

Avaliação da dinâmica de bancos de areia com imagens de alta resolução no rio Areal do Limeira, Sul do Brasil

Assessment of sand bed dynamics using high-resolution images in Areal do Limeira river, South Brazil

Lucas Krein Rademann^{*}, Romario Trentin^{**}, Luis Eduardo de Souza Robaina^{***}, Fabio Marcelo Breunig^{****}

^{*} Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, lucasrademann@yahoo.com

^{**} Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, romario.trentin@gmail.com

^{***} Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, lesrobaina@yahoo.com.br

^{****} Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, fabiobreunig@gmail.com

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v57i0.87358>

Resumo

A dinâmica de deposição dos rios é determinada pela capacidade de transporte e o volume de sedimentos disponíveis no canal de drenagem. Por vezes as mudanças nesta dinâmica pode ser um indicativo de desequilíbrio ambiental, cabendo a sua análise para auxiliar no planejamento e ordenamento territorial. Desta forma, o trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica dos bancos de areia no Rio Areal do Limeira entre os anos de 2009 a 2020 com o auxílio de imagens de alta resolução espacial. A metodologia consistiu no uso de uma série de imagens RapidEye, para a vetorização através de interpretação visual sobre a imagem dos bancos de areia na Bacia Hidrográfica do Rio Areal do Limeira. Posteriormente os dados foram tabulados, analisados em função da dinâmica temporal. Houve uma maior ocorrência de bancos de areia entre os anos de 2009 e 2012, coincidindo com a implementação da silvicultura na área de estudo, seguido de uma acentuada queda até o ano de 2015, e uma pequena alta e estabilização nos anos seguintes, quando as plantações de silvicultura estavam em fase mais madura. De modo geral, a utilização de imagens de alta resolução permitiu identificar os depósitos arenosos fluviais, com uma precisão e qualidade adequados.

Palavras-chave:

Dinâmica Fluvial, Sensoriamento Remoto, Assoreamento.

Abstract

The river deposition dynamic is determined by their transport capacity and the volume of sediments available in the drainage channel. Such changes in this dynamic can be an indicative of an environmental disturbance, and its evaluation can assist the territorial planning, mangement and ordering. In this way, this work aims to analyze the dynamics of sandbanks in the Areal do Limeira River, between the years of 2009 and 2020 using high spatial resolution satellite images. The methodology consisted in the use of a series of RapidEye images, for the visual vectorization on the

image of the sand beds in the Areal do Limeira River Basin. Subsequently, the data were tabulated, analyzed and compared with the rainfall volume and land use aspects. There was a higher occurrence of sandbanks between 2009 and 2012, coinciding with the implementation of forestry plantations in the study area, followed by a sharp decline until 2015, and a small increase and stabilization in the following years, when the forestry plantations reached the mature stage. In general, the use of high-resolution images has allowed for the identification of fluvial sand beds, with adequate precision and quality.

Keywords:

Fluvial Dynamics, Remote Sensing, Silting.

I. INTRODUÇÃO

O ambiente está em constante transformação causada por processos naturais ou por intervenções antrópicas. A dinâmica de erosão e deposição de rios é determinada pela velocidade da água e sua capacidade de transporte, e ainda, pelo volume e tamanho dos sedimentos que lhe são fornecidos (BHATTACHARYA et al., 2016). Por vezes, estas transformações podem indicar desequilíbrios ambientais e a análise destas mudanças se torna importante para compreender os processos atuantes e auxiliar no planejamento e ordenamento territorial (SIMENSEN et al., 2018; YANG et al., 2020).

Para compreender a dinâmica dos bancos de areia em rios, usualmente são utilizados pontos de medida para aferição e modelagem da tensão de cisalhamento e rugosidade, velocidade e volume da água, morfologia do canal de drenagem e medidas de granulometria da areia, em diferentes pontos do rio (GERALD, 1967; MUELLER et al., 2005; VERICAT et al., 2008; NEUHOLD et al., 2011; FAGHERAZZI et al., 2015). Entretanto, tem se ampliado a utilização de imagens de satélite para o auxílio do monitoramento de bancos de areia, pois permite um maior recobrimento espacial e temporal e com baixo custo (TEOTIA et al., 2009; SOUZA E REIS, 2011; STRICK et al., 2019; BLASCO et al., 2020).

