível tendência de diminuição da condição hidrológica geral da bacia em direção a um período mais seco nas últimas décadas.

Faz-se necessário analisar também os valores de (p) pra verificar se os coeficientes de inclinação das retas foram significativos ou não. O teste de Mann-Kendall também será analisado.

Além disso, é importante considerar que as séries temporais de nível que foram analisadas, embora tenham sido selecionadas, apresentam muitas falhas de dados e alta variabilidade, o que agrega muita incerteza a essas estimativas.

Considerando a série histórica da estação de referência de Ladário desde 1900, que integra mais de 80% da rede de drenagem da bacia, seus baixos valores de (R^2), (r) e dos coeficientes angulares das linhas de tendência dos níveis mínimos, médios e máximos, corroboram a impossibilidade de se afirmar uma tendência em longo prazo para um período seco ou com maior volume de água nos últimos cem anos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **HidroWeb**: sistema de informações hidrológicas. [Brasília, DF], 2016. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 1 abr 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas de vulnerabilidade a inundações**. [Brasília, DF], 2013. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/>>. Acesso em: 18 ago 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Projeto implementação de práticas de gerenciamento integrado de Bacia Hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai ANA / GEF / PNUMA / OEA.** Brasília: TDA Desenho e Arte Ltda, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal; Secretaria de Coordenação dos Assuntos de Meio Ambiente; Programa Nacional do Meio Ambiente; Projeto Pantanal. **Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal)**: PCBAP. Brasília: PNMA, 1997. 12v. il.

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ATIVIDADE CANAVIEIRA IRRIGADA NOS MUNICÍPIOS DO SUDOESTE DE GOIÁS

RODRIGO PEÇANHA DEMONTE FERRAZ;
MARGARETH GONÇALVES SIMÕES

RESUMO

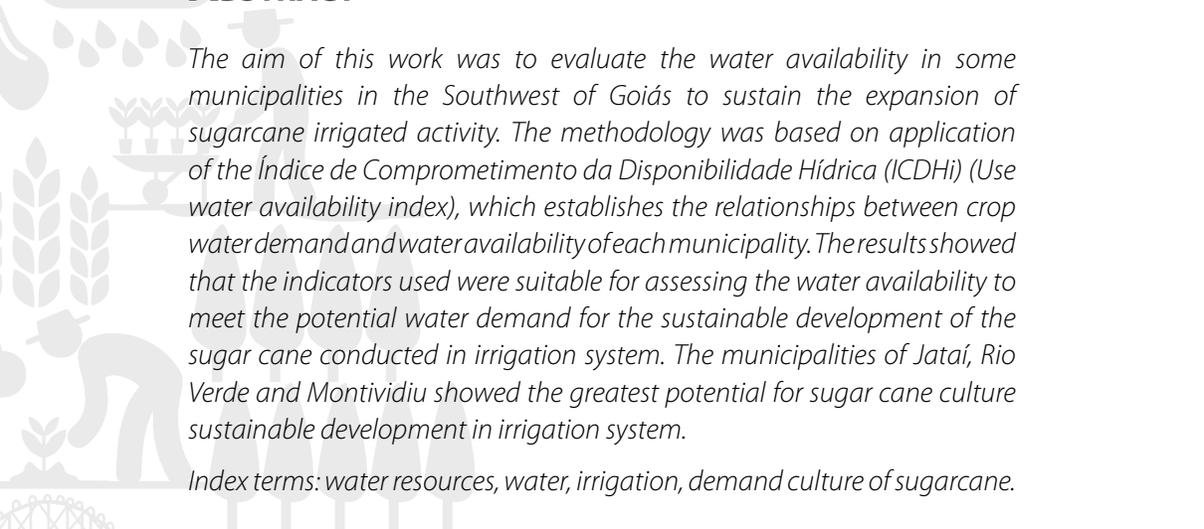
O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de disponibilidade hídrica de alguns municípios do Sudoeste de Goiás para sustentar a expansão da atividade canavieira irrigada. A metodologia baseou-se na aplicação do indicador Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica (ICDHi), que estabelece a relação entre a demanda hídrica da atividade canavieira e a oferta ou disponibilidade hídrica de cada município. Os resultados demonstraram que os indicadores utilizados foram adequados para a avaliar a disponibilidade hídrica para atender a demanda de água potencial para o desenvolvimento sustentável da atividade canavieira em sistema de irrigação. Os municípios de Jataí, Rio Verde e Montividiu apresentaram o maior potencial de desenvolvimento sustentável para a cultura canavieira em sistema de irrigação.

Termos para indexação: recursos hídricos, demanda hídrica, irrigação, cultura da cana-de-açúcar.



SUSTAINABLE WATER POTENTIAL EVALUATION OF IRRIGATED SUGARCANE ACTIVITY IN GOIÁS SOUTHWEST MUNICIPALITIES

ABSTRACT



The aim of this work was to evaluate the water availability in some municipalities in the Southwest of Goiás to sustain the expansion of sugarcane irrigated activity. The methodology was based on application of the Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica (ICDHi) (Use water availability index), which establishes the relationships between crop water demand and water availability of each municipality. The results showed that the indicators used were suitable for assessing the water availability to meet the potential water demand for the sustainable development of the sugar cane conducted in irrigation system. The municipalities of Jataí, Rio Verde and Montividiu showed the greatest potential for sugar cane culture sustainable development in irrigation system.

Index terms: water resources, water, irrigation, demand culture of sugarcane.



INTRODUÇÃO

Em grande parte da região do Cerrado brasileiro, em função da concentração da precipitação e da redução acentuada dos índices pluviométricos na estação seca, para a expansão sustentável do cultivo da cana-de-açúcar, haverá a necessidade de irrigação suplementar ou plena (SILVA et al., 2008). Assim, considerando a expansão da atividade canavieira sobre áreas do Cerrado Brasileiro, a demanda hídrica potencial e as limitações da oferta hídrica pluvial, o risco de sobre-exploração dos recursos hídricos e o acirramento dos conflitos pelo uso da água na referida região se tornam iminentes. A prática da irrigação suplementar pode constituir uma alternativa técnica e economicamente viável para o desenvolvimento da cultura canavieira nessas condições. No entanto, se faz necessário avaliar a disponibilidade hídrica para atender a demanda crescente de água que será requerida para sustentar a atividade canavieira em expansão, antevendo a pressão e os impactos sobre os recursos hídricos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de disponibilidade hídrica dos municípios da região do Sudoeste de Goiás para sustentar a hipotética expansão da atividade canavieira irrigada ou em sequeiro.

METODOLOGIA

A metodologia baseou-se na aplicação do indicador Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica (ICDHi), que estabelece relações entre a demanda hídrica projetada e a oferta ou disponibilidade hídrica de cada município. A base teórica e as justificativas para a proposição dos indicadores utilizados, encontram-se descritas, de modo completo, em Ferraz (2012). Na Tabela 1, apresentam-se os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas.

Tabela 1. Indicadores de favorabilidade edafoclimática e de comprometimento da disponibilidade hídrica.

Indicadores	Fórmulas
IAFC ⁽¹⁾ - Índice de Área Favorável para a Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação Compulsória	$IAFC^{(1)} = SIC^{(2)} / SUTA$
ICDH ⁽¹⁾ - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica	$ICDH^{(1)} = DeH^{(3)} / DiH^{(4)}$

⁽¹⁾ SUTA = Área Total da Unidade Territorial de Análise (ha); ⁽²⁾ SIC = Área de Irrigação Compulsória para a Cultura Canavieira (ha);

⁽³⁾ DeH - Demanda hídrica da atividade canavieira; ⁽⁴⁾ DiH - Disponibilidade hídrica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os indicadores IAFCI e ICDHI indicam a ocorrência de áreas favoráveis à atividade canavieira e o potencial hídrico regional. De forma que, quanto maior for a extensão relativa das áreas favoráveis à cultura canavieira e menor for o comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda posta, maior será o potencial de desenvolvimento sustentável para a atividade canavieira em regime de irrigação compulsória na unidade analisada. Assim sendo, conforme os requisitos e propósitos do procedimento analítico pode ser criada e aplicada qualquer regra de seleção para ranquear as unidades territoriais de análise (UTAs) de acordo com o potencial de desenvolvimento sustentável. Para efeito deste trabalho, por exemplo, as seguintes condições foram criadas para avaliar o potencial de desenvolvimento da atividade canavieira sob regime de irrigação suplementar para os municípios estudados: (a) considerar apenas os municípios com no máximo 30% de comprometimento da disponibilidade hídrica; (b) considerar apenas os municípios com no mínimo 20% de áreas favoráveis a cultura canavieira em sistema de irrigação suplementar.

Adotando-se esses critérios, na Tabela 2, apresenta-se a seleção dos municípios. Do conjunto de 61, foram selecionados 27 municípios (em ordem crescente na Tabela 2) que apresentaram maior potencialidade para o desenvolvimento sustentável da atividade canavieira em sistema de irrigação suplementar, em sentido estrito do atendimento da de-

manda hídrica estimada, com a seguinte distribuição entre as microrregiões: (a) 12 municípios situados na microrregião do Sudoeste de Goiás; (b) 10 municípios situados na microrregião de Meia Ponte; (d) 3 municípios situados na microrregião de Quirinópolis; (e) 2 municípios situados na microrregião do Vale do Rio dos Bois.

A suposição feita, com base nos critérios adotados, é a de que foi adotado um limite, considerado aceitável, para o comprometimento dos recursos hídricos. Ou seja, todos os municípios que apresentaram até no máximo 30% de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender à demanda potencial foram considerados em situação equivalente, sendo ranqueados pelos percentuais de área favorável para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de irrigação compulsória. Desta maneira, pode-se observar que, em ordem crescente, os três municípios de maior potencial de desenvolvimento sustentável para a cultura canavieira em sistema de irrigação são: (a) Jataí (ICDHI=0,25; IAFCI=0,66); (b) Rio Verde (ICDHI =0,29; IAFCI =0,72); (c) Montividiu (ICDHI =0,30; IAFCI =0,77). Não por acaso, todos pertencentes a microrregião do Sudoeste de Goiás, que apresenta condições gerais mais favoráveis em relação a produção potencial de água. Em sentido oposto, nota-se que a microrregião Vale do Rio dos Bois, caracterizada como a de menor potencial hídrico, apresentou apenas dois municípios selecionados: Campestre de Goiás e Varjão.

Tabela 2. Seleção dos municípios com no mínimo 20% das suas áreas territoriais favoráveis a produção canavieira em sistema de irrigação suplementar e com comprometimento da disponibilidade hídrica até no máximo igual a 30%.

Microrregiões	UTA	Indicador		
	Município	IAFC _i ⁽¹⁾	IAFC _i ⁽²⁾	ICDH _i ⁽³⁾
Quirinópolis	Lagoa Santa	0,85	0,20	0,08
Meia Ponte	Buriti Alegre	0,20	0,20	0,12
Vale do Rio dos Bois	Varjão	0,21	0,21	0,14
Meia Ponte	Professor Jamil	0,24	0,24	0,11
Quirinópolis	Itajá	0,68	0,29	0,12

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Microrregiões	UTA	Indicador		
	Município	IAFC _i ⁽¹⁾	IAFC _i ⁽²⁾	ICDH _i ⁽³⁾
Meia Ponte	Marzagão	0,30	0,30	0,16
Sudoeste de Goiás	Mineiros	0,41	0,31	0,12
Vale do Rio dos Bois	Campestre de Goiás	0,32	0,32	0,24
Sudoeste de Goiás	Caipônia	0,34	0,34	0,13
Meia Ponte	Cromínia	0,35	0,35	0,17
Meia Ponte	Água Limpa	0,36	0,36	0,20
Meia Ponte	Aloândia	0,39	0,39	0,21
Quirinópolis	Itarumã	0,68	0,43	0,18
Sudoeste de Goiás	Doverlândia	0,43	0,43	0,17
Meia Ponte	Rio Quente	0,43	0,43	0,24
Meia Ponte	Pontalina	0,44	0,44	0,28
Meia Ponte	Mairipotaba	0,45	0,45	0,26
Sudoeste de Goiás	Portelândia	0,47	0,47	0,19
Meia Ponte	Morrinhos	0,51	0,51	0,27
Sudoeste de Goiás	Santa Rita do Araguaia	0,51	0,51	0,18
Sudoeste de Goiás	Palestina de Goiás	0,51	0,51	0,20
Meia Ponte	Caldas Novas	0,52	0,52	0,27
Sudoeste de Goiás	Santo Antônio da Barra	0,65	0,65	0,29
Sudoeste de Goiás	Perolândia	0,66	0,66	0,28
Sudoeste de Goiás	Jataí	0,66	0,62	0,25
Sudoeste de Goiás	Rio Verde	0,72	0,72	0,29
Sudoeste de Goiás	Montividiu	0,77	0,77	0,30

⁽¹⁾ IAFC_i - índice de Área Total Favorável à Cultura Canaveieira; ⁽²⁾ IAFC_i - índice de Área Favorável à Cultura Canaveieira em Sistema de Irrigação Compulsória; ⁽³⁾ ICDH_i - índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canaveieira em Sistema de Irrigação.

CONCLUSÃO

Os municípios de Jataí, Rio Verde e Montividiu apresentaram o maior potencial de desenvolvimento sustentável para a cultura canaveieira em sistema de irrigação. Os indicadores utilizados demonstraram ser adequados para avaliar a disponibilidade hídrica para atender a demanda de água potencial para o desenvolvimento sustentável da atividade canaveieira em sistema de irrigação.

AGRADECIMENTOS

Devemos agradecimentos as seguintes instituições que propiciaram os meios e os recursos para a realização do presente trabalho: Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente (PPG-MA) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro; Laboratório Costel/Universidade Rennes 2 França; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

REFERÊNCIAS

FERRAZ, R. P. D. **Sistema de indicadores para a avaliação da sustentabilidade hídrica da expansão canavieira**: contribuição metodológica para o planejamento e gestão. 2012. Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, Rio de Janeiro, 2012.

SILVA, F. A. M. da; MÜLLER A. G.; LIMA J. E. F. W.; SILVA E. M. da; MARIN F.; LOPES T. S. de S. Avaliação da oferta e demanda hídrica para o cultivo da cana-de-açúcar no Estado de Goiás. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS TROPICAIS, 2.; SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9., 2008, Brasília, DF. **Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

DESTREZA DO MODELO ETA-HADGEM-ES PARA A BACIA DO RIO JAGUARIBE: PROJEÇÕES DE CHUVA

**ALINE DE HOLADA NUNES MAIA; RUBENS SONSOL GONDIM;
ARTHUR MARQUES**

RESUMO

Projeções de modelos climáticos regionalizados constituem informação-chave para estudos de impacto de mudanças do clima sobre recursos hídricos em escala de bacia hidrográfica. Essas projeções apresentam vieses importantes que requerem uma avaliação criteriosa numa etapa de pré-processamento, anterior ao seu uso em estudos de avaliação de impacto. Assim, os vieses correspondem a desvios entre projeções retrospectivas da variável de interesse e respectivos valores da base de dados, obtidos por interpolação de dados observados. O conhecimento do padrão espacial dos vieses permite avaliar a destreza do modelo, investigar fatores explicativos dos padrões e contribuir para escolha de métodos de correção. Neste trabalho, avaliou-se a destreza do modelo Eta-HadGEM-ES em relação às projeções médias mensais de chuva (1961-1990) na estação chuvosa (fevereiro a maio) para uma sub-bacia do Rio Jaguaribe, Ceará. As médias observadas variaram de 96 mm a 233 mm, os vieses, de -121,8 mm a 161,1 mm, e os vieses relativos, de -78% a 121%. Em fevereiro, o padrão espacial de viés mostra duas pequenas áreas com vieses negativos de chuva nos extremos de uma faixa diagonal e positivos para as demais áreas. Nos meses de março a maio, toda a sub-região apresenta vieses negativos com valores absolutos mais elevados nos extremos Nordeste e Sudoeste. A correlação entre as médias observadas e projeções (cerca de 60%) em conjunto com os padrões espaciais revelam baixa destreza espacial. No entanto, o modelo reproduz bem o ciclo anual de chuva para a sub-bacia, com tendência de subestimação.

Termos para indexação: modelo regionalizado, mudanças climáticas, viés, estudos de impacto.

ETA-HADGEM-ES SKILL ACROSS THE JAGUARIBE RIVER BASIN: RAINFALL PROJECTIONS

ABSTRACT

Climate variable projections arising from regional climate models constitute key information for assessment of climate change impacts on water resources at river basin scale. Such projections generally present important bias, which require careful evaluation in a pre-processing step anterior to their use in impact assessments. In this context, bias correspond to the difference between model hindcasts and respective observed values. Information on bias spatial patterns allows for model skill assessment in the target basin, to investigate factors associated to bias spatial patterns and contribute to choice of bias correction methods whenever such procedure should be recommended. In this paper, we assess the skill of the EtaHadGEM-ES model regarding rainfall monthly means (1961-1990) during the rainy season (Feb-May) in the Jaguaribe sub-basin, CE, Brazil. The observed (CRU) monthly rainfall ranged from 96 a 233mm, the bias from -121,8 a 161,1mm, and the relative bias from -78% to 121%. In February, the bias spatial patterns show small regions with negative bias in the extremes of a diagonal strip and positive values for the remaining area. In March to May period, the whole area shows negative bias with predominance of higher absolute values in the Northeast and Southwest extremes. Correlation between observed means and hindcasts (about 60%) and bias spatial patterns point out a poor spatial skill. However, the model reproduces adequately the rainfall annual cycle for the sub-basin.

Index terms: climate regional model, climate change, model bias, impact assessment.

INTRODUÇÃO

Projeções de variáveis climáticas tais como chuva e temperatura oriundas de modelos climáticos regionalizados são informações fundamentais para estudos de impacto de mudanças do clima sobre recursos hídricos em escala de bacia hidrográfica. Essas projeções, em geral, apresentam vieses importantes que requerem uma avaliação criteriosa numa etapa de pré-processamento, anterior ao seu uso nos estudos de avaliação dos impactos sobre variáveis-resposta de interesse tais como vazão, evapotranspiração ou demanda hídrica (EHRET et al., 2012). Nesse contexto, os vieses correspondem a desvios entre projeções retrospectivas da variável de interesse e respectivos valores observados, geralmente de bases globais de dados interpolados. Estatísticas descritivas dos vieses em conjunto com o estudo do seu padrão espacial permitem avaliar a destreza do modelo na bacia de interesse, investigar fatores explicativos dos padrões espaciais e assim contribuir para escolha de métodos de correção nas situações onde esse procedimento seria recomendável. Neste trabalho, avaliamos a destreza de modelo regionalizado EtaHadGEM2-ES com relação à chuva mensal, nos aspectos de coerência espacial e reprodução do ciclo anual.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde a uma sub-região na Bacia do Rio Jaguaribe, no semiárido cearense, situada entre 37,2° e 38,4° de longitude Oeste e 4,4° e 5,5° de latitude Sul, abrangendo os municípios de Alto Santo, São João do Jaguaribe, Tabuleiro do Norte, Limoeiro do Norte, Quixeré, Russas, Palhano, Jaguaruana e Itaiçaba. Foram utilizadas projeções retrospectivas de totais mensis de chuva (mm) do modelo climático regionalizado Eta-HadGEM2-ES obtido por *downscaling* dinâmico do modelo global HadGEM2-ES, desenvolvido pelo Hadley Centre, Inglaterra (COLLINS et al., 2011), com resolução de aproximadamente 1,9° em longitude e 1,3° em latitude. É um modelo do sistema terrestre, com esquema dinâmico de vegetação, com representação do ciclo do carbono. As projeções do modelo regionalizado Eta-HadGEM2-ES tem resolução de 0,2° x 0,2° (CHOU et al, 2014).

Os desvios (vieses) entre as médias mensais das projeções retrospectivas de chuva geradas pelo modelo Eta-HadGEM-ES, no período de fevereiro a maio e as respectivas médias provenientes da base de dados globais interpolados CRU (MITCHELL; JONES, 2005) foram calculados após compatibilização de escala. Os vieses relativos correspondentes esses desvios foram obtidos expressando os vieses absolutos como porcentagens das médias observadas (CRU).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Gráficos descritivos das relações entre projeções retrospectivas do modelo EtaHadGEM2-ES e valores observados de chuva indicam um uma razoável reprodução do ciclo anual (Figura 1), com tendência à subestimação das médias mensais e uma moderada coerência espacial (Figuras 2 e 3), representada por uma correlação de cerca de 60% entre as médias mensais considerando todos os pontos da sub-bacia numa malha de $0.2^\circ \times 0.2^\circ$, nos meses correspondentes à quadra chuvosa na região (fevereiro a maio).

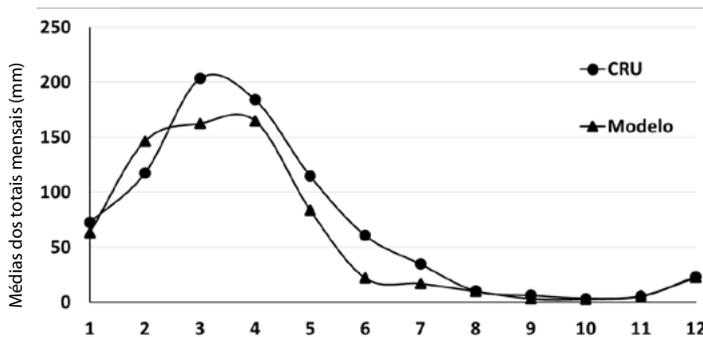


Figura 1. Ciclo anual de chuva na sub-bacia do Jaguaribe, CE, Brasil: relação entre as médias observadas (CRU, 1991-1990) dos totais mensais de chuva e correspondentes projeções retrospectivas do modelo HadGEM2-ES.

