

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



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

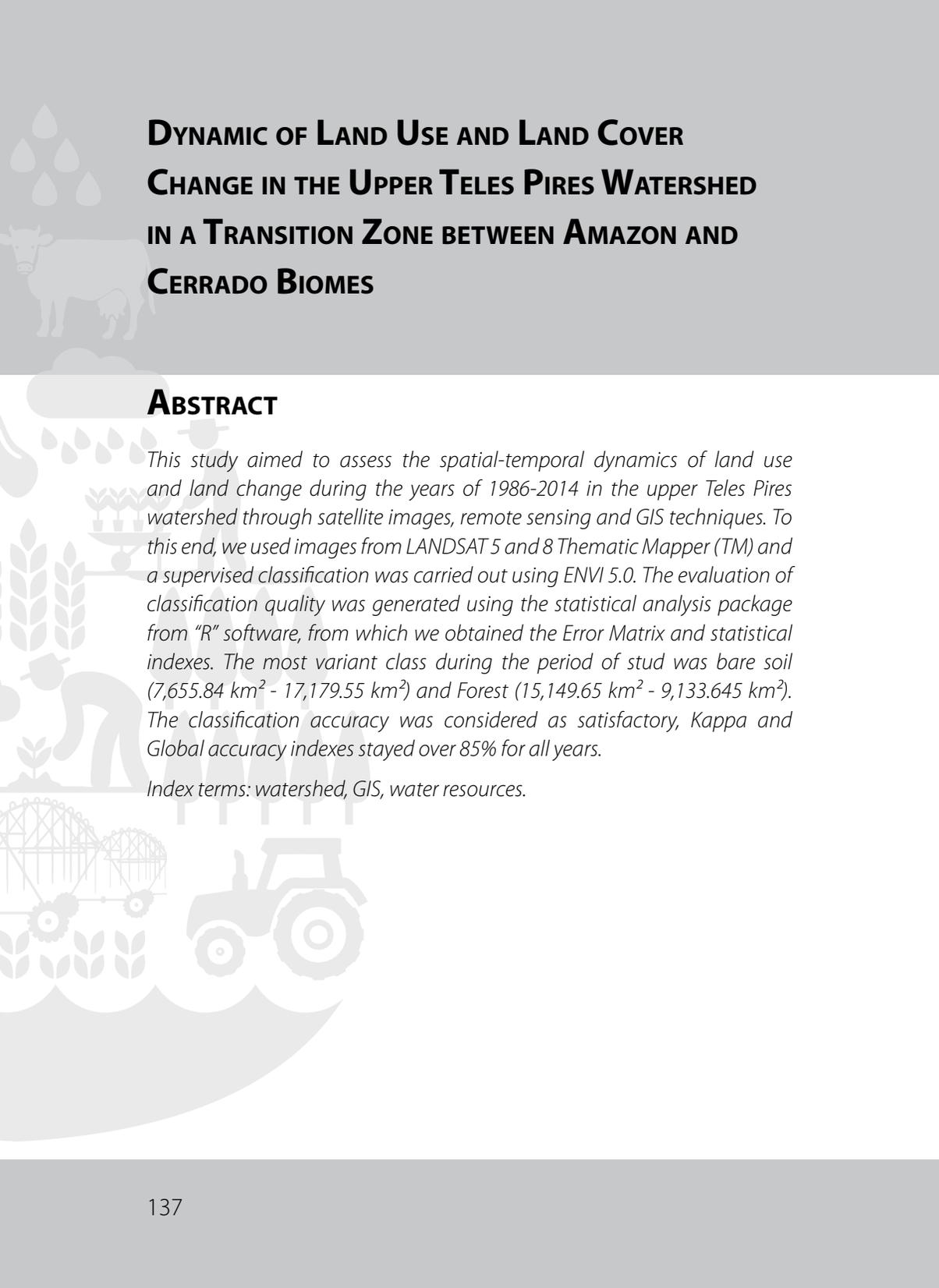
MUDANÇA DO USO DA TERRA EM UMA BACIA NA TRANSIÇÃO CERRADO/ AMAZÔNIA NO NORTE DE MATO GROSSO

**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.

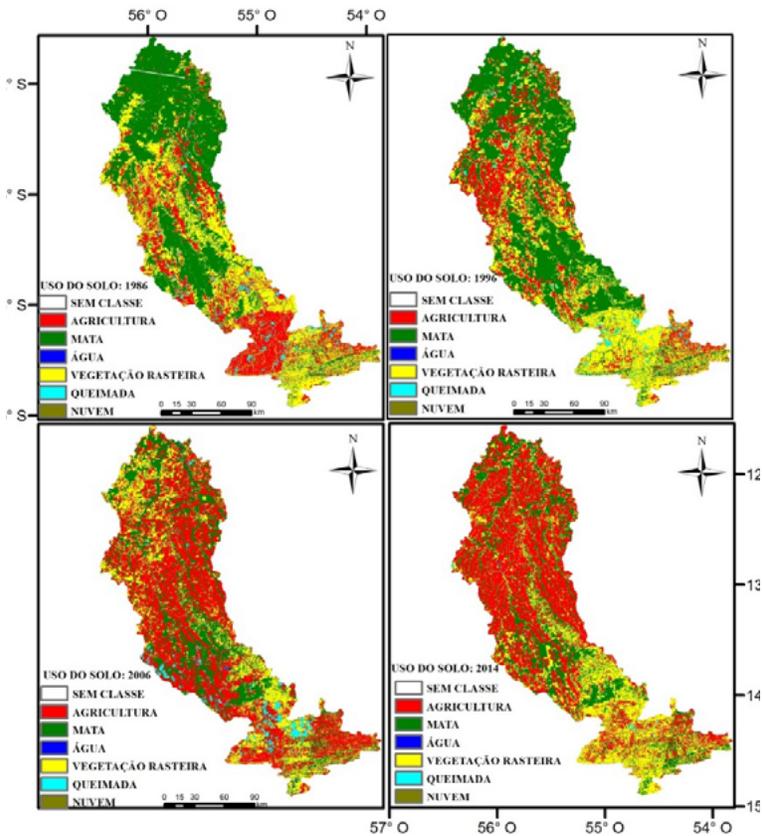


Figura 1. Mapas do uso e da cobertura do solo na bacia hidrográfica do alto Rio Teles Pires entre os anos de 1986 e 2014.

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.