Diversos produtos de sensoriamento remoto têm demonstrado potencial para avaliar a dinâmica de dunas de areia com dados de radar de abertura sintética (SAR) (ŁABUZ, 2016; BLASCO et al., 2020), quantificação de frações de areia em solo (SALISBURY et al., 1992; HUETE et al., 2003; BREUNIG et al., 2008; BREUNIG et al., 2009) e estudar bancos de areia de rios (CARBONNEAU et al., 2006; CARBONNEAU 2018; STRICK et al., 2019). O lançamento da constelação RapidEye representou um marco na geração de imagens de alta resolução espacial e alta repetitividade (RAPIDEYE, 2012). Com dados disponíveis desde 2009, um amplo banco de dados foi criado e complementado com a constelação PlanetScope, com mais de 150 3U (10/10/30cm) (PLANET TEAM, 2020, 2019). Assim como a série histórica do programa Landsat, com mais de 50 anos é única (MASEK et al., 2020), o

banco de dados RapidEye é singular, dado seu refinamento espacial e temporal. Apesar do potencial desses dados frente a resolução espacial mediana dos dados Landsat (MASEK et al., 2020) e Sentinel-2 MSI (DRUSCH et al., 2012), poucos estudos têm sido desenvolvidos para avaliar a dinâmica de bancos de areia dos rios brasileiros (VIEIRA et al., 2017).

No sul do Brasil, a ocorrência de erosão acelerada e o desenvolvimento de voçorocas de grande magnitude têm causado significativa degradação do solo e diminuição da fertilidade (ROBAINA et al. 2002; ROBAINA E TRENTIN, 2004; CABRAL, 2004; CABRAL, 2018; RADEMANN, 2019). Ainda, uma dinâmica de usos da terra é marcada pela alternância do uso de campos de vegetação nativa, agricultura e silvicultura (SILVA, 2012; RADEMANN et al. 2019) e tem levado a um assoreamento dos canais de drenagem da região (CABRAL, 2004; SUERTEGARAY, 2012).

Tendo em vista a dinâmica do uso da terra nas últimas décadas e a problemática da erosão na área de estudo se faz necessário o estudo do seu impacto nos corpos hídricos. Desta forma, o trabalho tem como objetivo avaliar a dinâmica dos depósitos arenosos que ocorrem nas margens dos canais de drenagem do Rio Areal do Limeira utilizando uma série temporal de imagens da constelação RapidEye entre os anos de 2009 e 2020. Foram exploradas as relações entre a área de deposição e o regime pluvial e as mudanças do uso e ocupação da terra que ocorrerem no período estudado.

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Areal do Limeira (BHAL) está situada na porção central do município de Cacequi, no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1), possui uma área total de 71,14 km², compreendendo um relevo de transição entre colinas e planícies (RADEMANN et al., 2016). Na foz da bacia hidrográfica a altitude é de 92 metros, e na porção mais alta chega a valores de altitude de até 190 metros, marcando uma amplitude altimétrica de 98 metros. As colinas, localizadas na porção superior da bacia, possuem declividades que variam de 5 a 15% tendo como máximo de declividade um valor de 52%. As áreas de planície apresentam declividades até 2%, estando associadas as partes baixas da bacia hidrográfica e o canal de drenagem principal. De modo geral, a área de estudo possui declividades médias em torno de 6,9%, característico de relevo suave ondulado (RADEMANN; TRENTIN, 2018).