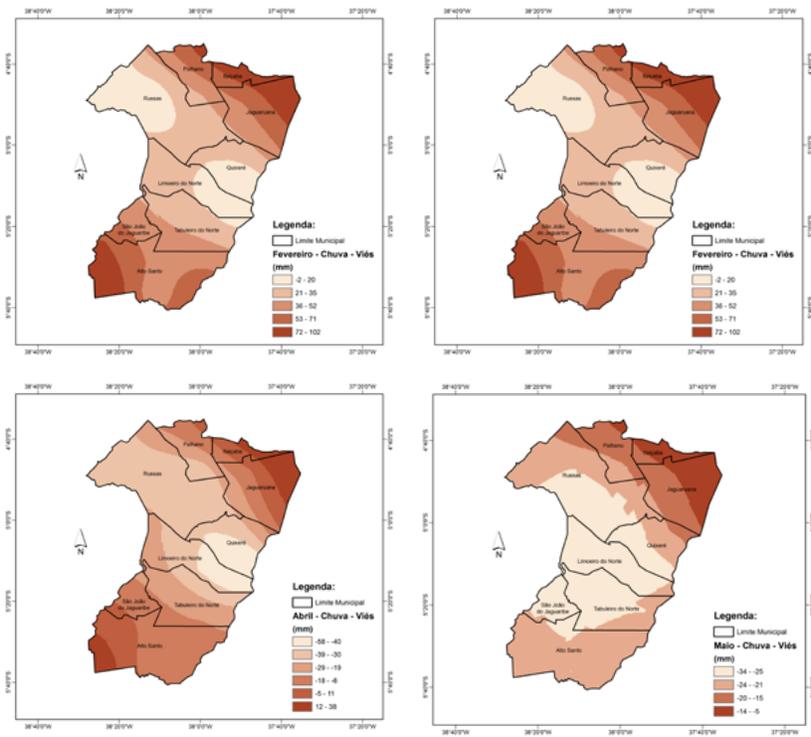


Figura 2. Padrões espaciais de viés para médias mensais de chuva (1991-1990) nos meses de fevereiro a maio na Bacia do médio Jaguaribe, CE, Brasil.

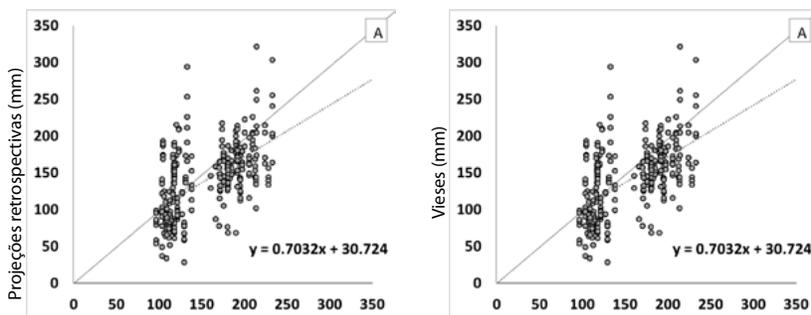


Figura 3. Relações entre: (A) médias observadas (CRU, 1991-1990) dos totais mensais de chuva e correspondentes projeções retrospectivas do modelo HadGEM2-ES e (B) médias observadas dos totais mensais de chuva e vieses correspondentes, nos meses de fevereiro a maio, numa sub-bacia do Rio Jaguaribe, CE, Brasil.

A relação estimada entre as médias mensais observadas (x , CRU) e projetadas (y), expressa pela relação $y=0,7032 + 30,724.x$ (Figura 3A) indica que o modelo subestima ($b=0,7032$; $b<0$) a chuva para a maioria dos pontos considerados (77 pixels x 4 meses). O gráfico de vieses confirma essa tendência e ilustra também a ausência de correlação entre a chuva observada e os respectivos vieses (Figura 3B).

Uma avaliação ideal de vieses do modelo deveria utilizar como padrão dados de estações meteorológicas locais. Na ausência de uma malha razoável de estações com séries temporais para o período de referência (1961-1990) na região de estudo, utilizam-se dados extraídos de séries globais interpoladas. No entanto, nem sempre existe uma correspondência entre os dados das estações e os dados interpolados, o que pode prejudicar a avaliação de destreza. A falta de séries históricas submetidas a um processo de avaliação da consistência dos dados para uso nesse tipo de avaliação dificulta a análise de destreza. Consequentemente, essa carência também prejudica uma adequada correção de viés das projeções das variáveis climáticas dos modelos a serem usadas como entrada em modelos de avaliação de impacto como os modelos hidrológicos ou modelos de produtividade de culturas.

CONCLUSÕES

O modelo regionalizado EtaHadGEM2-ES apresenta baixa destreza na reprodução dos padrões de distribuição espacial da chuva mensal na sub-bacia avaliada, com predominância de superestimação (vieses positivos) em fevereiro e ocorrência de subestimação da chuva (vieses negativos) em toda a área nos meses de março, abril e maio. Quando consideramos as médias mensais na sub-bacia, ignorando assim a distribuição espacial, o modelo reproduz adequadamente o ciclo anual da chuva.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Analista de Tecnologia da Informação Alan Massaru Nakai, do Laboratório de Modelagem Agroambiental da Embrapa Informática Agropecuária pela organização dos dados e ao estagiário da Embrapa Agroindústria Tropical, Arthur Abreu Alves Marques, graduando em Geografia pela UFC, pela confecção dos mapas.

REFERÊNCIAS

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSK, C.; PILOTTO, I; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-527, 2014.

COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNER, N.; HALLORAN, P.; HINTON, T.; HUGHES, J.; JONES, C. D.; JOSHI, M.; LIDDICOAT, S.; MARTIN, G.; O'CONNOR, F.; RAE, J.; SENIOR, C.; SITCH, S.; TOTTERDELL, I.; WILTSHIRE, A.; WOODWARD, S. Development and evaluation of an Earth-System Model - HadGEM2. **Geoscientific Model Development**, v. 4, p. 1051-1075, 2011.

EHRET, U.; ZEHE, E.; WULFMEYER, V.; WARRACH-SAGI, K.; LIEBERT, J. Should we apply bias correction to global and regional climate model data? **Hydrological Earth System Science**, v. 16, p. 3391-3404, 2012.

MITCHELL, T. D.; JONES, P. D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 6, p. 693-712, 2005.

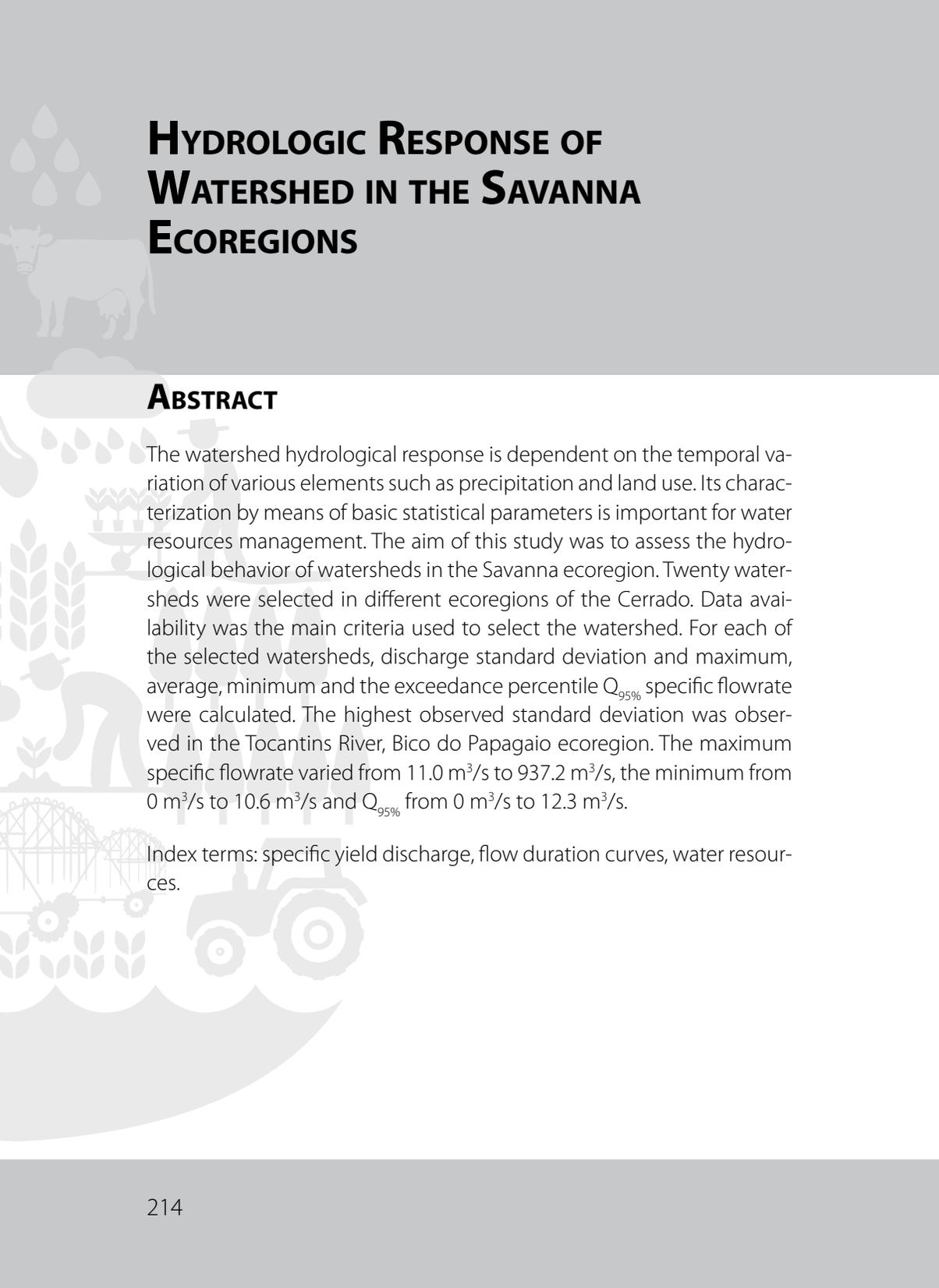
CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS EM ECORREGIÕES DO CERRADO

NÍCKOLAS C. SANTANA; LINEU NEIVA RODRIGUES

RESUMO

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é dependente das variações temporais de diversos elementos como a precipitação e uso do solo. A sua caracterização por meio de parâmetros estatísticos básicos é importante para a gestão e manejo dos recursos hídricos. O objetivo deste trabalho foi caracterizar o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas em ecorregiões do Cerrado. Para isto, vinte bacias hidrográficas, nas diferentes ecorregiões do Cerrado, foram selecionadas, utilizando-se, como critério principal, a quantidade de dados disponível. Para cada uma das bacias selecionadas foram calculados o desvio padrão das vazões e as vazões específicas média, máxima, mínima e de permanência ($Q_{-95\%}$). O maior desvio padrão foi observado no rio Tocantins, ecorregião Bico do Papagaio. As vazões específicas máximas variaram de 11,0 m³/s a 937,2 m³/s, as mínimas de 0 m³/s a 10,6 m³/s e a de permanência de 0 m³/s a 12,3 m³/s.

Termos para indexação: vazão específica, curva de permanência, recursos hídricos.



HYDROLOGIC RESPONSE OF WATERSHED IN THE SAVANNA ECOREGIONS

ABSTRACT

The watershed hydrological response is dependent on the temporal variation of various elements such as precipitation and land use. Its characterization by means of basic statistical parameters is important for water resources management. The aim of this study was to assess the hydrological behavior of watersheds in the Savanna ecoregion. Twenty watersheds were selected in different ecoregions of the Cerrado. Data availability was the main criteria used to select the watershed. For each of the selected watersheds, discharge standard deviation and maximum, average, minimum and the exceedance percentile $Q_{95\%}$ specific flowrate were calculated. The highest observed standard deviation was observed in the Tocantins River, Bico do Papagaio ecoregion. The maximum specific flowrate varied from $11.0 \text{ m}^3/\text{s}$ to $937.2 \text{ m}^3/\text{s}$, the minimum from $0 \text{ m}^3/\text{s}$ to $10.6 \text{ m}^3/\text{s}$ and $Q_{95\%}$ from $0 \text{ m}^3/\text{s}$ to $12.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Index terms: specific yield discharge, flow duration curves, water resources.

INTRODUÇÃO

O Cerrado está localizado essencialmente no Planalto Central, ocupando uma área que representa cerca de 23% do território brasileiro. O Cerrado se caracteriza pela ocorrência de invernos secos e verões chuvosos, com precipitação anual média variando de 750 mm a 2.000 mm (RIBEIRO; WALTER, 2008). A sazonalidade das chuvas, combinada com as alterações na cobertura vegetal e no uso do solo, impactam diretamente a disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas do Cerrado, influenciando e, em alguns casos, até impossibilitando a produção sustentável de alimentos. Naquelas regiões, em particular onde já se constata a ocorrência de conflitos pelo uso da água, é de grande importância a existência de um gerenciamento sustentável dos recursos hídricos e de políticas hídricas efetivas de modo a assegurar a produção de alimentos e minimizar a pobreza por meio de desenvolvimento econômico. As políticas públicas são mais efetivas quando são planejadas considerando-se áreas com características similares, como é o caso das ecorregiões. Estudo realizado por Arruda et al. (2008), para definição das ecorregiões do bioma Cerrado, indicou a existência de 22 ecorregiões, com área variando de 897 km², Serra do Cipó, a 377.902,04 km², Paraná Guimarães. O objetivo desse trabalho foi caracterizar, por meio de parâmetros estatísticos, o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, localizadas em vinte ecorregiões do Bioma Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

A caracterização do comportamento hidrológico foi realizada em vinte bacias hidrográficas localizadas em 20 ecorregiões distintas (Figura 1).

Para a realização do estudo, analisaram-se os dados consistidos de 202 estações fluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). Com base na análise diária dos dados disponíveis, foram utilizados três critérios para seleção da bacia hidrográfica (BH) em uma determinada ecorregião: (a) tamanho da série histórica; (b) número de falhas; e (c) inserção do curso de água na ecor-

região. Após a análise dos dados, àqueles inexistentes ou considerados inconsistentes foram atribuídas falhas. Na Figura 1, apresentam-se as bacias hidrográficas que foram selecionadas em cada uma das vinte ecorregiões. O tamanho das séries de vazões, utilizadas no estudo, variou de 13 anos (BH do Rio Jequitinhonha) a 76 anos (BH do rio verde), com média de 42 anos. O maior número de falhas observado foi de 13%. Os parâmetros estatísticos utilizados na caracterização do comportamento hidrológico foram o desvio padrão das vazões e as vazões específicas média, máxima, mínima e de permanência ($Q_{95\%}$). A vazão específica foi obtida pela divisão dos dados de vazão média diário pela área de drenagem da estação fluviométrica considerada.

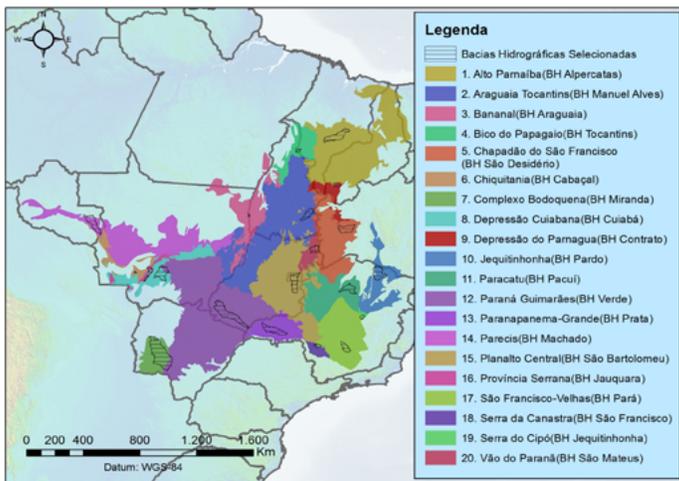


Figura 1. Localização das 20 ecorregiões utilizadas neste estudo e das respectivas bacias hidrográficas selecionadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, apresentam-se as vazões específicas média, máxima, mínima e de permanência ($Q_{95\%}$), para as bacias estudadas nas vinte ecorregiões do Bioma Cerrado. Observa-se, nessa figura, que a vazão máxima variou de $11,0 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^2$, na BH do Rio Alpercatas, ecorregião do alto Parnaíba, a $937,2 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^2$, na BH do Rio São Francisco, ecorregião da

Serra da Canastra. Vazões mínimas iguais a zero foram observadas nas bacias hidrográficas dos rios Contrato e Pardo, pertencentes às ecorregiões da Depressão do Parnaçuá e Jequitinhonha, respectivamente. A vazão mínima máxima observada foi de $10,6 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2$ e foi observada na Bacia do Rio Machado, ecorregião do Parecis.

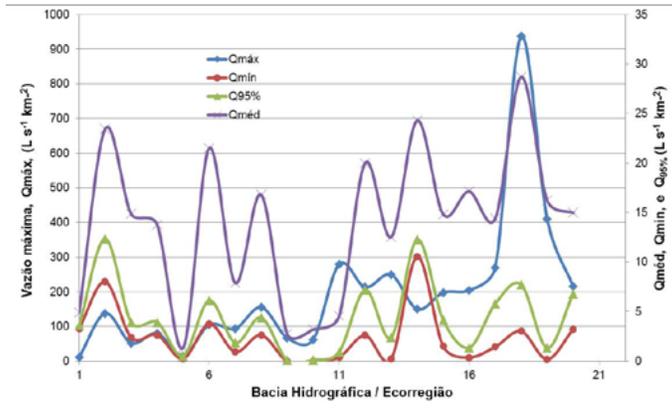


Figura 2. Vazões específicas média ($Q_{méd}$), máxima, mínima ($Q_{mín}$) e de permanência ($Q_{95\%}$) para as bacias estudadas nas 20 ecorregiões do Bioma Cerrado. Os números no eixo das abcissas fazem referência à bacia.

A vazão média caracteriza o potencial hídrico superficial de uma bacia, sendo a maior vazão que pode ser regularizada. A vazão média variou de $1,3 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^2$, na BH do rio São Desidério, ecorregião do Chapadão do São Francisco, a $28,7 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^2$, na BH do rio São Francisco, ecorregião da Serra da Canastra. A $Q_{95\%}$, também conhecida como vazão de referência, é utilizada por várias Agências de Águas, como a Agência Nacional de Águas, como critério de outorga. Esse parâmetro é obtido a partir da curva de permanência e indica a porcentagem de tempo em que a vazão é igualada ou superada, sobre todo o período histórico utilizado. Nas 20 ecorregiões avaliadas neste trabalho, a $Q_{95\%}$ variou de $0,08 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^2$, na BH do Rio Contrato, ecorregiões da Depressão do Parnaçuá, a $12,34 \text{ L s}^{-1} \text{ km}^2$, na Bacia do Rio Manuel Alvez, ecorregião do Araguaia Tocantins. A $Q_{95\%}$ indica a porcentagem do tempo em que um rio tem vazão suficiente para atender a uma determinada demanda: 95% do período. Nesse sentido, a BH do Rio Manuel Alvez tem muito

mais condições de atender as novas demandas do que a BH do Rio Contrato. É interessante também observar ecorregiões como a da Serra do Cipó, que apresenta elevados valores de vazão máxima e baixo valor de $Q_{95\%}$. Isso é característica de regiões montanhosas, com rios apresentando declividade elevada e bacias hidrográficas com resposta rápida a ocorrência de chuvas. Para contextualizar as variações observadas na caracterização do comportamento hidrológico, é importante considerar nas análises a dinâmica do uso da terra, principalmente nas regiões onde se verifica uma agricultura intensiva. Na Figura 3, apresentam-se a ecorregião do Planalto Central, que possui atividade agrícola intensiva, e a ecorregião Depressão Cuiabana, onde há baixa exploração agrícola. Bacias hidrográficas onde há ocorrência de agricultura intensiva, principalmente agricultura irrigada, estão mais sujeitas a baixa disponibilidade hídrica e ocorrência de conflitos pelo uso da água.

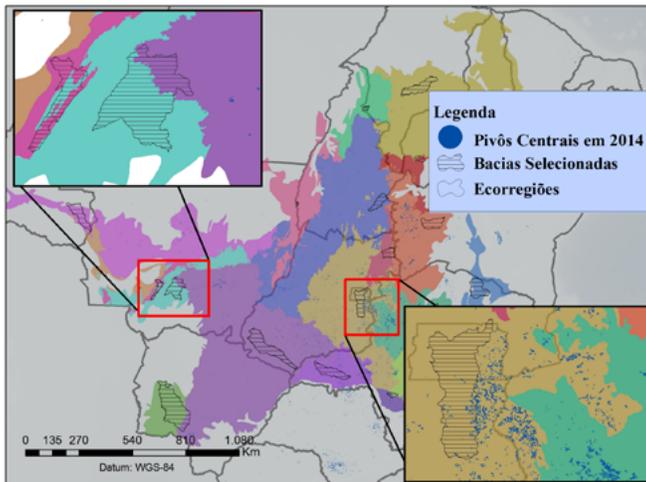


Figura 3. Ecorregião do Planalto Central (quadro à direita e abaixo) com agricultura intensiva e ecorregião Depressão Cuiabana com baixa exploração agrícola (quadro superior à esquerda).

CONCLUSÕES

As vazões específicas média, máxima, mínima e de permanência apresentaram grande variação na magnitude entre as bacias estudadas, nas vinte ecorregiões do Bioma Cerrado.

As bacias hidrográficas dos rios Jequitinhonha, Pardo e Contrato, nas ecorregiões da Serra do Cipó, Jequitinhonha e Depressão Parnaguá, respectivamente, foram as que apresentaram maiores vulnerabilidades em termos de atendimento de novas demandas.

É importante, entretanto, atentar que a caracterização hidrológica realizada nesse trabalho foi realizada a partir de estatísticas do passado observadas em estações de monitoramento, sendo necessário admitir a hipótese de estacionariedade.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, M. B.; PROENÇA, C. E. B.; RODRIGUES, S.; MARTINS, E. S.; MARTINS, R. C.; CAMPOS, R. N. Ecorregiões, unidades de conservação e representatividade ecológica do Bioma Cerrado. In: SANO, S.; ALMEIDA, S. P. (Org.). **Cerrado**: ambiente e flora. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2006. v. 1, p. 5-35.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Org.). **Cerrado**: ecologia e Flora. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1, p. 151-212.