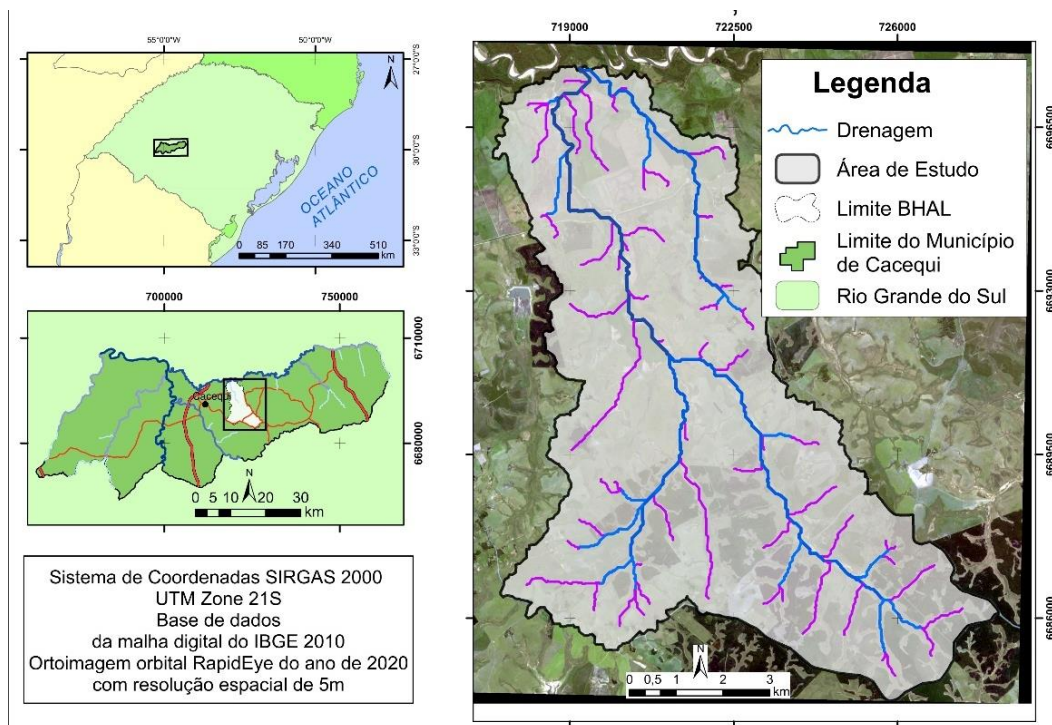


Figura 1 - Localização da área de estudo no sudoeste do Rio grande do Sul, Brasil. (Os autores, 2023)

O Rio Areal do Limeira possui um índice de sinuosidade de 1,25 e a bacia como um todo possui uma densidade de drenagem de 1,43 km/km² (RADEMANN, e TRENTIN, 2015). A BHAL é caracterizada pela ocorrência de bancos de areia de significativa magnitude nos canais de drenagem, com variações de tamanho e concentração ao longo do tempo. As litologias são divididas em Formação Pirambóia na porção superior e Depósitos aluviais atuais e Colúvios na porção de mais baixa altitude da bacia (CPRM, 2006). O clima da região é definido como Cfa, com verões quentes, subtropical de acordo com a classificação Köppen-Geiger (KOTTEK et al., 2006; ALVARES et al., 2013) onde a precipitação é bem distribuída no ano, com variação de 1.600 a 2.200 mm (ALVARES et al., 2013).

II. MATERIAIS E MÉTODOS

As imagens RapidEye foram geradas pelos sensores RapidEye Earth Imaging System (REIS) e foram adquiridas no repositório PlanetExplorer (Planet Team, 2020). Estes sensores geraram imagens para as bandas do Azul (440–510nm), Verde (520-590nm), Vermelho (630-685nm), Red-Edge (690-730nm), e Infravermelho Próximo (760-850nm). Os dados foram adquiridos com a correção radiométrica e atmosférica aplicada pelo modelo ATCOR3 (Richter, 2007). A resolução espacial original é de 6,5 metros, e após a ortoretificação as bandas são reamostradas para uma resolução de 5m, resultando em imagens corrigidas com precisão de

detalhes compatível com escala 1:25.000. Acredita-se que seja adequado para avaliar os bancos de areia na área de estudo.