HYDROLOGIC MODEL OF THE PARACATU RIVER BASIN: CALIBRATION AND VALIDATION

**MAREN WEHLING; LINEU NEIVA RODRIGUES;
JOS C. VAN DAM; ROEL DIJKSMA**

ABSTRACT

The Paracatu River Basin (PRB), with a drainage area of 45,600 km², is a tributary of the São Francisco River. The PRB is responsible for 24% of the flow of the São Francisco, with an average discharge between 200 and 1,000 m³/s. The PRB land use is mainly savanna, which has decreased significantly during the last 30 years. Currently it is necessary to understand the impact of climate and land use change on PRB water resources. The objective of this study was to develop, calibrate and validate a hydrologic simulation model for the PRB. The model was developed using the SWAT (Soil Water Assessment Tool) hydrological model. SWAT is a physically based model, of which the major components are: climate, hydrology, soil properties and land use. Discharge data from the last gauge station before the outlet of the PRB (Porto Alegre station) was used. Calibration was performed manually, using daily gauged discharge data for the years of 1984 and 1985. The calibration result showed that there is a good agreement (NSE=0.66) between the simulated and gauged daily flows. Validation results for the years 1986 and 1987 indicated that the model has strong predictive capability (NSE=0.65), showing that the model parameters represent the processes occurring in the watershed and may be used to predict watershed response.

Index terms: water resources, Nash Sutcliffe, SWAT

MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO PARACATU: CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

RESUMO

A Bacia do Rio Paracatu é um afluente do Rio São Francisco com uma área total de drenagem de 45.600 km². O Rio Paracatu é responsável por 24% da vazão do rio São Francisco, com uma descarga média variando entre 200 m³/s e 1.000 m³/s. O uso do solo nessa bacia é predominantemente Cerrado, cuja área diminuiu significativamente nos últimos 30 anos. Atualmente faz-se necessário entender melhor quais serão os impactos nos recursos hídricos advindos das mudanças climáticas e no uso da terra nessa bacia. Esse artigo objetivou preparar, calibrar e validar um modelo de simulação hidrológica para simulação das vazões do rio Paracatu. Para isto, utilizou-se o modelo hidrológico SWAT, que é um modelo físico e distribuído, sendo o clima, a hidrologia, as propriedades do solo e de uso da terra seus principais componentes. Os dados de vazão da estação de Porto Alegre, última estação de medição antes do exutório da bacia, foram utilizados no estudo. A calibração foi feita manualmente utilizando dados diários de vazão para os anos de 1984 e 1985. A validação foi realizada para os anos de 1986 e 1987. O resultado da calibração mostrou que existe uma boa aderência (NSE = 0,66) entre vazões simuladas e medidas. A validação, com NSE = 0,65, indicou que o modelo tem boa capacidade de previsão, indicando que os parâmetros do modelo representam os processos que ocorrem na bacia e pode ser usado para prever a resposta da bacia hidrográfica.

Termos para indexação: recursos hídricos, Nash Sutcliffe, SWAT.

INTRODUCTION

Brazil holds 12% of world's fresh water. Irrigated agriculture is, like in most of the countries, the largest water user with nearly 70% of Brazilians water use (BRAGA et al., 2009). If the irrigated areas will expand, this water demand can get even higher and lead to conflicts with other water users. The reduction of precipitation can lead to water shortages during summer and thereby affect crops. Therefore, it is important to get a good picture of available water resources and the impacts that climate and land use change will have on them. This is also of great importance for the Paracatu River Basin (PRB), since irrigated agriculture is an important activity and will increase in future. Furthermore some tributaries of the PRB are already in an alert situation, looking at the ratio between water demand and water availability (BRAGA et al., 2009). In some parts of the PRB conflicts about water use have already occurred, between different users of irrigation systems and also between them and other water users (BILIBIO et al., 2011). Therefore a determination of the current surface water availability of the PRB is necessary. The objective of this study was to develop, calibrate and validate a hydrologic simulation model for the PRB.

MATERIAL AND METHODS

STUDY AREA

The Paracatu River Basin (PRB) is located in the Medium São-Francisco region of Brazil. It drains areas from the states of Minas Geiras, Goias and Federal District with a total drainage area of 45,600 km². The Paracatu River Basin is the second largest sub-basin of the São-Francisco River Basin. It is one of the most important tributaries of the São-Francisco River, being responsible for 24% of the flow. Currently, the water conflicts in the PRB have the tendency to increase.

SOIL WATER ASSESSMENT TOOL – SWAT

SWAT (NEITSCH et al., 2011) was the model used in this study. It can be used for different scales. Furthermore different hydrological processes can be simulated within SWAT, as well as the impact of climate and land use changes and different land management strategies. Within

this research ArcSWAT was used, a graphical user interface of the SWAT model within ArcGIS. The major model components of SWAT are climate, hydrology, soil properties and land use.

CALIBRATION AND VALIDATION

To assess the performance of model calibration the Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), percent bias (PBIAS) and the RMSE-observations standard deviation ratio (RSR) goodness-of-fit statistics methods were used. According to Moriasi et al. (2007) a model can be called satisfactory if the $NSE > 0.5$, the $RSR < 0.7$ and the $PBIAS < 25\%$. The number of parameters SWAT needs as input is large, which makes the model parametrization and calibration more complicated. There are different approaches that can be used to calibrate SWAT model, like manual calibration methods, automated methods and SWAT-CUP which combines automated and manually calibration in one decision tool (ARNOLD et al., 2012). In this research, the model was calibrated manually, by using the “manual calibration helper” (WINCHELL et al., 2010) and the “SWAT Check” (WHITE et al., 2014). First all parameters inside the manual calibration were analyzed, based on their relevance for the research. Parameters regarding snow, water quality, etc. were left out in the calibration process. The remaining parameters and their definitions can be found in Table 1. The second step of the calibration process was a sensitivity analysis. Therefore, the sensitivity was tested with changing one parameter at the time. After changing each parameter once, it was analyzed which parameters had the biggest impact on the results. The third step was the calibration process itself. The calibration process consisted of several steps, which were repeated several times, until the result became acceptable. If the NSE became higher after the run, the new parameter value was adopted, if the result became worse, the parameter was set to the value it had before. SWAT was calibrated using historical streamflow data for 2 years (1984-1985). This period was chosen because for these years discharge data is available without gaps. The model was run for 8 year period of 1980-1987 but the first four years (1980-1983) were used for SWAT initialization and data for 1984-1985 was used for calibration purposes. Streamflow data of two years from 1986 to 1987 were used for validation. The three statistical model performance measures used in calibration procedure were also used to validate the model.

Table 1. Calibration parameters and their values before and after calibration.

Parameter	Description	Unit	Min and max parameter value suggested by Arnold et al.(2012)			Parameter value before (b) and after (a) calibration	
			Min.	Max.		b	a
SURLAG	Surface runoff lag time	days	1	24		4	4
ALPHA_BF	Baseflow alpha factor for deep aquifer	1/days	0	1		0.048	0.55
GW_DELAY	Groundwater delay	days	0	500		31	150
GW_REVAP	Groundwater "revap" coefficient	-	0.02	0.2		0.02	0.02
GWQMN	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur	mm	0	5000		1000	700
RCHRG_DP	Deep aquifer percolation fraction	mm	0	1		0.05	0.1
REVAPMN	Threshold dept of water in the shallow aquifer for "revap" to occur	-	0	1000		750	750
CANMX	Maximum canopy storage	-	0	100		0	0
EPCO	Plant uptake compensation factor	m/m	0.01	1		1	1
ESCO	Soil evaporation compensation factor	m	0.01	1		0.95	0.01
SLOPE	Average slope steepness	-	0	0.6		0.006-0.43	0.003-0.21
SLSUBBSN	Average slope length	m	10	150		9-121	9-121
CN2	SCS runoff curve number for moisture condition 2	-	35	98		60-92	45-69
CH_K2	Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium	mm/h	0	500		0	0
CH_N2	Manning's "n" value for the main channel	-	0.01	0.3		0.014	0.09
SOL_ALB	Moist soil albedo	-	0	0.25		0.08	0.08
SOL_AWC	Available water capacity of the soil layer	mm/mm	0	1		0.13-0.21	0.13-0.21
SOL_K	Saturated hydraulic conductivity	mm/h	0	2000		100-1686	50-843
SOL_Z	Surface runoff lag time	mm	0	3500		800	3460

RESULTS AND DISCUSSION

To calibrate the model nine parameters were changed. The initial values (before calibration) and the final values (after calibration) can be found in Table 1. The parameters indicated in grey were the one which have been changed. The most sensitive parameters within this research were GW_DELAY, GWQMN, RECHARGEDP and SLOPE.

SWAT was manually calibrated and simulated and observed daily streamflow at the Porto Alegre outlet were compared for the calibration (Figure 1A) and the validation (Figure 1B) periods. Minor discrepancies between the observed and simulated stream discharges can be observed. During the calibration period, the NSE on a daily scale was about 0.66, the PBIAS has a value of -26.19 and the RSR has a value of 0.58. Hence, according to the model evaluation guidelines proposed by Moriasi et al. (2007), SWAT fulfills two of the three criteria and simulation was satisfactory for the Paracatu River basin. For the validation run (Figure 1B), the value for the NSE is slightly lower than calibration, NSE = 0.65, the PBIAS = -29.04 and RSR = 0.59, both value slightly higher, but also here two of the three criteria are fulfilled. A range of NSE values has been reported in the literature. For example, Andrade et. al (2013) obtained values of 0.66 (calibration step) and 0.87 (validation step) for simulations of the watershed of the Ribeirão Jaguara River in Minas Gerais State. Simulation results indicate that SWAT represents well the discharge behavior, but overestimates the peak flow during heavy storm events in the Paracatu river basin.

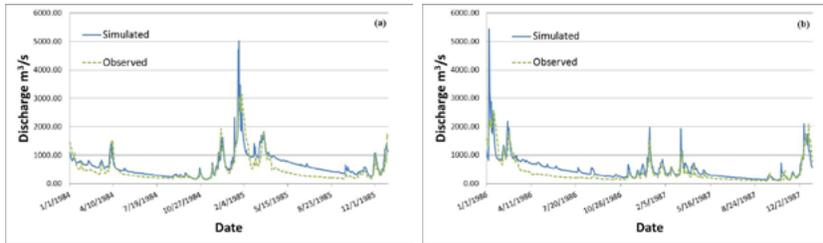


Figure 1. Observed and simulated daily streamflow at the Porto Alegre station watershed outlet during the calibration (a) and the validation (b) periods.

CONCLUSIONS

In the calibration procedure, the model provided a good fit between observed and simulated discharge data for the Paracatu river basin, with model performance evaluated as satisfactory.

The model performance for the validation run indicated that the set of parameters identified during the calibration process could satisfactorily represent the hydrological processes in the river basin.

This provides opportunities to evaluate the effect of changes in land use, climate and irrigation management on the Paracatu river discharge.

REFERENCES

- ANDRADE, M. A.; MELLO, C. R.; BESKOW, S. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 69-76, 2013.
- ARNOLD, J.; MORIASI, D.; GASSMANN, P. W. A. K.; WHITE, M.; SRINIVASAN, R.; SANTHI, C.; HARMEL, R.; VAN GRIENSVEN, A.; VAN LIEW, M.; KANNAN, N.; JHA, M. Swat: model use, calibration, and validation. **Transactions of the ASABE**, v. 55, n. 4, p. 1491-1508, 2012.
- BILIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J. (Org.). **Sustainable water management in the tropics and subtropics and case studies in Brazil**. v. 1. Jaguarão: Fundação Universidade Federal do Pampa; Unikassel: PGCUI: UFMA, 2011. 1358 p.

BRAGA, B. P. F.; FLECHA, R.; THOMAS, P.; CARDOSO, W.; COELHO, A. C. Integrated Water Resources Management in a Federative Country: the case of Brazil. **International Journal of Water Resources Development**, v. 25, n. 4, p. 611-628, 2009.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W. V.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and water assesment tool**: theortial documentation: version 2009. College Station: ATM, 2011.

WHITE, M.; HARMEL, R.; ARNOLD, J.; WILLIAMS, J. Swat check: a screening tool to assist users in the identification of potential model application problems. **Journal of Environmental Quality**, v. 43, n. 1, 2014.

WINCHELL, M.; SRINIVASAN, R.; DI LUZIO, M.; ARNOLD, J. **ArcSWAT Interface for SWAT 2009**: user's guide. Temple: Blackland Research Center, 2010.

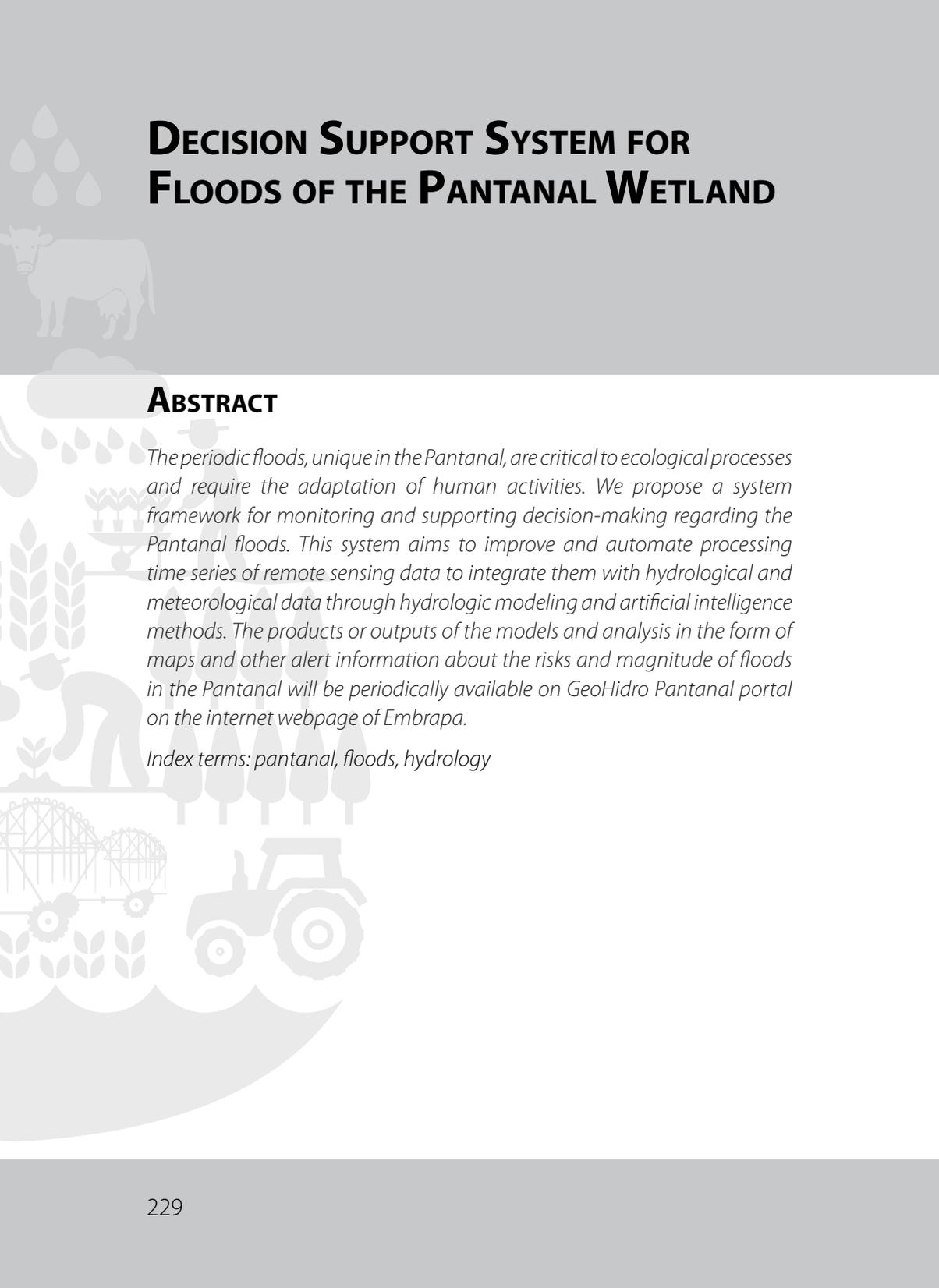
SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO FRENTE ÀS INUNDAÇÕES DO PANTANAL

**CARLOS ROBERTO PADOVANI; JÚLIO CÉSAR DALLA MORA
ESQUERDO; ALEX FERNANDO DE ARAÚJO; RENATO PORFIRIO
ISHII; EDSON TAKASHI MATSUBARA; RAFAEL MINGOTI**

RESUMO

As inundações periódicas, peculiares do Pantanal, são fundamentais para os processos ecológicos e requerem a adaptação das atividades humanas. Com esse trabalho procurou-se obter um “framework” (estrutura) de um sistema de monitoramento e suporte à tomada de decisão quanto às inundações do Pantanal, que visa aperfeiçoar e automatizar processamentos em séries temporais de dados de sensoriamento remoto e integrá-los com dados hidrológicos e meteorológicos por meio de modelagem hidrológica e métodos de inteligência artificial. Os produtos ou saídas dos modelos e análises, obtidos na forma de mapas e demais informações de alertas quanto aos riscos da magnitude das inundações no Pantanal serão periodicamente disponibilizados na página do GeoHidro-Pantanal, no Portal da Embrapa.

Termos para indexação: pantanal, inundação, hidrologia.



DECISION SUPPORT SYSTEM FOR FLOODS OF THE PANTANAL WETLAND

ABSTRACT

The periodic floods, unique in the Pantanal, are critical to ecological processes and require the adaptation of human activities. We propose a system framework for monitoring and supporting decision-making regarding the Pantanal floods. This system aims to improve and automate processing time series of remote sensing data to integrate them with hydrological and meteorological data through hydrologic modeling and artificial intelligence methods. The products or outputs of the models and analysis in the form of maps and other alert information about the risks and magnitude of floods in the Pantanal will be periodically available on GeoHidro Pantanal portal on the internet webpage of Embrapa.

Index terms: pantanal, floods, hydrology

INTRODUÇÃO

Modelos hidrológicos tradicionais, se considerados isoladamente, não servem como ferramentas para previsões e para dar todas as respostas necessárias para a tomada de decisão sobre as inundações do Pantanal. Além disso, estes simulam parcialmente a hidrologia do Pantanal (PADOVANI, 2010; PAZ, 2011). Métodos alternativos e auxiliares como o monitoramento das áreas inundáveis do Pantanal a partir de sensores remotos são um componente importante como dado de entrada em modelos hidrológicos adaptados a planícies de inundação, análises estatísticas e de inteligência artificial para fins de previsão e tomada de decisão. A produção de mapas das áreas inundadas do Pantanal a partir de séries temporais de imagens de satélite requer uma série de processamentos que são muito demorados e trabalhosos se realizados de forma “manual”, sem a automação de processos. O objetivo desse trabalho é apresentar a estrutura (“framework”) de um sistema de monitoramento e suporte à tomada de decisão quanto às inundações do Pantanal, com foco em métodos de processamento e automação dos processamentos das imagens de satélite para o monitoramento e produção de mapas de inundação do Pantanal que poderão ser integrados a modelos hidrológicos e técnicas de inteligência artificial para a tomada de decisão, além da disponibilização das informações via web.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema é composto de cinco etapas principais: filtragem; modelagem e índices; classificação e mapeamento; integração de dados, modelagem e previsão; e Comunicação. No processo de integração de dados, os dados hidrológicos e meteorológicos podem ser obtidos de fontes secundárias, porém os dados de áreas inundadas precisam ser gerados a partir de imagens de satélite. Para tanto, foram utilizadas as imagens do sensor MODIS, a bordo das plataformas Terra e Aqua, e seus produtos MOD 9 e MOD13 Q1 versão 5, com uma resolução espacial de 250 metros, resolução temporal de 16 dias e resolução espectral de quatro bandas de refletância (azul, vermelho, NIR e MIR). Como as passagens do MODIS nas plataformas Terra e Aqua são intercaladas, obtém-se imagens a cada oito dias da região do Pantanal. Ferramentas de filtragem de imagens no do-

mínio temporal e espacial foram utilizadas para eliminar, minimizar e modelar as séries temporais de imagens. Após o emprego das técnicas de filtragem foram isolados os índices de vegetação (NDVI e EVI), e calculado o índice de água (NDWI). As bandas de reflexão de comprimento de onda da faixa do azul, vermelho, infravermelho próximo (NIR) e infravermelho médio (MIR) foram utilizadas para a modelagem de mistura espectral (SHIMABUKURO, 1991). Todas essas variáveis foram analisadas conjuntamente para a classificação das imagens e extração das áreas inundadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, mostram-se a estrutura do sistema com os fluxos de processamentos das imagens MODIS para a geração de mapas das áreas inundadas do Pantanal, sua integração com modelos hidrológicos e as técnicas de inteligência artificial para gerar informações sobre alertas de risco às inundações, que são disponibilizadas via internet.

FILTRAGEM

As imagens apresentam ruídos que devem ser minimizados para melhorar a detecção.

Os processamentos de filtragem das imagens MODIS no domínio temporal, para eliminar ou minimizar ruídos, podem ser feitos com as funções matemáticas implementadas no software TIMESAT Jönsson e Eklundh (2004). Porém, considerando que as séries temporais de imagens são longas e abrangem a grande área da Bacia do Alto Paraguai (BAP-Pantanal), o TIMESAT requer muito tempo de processamento e grande espaço de armazenamento. Para minimizar essas limitações foi desenvolvido a TIMESAT-Cluster, que utiliza “clusters” ou conjunto de computadores trabalhando de forma paralela para o processamento e armazenamento dos dados, visando diminuir o tempo de processamento e aumento da capacidade de armazenamento. Para facilitar a sua usabilidade foi desenvolvida uma interface amigável com os processos e configurações oferecidas pelo TIMESAT, além do acesso por meio da web (SILVA, 2016). A filtragem das imagens no domínio espacial está sendo desenvolvida a partir da aplicação de algoritmos mais complexos e eficientes que aqueles encontrados em softwares de processamento de imagens, comerciais ou livres.