Foram utilizadas composições coloridas verdadeira (RGB) e falsa cor (IVRG) para a interpretação das imagens dos anos de 2009 a 2020 onde foram identificados e vetorizados os bancos de deposição sobre a imagem em toda a extensão da bacia do rio Areal do Limeira. As datas das imagens foram escolhidas de acordo com a disponibilidade de imagens com boa qualidade, sem cobertura de nuvens. Assim, foi selecionada uma imagem para cada ano analisado, aproximadamente do mesmo período do ano, correspondendo ao verão (dez – mar).

Para caracterizar a dinâmica de precipitação no período de 2009 a 2020, foram utilizados dados reprocessados do “Time Series, Area-Averaged of Precipitation Rate monthly 0.25 deg. (TRMM TRMM_3B43 - TRMM 3B43: Monthly Precipitation Estimates) e Time Series, Area-Averaged of 2-meter air temperature monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2IMNXASM v5.12.4] Cover 2009-Jan - 2020-Dec, Region 54.8602W, 29.7894S, 54.7394W, 29.6906S (GIOVANNI/NASA, 2021). Na relação entre a precipitação e os bancos de areia foram utilizados os dados referentes aos meses de janeiro, fevereiro e março, buscando aproximar a precipitação acumulada no período próximo a data das imagens analisadas.

Análise dos dados

A delimitação e quantificação dos bancos de areia foi realizada utilizando a vetorização manual (Supervisionada), tendo por base a composição colorida cor-verdadeira e falsa cor. Na sequência foram geradas informações de área, perímetro e centroides para cada banco de areia em cada ano estudado. Os bancos de areia foram divididos em três classes, sendo menores que 0,1 ha, de 0,1 a 0,5 ha e maiores do que 0,5 ha. A análise detalhada de algumas áreas da bacia hidrográfica foi realizada no período de cenário mais tradicional do ano de 2009 onde a região apresentava o uso predominante de campos associados a criação extensiva de gado, bem como das datas de 2012, 2015 e 2020 períodos em que a área de estudo passou por transformações no uso da terra com a implantação e desenvolvimento da silvicultura.

As variações desses dados foram analisadas ao longo do período de estudo e confrontadas com as informações de precipitação. O cruzamento de informações de mudanças dos parâmetros quantitativos e qualitativos dos bancos de areia com os dados de precipitação foram feitas de forma analítica no software Origin 2021.

Para auxiliar na compreensão dos drivers (gatilhos) de mudança dos bancos de areia, foram coletadas informações através de trabalho de campo conduzidas no período de 2014 a 2019 em cinco diferentes

ocasiões, com levantamentos descritivo e fotográficos e aerolevantamentos onde foram observadas a ocorrência de processos erosivos lineares e a mudança do uso e cobertura da terra.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O item apresenta a análise e discussão dos dados obtidos na pesquisa. Inicia com a caracterização morfométrica e climática, seguido pela análise dos bancos de areia e uma discussão da relação com os dados climáticos e aspectos do uso e cobertura da terra na área.

Caracterização pluviométrica da bacia

A bacia hidrográfica do rio Areal do Limeira possui uma área total de 71,14 km², compreendendo um relevo de transição entre colinas e planícies (RADEMANN et al., 2016). Na porção montante da bacia são predominantes as unidades de colinas e mais próximo a foz, a planície fluvial do rio Ibicuí. Na foz da bacia hidrográfica a altitude é de 92 m, e na porção mais alta chega a valores de altitude de até 190 m, marcando uma amplitude altimétrica de 98 metros.

O clima na área de estudo, de acordo com Rossato (2011), tem como característica o predomínio de sistemas polares (45 – 48% dos dias do ano) onde os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações. As precipitações anuais variam de 1.500 – 1.700 mm e as temperaturas têm médias anuais de 17 – 20°C. As temperaturas oscilam durante o ano apresentando as mínimas no inverno, principalmente nos meses de junho e julho e as máximas no verão, nos meses de dezembro e janeiro.