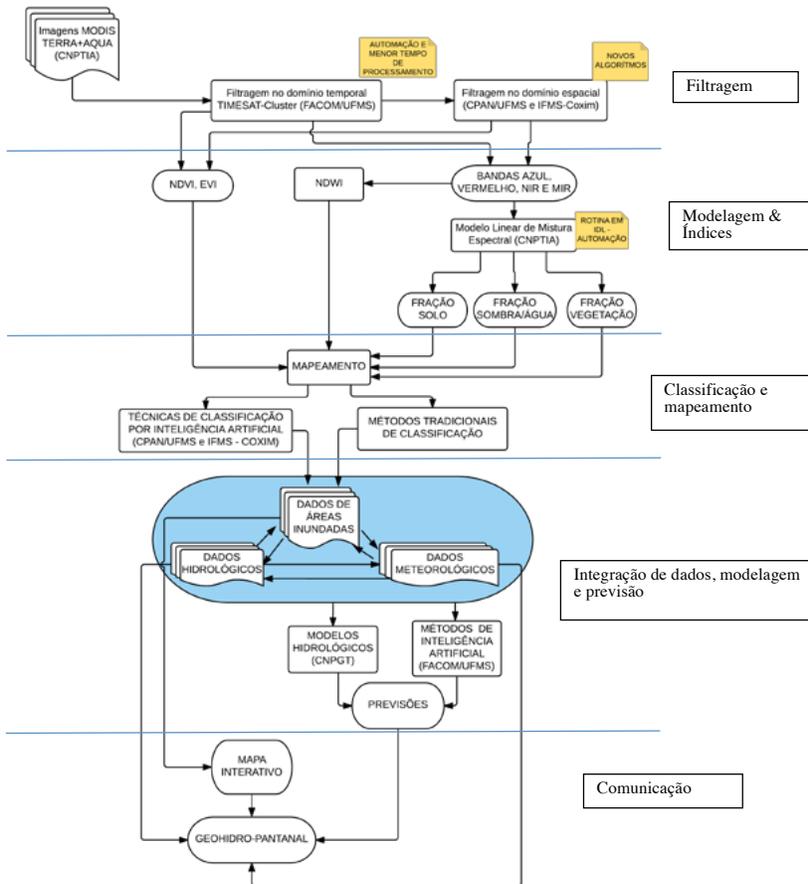


Figura 1. Estrutura do sistema, em suas cinco etapas principais, com os fluxos de processamentos das imagens MODIS para a geração de mapas das áreas inundadas do Pantanal e integração com outros dados hidrológicos para a disponibilização de informações para a tomada de decisão.

MODELAGEM E ÍNDICES

Foi desenvolvida uma rotina na linguagem Interactive Data Language (IDL) para a modelagem de mistura espectral que é usada para quantificar a proporção dos componentes: água, solo e vegetação em cada pixel das imagens.

CLASSIFICAÇÃO E MAPEAMENTO

Ao invés da metodologia tradicional do uso apenas das bandas de reflectância como entrada para a classificação das imagens são usados diversos índices. Os índices de vegetação, de água e os componentes, água, solo e vegetação do modelo de mistura espectral podem ser integrados por técnicas de redes neurais e outras técnicas computacionais de inteligência artificial para a classificação das áreas inundadas, como realizado em (FUCCI et al., 2015).

INTEGRAÇÃO DE DADOS, MODELAGEM E PREVISÃO

Séries temporais de dados hidrológicos como nível dos rios, podem ser analisadas via técnicas de inteligência artificial para a previsão dos valores máximos, como em Valle (2016), assim como a estimativa da data em que estes têm maior chance de ocorrência, como em Claurea et al. (2016)⁽¹⁾. A integração dos componentes hidrológicos, a partir dos dados de áreas inundadas, dos dados de nível dos rios e dos dados meteorológicos, está sendo realizada com modelos hidrológicos e/ou métodos de inteligência artificial.

COMUNICAÇÃO

Fornece as informações necessárias a partir de mapas interativos e da página do Geohidro-Pantanal no Portal da Embrapa para o suporte à decisão frente às inundações do Pantanal.

CONCLUSÕES

A estrutura do sistema apresentado representa o planejamento organizado da automação dos processamentos das imagens MODIS, que promoverá a diminuição do tempo de processamento, permitindo o monitoramento em tempo real de forma a disponibilizar para o público interessado um panorama das inundações a cada oito dias para a tomada de decisão frente a estas. Os mapas gerados de área inundada, integrados com dados de chuva e de nível dos rios, fornecerão informações valiosas para a tomada de decisão.

⁽¹⁾ CLAUREA, Y. N.; CLAUREA, E. T. M.; PADOVANI, C. R. Estimating water travel time to improve river level prediction. Computers & Geosciences, 2016. No prelo.

REFERÊNCIAS

FUCCI, R. R.; PADOVANI, C. R.; ARAUJO, A. F.; NUNES, G. M. Classificação de imagens do Pantanal usando redes neurais artificiais MLP e perceptron linear. In: IBERIAN LATIN AMERICAN CONGRESS ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING, 36., 2015, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: ABEMEC, 2015. CILAMCE.

JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. TIMESAT - a program for analysing time-series of satellite sensor data. **Computers & Geosciences**, v. 30, p. 833-845, 2004.

PADOVANI, C. R. **Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal**. 2010. 174 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2010.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; PADOVANI, C. R. Large-scale modelling of channel flow and floodplain inundation dynamics and its application to the Pantanal (Brazil). **Hydrological Processes**, v. 25, p. 1498-1516, 2011.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.

SILVA, C. A. S. **TIMESAT- Cluster**: uma abordagem em cluster para analisar séries-temporais de dados produzidos por sensores de satélite. 2016. 10 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Computação, Campo Grande, MS, 2016.

VALLE, H. S. R. **Predição de níveis de rios do pantanal utilizando perceptron multicamadas**. 2016. 6 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Computação, Campo Grande, MS, 2016.

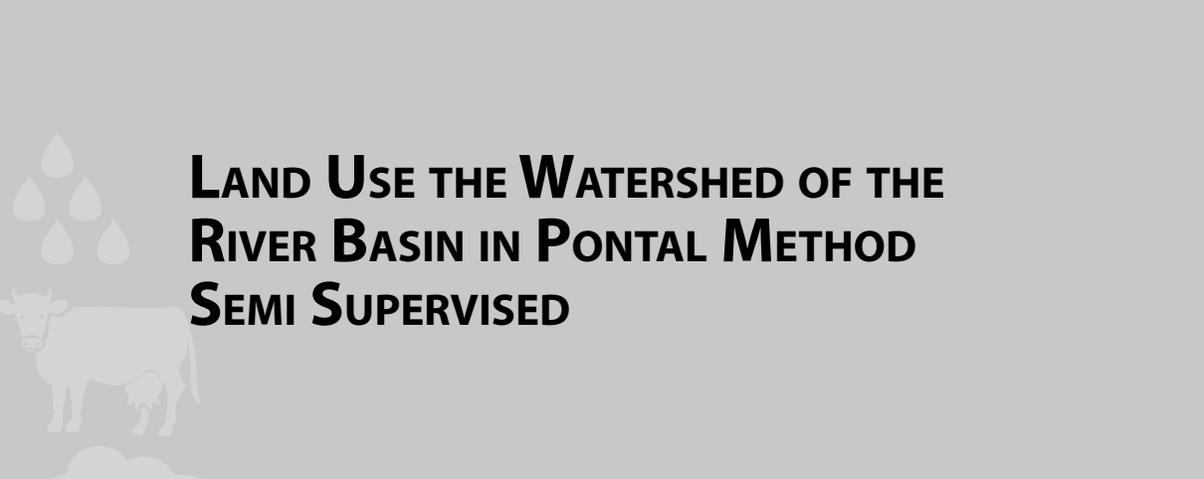
USO DO SOLO A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTAL POR METODO SEMISUPERVISIONADO

IUG LOPES; ANDREZA CARLA LOPES ANDRÉ;
CLOVIS MANOEL CARVALHO RAMOS

RESUMO

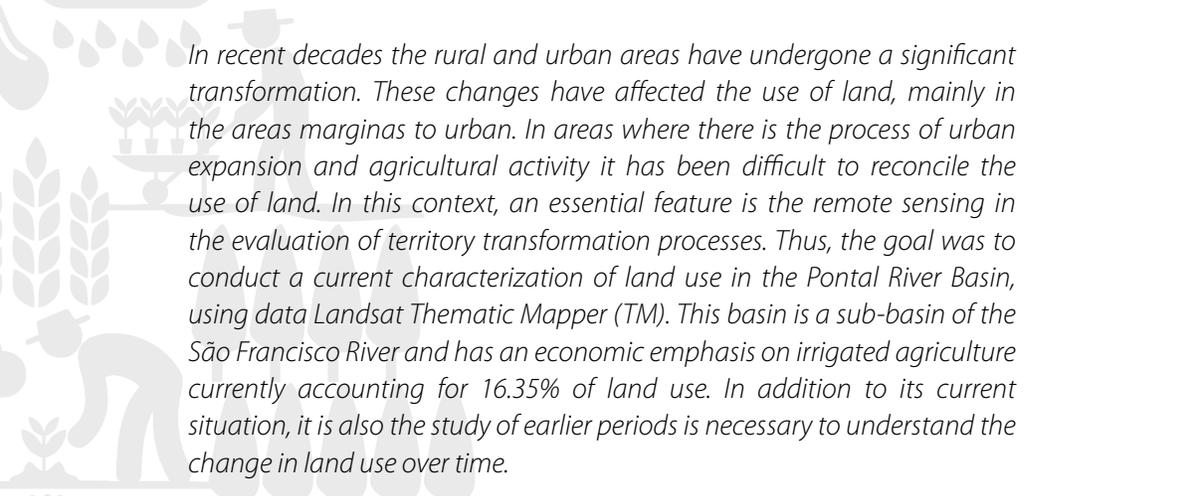
Nas últimas décadas as zonas rurais e urbanas passaram por uma transformação significativa. Estas mudanças têm afetado o uso da terra, principalmente nas áreas marginais às urbanas. Nas áreas onde ocorre o processo de expansão urbana e da atividade agropecuária tem sido difícil conciliar o uso da terra. Neste contexto, um recurso imprescindível é o sensoriamento remoto na avaliação de processos de transformação território. Desta forma, o objetivo foi realizar uma caracterização atual do uso da terra na Bacia do Rio Pontal, usando dados Landsat Thematic Mapper (TM). Essa bacia é uma sub-bacia do Rio São Francisco e possui um destaque econômico para a agricultura irrigada, correspondendo atualmente a 16,35 % do uso da terra. Além da sua situação atual, também se faz necessário o estudo de períodos anteriores para entender a mudança no uso da terra ao longo do tempo.

Termos para indexação: solo, BHRP, semiárido.



LAND USE THE WATERSHED OF THE RIVER BASIN IN PONTAL METHOD SEMI SUPERVISED

ABSTRACT



In recent decades the rural and urban areas have undergone a significant transformation. These changes have affected the use of land, mainly in the areas marginas to urban. In areas where there is the process of urban expansion and agricultural activity it has been difficult to reconcile the use of land. In this context, an essential feature is the remote sensing in the evaluation of territory transformation processes. Thus, the goal was to conduct a current characterization of land use in the Pontal River Basin, using data Landsat Thematic Mapper (TM). This basin is a sub-basin of the São Francisco River and has an economic emphasis on irrigated agriculture currently accounting for 16.35% of land use. In addition to its current situation, it is also the study of earlier periods is necessary to understand the change in land use over time.

Index terms: Soil, BHRP, Semiarid region.



INTRODUÇÃO

Um dos mais importantes recursos naturais é o solo. O seu padrão de uso e suas distribuições espaciais são os requisitos básicos para uma estruturação política de uso da terra de modo eficaz para o planejamento e gerenciamento adequado (KIKON; SINGH, 2014). Informações de cobertura da terra são importantes também para a observação e planejamento dos ambientes naturais. Em um período de tempo mais recente as pesquisas geoespaciais estão começando a ser utilizadas progressivamente como método de conhecimento da Terra e aplicadas para monitoramento, melhoria e gestão dos diferentes recursos naturais.

A utilização de sistema de informação geográfica (SIG) e do sensoriamento remoto tornaram-se muito importantes na investigação de mudanças que verificam as expressões da superfície da terra, ilustrada pela vegetação, aspectos geográficos, águas superficiais e principalmente características antropogênicas (SINGH et al., 2012). Uma metodologia bastante utilizada na elaboração de mapas de uso e ocupação da terra é a classificação digital de imagens de sensoriamento remoto (CRÓSTA, 1992).

O uso da terra e seu planejamento estão diretamente interligados com a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e define que bacia hidrográfica é a unidade territorial para a operacionalização dessa política e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Desta forma, o objetivo foi realizar uma caracterização atual do uso da terra na Bacia do Rio Pontal, usando dados Landsat Thematic Mapper (TM).

MATERIAL E MÉTODOS

DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Rio Pontal está localizada no extremo oeste do Estado de Pernambuco, entre 08°20'00" e 09°13'40" de latitude sul, e 40°11'24" e 41°20'53" de longitude oeste, abrangendo parte dos municípios de Pe-

trolina, Afrânio, Dormentes e Lagoa Grande. Tem uma área de drenagem de 6046,00 km², 178,62km de comprimento do curso d'água principal e a sua foz é no lado esquerdo do Rio São Francisco. O curso do Rio Pontal tem a direção no sentido noroeste-sudeste.

Entre os cursos d'água que compõem a Bacia do Pontal, os principais são: os riachos Caieira, Sítio Novo, Terra Nova e Simão (pela margem direita) e os riachos do Caboclo, Caldeirão, Dormente, Baixo, Areal e Serra Branca (pela margem esquerda) (CODEVASF, 2007).

A região está inserida em uma classificação climática de Semiárido quente (BSwh'), apresentando uma precipitação pluviométrica média anual de 557,7 mm, com concentração das chuvas de dezembro a março. A região tem uma alta insolação e baixa umidade relativa do ar. O período seco é predominante, com cerca de 6 a 8 meses (BRASIL, 2004).

A vegetação é do tipo Caatinga e classificada como Savana Estépica Arborizada, alguns trechos de caatinga arbustiva estão associados a alguma ação antrópica anterior (GALVINCIO et al., 2006).

CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTAL

Inicialmente, foi realizada a delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal (BHRP), que permitiu a localização da área e assim possibilitando a captação de imagens de satélite disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), dos satélites Landsat 5 e 8. Em seguida, foi possível a classificação do uso da terra para a região da Bacia do Pontal.

Para abranger a totalidade a área do estudo em questão, foram utilizadas duas imagens, correspondentes às órbitas 217 e 218, ponto 066. Foi feito mosaico com as imagens de satélite captadas nas seguintes datas: 25/08/2015 e 27/07/2015 (Landsat 8), denominado de mosaico do ano 2015. Estas datas coincidem com no final do período de estiagem da região. As imagens têm uma resolução espacial de 30 m por pixel e foram trabalhadas na escala de 1:100.000.

O processamento digital das imagens (PDI) de satélite foi realizado com o auxílio do software ArcGis 10.3 versão experimental, sendo elaboradas composições coloridas falsa-cor (RGB), por meio de técnicas de PDI, para tratamento de imagens. Essa técnica consiste da seleção de três bandas e a cada uma delas foi atribuído uma das cores primárias RGB (vermelho, verde e azul), bem como o ajuste do histograma para realçar o contraste visual (RODRIGUES et al., 2004). Assim, para o sensor Thematic Mapper do Landsat, definiram-se as composições TM (Vermelho=R), TM4 (Verde=G) e TM3 (Azul=B).

A utilização das imagens de satélite foi através da montagem dos mosaicos, com a união das duas imagens e posteriormente extraída a área de estudo com o “*shape*” do limite da bacia.

De posse dos mosaicos da BHRP, iniciou-se a classificação de uso do solo. O processo inicialmente foi de forma não supervisionada, onde foi solicitado 20 classes. Posteriormente foram realizadas algumas intervenções que se fizeram necessárias para caracterizar duas macro-classes, sendo denominadas Áreas Antropizadas e Áreas Naturais. As micro-classes escolhidas foram semelhantes às de Namdar et al. (2014), que classificaram áreas semiáridas e sendo descritas e caracterizadas na Tabela 1.

Tabela 1. Macroclasses, microclasses e suas caracterizações na classificação de uso da terra da BHRP.

Macroclasse	Microclasse	Caracterização
Área Antropizada	Solo Descoberto	Compreende áreas expostas, estradas e também áreas urbanizadas
Área Antropizada	Agricultura Irrigada	Áreas antropizadas, ocupadas com qualquer tipo de cultura irrigada
Área Natural	Água Superficial	Engloba todos os corpos hídricos (rios, açudes e lagos)
Área Natural	Caatinga Densa	Área onde predomina a Savana Estépica (Caatinga) Florestada
Área Natural	Caatinga Aberta	Área de Savana Estépica (Caatinga) Arbustiva

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interpretação visual da imagem de satélite foi realizada com o conhecimento de áreas amostrais na bacia que subsidiaram as informações utilizadas para classificação não supervisionada, com intervenções. O trabalho de intervenção na classificação não supervisionada relacionou os pixels classificados da imagem a uma determinada classe de uso da terra.

Quando as imagens Landsat/TM foram analisadas, encontrou-se dificuldade em distinguir a identificação do uso da terra em centros urbanos e em solo descoberto, pois são de difícil discriminação, apresentando-se confusas no momento da interpretação, devido suas tonalidades serem bastante semelhantes. Dessa maneira centros urbanos foram agrupados como solo descoberto.

De acordo com a distribuição das classes de uso da terra identificadas na Bacia Hidrográfica do Rio Pontal (BHRP), a sua caracterização de uso atual para o ano de 2015 é apresentada na Figura 1.

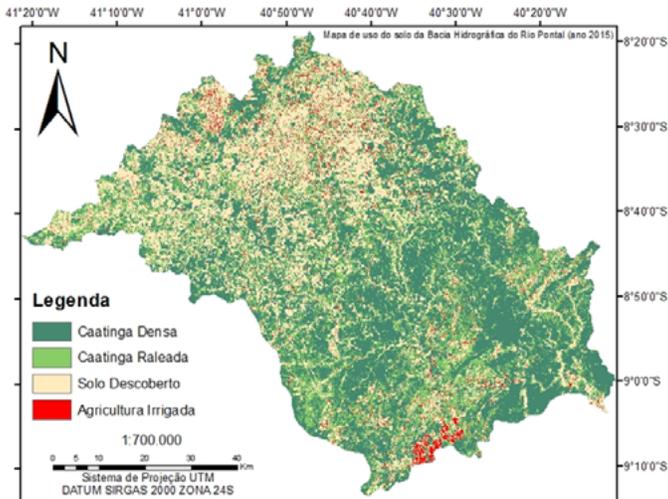


Figura 1. Mapa das classes de uso da terra da BHRP no ano 2015.

Os dados quantitativos da caracterização do ano de 2015 podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Macroclasses, microclasses e suas caracterizações na classificação de uso da terra da BHRP.

Microclasse	km ²	%
Água Superficial	0,00	0,00
Caatinga Densa	834,68	13,81
Caatinga Aberta	2.983,76	49,35
Agricultura Irrigada	988,61	16,35
Solo Descoberto	1.238,95	20,49

Essa bacia é uma sub-bacia do Rio São Francisco e possui um destaque econômico para a agricultura irrigada, que corresponde a 16,35 % do uso da terra. Apesar dessa importância econômica, observa-se uma contradição, pois não foi possível a observação de água superficial na BHRP.

A ausência de água pode estar associada aos resultados encontrados por Lopes et al. (2015), que estudou a distribuição anual de chuvas em uma estação localizada na bacia, e observou que nos 5 anos anteriores ao 2015 foram um Normal, dois Secos e dois Muito Secos. Assim a junção do uso pela irrigação e a escassez de chuvas potencializam a indisponibilidade de água nos corpos hídricos que estão inseridos na BHRP.

CONCLUSÕES

Essa bacia é uma sub-bacia do Rio São Francisco e possui um destaque econômico para a agricultura irrigada, que corresponde a 16,35% do uso da terra.

Assim como a sua situação atual, apresentada nesse trabalho, também se faz necessário o estudo de anos anteriores nas classes de áreas antropizadas e áreas naturais para entender a mudança da terra ao longo

do tempo e se estão refletindo na configuração da paisagem das bacias hidrográficas. Os próximos passos serão a avaliação da variação temporal, na forma quantitativa, em área em percentual e em quilômetro quadrado, a tendência de uso do solo e a compreensão da movimentação de água na bacia.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a política e sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 470.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1980.

CODEVASF. **Estudo de impacto ambiental**: projeto Pontal Norte. Brasília, 2007. v. 1.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Unicamp, 1992.

GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S.; SHIRINIVASAN, V. S. Balanço hídrico à superfície da bacia hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 03, p. 135-146, 2006.

KIKON, N.; SINGH, P. Temporal analysis of land use pattern changes of Noida, NCR using geospatial tools. In: ESRI INDIA USER CONFERENCE, 15., 2014, Delhi. **Proceedings...** Delhi: Esri India, 2014.

LOPES, I.; GUIMARAES, M. J. M.; MELO, J. M. M. de. Análise da precipitação na estação da Embrapa Semiárido, projeto bebedouro Petrolina/PE, através da técnica de quantis. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 2013, Campina Grande. **Da açudagem à transposição do Rio São Francisco**: anais... Campina Grande: Realize, 2013.

NAMDAR, M.; ADAMOWSKI, J.; SAADAT, H.; SHARIFI, F.; KHIRI, A. Land-use and land-cover classification in semi-arid regions using independent component analysis (ICA) and expert classification. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 24, p. 8057-8073, 2014.

PROJETO de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco. Subprojeto 4.5C– Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco-PBHSF (2004-2013): alocação de água. Brasília, DF, 2004.

DESTREZA DO MODELO ETA-HADGEM2-ES PARA A BACIA ALTO RIO PARAGUAI-PANTANAL: PROJEÇÕES DE CHUVA

**ALINE DE HOLANDA NUNES MAIA; CARLOS ROBERTO PADOVANI;
BALBINA MARIA ARAÚJO SORIANO**

RESUMO

Sumários descritivos dos vieses, em conjunto com o estudo dos padrões de distribuição temporal e espacial, permitem quantificar a destreza do modelo na região de interesse. O mapeamento dos vieses é útil para investigar a correlação espacial dos vieses com outras variáveis geográficas e identificar regiões homogêneas de vieses, informação importante na escolha de métodos de correção nas situações em que esse procedimento é recomendável. Neste trabalho, avaliamos a destreza de modelo regionalizado Eta-HadGEM2-ES com relação à chuva do trimestre DJF na Bacia do Alto Rio Paraguai-Pantanal, nos aspectos relativos à reprodução do ciclo anual de chuva e do padrão espacial da chuva trimestral (DJF). A chuva média mensal do trimestre DJF (CRU) variou de 66 mm a 307 mm, os vieses, lineares, de -100 mm a 84 mm, e os vieses relativos, de -63% a 29%. O modelo apresenta boa destreza na representação dos padrões de distribuição espacial da chuva do trimestre DJF e do ciclo anual, embora haja uma suavização da variabilidade interanual. Há uma predominância de vieses positivos no extremo NE da bacia contrastando com a presença dominante de vieses negativos nas demais áreas.

Termos para indexação: modelo regionalizado, mudanças climáticas, vieses, estudos de impacto.

ETA-HADGEM2-ES SKILL ACROSS THE ALTO PARAGUAI-PANTANAL BASIN: RAINFALL PROJECTIONS

ABSTRACT

The use of climate variables projections in climate change impact assessments requires a previous skill evaluation, via a detailed model bias assessment. In the context of climate models, the term bias corresponds to the difference between a statistic derived from observed values of a climate variable and its corresponding values derived from model hindcasts. Descriptive bias summary in conjunction with bias temporal and spatial patterns allows quantification of model skill in the target region. The bias mapping is useful for investigating spatial correlation between bias and other geographic variables and identifying bias homogeneous regions, important information in the choice of correction methods in situations for which this procedure is recommendable. In this paper, we evaluate the skill of the Eta-HadGEM2-ES regional model with respect to DJF rainfall in the Alto Rio Paraguai-Pantanal basin, regarding the representation of the annual rainfall cycle and the spatial pattern of the DJF rainfall (DJF) over the region. The mean DJF rainfall (CRU) ranged from 66 to 307 mm, the linear bias, from -100 to 84 mm, and the relative bias, from -63 to 29%. The model shows good skill for representation of the spatial distribution pattern of the DJF rainfall across the basin and the rainfall annual cycle, although there is a smoothing of the interannual variability. There is a predominance of model overestimation (positive bias) the Northeastern extreme of the basin contrasting with the majoritarian occurrence of underestimation in the remaining areas.

Index terms: climate regional model, climate change, model bias, impact assessment.

INTRODUÇÃO

O uso de projeções de variáveis climáticas, oriundas de modelos globais ou regionalizados, em estudos de impacto de mudanças do clima requer uma avaliação prévia da sua destreza, via análise detalhada dos vieses do modelo (EHRET, 2012). No contexto de modelos climáticos, o termo viés se refere primariamente, à diferença entre um valor observado de uma variável climática e sua correspondente projeção retrospectiva (*hindcast*) do modelo. Essa definição difere da definição estatística de viés que corresponde a erro sistemático. Numa visão mais abrangente, os vieses representam desvios entre qualquer função dos valores observados e dos *hindcasts*, tais como, diferenças entre variâncias, entre medianas ou ainda entre distribuições de probabilidade. Sumários descritivos dos vieses, em conjunto com o estudo dos padrões de distribuição temporal e espacial permitem quantificar a destreza do modelo na região de interesse. O mapeamento dos vieses permite investigar sua correlação espacial com outras variáveis geográficas e identificar regiões homogêneas de viés, úteis para escolha de métodos de correção nas situações onde esse procedimento seria recomendável. Neste trabalho avaliamos a destreza de modelo regionalizado EtaHadGEM2-ES com relação à média mensal dos totais de chuva no período DJF na bacia do Alto Rio Paraguai-Pantanal, nos aspectos relativos à reprodução do ciclo anual de chuva e correspondência espacial entre valores observados e *hindcasts* do modelo.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, a destreza do modelo climático regionalizado EtaHadGEM2-ES foi avaliada com relação ao ciclo anual e média dos totais mensais de chuva do período DJF, na Bacia do Alto Rio Paraguai-Pantanal. Esse modelo foi obtido por *downscaling* dinâmico do modelo global HadGEM2-ES, desenvolvido pelo Hadley Centre, Inglaterra (COLLINS et al., 2011), com resolução de aproximadamente 1.9° em longitude e 1.3° em latitude. É um modelo do sistema terrestre, com esquema dinâmi-

co de vegetação, com representação do ciclo do carbono (CHOU et al., 2014). Inicialmente, foram calculados os vieses lineares (mm) e relativos (%) para cada pixel na região de estudo ($0,2^\circ \times 0,2^\circ$) pela diferença entre as médias dos totais mensais de chuva (1976 a 2005) derivados das projeções retrospectivas do modelo e seus respectivos valores observados, obtidos a partir de bases globais de dados interpolados CRU (MITCHELL; JONES, 2005), após compatibilização de escala. Os vieses relativos (%) correspondem aos vieses lineares expressos como % das respectivas médias observadas (CRU). As médias dos totais mensais de chuva considerando toda a bacia foram usadas para avaliar a reprodução do ciclo anual pelo modelo. A chuva média observada em DJF, respectivas hindcasts, vieses absolutos e relativos foram derivados das informações mensais. Foi realizado o mapeamento dessas estatísticas para estudo dos padrões espaciais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo EtaHadGEM2-ES reproduz razoavelmente o ciclo anual de chuva na bacia (Figura 1), com tendência à subestimação no período mais chuvoso (outubro a maio) e superestimação no período mais seco (junho a setembro) o que resulta numa suavização da variabilidade. A correlação entre as médias DJF observadas (derivadas do CRU) e as respectivas projeções do modelo considerando todos os pontos da bacia, foi em torno de 90% indicando uma boa coerência espacial (Figuras 2 e 3A). Os dados do CRU (Figura 2A) mostram que o Pantanal fica numa zona de transição onde é evidente o padrão de maior volume de chuvas à NE e um menor volume de chuvas à SO da bacia. Observa-se um predomínio de vieses positivos numa pequena área da sub-bacia do rio Cuiabá no extremo NE da bacia e em menor grau nas sub-bacias dos rios São Lourenço, Piquiri/Itiquira e Taquari ao leste da bacia, em contraste com vieses negativos nas demais áreas, principalmente no extremo sul do Pantanal. (Figura 2B, 2C e 2D). O gráfico de vieses confirma essa tendência de predomínio de áreas com subestimação da chuva trimestral (DJF) (Figura 3B). Devido à ausência de uma malha razoável

de estações com séries temporais para o período de referência (1976 a 2005) na região de estudo, a destreza do modelo foi avaliada com base em dados interpolados (CRU). Como nem sempre existe uma boa correspondência entre esses dados e os dados das estações, essa substituição pode comprometer a avaliação de destreza.

delo EtaHadGEM2-ES para as médias dos totais mensais (1976 a 2005); (C) viés linear (mm); e (D) viés relativo (%) na Bacia do Alto rio Paraguai-Pantanal, Brasil.

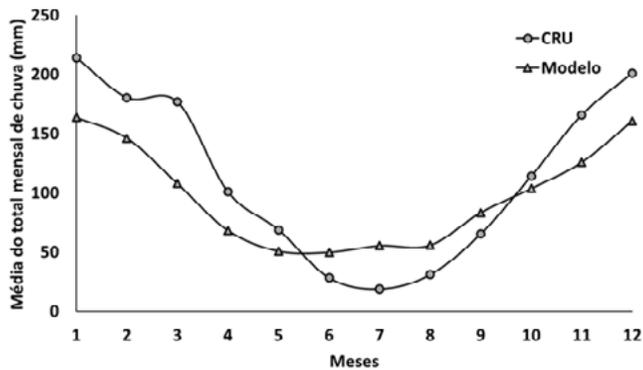


Figura 1. Ciclo anual de chuva na bacia do Alto Rio Paraguai-Pantanal, Brasil: relação entre as médias observadas (CRU, 1976 a 2005) dos totais mensais de chuva e correspondentes projeções retrospectivas do modelo HadGEM2-ES.

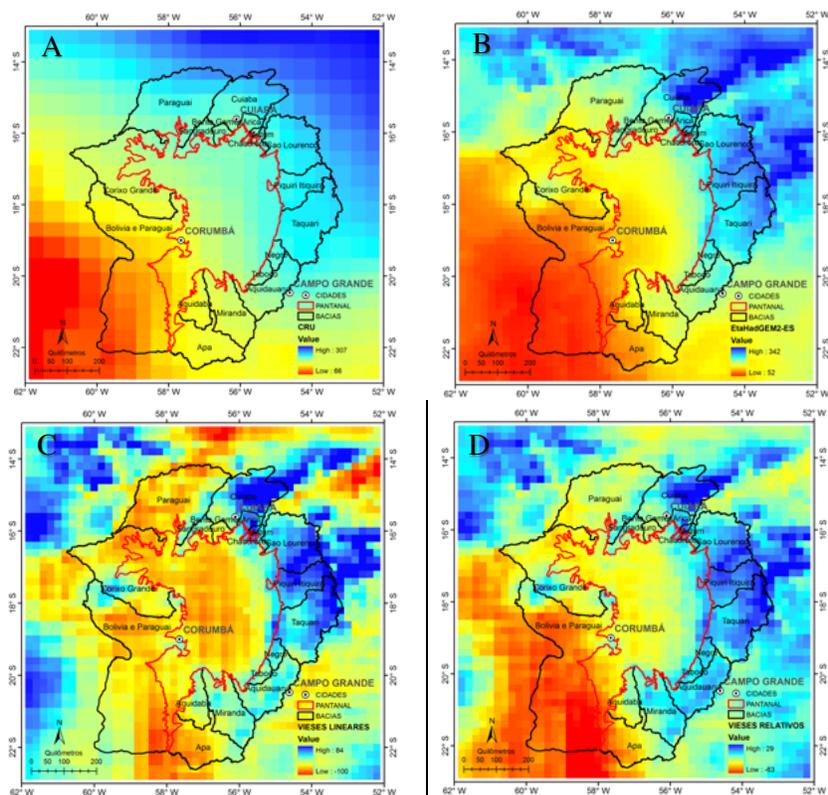


Figura 2. Padrões espaciais de precipitação e vieses correspondentes ao período chuvoso DJF: (A) médias observadas dos totais mensais (mm) (CRU, 1976 a 2005); (B) projeções retrospectivas do Modelo EtaHadGEM2-ES para as médias dos totais mensais (1976 a 2005); (C) vies linear (mm); e (D) vies relativo (%) na Bacia do Alto rio Paraguai-Pantanal, Brasil.

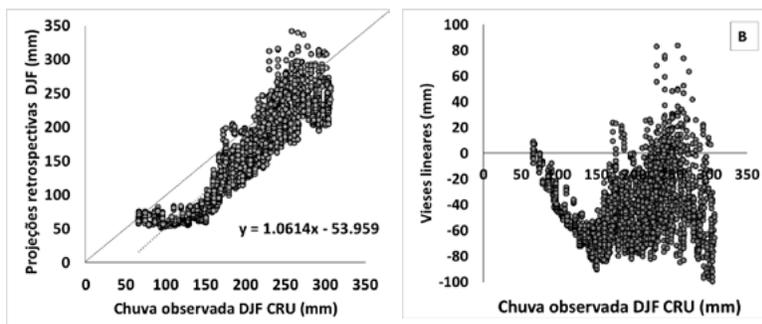


Figura 3. Relações entre (A) médias do total de chuva no mês (mm) no período DJF (1976 a 2005) e correspondentes projeções retrospectivas (mm) do modelo HadGEM2-ES; e (B) médias do total de chuva no mês (mm) no período DJF (1976 a 2005) e vieses lineares correspondentes, na Bacia do Alto Paraguai-Pantanal, Brasil.

CONCLUSÕES

O modelo regionalizado EtaHadGEM2-ES apresenta boa destreza na reprodução dos padrões de distribuição espacial da chuva do trimestre DJF e na representação do ciclo anual, embora haja uma suavização da variabilidade, com subestimação da chuva nos meses mais chuvosos e superestimação nos meses secos. Há uma predominância de vieses positivos no extremo NE da bacia e de vieses negativos nas demais áreas, observando-se uma correlação espacial positiva moderada entre as médias de chuva do trimestre e os respectivos vieses lineares.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao analista de tecnologia da informação do Laboratório de Modelagem Agroambiental da Embrapa Informática Agropecuária, Alan Massaru Nakai, pela organização dos dados.

REFERÊNCIAS

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DERECZYNSK, C.; PILOTTO, I; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 512-527, 2014.

COLLINS, W. J.; BELLOUIN, N.; DOUTRIAUX-BOUCHER, M.; GEDNEY, N.; HALLORAN, P.; HINTON, T.; HUGHES, J.; JONES, C. D.; JOSHI, M.; LIDDICOAT, S.; MARTIN, G.; O'CONNOR, F.; RAE, J.; SENIOR, C.; SITCH, S.; TOTTERDELL, I.; WILTSHIRE, A.; WOODWARD, S. Development and Evaluation of an Earth-System Model—HadGEM2. **Geoscientific Model Development**, v. 4, p. 1051-1075, 2011.

EHRET, U.; ZEHE, E.; WULFMAYER, V.; WARRACH-SAGI, K.; LIEBERT, J. Should we apply bias correction to global and regional climate model data? **Hydrological Earth System Science**, v.16, p. 3391-3404, 2012.

MITCHELL, T. D.; JONES, P. D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 6, p. 693-712, 2005.

HYDROLOGIC MODEL OF THE UPPER PRETO RIVER BASIN: CALIBRATION AND VALIDATION

**BAS AGERBEEK; LINEU NEIVA RODRIGUES;
JOS C. VAN DAM; ROEL DIJKSMA**

ABSTRACT

The Distrito Federal is a region experiencing rapid changes due to population growth and urbanization. Irrigated agriculture is the main water user in the region, with high demands, especially during the dry season when demand among all sectors increases. In addition, climate change is expected to impact the water resources of the DF. Thus, it is important to better understand the hydrology of this region to propose mitigation and adaptation strategies. The objective of this study was to develop, calibrate and validate a hydrologic simulation model for the upper Preto River basin. The model was developed using the SWAT (Soil Water Assessment Tool) hydrological model. The Preto River is an important tributary of Paracatu, which is the main tributary of the São Francisco. The drainage area of the upper Preto river is about 3,300 km². At the outlet the river has an average discharge varying between 50 m³/s and 200 m³/s. The model was calibrated and validated using observed daily streamflow from the Fazenda Limeira station for the period of 1986 to 1994. The model performed satisfactorily with an NSE=0.73, PBIAS =-9.5% and RSR=0.5 goodness-of-fit between simulated streamflow and observed streamflow for the validation period.

Index terms: hydrological modelling, SWAT, nash sutcliffe, cerrados.



MODELAGEM HIDROLÓGICA DO ALTO RIO PRETO: CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

RESUMO

O Distrito Federal (DF) é uma região que vem experimentando mudanças rápidas devido ao crescimento populacional e urbanização. A agricultura irrigada é a principal usuária nessa região, apresentando demandas elevadas, principalmente durante a estação seca, quando a demanda de todos os setores aumenta. Assim, é importante compreender melhor a hidrologia da região para propor estratégias de mitigação e adaptação. O objetivo deste estudo foi desenvolver, calibrar e validar um modelo de simulação hidrológica para o alto rio Preto. Para isto, utilizou-se o modelo hidrológico SWAT. O rio Preto é um importante tributário do Paracatu, que, por sua vez, é o principal afluente do São Francisco. O alto rio Preto, modelado nesse estudo, tem uma área de drenagem de aproximadamente 3.300 km² e possui uma vazão média variando entre 50 m³/s e 200 m³/s. O modelo foi calibrado e validado utilizando dados diários de vazão da estação Fazenda Limeira para o período de 1986 a 1984. O modelo apresentou um desempenho satisfatório com NSE=0,73, PBIAS=-9,5% e RSR=0,5 para o período de validação.

Termos para indexação: modelagem hidrológica, SWAT, nash sutcliffe, cerrados.

INTRODUCTION

The Distrito Federal (DF) is a region of rapid urbanization and population growth (LORZ et al. 2012). In 1960 the population was ± 24 thousand and currently the population is approximately 2.7 million in 2016 and expected to grow to 3.2 million in 2025 (LORZ et al., 2012). This rapid population growth due to urbanization around the DF leads to high water demand, which in this region is reaching the limits of water supply. Irrigated agriculture is the main water user in the region. Moreover climate change in this region is expected to reduce rainfall events, especially during the dry season, and thus reduce water resources (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014). An important river, delineating the eastern border of the DF is the Preto river. It is important to understand how future land use change and climate change affects this important water resource in this rapidly developing region. Important decision support tools are numerical hydrologic models, which are able to perform scenario analysis to better understand watershed response to these rapid changes. Therefore the objective of this study was to develop, calibrate and validate a hydrologic simulation model for part of the Preto River that borders the DF.

MATERIAL AND METHODS

STUDY AREA

The Preto River is a tributary of the Paractu river and flows along the eastern border of the Distrito Federal (DF) southward into the Minas Gerais state. The model was built for an upstream catchment of the Preto River basin, because this part of the basin is mostly influenced by the agriculture in DF. The catchment is part of the Cerrados, Brazil's tropical savannah, which is typified by shrub vegetation and deep red oxisols with a high saturated hydraulic conductivity (DELVAUX; BRAHY, 2016).

SOIL WATER ASSESSMENT TOOL – SWAT

The SWAT model is a water balance model based on physical processes, operating at a daily time step. It is designed to predict the impact of

environmental changes on water, sediment, and agricultural chemical yields (NEITSCH et al., 2009). The model requires input data about the spatial distribution of land use and soil properties and hydrological and meteorological data. The SWAT model was chosen because it is able to incorporate changes in land use and cover, climate change and it allows for basin delineation at various spatial scales. Moreover it is open source and has a large community of users, resulting from extensive efforts by the developers to make the model easily accessible.

CALIBRATION AND VALIDATION

The SWAT model incorporates a large amount of physical processes representing the hydrological cycle of a catchment. This results in a large number of input data and parameters, which complicates parameterization and calibration of the model. To overcome this difficulty there are a multitude of options to calibrate the model, such as manual methods, automated numerical methods and combined manual and automated methods, such as the SWAT-CUP tool. In this research a manual method was used assisted by the tools “manual calibration helper” (WINCHELL et al., 2010) and the “SWAT Check” screening tool (WHITE et al., 2014). In addition to these tools three goodness-of-fit statistics were used to assess the model performance; Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), percent bias (PBIAS) and the root mean square error-observations standard deviation ratio (RSR). According to Moriasi et al. (2007) model performance is satisfactory when $NSE > 0.5$, the $RSR \leq 0.7$ and the $PBIAS \pm 25\%$. After determining the relevant parameters related to simulation of streamflow in this tropical region (i.e. parameter related to water quality or snowfall were discarded) a sensitivity analysis was performed using the Influence coefficient method (HELSEL; HIRSCH, 1992). This method calculates a sensitivity index value for each adjusted parameter based on the change exerted on the dependent variable, in this case simulated baseflow and quickflow. In addition to this analysis, individual parameters were adjusted for each separate model run. The model output was then compared to observed values in order to assess the goodness-of-fit using the mentioned performance indicators. If the NSE value increased after parameter adjustment the parameter value is

accepted, otherwise the value is returned to its original value. Observed streamflow data (m^3/s) for the calibration and validation process were collected from the catchment outlet over the period 1986 until 1994, of which the first four years were used for calibration and the last three years for validation. This period was selected, because after this period irrigated agriculture increased significantly and a hydropower dam was built in the Preto river.

RESULTS AND DISCUSSION

Resulting from the sensitivity analysis and calibration process four parameters that have more influence in the simulation of streamflow were selected. The choice to adjust the limited amount of four parameters was too avoid overparametrization and overfitting of the model, which results from using too many parameters during calibration (ABBASPOUR, 2016; WHITTAKER et al., 2010). Table 1 shows the parameters used during the calibration process, with the adjusted parameters in grey.

Figure 1 shows the results of the monthly averaged simulations for the calibration (a.) and validation (b.) periods between 1986 and 1994 compared to the observed streamflow (m^3/s) values at the Fazenda Limeira observation station. After calibration simulation shows a $\text{NSE} = 0.717$, the $\text{PBIAS} = 9.1\%$ and the $\text{RSR} = 0.6$ for the calibration period from 1986 until 1991. As a $\text{NSE} > 0.5$, the $\text{RSR} \leq 0.7$ and the $\text{PBIAS} \pm 25\%$ as goodness-of-fit is considered satisfactory for simulation purposes, all performance indicators resulting from the calibration period suggest a satisfactory calibration. Moreover during the calibration period the model is able to simulate streamflow in dry periods, such as in 1987 as well as wet periods such as in 1989. The validation period model simulation show goodness-of-fit values of $\text{NSE} = 0.734$, $\text{PBIAS} = -9.5\%$, indicating that the model performs satisfactory, although during periods of higher precipitation the model underestimates observed streamflow.

Table 1. Parameters used during sensitivity analysis and calibration. Figured are the parameter abbreviation, description, value ranges and values before and after calibration.

Parameter	Description	Unit	Range parameter values suggested by Arnold et al. (2012)		Parameter values before and after calibration	
			Min.	Max.	before	after
SOL_AWC	Available water capacity of the soil layer	mm/m	0	1	0.13-0.21	0.13-0.21
CN2	SCS runoff curve number for moisture condition 2	-	35	98	60-92*	45-69*
GW_REVAP	Groundwater "revap" coefficient	-	0.02	0.2	0.02	0.02
GW_DELAY	Groundwater delay	days	0	150	31	31
ESCO	Soil evaporative compensation factor	-	0.7	0.95	0.95	0.75
RCHRG_DP	Deep aquifer percolation fraction	-	0	1	0.05	0.8
EPCO	Plant uptake compensation factor	-	0.1	1	1	1
ALPHA_BF	Baseflow alpha factor for deep aquifer	-	0.05	0.8	0.048	0.048
SOL_K	Saturated hydraulic conductivity	mm/h	-	-	100-1686*	65-1096
SOL_Z	Soil layer depth	mm	-	-	800-3460*	800-3460

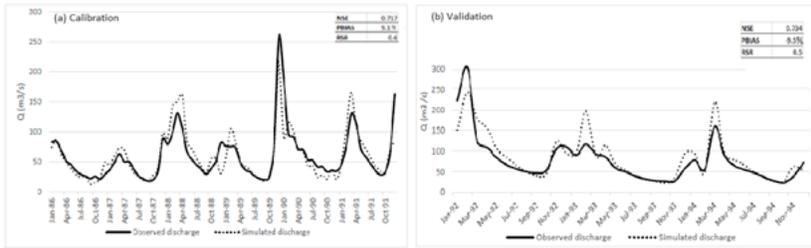


Figure 1. Observed and simulated streamflows at the Fazenda Limeira station watershed outlet during calibration (a) and the validation (b) periods.