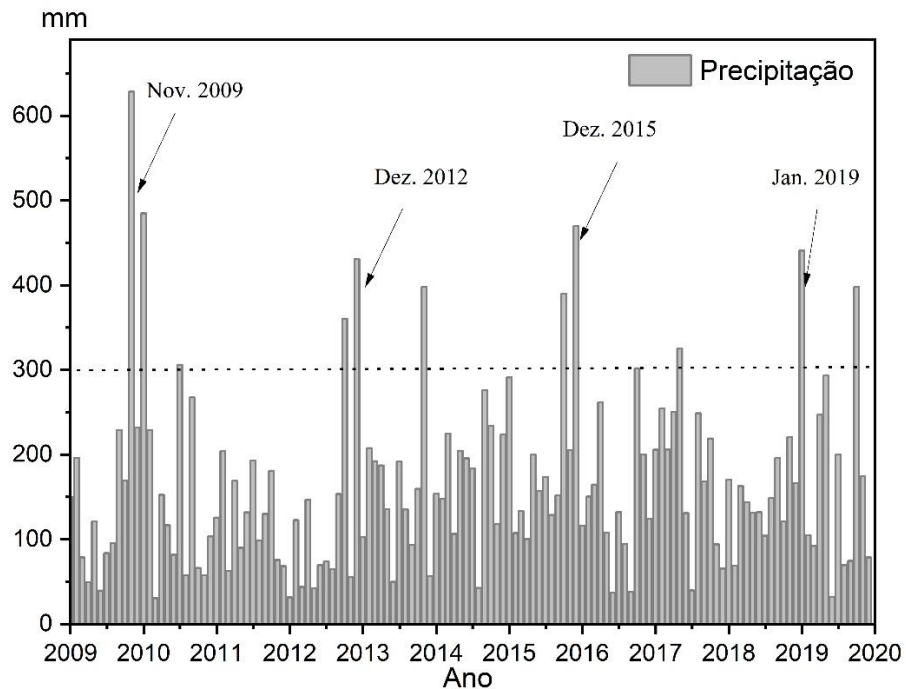


Figura 2 - Avaliação da precipitação mensal acumulada para o período de 2009 a 2020. A linha pontilhada indica o limiar de chuva acumulada de 300mm/mês. Algumas datas são indicadas como eventos de alta precipitação. (Os autores, 2023)

Dinâmica do uso e cobertura da terra: A implantação da silvicultura

A partir do ano de 2004 (SILVA, 2012), com o ingresso das empresas de papel e celulose no sul do Brasil grande parte das áreas de campo foram ocupadas pela silvicultura, como no caso da bacia hidrográfica do rio Areal do Limeira. As áreas escolhidas para a plantação de espécies exóticas foram as de maior fragilidade ambiental, devido ao seu preço mais baixo, como as áreas de ocorrência de voçorocas (MARCHIORI e ALVES, 2010; SUERTEGARAY e MORELLI, 2010) conforme mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**



Figura 3 - Associação de silvicultura e voçoroca de grande porte na área de estudo. (Os autores, 2023)

O plantio de eucaliptos, na área de estudo, subiu 268% entre os anos de 2009 e 2012 (de 303,33 hectares para 1.188,62 hectares, respectivamente), conforme observado no mapa da Figura 4.