CONCLUSION

After sensitivity analysis and the iterative manual calibration procedure the SWAT model was able to satisfactorily simulate streamflow, showing a goodness-of-fit with observed streamflow at the catchment outlet according to the three selected performance indicators. As the set of calibrated parameters was determined during a period where irrigation practices were limited in the catchment, the model is able to simulate the natural hydrological system of the river catchment, allowing for analysis of the Preto river watershed in response to climate and land-use change scenarios.

REFERENCES

- ABBASPOUR, K. C. **Calibration of hydrologic models: when is a model calibrated?** [S.l.; s.n.], 2005. p. 2449-2455. Disponível em: <<http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/abbaspour.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2016.
- ARNOLD, J.; MORIASI, D.; GASSMANN, P. W. A. K.; WHITE, M.; SRINIVASAN, R.; SANTHI, C.; HARMEL, R.; GRIENSVEN, A. van; LIEW, M. van; KANNAN, N.; JHA, M. **Swat:** model use, calibration, and validation. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2012.
- DELVAUX, B.; BRAHY, V. Mineral soils conditioned by a wet (sub) tropical climate. In: DRIESSEN, P.; DECKERS, J.; SPAARGAREN, O.; NACHTERGAELE, F. (Ed). **Lecture notes on the major soils of the world.** Rome: FAO, 2001. (FAO. World Soil Resources Reports, 94). p. 141-154. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/003/y1899e/y1899e08a.htm>>. Acesso em: 30 abr. 2016.

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. **Statistical methods in water resources**. [Amsterdan]: Elsevier, 1992. 546 p. (Studies in environmental science, 49).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability: summary for policy makers: contributions of the Working Group II to the fifth assessment report**. Cambridge: Cambridge University Press; New York: WMO, UNEP, 2014. 32 p. Disponível em: < <http://doi.org/10.1016/j.renene.2009.11.012> >. Acesso em: https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WG2AR5_SPM_FINAL.pdf

LORZ, C.; ABBT-BRAUN, G.; BAKKER, F.; BORGES, P.; BORNICK, H.; FORTES, L.; WUMMEL, J. Challenges of an integrated water resource management for the Distrito Federal, Western Central Brazil: Climate, land-use and water resources. **Environmental Earth Sciences**, v. 65, n. 5, p. 1575–1586, 2012. Disponível em: <<http://doi.org/10.1007/s12665-011-1219-1>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W. V.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and water assesment tool**: theoretical documentation: version 2009. College Station: Texas A&M University, 2011.

WHITE, M. J.; HARMEL, R. D.; ARNOLD, J. G.; WILLIAMS, J. R. Swat check: a screening tool to assist users in the identification of potential model application problems. **Journal of Environmental Quality**, v. 43, n. 1, p. 208-214, Jan. 2014.

WHITTAKER, G.; CONFESOR JR., R.; DI LUZIO, M.; ARNOLD, J. G. Detection of overparameterization and overfitting in an automatic calibration of SWAT. **Transactions of the ASABE**, v. 53, n. 5, p. 1487-1499, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.13031/2013.34909>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

WINCHELL, M.; SRINIVASAN, R.; DI LUZIO, M.; ARNOLD, J. **ArcSWAT interface for SWAT2009**: user's guide. Temple: Texas Agricultural Experiment Station: USDA, Agricultural Research Service, 2010.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA QUANTIFICADAS COM IMAGENS LANDSAT 8 NO PERÍMETRO IRRIGADO NILO COELHO

PARTE A: VARIAÇÕES ESPACIAIS

ANTÔNIO HERIBERTO DE CASTRO TEIXEIRA;
JANICE LEIVAS FREITAS; GUSTAVO BAYMA-SILVA

RESUMO

Onze imagens Landsat 8, sendo três para 2014 e oito para 2015, e dados agrometeorológicos foram usados na modelagem da evapotranspiração (ET) e da produção de biomassa (BIO) em larga escala através da aplicação conjunta do algoritmo Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER) e do modelo da interceptação da radiação de Monteith, no Perímetro Irrigado Nilo Coelho, em Petrolina, PE. A inclusão das imagens do ano de 2014 foi devido à ausência de imagens sem nuvens durante o período chuvoso de 2015. As maiores taxas para ambos, ET e BIO, bem como as mais elevadas variações espaciais ocorreram em janeiro, dentro da estação chuvosa, sendo as médias respectivas de $3,6 \pm 2,1 \text{ mm dia}^{-1}$ e $112 \pm 92 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Os valores mais baixos correspondentes foram de $1,4 \pm 1,7 \text{ mm dia}^{-1}$ e $34 \pm 53 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, nas condições mais secas atípicas do mês de dezembro de 2015.

Termos para indexação: demanda atmosférica, recursos hídricos, produtividade da água.

EVAPOTRANSPIRATION AND BIOMASS PRODUCTION ACQUIRED WITH LANDSAT 8 IMAGES IN THE NILO COELHO IRRIGATION SCHEME PART A: SPATIAL VARIATIONS

ABSTRACT

Eleven Landsat 8 images, being three for 2014 and eight for 2015, together with agrometeorological data were used for modeling evapotranspiration (ET) and biomass production (BIO) on large scale throughout applications of the Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER) and the Monteith's radiation model, in the Nilo Coelho Irrigation Scheme, in Petrolina, Pernambuco state, Brazil. The inclusion of images for the year 2014 was due the absence of cloud-free images during the rainy season of 2015. For highest both ET and BIO rates, as well as their largest spatial variations happened in January, inside the rainy season, with the respective mean values of 3.6 ± 2.1 mm day⁻¹ e 112 ± 92 kg ha⁻¹ day⁻¹. The corresponding lowest values were 1.4 ± 1.7 mm day⁻¹ and 34 ± 53 kg ha⁻¹ day⁻¹, under the unusual driest conditions of December 2015.

Index terms: atmospheric demand, water resources, water productivity.

INTRODUÇÃO

Nas condições de substituição da vegetação natural por culturas agrícolas na região semiárida do Nordeste de Brasil, são significativos os efeitos de estiagens nas taxas de evapotranspiração (ET) e de produção de biomassa (BIO). A utilização do sensoriamento remoto, conjuntamente com dados agrometeorológicos, permite a análises da ET e da BIO em larga escala nestas condições (TEIXEIRA et al., 2015). Poucas pesquisas têm sido realizadas com aplicação do satélite Landsat 8 (L8) para as análises em larga escala dos componentes da produtividade da água nas condições de alterações climáticas e de mudanças de uso da terra. Por meio da aplicação conjunta dos modelos Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER) e da radiação de Monteith, o presente trabalho associa essas ferramentas na determinação e análises destes componentes no Perímetro Irrigado Nilo Coelho, situado na região semiárida da bacia do rio São Francisco, considerando os efeitos da escassez natural de água ocorrida no ano de 2015. Para estas análises, dados de uma rede de estações agrometeorológicas da Embrapa e imagens L8 foram usados em conjunto.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados radiação solar global (RG), temperatura do ar (T_a) e evapotranspiração de referência (ET_0) provenientes de oito estações agrometeorológicas foram usados em conjunto com parâmetros obtidos por sensoriamento remoto através de onze imagens do L8, permitindo. Três imagens foram do ano de 2014 e oito foram para 2015, sendo a razão de inclusão daquelas de 2014 devido à ausência de imagens livres de nuvens no período chuvoso de 2015. A normalização de acordo com a demanda atmosférica deste último ano permitiu as análises dos componentes da produtividade da água em diferentes condições termo hidrológicas.

Para o cálculo do albedo da superfície (α_0) por meio do satélite L8, foram usadas as reflectâncias das bandas de 1 a 7, com resolução espacial de 30 m, enquanto que para a temperatura da superfície (T_0) utilizaram-se as bandas termais 10 e 11, com resolução espacial de 100 m.

De posse de α_0 , T_0 e NDVI, os valores instantâneos das razões ET_r (ET/ET_0) foram multiplicadas pelas grades de ET_0 para estimativa da ET em larga escala:

$$ET_r = \exp \left[a + b \left(\frac{T_0}{\alpha_0 \text{NDVI}} \right) \right] \quad (1)$$

Em que: a e b são os coeficientes de regressão, os quais foram 1,8 e -0,008, respectivamente, para as condições semiáridas do Brasil (TEIXEIRA et al., 2015).

A produção de biomassa (BIO) foi quantificada como:

$$BIO = \sum \left(\varepsilon_{\max} \frac{ET}{ET_0} \text{ARAF } 0,864 \right) \quad (2)$$

Em que: ARAF é a radiação fotossinteticamente ativa absorvida obtida pela combinação de RG e NDVI, ε_{\max} é eficiência máxima de uso da luz, a qual depende se as espécies são c3 ou c4 e 0,864 é um fator de conversão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como os componentes da produtividade da água são influenciados pelas condições energéticas e hídricas, tomando-se como referência a estação agrometeorológica na parte central do Perímetro Irrigado Nilo Coelho, os valores mensais de P, ET_0 e RG, ao longo dos anos de 2014 e 2015 são apresentados na Figura 1.

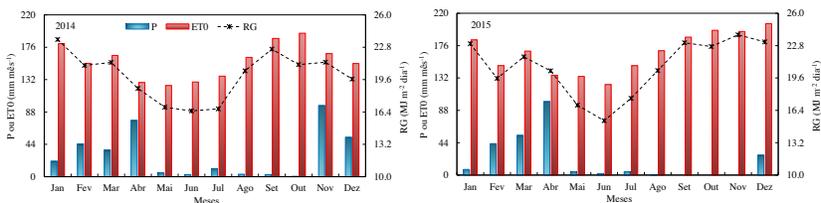


Figura 1. Médias mensais dos totais de precipitação (P), evapotranspiração de referência (ET0) e radiação solar global (RG), obtidos nos anos de 2014 a 2015, na estação agrometeorológica dentro do Perímetro Irrigado Nilo Coelho, em Petrolina, PE.

Considerando P, ocorreram períodos de concentração das chuvas de nos meses de janeiro a abril e de novembro a dezembro, com as quantidades respectivas representando 93% e 96% dos totais anuais, os quais foram 354 mm e 242 mm em 2014 e 2015. Com relação à demanda atmosférica, embora as amplitudes anuais sendo inferiores às de P, os valores mais baixos, tanto de ET_0 como RG, ocorreram no período de maio a junho, coincidindo com condições de pouca ou ausência de chuvas, época do solstício de inverno no Hemisfério Sul. Neste último período os valores de ET_0 e RG estiveram abaixo de 130 mm m^{-1} e $18 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente, enquanto no período próximo de posição zenital do Sol, ficaram acima de 150 mm m^{-1} e $20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. Devido à necessidade do uso de imagens de 2014 para cobertura de todas as condições termo hidrológicas de 2015, para as análises dos valores mensais da ET neste último ano houve a necessidade de utilização de imagens de 2014 em associação com os dados de ET^0 de 2015.

Na Figura 2, apresenta-se a variação espacial dos valores diários da ET, juntamente com as médias e desvios padrões, para cada dia do ano (DA) das imagens L8 em 2015, no Perímetro Irrigado Nilo Coelho.

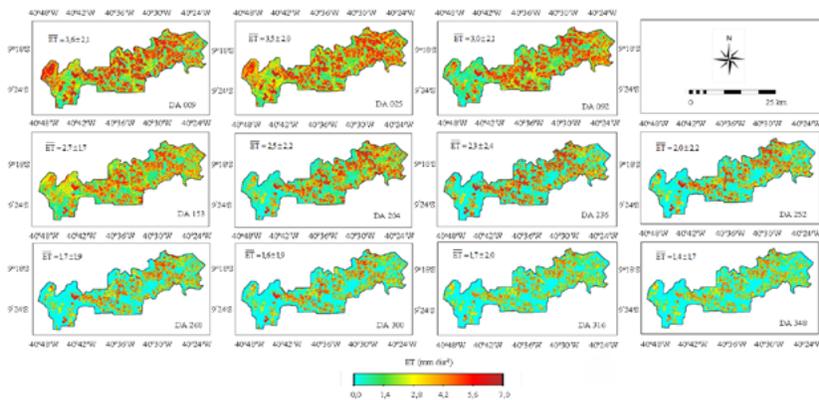


Figura 2. Variação espacial da evapotranspiração (ET) diária juntamente com os valores médios e desvios padrões, nos dias de aquisição das imagens L8 para o ano de 2015, no Perímetro Irrigado Nilo Coelho, em Petrolina, PE.

Percebem-se claramente as variações espaciais e temporais da quantidade de água transferida para atmosfera ao longo do ano de 2015, nos diferentes agros-ecossistemas do Perímetro Irrigado Nilo Coelho. Os maiores valores de ET aconteceram no mês de janeiro (DA 009), com vários pixels acima de $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$, nas áreas com culturas irrigadas. Por outro lado, o menor valor médio da ET aconteceu atipicamente no mês de dezembro (DA 348), com vários pixels com ET zero nas áreas de vegetação natural. Os três primeiros meses do ano (DA 009 a 092), devido às chuvas, apresentaram valores médios acima de $3,0 \text{ mm dia}^{-1}$, enquanto que no período naturalmente mais seco a partir de setembro (DA: 268-348) as médias caíram para abaixo de $2,0 \text{ mm dia}^{-1}$ com menores variações espaciais, de acordo como os desvios padrões.

A razão da menor variação espacial da ET neste último período deve-se ao fato da homogeneidade da umidade na zona das raízes das espécies da Caatinga, que representa a maior área dentro do perímetro irrigado.

Na Figura 3, mostra-se a variação espacial dos valores diários da BIO, juntamente com as médias e desvios padrões, para cada dia do ano (DA) das imagens L8 em 2015, no Perímetro de Irrigado Nilo Coelho.

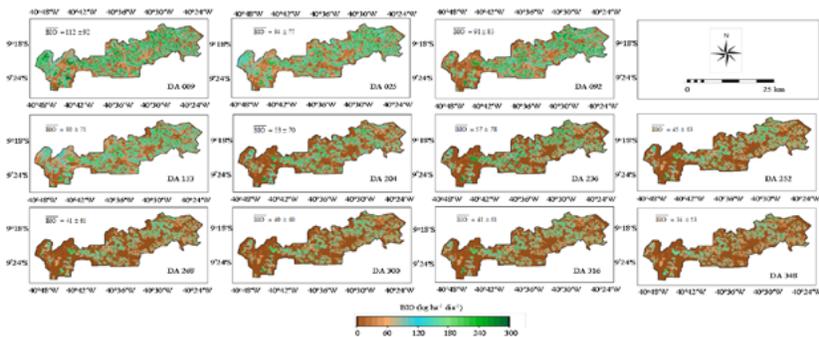


Figura 3. Variação espacial da produção de biomassa (BIO) diária juntamente com os valores médios e desvios padrões, nos dias de aquisição das imagens L8 para o ano de 2015, no Perímetro de Irrigado Nilo Coelho, em Petrolina, PE.

Os pixels com maior BIO ocorreram durante o primeiro semestre do ano (DA: 009 a 153), com os valores nas áreas irrigadas situando-se acima de $80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. No segundo semestre as taxas caíram progressivamente até as médias dos pixels ficarem abaixo de $35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ nas áreas de vegetação natural. As menores variações espaciais da BIO também ocorreram no segundo semestre, devido à predominância das condições de baixa umidade na zona das raízes das espécies da Caatinga. Apesar de nesse último período haver um incremento nos níveis de RG e $ET_{0'}$, a deficiência de chuvas promoveu baixos valores da BIO (ver Figuras 1 e 3).

Os valores da ET e da BIO tanto para os ecossistemas naturais como para condições de irrigação são sensíveis à distribuição espacial de P e da umidade do solo, entretanto nas culturas irrigadas, as diferenças aumentam com a variação dos níveis de adubação e com os estágios fenológicos. Maiores valores da BIO e menores da ET favorecem a produtividade da água.

CONCLUSÕES

O uso conjunto de imagens do satélite Landsat 8 e estações agrometeorológicas permitiu a quantificação e análises da evapotranspiração e produção de biomassa ao longo do ano de 2015 envolvendo diferentes condições termo hidrológicas e agros-ecossistemas no Perímetro Irrigado Nilo Coelho. Os maiores valores médios para ambos os componentes da produtividade da água aconteceram no primeiro semestre, enquanto que as menores médias ocorreram no segundo semestre.

REFERÊNCIAS

TEIXEIRA, A. H. DE C.; HERNANDEZ, F. B. T.; SCHERER-WARREN, M.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. de C.; BOLFE, E. L.; THENKABAIL, P. S.; FRANCO, R. A. M. Water productivity studies from earth observation data: characterization, modeling, and mapping water use and water productivity. In: PRASAD, S. T. (Ed.). **Remote sensing of water resources, disasters, and urban studies**. Boca Raton: CRC Group, Taylor and Francis, 2015. p. 101-126.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA QUANTIFICADAS COM IMAGENS LANDSAT 8 NO PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO NILO COELHO

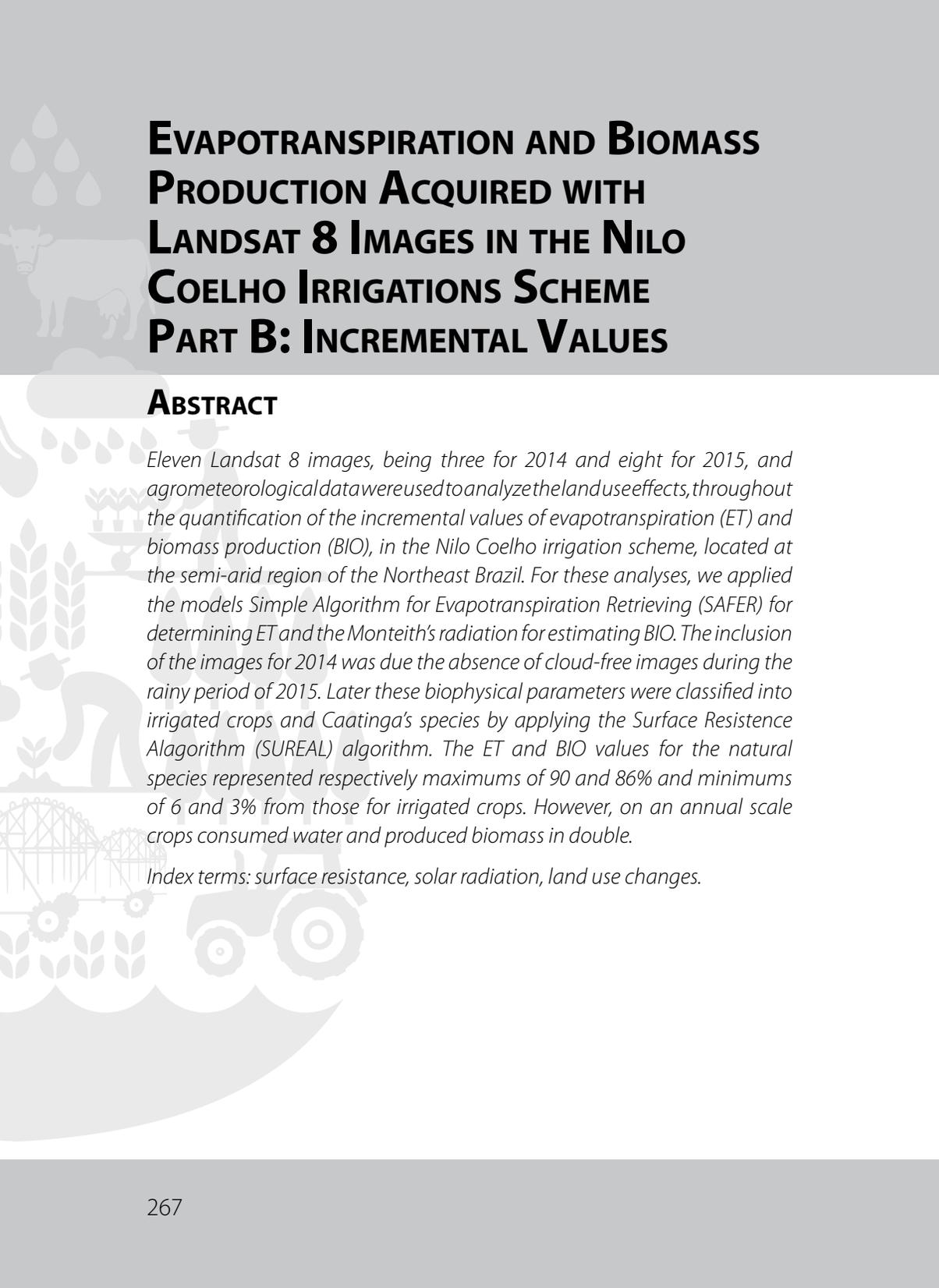
PARTE B: VALORES INCREMENTAIS

**ANTÔNIO HERIBERTO DE CASTRO TEIXEIRA;
JANICE LEIVAS FREITAS; GUSTAVO BAYMA-SILVA**

RESUMO

Onze imagens Landsat 8, sendo três para 2014 e oito para 2015, e dados agrometeorológicos foram usados para analisar os efeitos da mudança de uso da terra, através da quantificação dos valores incrementais da evapotranspiração (ET) e produção de biomassa (BIO), no perímetro de irrigação Nilo Coelho, localizado na região semiárida do Nordeste do Brasil. Para estas análises aplicaram-se os modelos Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER) na determinação da ET e da radiação de Monteith para as estimativas da BIO. A inclusão das imagens do ano de 2014 foi devido a ausência de imagens sem nuvens durante o período chuvoso de 2015. Posteriormente separaram-se os valores destes parâmetros biofísicos com a classificação em culturas irrigadas e espécies da Caatinga com aplicação do algoritmo Surface Resistance Algorithm (SUREAL). Os valores da ET e da BIO nas espécies naturais representaram máximos de 90% e 86% e mínimos de 6% e 3% daqueles para culturas irrigadas, dependendo das condições termo hidrológicas. Entretanto, na escala anual as culturas agrícolas consumiram água e produziram biomassa em dobro.

Termos para indexação: resistência da superfície, radiação solar, mudanças de uso da terra.



EVAPOTRANSPIRATION AND BIOMASS PRODUCTION ACQUIRED WITH LANDSAT 8 IMAGES IN THE NILO COELHO IRRIGATIONS SCHEME PART B: INCREMENTAL VALUES

ABSTRACT

Eleven Landsat 8 images, being three for 2014 and eight for 2015, and agrometeorological data were used to analyze the land use effects, throughout the quantification of the incremental values of evapotranspiration (ET) and biomass production (BIO), in the Nilo Coelho irrigation scheme, located at the semi-arid region of the Northeast Brazil. For these analyses, we applied the models Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER) for determining ET and the Monteith's radiation for estimating BIO. The inclusion of the images for 2014 was due the absence of cloud-free images during the rainy period of 2015. Later these biophysical parameters were classified into irrigated crops and Caatinga's species by applying the Surface Resistance Alagorithm (SUREAL) algorithm. The ET and BIO values for the natural species represented respectively maximums of 90 and 86% and minimums of 6 and 3% from those for irrigated crops. However, on an annual scale crops consumed water and produced biomass in double.

Index terms: surface resistance, solar radiation, land use changes.

INTRODUÇÃO

Na região semiárida do Nordeste do Brasil, as culturas irrigadas vêm substituindo rapidamente as espécies da Caatinga. Esta mudança de uso da terra destaca a importância de desenvolvimento e aplicações de ferramentas para quantificação dos parâmetros de produtividade da água separando-se os diferentes ecossistemas que compõem os perímetros irrigados. Entre os principais perímetros de irrigação do semiárido brasileiro, destaca-se o Nilo Coelho.

O objetivo desta pesquisa foi combinar o algoritmo Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER) para o cálculo da ET com o modelo de eficiência do uso da radiação de Monteith para obtenção da produção de biomassa (BIO) no Nilo Coelho, classificando-se as culturas irrigadas e vegetação natural (Caatinga) através da aplicação do algoritmo Surface Resistance Algorithm (SUREAL) (TEIXEIRA et al., 2015).

Os resultados demonstram que todos estes três algoritmos, SAFER, Monteith's SUREAL, quando usados com imagens Landsat 8 e dados agrometeorológicos, são úteis para o acesso aos parâmetros da produtividade da em agroecossistemas mistos, irrigados ou na dependência de chuvas na escala de perímetros irrigados.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados de oito estações agrometeorológicas foram usados em conjunto com onze imagens do satélite Landsat 8 (L8). Três imagens foram do ano de 2014 e oito foram para 2015, sendo a razão de inclusão daquelas de 2014 devido à ausência de imagens livres de nuvens no período chuvoso de 2015. De posse de α_0 , T_0 e NDVI, os valores instantâneos das razões ET_r (ET/ET_0) foram multiplicadas pelas grades de ET_0 para estimativa da ET em larga escala:

$$ET_r = \exp \left[a + b \left(\frac{T_0}{\alpha_0 \text{NDVI}} \right) \right] \quad (1)$$

Em que: a e b são os coeficientes de regressão, os quais foram 1,8 e -0,008, respectivamente, para as condições semiáridas do Brasil (TEIXEIRA et al., 2015).

A produção de biomassa (BIO) foi quantificada de acordo com Teixeira et al. (2015) como:

$$BIO = \sum \left(\varepsilon_{\max} \frac{ET}{ET_0} \text{ARAF } 0,864 \right) \quad (2)$$

Em que: ARAF é a radiação fotossinteticamente ativa obtida pela combinação da radiação solar global (RG) e NDVI; ε_{\max} é eficiência máxima de uso da luz, a qual depende se as espécies são c_3 ou c_4 ; e 0,864 é um fator de conversão.

Para a classificação da vegetação em culturas irrigadas e vegetação natural, o algoritmo SUREAL foi aplicado em imagem representativa do período mais seco do ano:

$$r_s = \exp \left[c \left(\frac{T_0}{a_0} \right) (1 - NDVI) + d \right] \quad (3)$$

Em que: c e d são coeficientes de regressão, respectivamente 0,04 e 2,72 para as condições semiáridas do Brasil (TEIXEIRA et al., 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tomando-se a estação agrometeorológica na parte central do Nilo Coelho, os valores mensais da razão de P sobre ET_0 , tomada como indicador do balanço hídrico (BHR), e da radiação fotossinteticamente ativa (RAF), tomada como 44% de RG (TEIXEIRA et al., 2015), são apresentadas ao longo dos anos de 2014 e 2015 (Figura 1a e 1b, respectivamente).

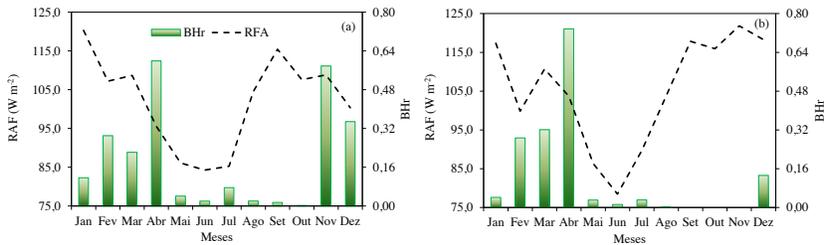


Figura 1. Médias mensais da razão precipitação para a evapotranspiração de referência ($BHr = P/ET_0$) e da radiação fotossinteticamente ativa (RAF), obtidos nos anos de 2014 a 2015, na estação agrometeorológica dentro do perímetro de irrigação Nilo Coelho, situado na região semiárida do Nordeste de Brasil.

Considerando RAF, os valores mais baixos ocorreram no período de maio a julho, coincidindo com condições de pouca ou ausência de chuvas, época do solstício de inverno no Hemisfério Sul, desfavorável a BIO. Neste último período os valores médios estiveram abaixo de 90 W m^{-2} , enquanto no período próximo de posição zenital do Sol, ficaram acima de 100 W m^{-2} . Considerando-se BHr como uma medida rústica do balanço hídrico, constata-se que no ano de 2015, com valor anual desta razão de 0,12, a precipitação atendeu apenas 12% da demanda atmosférica, enquanto que no ano mais úmido de 2014 as chuvas atenderam 19% da ET_0 ($P/ET_0 = 0,19$). O período com deficiência natural de água mais crítico para ambos os anos foi de agosto a outubro, quando a quantidade de chuvas chega a ser 0% da ET_0 , condição de maior necessidade de irrigação para as culturas agrícolas.

Na Figura 2, apresenta-se a variação espacial dos valores da resistência da superfície aos fluxos hídricos (r_s), juntamente com as médias, para cada dia do ano (DA) das imagens L8 em 2015, no perímetro de irrigação Nilo Coelho, região semiárida do Nordeste do Brasil.

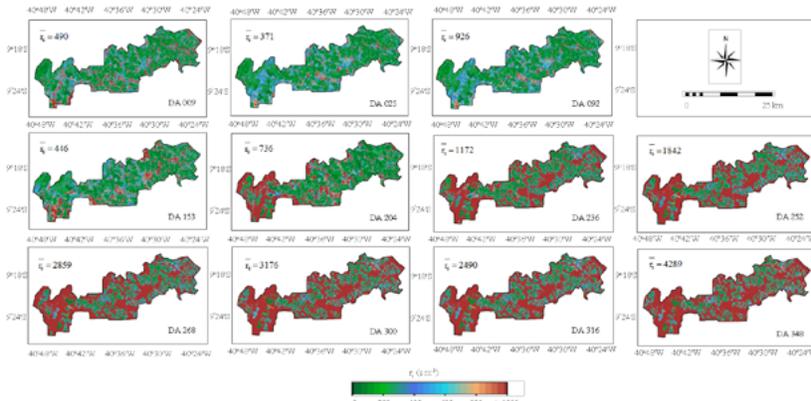


Figura 2. Variação espacial da resistência da superfície aos fluxos hídricos (r_s) juntamente com os valores médios, nos dias das imagens L8 para o ano de 2015, no perímetro de irrigação Nilo Coelho, região semiárida do Nordeste do Brasil.

Os menores valores de r_s aconteceram no primeiro semestre para os diferentes agroecossistemas, estando relacionados às boas condições de umidade na zona das raízes (ver Figuras 1 e 2). Ademais, a partir de julho (DA 204), as áreas mais secas de coloração marrom começam a aumentar, significando um incremento progressivo de r_s até um valor médio máximo acima de 4.000 s m^{-1} em dezembro (DA 348). Apesar do progressivo aumento de RAF no final do ano de 2015 (Figura 1), o baixo nível de umidade do solo, representados pelo indicador BHR e elevados valores de r_s , não favoreceu a BIO.

As condições hídricas representadas pelos valores de r_s nos diferentes agros-ecossistemas geram diferentes taxas de transferência do vapor d'água para a atmosfera. Os valores de r_s da imagem de DA 316 foram usados para a classificação em áreas irrigadas e de Caatinga. Quando estes foram abaixo de 800 s m^{-1} e NDVI acima de 0 foram considerados culturas irrigadas, enquanto entre 1.000 s m^{-1} e 20.000 s m^{-1} foram tomadas como vegetação natural (TEIXEIRA et al., 2015).

Na Figura 3, apresentam-se os valores médios da ET e da BIO para culturas irrigadas (IRR) e espécies da Caatinga (CAT), juntamente com os

valores incrementais (INC) resultantes da substituição da vegetação natural por culturas agrícolas, ao longo do ano de 2015, no perímetro de irrigação Nilo Coelho, Nordeste do Brasil.

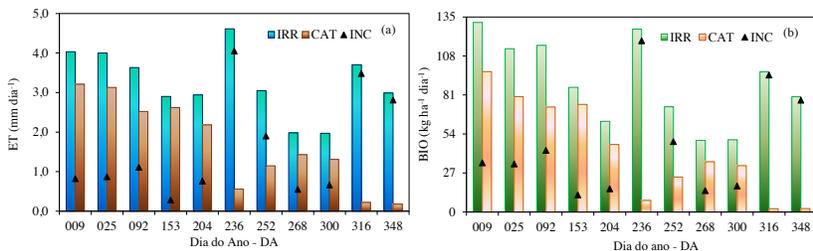


Figura 3. Valores médios dos componentes da produtividade da água nas culturas irrigadas (IRR) e nas espécies da Caatinga (CAT), e incrementais (INC), no perímetro de irrigação Nilo Coelho, região semiárida do Nordeste do Brasil, no ano de 2015. (a) evapotranspiração (ET) e (b) produção de biomassa (BIO).

Claramente podem-se ver que na Caatinga (CAT) os maiores valores da ET ocorrem em janeiro enquanto que nas culturas irrigadas (IRR) acontece mais um pico em agosto em DA 236 (Figura 3a). Entretanto, as taxas da ET, na escala anual, em CAT chegaram a 90% daquelas em IRR, após o período chuvoso em junho (DA 153), esta percentagem caiu para 6% no final do ano (DA 316 e 348). Na escala anual, o ecossistema IRR consumiu duas vezes mais água que o CAT, uma quantidade extra de 1,7 mm dia⁻¹. Como existe uma relação entre a BIO e a ET (TEIXEIRA et al., 2015), os períodos de pico ao longo do ano foram os mesmos, com os valores em CAT chegando a 86% de IRR no DA 153 e caindo para 2% a 3% no final do ano (DA 316 e 348). Na escala anual, o ecossistema IRR também produziu o dobro de biomassa quando comparado com CAT, representando um valor de INC de 46 kg ha⁻¹ dia⁻¹. Percebe-se então que diante dos cenários de escassez hídrica, com redução da vazão do rio, maiores cautelas para o manejo racional da irrigação devem ser tomadas no período após as chuvas para que se evitem conflitos entre os setores agrícolas e outros usuários da água na região semiárida da bacia hidrográfica do Rio São Francisco.

CONCLUSÕES

O uso conjunto de imagens do satélite Landsat 8 e estações agrometeorológicas permitiu a quantificação e análises dos valores incrementais da evapotranspiração e da produção de biomassa ao longo do ano de 2015 no perímetro de irrigação Nilo Coelho.

As análises podem subsidiar um melhor entendimento da dinâmica destes componentes da produtividade da água em larga escala, aspecto importante nos atuais cenários de escassez hídrica e mudanças climáticas.

Os maiores valores incrementais de ambos os componentes aconteceram após as chuvas, no mês de junho, enquanto que os menores foram no final do ano. Enquanto as taxas de evapotranspiração e produção de biomassa na vegetação natural chegaram 90% e 86% daquelas para culturas irrigadas nas condições naturais mais úmidas, estas ficaram em torno de 6% e 3% no final do ano.

Para todo o ano de 2015 as culturas irrigadas consumiram água e produziram biomassa em dobro quando comparadas com as espécies da Caatinga. Maiores cautelas com irrigação devem ser tomadas no período logo após as chuvas para que se evitem conflitos entre os setores agrícolas e outros usuários da água.

REFERÊNCIAS

TEIXEIRA, A. H. DE C.; HERNANDEZ, F. B. T.; SCHERER-WARREN, M.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. de C.; BOLFE, E. L.; THENKABAIL, P. S.; FRANCO, R. A. M. Water productivity studies from earth observation data: characterization, modeling, and mapping water use and water productivity. In: PRASAD, S. T. (Ed.). **Remote sensing of water resources, disasters, and urban studies**. Boca Raton: CRC Group, Taylor and Francis, 2015. p. 101-126.

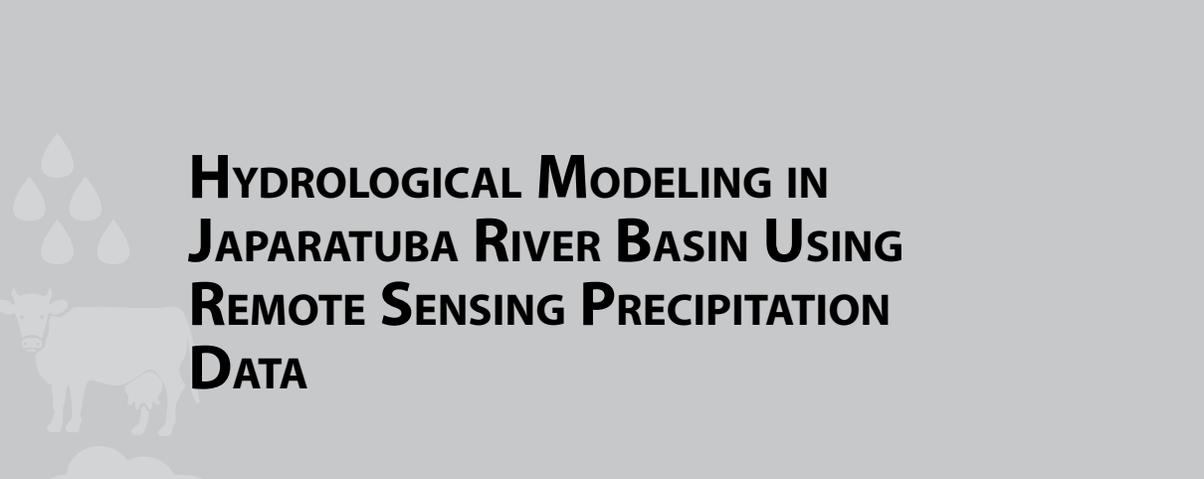
SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA NA BACIA DO RIO JAPARATUBA A PARTIR DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO OBTIDOS VIA SENSORIAMENTO REMOTO

**MARCUS AURÉLIO SOARES CRUZ; RICARDO DE ARAGÃO;
LEONARDO TEIXEIRA ROCHA; JULIO ROBERTO ARAUJO DE AMO-
RIM; PAULO VINÍCIUS MELO DA MOTA**

RESUMO

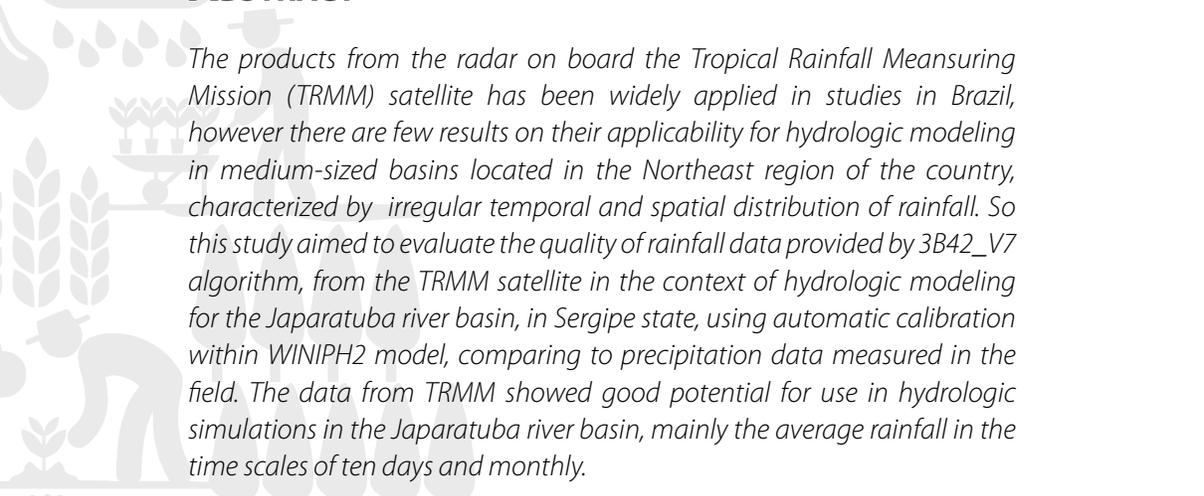
Os produtos fornecidos pelo radar a bordo do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) têm sido largamente aplicados em estudos no Brasil, no entanto ainda há poucos resultados sobre a sua aplicabilidade para simulação hidrológica em bacias de médio porte situadas na região Nordeste do país, caracterizada por um regime muito irregular de distribuição temporal e espacial das chuvas. Assim este estudo objetivou avaliar a qualidade dos dados de precipitação fornecidos pelo algoritmo 3B42_V7 do TRMM no contexto de simulação hidrológica chuva-vazão, para a bacia do rio Japaratuba-SE, por meio de calibração automática do modelo WINIPH2, comparada aos dados de precipitação medida em campo. As precipitações provenientes do TRMM mostraram bom potencial para utilização em simulações hidrológicas na bacia do rio Japaratuba, principalmente utilizando as precipitações médias nas escalas temporais de dez dias e mensal.

Termos para indexação: TRMM, modelagem hidrológica, calibração.



HYDROLOGICAL MODELING IN JAPARATUBA RIVER BASIN USING REMOTE SENSING PRECIPITATION DATA

ABSTRACT



The products from the radar on board the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite has been widely applied in studies in Brazil, however there are few results on their applicability for hydrologic modeling in medium-sized basins located in the Northeast region of the country, characterized by irregular temporal and spatial distribution of rainfall. So this study aimed to evaluate the quality of rainfall data provided by 3B42_V7 algorithm, from the TRMM satellite in the context of hydrologic modeling for the Japaratuba river basin, in Sergipe state, using automatic calibration within WINIPH2 model, comparing to precipitation data measured in the field. The data from TRMM showed good potential for use in hydrologic simulations in the Japaratuba river basin, mainly the average rainfall in the time scales of ten days and monthly.

Index terms: TRMM, hydrologic modelling, calibration.



INTRODUÇÃO

A compreensão da variabilidade espacial da precipitação em determinada região é essencial, uma vez que seu padrão interanual e sazonal é crucial para a agricultura e para diversos setores da economia (FAO, 2015). Visando contornar a carência de estações meteorológicas sobre grandes áreas, os hidrólogos do mundo inteiro têm desenvolvido técnicas alternativas para a estimativa dos valores de precipitação, dentre essas técnicas podem-se destacar as imagens de satélite (COLLISCHONN et al., 2007). Estimativas de precipitação a partir de sensores remotos e interpolações de dados de campo vêm sendo desenvolvidas por meio de diversos projetos no planeta. Esses produtos estão em constante melhoramento à medida que surgem novas técnicas de obtenção e correção da informação final. Os produtos fornecidos pelo radar a bordo do satélite TRMM têm sido largamente aplicados em estudos no Brasil (PEREIRA et al., 2013), no entanto ainda há poucos resultados sobre a sua aplicabilidade para simulação hidrológica em bacias de médio porte situadas na região Nordeste do país, caracterizada por um regime muito irregular de distribuição temporal e espacial das chuvas (SILVA et al., 2011). Assim este estudo objetivou avaliar a qualidade dos dados de precipitação fornecidos pelo algoritmo 3B42_V7 do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) no contexto de simulação hidrológica chuva-vazão, para a bacia do Rio Japaratuba, SE.