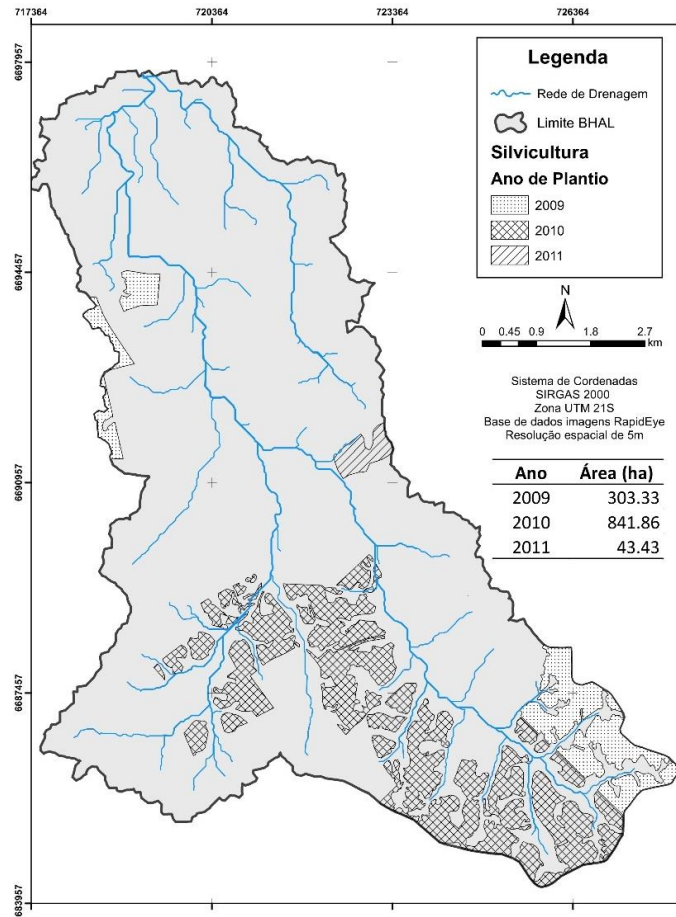


Figura 3 - Mapa do ano de plantio de silvicultura na bacia hidrográfica do rio Areal do Limeira (BHAL) entre os anos de 2009 e 2011. (Os autores, 2023)

Análise dos bancos de areia

Através da análise da variação temporal dos bancos de areia na área de estudo é possível afirmar que há um predomínio de áreas de deposição inferiores a 0,1 ha, tendo em média a ocorrência de 54,83 depósitos/ano durante o período estudado. De modo geral, o ano de 2012 foi o que apresentou maior área total de bancos de areia com 23,60 ha (Tabela 1) e o ano de 2015 foi o com menor área de ocorrência (13,28 ha).

Tabela 1 - Variação da área e quantidade de bancos de areia entre 2009 e 2020 mapeados anualmente a partir das imagens RapidEye.

Ano	Total de área de deposição (ha)	Número de áreas de deposição com até 0,1 ha (unid.)	Áreas de deposição até 0,1 ha (ha)	Número de áreas de deposição entre 0,1 e 0,5 ha (unid.)	Área de deposição entre 0,1 e 0,5 ha (ha)	Número de áreas de deposição > 0,5 ha (unid.)	Área de deposição > 0,5 ha (ha)
2009	23,39	52	2,96	56	12,61	10	8,23
2010	21,93	79	3,16	49	11,28	8	7,49
2011	20,61	52	2,70	52	11,15	9	6,76
2012	23,60	39	2,23	54	12,96	11	8,41
2013	22,05	30	1,63	57	12,94	8	7,48
2014	17,52	61	2,49	47	11,84	4	3,18
2015	13,28	32	1,87	37	8,41	4	3,00
2016	19,31	95	4,03	54	11,73	5	3,55
2017	15,44	59	2,62	44	9,94	4	2,88
2018	18,39	40	2,04	38	8,84	8	7,51
2019	17,08	59	2,37	53	12,77	3	1,94
2020	17,89	60	2,96	40	9,53	6	5,40
Média	19,21	54,83	2,59	48,42	11,17	6,67	5,49

Onde ha é hectares e unid. é unidades. Fonte: Os autores, 2023.

Durante o período de 2009 até 2011 houve uma pequena tendência de diminuição das áreas de deposição, seguido pelo repentino aumento de 14,5% no ano de 2012, quando houve maior registro nos depósitos arenosos. Já de 2012 a 2015, quando atingiu os valores mínimos de área, houve uma redução de 77,68% destas áreas. Entre os anos de 2015 e 2016 houve novamente um aumento nas áreas de deposição de cerca de 31% e a partir deste ano as áreas se mantiveram estáveis até o ano de 2020, apresentando pequenas variações ao longo dos anos.

Discussão dos dados

Avaliou-se a relação da dinâmica temporal da área de deposição e a variação média da precipitação, considerando que eventos de grande volume de chuva podem acarretar a aceleração da erosão e consequentemente na deposição à jusante (LIU et al., 2020; MORGAN, 2005). Na área de estudo não se observou uma relação entre a precipitação média com as áreas de deposição como observado na Figura 5. De modo geral a precipitação nos períodos estudados foi bastante irregular, com média trimestral em torno de 470 mm apresentando picos de precipitação nos anos de 2010 (744 mm), 2017 (666 mm) e 2019 (637 mm) que não refletiram uma mudança perceptível pelo estudo dos bancos de areia na análise das imagens.