MATERIAL E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do rio Japaratuba está totalmente inserida no Estado de Sergipe, localizada nas coordenadas geográficas (10°13'00" e 10°47'00" de latitude Sul e 36°48'00" e 37°19'00" de longitude oeste). A bacia possui uma área de 1.685 km² (Figura 1). A população de cerca de 200 mil pessoas está dividida entre 62,4% na área urbana e 37,6% na área rural (ARAGÃO et al., 2013). O período chuvoso na bacia encon-

tra-se assim descrito: litoral úmido (precipitação média de 1.000 mm a 1.400 mm; período chuvoso entre abril e agosto), agreste (de 700 mm a 900 mm; entre abril e agosto), semiárido (de 400 mm a 700 mm; entre janeiro e maio). Na bacia do Rio Japarutuba, predominam os solos do tipo Argissolos (cerca de 75% da área da bacia), seguidos por Latossolos, Neossolos flúvicos e Vertissolos. O uso e cobertura da terra é, predominantemente, caracterizado pela presença de atividades agrícolas, com destaque para pastagens (cerca de 50% da área da bacia) e culturas agrícolas (cana-de-açúcar, milho e fruteiras, com cerca de 25% da área). Além destas registram-se atividades de mineração (petróleo e potássio). Os dados de vazão observadas (QO) são provenientes da estação fluviométrica Japarutuba (Cód. 50040000, área contribuinte de 735 km²) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2014) e estes foram comparados com as simuladas (QE) pelo modelo chuva-vazão WINIPH2 (BRAVO et al., 2009) após calibração automática dos seus parâmetros, considerando as precipitações observadas (PO) provenientes das estações Capela (Cód. 1037078), Fazenda Cajueiro (Cód. 1036063) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2014) e Aquidabã (Cód. 31782) (INPE, 2014), pontualmente (Cenário C1) e pela média (Cenário C3) bem como os valores de PE (TRMM) pontualmente (Cenário C2) e média (Cenário C4), em 3 escalas temporais: diária, dez dias (decendial) e mensal. Foi utilizado o período de 1998 a 2013. Os dados de precipitação diária estimada (PE) foram obtidos a partir do satélite TRMM, produto 3B42 na versão 7, fornecidos pela National Aeronautics and Space Administration (ESTADOS UNIDOS, 2014). O processo completo de detalhamento dos dados e do algoritmo para sua obtenção pode ser visualizado em <http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b42.html>. A avaliação da qualidade das estimativas de QE foi realizada por meio dos seguintes coeficientes já consagrados na literatura: o índice de correlação de Pearson (r), o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e o erro percentual médio de volume (EV) (MORIASI et al., 2007).

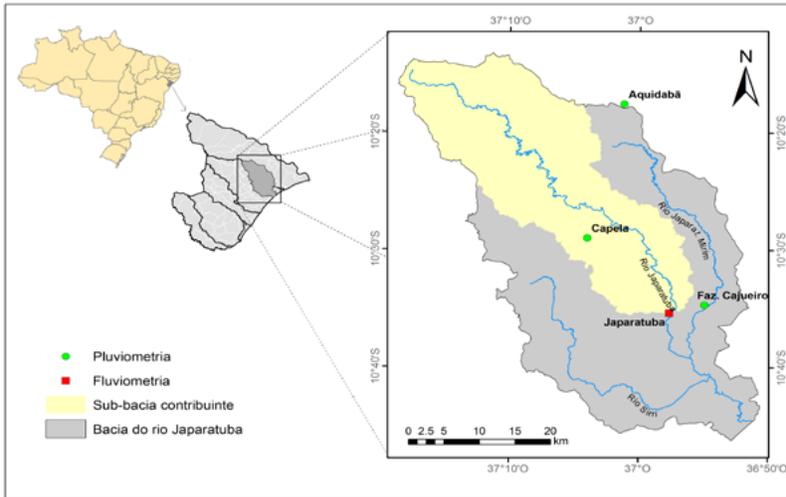


Figura 1. Localização das estações de monitoramento de precipitação e de vazão na bacia do Rio Japarutuba. Em destaque a estação fluviométrica Japarutuba e sua área contribuinte.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os cenários de precipitações pontuais (C1 e C2) e de médias (C3 e C4), considerando a escala diária, os coeficientes r e NS, apresentam valores abaixo do aceitável ($r < 0,7$ e $NS < 0,5$) (Tabela 1). Já EV apresenta um comportamento dentro dos limites aceitáveis ($\pm 25\%$). Tais resultados corroboram a afirmação de que os dados remotos de precipitação têm potencial para estudos hidrológicos, uma vez que os modelos tendem a compensar as diferenças (NÓBREGA et al. 2008; PEREIRA et al., 2013). Assim, o desempenho dos dados de satélite (C2) superaram os dados pontuais na escala diária, com NS, 0,40; r , 0,65 e EV -6,86; todos melhores que os obtidos para C1. Para dez dias, a precipitação utilizada em C1 levou a um melhor desempenho que a de C2, para NS (0,78) e r (0,89). Apenas para EV a simulação com dados de satélite foi melhor, no entanto o valor para C1 também pode ser considerado muito bom (-2,94%). Na escala mensal os valores de coeficientes NS e r são melhores que os encontrados na escala decenal. Ressalte-se que os valores

dos coeficientes obtidos nessa escala foram muito bons tanto para C1 (NS = 0,84 e R = 0,93) como para C2 (NS = 0,60 e R = 0,79). Assim, há indicativo da possibilidade de uso dos dados remotos na escala de dez dias e mensal. EV para ambos mostrou aumento, com C1 em valor superior (subestimado em 15,29%) a C2 (superestimado 14,43%). Tal resultado indica a necessidade de estudos quanto à seleção da função objetivo no processo de otimização automática para calibração, avaliando, por exemplo, o uso de técnicas de análise multiobjectivo, que considere também volumes (BRAVO et al., 2009).

Tabela 1. Indicadores de qualidade das estimativas dos valores de QE versus QO para diferentes cenários na bacia do rio Japaratuba nas escalas diária, decedial e mensal.

Escala temporal	Indicador	Cenário de precipitação utilizados na simulação			
		C1	C2	C3	C4
Diária	r	0,55	0,65	0,54	0,69
	NS	0,29	0,40	0,29	0,47
	EV	-10,99	-6,86	-7,61	-4,45
Decedial	r	0,89	0,75	0,62	0,76
	NS	0,78	0,56	0,35	0,50
	EV	-2,94	-0,65	11,37	-11,06
Mensal	r	0,93	0,79	0,83	0,84
	NS	0,84	0,60	0,69	0,70
	EV	-15,29	14,43	8,62	-12,10

r – Coef. de Correlação de Pearson; NS – Coeficiente de Nash-Sutcliffe; EV – Erro de Volume Percentual

CONCLUSÕES

As precipitações provenientes do TRMM mostraram bom potencial para utilização em simulações hidrológicas na bacia do rio Japaratuba.

Os dados de precipitação média mostraram melhor comportamento que os dados pontuais.

Recomendam-se aplicações apenas nas escalas temporais de dez dias e mensal.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb**: sistemas de informações hidrológicas. [Brasília, DF], 2014. Disponível em: <www.hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 02 jun. 2014.
- ARAGÃO, R.; CRUZ, M. A. S.; AMORIM, J. R. A.; MENDONÇA, L. C.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo SWAT e simulação dos processos hidrossedimentológicos em uma bacia no agreste nordestino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1091-1102, 2013.
- BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Verificação da eficiência e eficácia de um algoritmo evolucionário multi-objetivo na calibração automática do modelo hidrológico IPH II. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 3, p. 37-50, 2009.
- COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 01, p. 93-99, 2007.
- ESTADOS UNIDOS. National Aeronautics and Space Administration. **Tropical rainfall measuring mission**. 2014. Disponível em: <<http://trmm.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em : 02 jun. 2014.
- FAO. **Brazilian agriculture**: prospects and challenges. In: OECD-FAO Agricultural Outlook 2015. Paris: OECD Publishing, 2015. p. 61-109. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-5-en>. Acesso em: 01 fev. 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Sistema Integrado de Dados Ambientais** – SINDA. 2014. Disponível em: <<http://sinda.crn2.inpe.br/>>. Acesso em: 02 Jun. 2014.
- MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transaction of ASABE**, v. 50, p. 885-900, 2007.
- NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNICO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM na Sub- Bacia da Amazônia ocidental. **Revista de Geografia**, v. 25, p. 06-20, 2008.
- PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 139-148, 2013.
- SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A. S.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011.

USO E COBERTURA DAS TERRAS DA BACIA DO RIO PAJEÚ, PE (ESCALA 1:100.000) E SUAS RELAÇÕES COM O RELEVO E A DESERTIFICAÇÃO

LUCIANO JOSÉ DE OLIVEIRA ACCIOLY; ADEMAR BARROS DA SILVA;
EDILTON DE ALBUQUERQUE CAVALCANTI JUNIOR

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar os riscos à desertificação relacionados ao uso e à cobertura quando considerado isoladamente e em combinação com o relevo na Bacia do Rio Pajeú. Obteve-se o mapa de cobertura a partir da interpretação visual de imagens do sensor Landsat 8 OLI e as declividades a partir de dados do SRTM. As classes de cobertura foram: (1) mata serrana; (2) caatinga densa; (3) caatinga aberta; (4) agricultura; (5) pastagem; (6) água; (7) área urbana. A vegetação natural cobre 75% da bacia e 25% são áreas antropizadas, principalmente, pela agricultura e por pastagens. Observou-se um equilíbrio entre as áreas de caatinga aberta (572.691 ha) e de caatinga densa (638.212 ha). As áreas de caatinga densa sugerem uma cobertura adequada contra a desertificação. O contrário se espera das áreas com caatinga aberta. As áreas de agricultura e pastagem são as mais vulneráveis a este fenômeno em função da ausência de manejo que previnam a desertificação. Os relevos plano e suave ondulado representam 71,2% da área da bacia, sendo menos susceptíveis aos processos erosivos e à desertificação. A agricultura predomina nas áreas de relevos plano, suave ondulado e ondulado. Nessas áreas, o agricultor deve implementar técnicas simples de manejo e conservação do solo até as mais complexas contra a desertificação. Há predomínio da caatinga aberta nas áreas planas e suave onduladas, sugerindo tratar-se de regeneração sobre áreas degradadas.

Termos para indexação: antropismo, caatinga aberta, caatinga densa.

LAND USE AND LAND COVER OF PAJEÚ'S RIVER BASIN (BRAZIL) AND ITS RELATIONSHIPS WITH THE RELIEF AND DESERTIFICATION

ABSTRACT

Knowledge of the spatial distribution and the relief position of land use and land cover (LULC) is essential in studies of environmental degradation in river basins. In the semi-arid northeastern desertification is the main result of inappropriate land management. The aim of this study is to analyze the risks of desertification related to LULC when considered alone and in combination with the relief in the Pajeú River basin. We obtained the coverage map from the visual interpretation of Landsat 8 OLI and slopes from SRTM data. LULC classes were: (1) mountain forest; (2) dense caatinga; (3) open caatinga; (4) agriculture; (5) pasture; (6) water; (7) urban area. Natural vegetation covers 75% of the basin while 25% are disturbed areas, mainly for agriculture and pastures. There was a balance between the areas of open caatinga (572,691 ha) and dense caatinga (638,212 ha). The areas of dense caatinga suggest adequate coverage against desertification. The opposite is expected of areas with open caatinga. The areas of agriculture and pasture are the most vulnerable to desertification due to absence of adequate land management. The flat and gently slope areas represent 71.2% of the basin area. Those areas are less susceptible to erosion and desertification. Agriculture predominates in flat, gently slope and strongly sloping areas forcing land owner to use from simple to complex management techniques against desertification. There is a predominance of open caatinga in the flat and gently sloping areas suggesting regeneration on degraded land.

Index terms: anthropism, open caatinga, dense caatinga.

INTRODUÇÃO

O uso e a cobertura das terras respondem, em grande parte, pelos efeitos maléficos e benéficos que o homem causa ao meio ambiente. Portanto, o conhecimento da distribuição espacial dos tipos de cobertura e seus usos é imprescindível em qualquer ação que envolva o estudo do meio ambiente. Efeitos de alterações no uso e na cobertura estão associados ao ciclo hidrológico (CALAZANS et al., 2002) e na degradação das terras (BAJOCCO et al., 2012).

Na região semiárida brasileira, o desmatamento da caatinga para produção agrícola ou pecuária provoca severas perdas de água, solo e nutrientes, intensificando os efeitos das secas recorrentes e provocando desertificação (SILVA; SANTOS, 2012). Além de outros fatores, essas perdas são dependentes da declividade do terreno (SILVA, 2000).

O uso e a cobertura das terras são estudados em conjunto com outras variáveis utilizando-se, em muitos casos, a bacia hidrográfica como unidade representativa dessas variáveis. Esse tem sido o caso de vários estudos realizados no ambiente da caatinga (SILVA; SANTOS, 2012). O objetivo deste trabalho foi analisar os riscos à desertificação relacionados ao uso e à cobertura da bacia do rio Pajeú quando considerado isoladamente e em combinação com o relevo.

MATERIAL E MÉTODOS

A Bacia do Rio Pajeú possui uma área de 16.767 km² e localiza-se no sertão pernambucano entre as coordenadas geográficas 07°16'20" e 08°56'01" de latitude sul, e 36°59'00" e 38°57'45" de longitude oeste (Figura 1). Pela classificação de Köppen, os tipos climáticos da bacia são aqueles que predominam no sertão pernambucano: BSw'h' e BSw'h'. As precipitações pluviométricas são menores nas proximidades do Rio São Francisco, com média anual entre 400 mm e 500 mm e maiores ao norte, em que a média anual situa-se entre 700 mm e 800 mm. No que se refere aos solos, na área predominam as classes Luvisolos, Neossolos Li-

tólicos, Planossolos e Argissolos. Na bacia, encontram-se 31 municípios, com população total de 482.217 habitantes.

Para a elaboração do mapa de uso e cobertura, foram utilizadas as cenas do sensor Landsat 8 OLI 215/065 e 215/066 com passagem em 14/1/2015 e 216/065 e 216/066 com passagem em 30/10/2013. As imagens foram fusionadas para melhoria da interpretação visual. A interpretação visual envolve elementos de reconhecimento distintos tais como: tom, cor, tamanho (comprimento, largura, perímetro e área), forma, textura, padrão, altura e profundidade, sítio, situação e associação (JENSEN, 2009).

As variáveis do relevo, declividade e altitude, foram obtidas utilizando-se os dados do “Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)” com resolução espacial nominal de 30 m.

As classes de cobertura mapeadas foram: (1) caatinga aberta; (2) caatinga densa; (3) mata serrana; (4) agricultura; (5) pastagem; (6) água; (7) área urbana. As matas serranas são frações da floresta tropical perenifólia, dentro da zona da caatinga (ANDRADE-LIMA, 1960).

A classe caatinga densa compreende áreas em estágios avançados de regeneração ou áreas de caatinga “preservada”. Na classificação sugerida por Paraíba (2004), que tem por finalidade atender as exigências dos estudos do potencial lenheiro, essa classe teria semelhanças com a caatinga do tipo T3 (caatinga arbustivo arbórea fechada) e T4 (caatinga arbórea fechada). Nessa classe, as árvores são mais altas e o estrato vertical mostra um perfil mais heterogêneo. As características da caatinga aberta podem ou não ser semelhantes à da caatinga densa quanto à altura das plantas, no entanto, a densidade das árvores é menor. Na classificação sugerida pelo governo da Paraíba (2004), a caatinga aberta teria semelhanças com o tipo T2 (caatinga arbustivo arbórea aberta). As classes agricultura e pastagem, na maioria dos casos, são espectralmente semelhantes na estação seca. No entanto, há possibilidade de separação visual, uma vez que a agricultura ocupa, geralmente, áreas menores

que as pastagens. Os padrões de reconhecimento dessas classes foram conferidos utilizando-se dados de campo e imagens de alta resolução presentes no software Google Earth®.

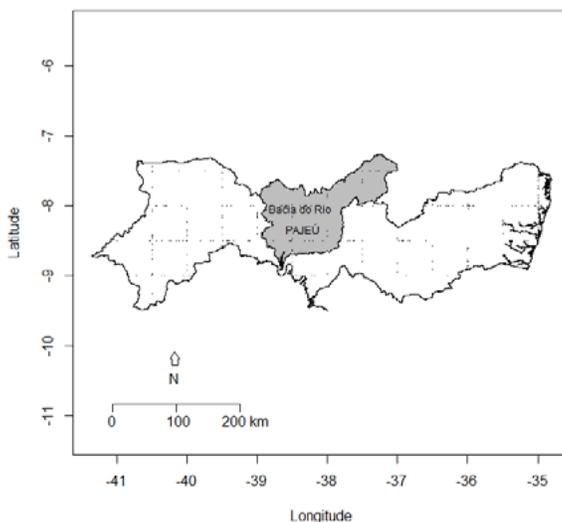


Figura 1. Localização da Bacia do Rio Pajeú no Estado de Pernambuco, PE.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por limitação de espaço, não serão comentados nem apresentados os mapas da distribuição espacial das classes de uso e cobertura nem de suas relações com o relevo, restringindo-se à análise quantitativa dos dados obtidos a partir desses mapas. Na Tabela 1, apresentam-se a distribuição das áreas por classe de uso e cobertura (última linha), por relevo (última coluna) e o cruzamento entre essas duas variáveis. Verifica-se que a paisagem natural representada pela caatinga aberta e pela caatinga densa predomina em cerca de três quartos da área, enquanto as áreas antropizadas (agricultura e pastagem) respondem por, aproximadamente, um quarto da ocupação. O relevo da bacia é pouco movimentado, apresentando as classes de menor declividade: plano, suave ondulado e ondulado em 92,3% da área (1.534.591 ha).

Tabela 1. Distribuição das classes de uso e cobertura das terras da Bacia do Pajeú - PE, de acordo com a classe de relevo.

Classe de relevo	Caatinga aberta (ha)	Caatinga densa (ha)	Mata Serrana (ha)	Agricultura (ha)	Pastagem (ha)	T.C.R. ⁽¹⁾ (ha)
Plano (0% a 3%)	176.331	119.811	122	103.233	30.879	429.376
Suave ondulado (3% a 8%)	280.938	260.902	536	155.925	53.199	751.500
Ondulado (8% a 20%)	96.222	166.895	1.630	59.737	29.231	353.715
Forte ondulado (20% a 45%)	17.149	74.717	2.213	6.646	7.629	108.354
Montanhoso (45% a 75%)	1.886	14.659	395	375	683	17.998
Escarpado (> 75%)	117	1.040	46	8	29	1.240
Área de preservação permanente (> 100%)	48	188	5	0	3	244
Área total por classe de uso e cobertura (ha)	572.691	638.212	4.497	324.924	121.653	

⁽¹⁾ Área total por classe de relevo.

As relações entre a declividade do terreno e a cobertura indicam que a agricultura predomina nas áreas de relevo plano, suave ondulado e ondulado. Assim, dos 324.295 ha cobertos por essa classe, 103.233 ha (31,5%) estão sob relevo plano; 155.925 ha (48,1%), sob relevo suave ondulado; e 59.737 ha (18,4%), sob relevo ondulado. Considerando que os riscos de degradação do solo aumentam com o aumento da declividade, podemos afirmar que aproximadamente 80% da área, com relevos plano e suave ondulado, apresenta um risco menor de desertificação, mesmo considerando que isoladamente a atividade agrícola deixa o solo mais vulnerável à erosão. O uso de práticas simples de combate à erosão, como cultivo em contorno, pode reduzir substancialmente as perdas de solo e água por erosão e, conseqüentemente, os riscos de desertificação nessas áreas. Os 18,4% de área com agricultura em relevo ondulado apresentam maiores riscos de erosão e, portanto, devem ser protegidos com o uso de práticas de conservação de solo mais complexas como os terraços. As áreas com declividade superiores a 20% devem ser evitadas para o uso agrícola. Visando evitar a desertificação, essas áreas devem, preferencialmente, ser mantidas com a vegetação nativa, procurando-se aplicar o manejo sustentado da caatinga, com o objetivo de garantir uma renda adicional com a venda da lenha pelos agricultores.

As pastagens ocupam, preferencialmente, áreas de relevo plano (30.879 ha) e suave ondulado (53.199 ha), representando poucos riscos à desertificação, desde que sejam mantidas taxas de lotação adequadas à produção de biomassa. A caatinga aberta responde por 40,2% (176.331 ha) da cobertura nas áreas planas e por 37,1% nas áreas de relevo suave ondulado. Uma hipótese para esse fato é a de que as áreas com caatinga aberta correspondem às áreas outrora coberta com agricultura e que foram abandonadas como parte do sistema que prevalece na região: o da agricultura itinerante (CAMPANHA et al., 2010). O esgotamento da fertilidade natural por este sistema, uma das causas da desertificação, leva a um crescimento lento da caatinga que apresenta baixa densidade e porte pequeno.

CONCLUSÕES

A agricultura e as pastagens cobrem aproximadamente um quarto da área da bacia e, independente do relevo, são as classes de cobertura que apresentam maiores riscos de desertificação já que são praticadas sem o uso de técnicas de manejo que preservem o meio ambiente.

A agricultura é praticada, principalmente, nas áreas de relevo plano e suave ondulado, exigindo práticas simples de conservação de solo para evitar a desertificação.

A área de vegetação natural representa três quartos da área da bacia.

As áreas de caatinga aberta (572.691 ha) ocorrem, principalmente, nos relevos plano e suave ondulado, sugerindo tratar-se de áreas degradadas pela agricultura itinerante.

As áreas de caatinga densa sugerem uma cobertura adequada do solo protegendo-o contra a desertificação.

REFERÊNCIAS

ANDRADE-LIMA, D. de. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. **Arquivos do Instituto de Pesquisas Agronômicas**, v. 5, p. 305-341, 1960.

Bajocco, S.; De Angelis, A.; Perini, L.; Ferrara, A.; Salvati, L. The impact of land use/land cover changes on land degradation dynamics: a Mediterranean case study. **Environmental management**, v. 49, n. 5, p. 980-989, 2015.

CALASANS, N. A. R.; LEVY, M. do C. T.; MOREAU, M. Interrelações entre clima e vazão. In: SHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas**: teorias e aplicações. Ilhéus: EDITUS, 2002. p. 67-90.

CAMPANHA, M. M.; GUIMARÃES, V. P.; BOMFIM, M. A. D. **Sistema agrossilvipastoril caprinos e ovinos**: reunião técnica. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2010. 30 p. (Embrapa Caprinos e Ovinos. Documentos, 97).

JENSEN, J. R. Elementos de interpretação visual de imagens. In: JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009. p. 129-150.

PARAÍBA. Superintendência do Desenvolvimento do Meio Ambiente. Centro de Estudos Técnicos e Científicos da Paraíba. **Atualização do diagnóstico florestal do estado da Paraíba**. João Pessoa, 2004. 268 p.

SILVA, J. R. C. Erosão e produtividade do solo no Semiárido, In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JUNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (Ed.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará e Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 169-213.

SILVA, R. M. da; SANTOS, C. A. G. Análise das perdas de água e solo em um vertissolo cromado sob diferentes sistemas de manejo. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 32, n. 2, p. 93-107, 2012.

Embrapa

Cerrados



Embrapa

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



CGPE 13152



ISBN 978-857035632-1