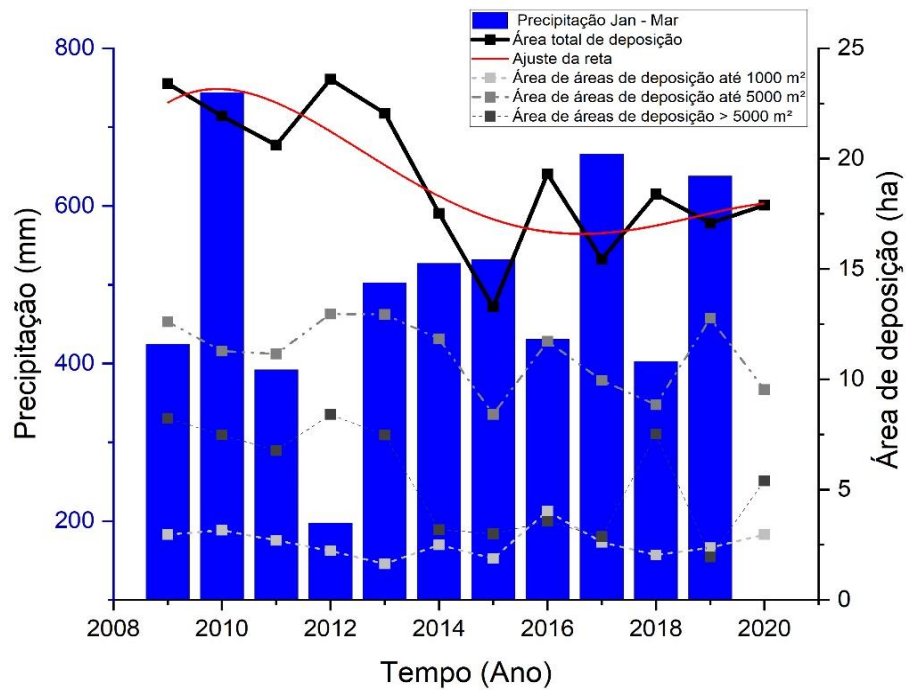


Figura 4 - Relação das áreas de deposição com a precipitação pluviométrica entre 2009 e 2020 para os meses de janeiro a março. (Os autores, 2023)

Quando se compara a mudança de uso da terra, na série analisada, com a implantação de florestas de eucaliptos observa-se diferenças na evolução dos depósitos de areia nas diferentes porções da área de estudo. Em uma área junto ao canal principal, no ano de 2009, observou-se duas grandes áreas de deposição, uma em cada lado do canal principal, somando aproximadamente 2,55 ha de área (Figura 5). No ano de 2012, neste mesmo local houve um grande aumento de área de deposição (cerca de 93%) principalmente no lado esquerdo do rio e ainda uma pequena diminuição da feição do lado direito, totalizando 4,92 ha.

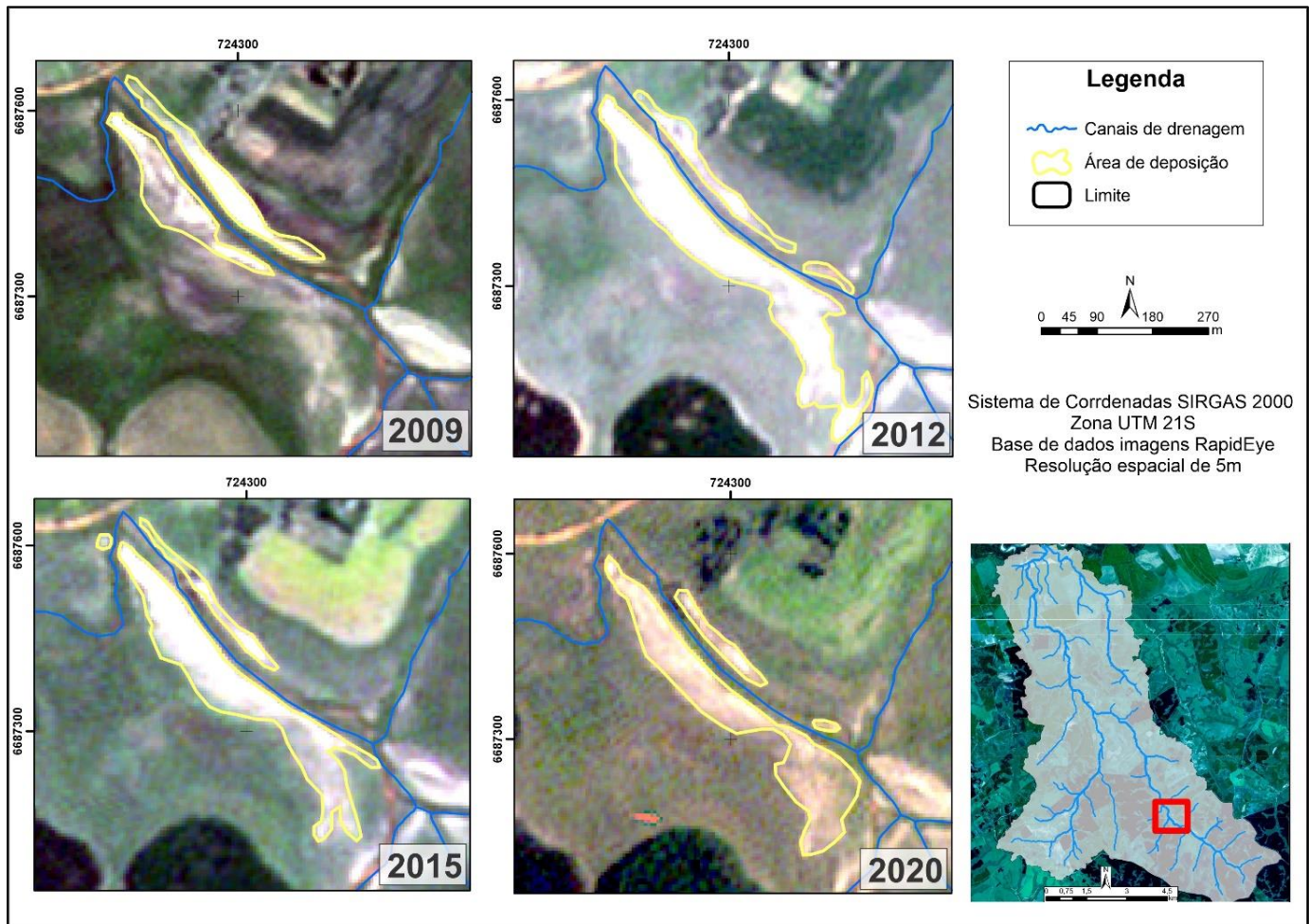


Figura 5 - Deposição fluvial junto ao canal principal. (Os autores, 2023)

As análises indicam que o aumento nas áreas de deposição a montante da bacia pode estar relacionado ao plantio de eucaliptos na área de estudo, cuja concentração subiu 268% entre os anos de 2009 e 2012 (de 303,33 hectares para 1.188,62 hectares, respectivamente). Nos anos seguintes houve uma diminuição dos bancos de areia de cerca de 23%, passando para 3,77 ha em 2020. Esta diminuição ocorreu de forma bastante homogênea nesta porção da área de estudo, com a diminuição dos bancos existentes, podendo estar associado à estabilização das vertentes pela cobertura do solo e ação das raízes.

Junto a um afluente do rio Areal do Limeira, próximo à uma área de ocorrência de voçorocas, o desenvolvimento dos bancos de areia foi semelhante ao encontrado próximo ao canal principal, onde houve um grande aumento da área de deposição entre os anos 2009 e 2012, porém ainda mais significativo de 752% (Figura 7). Este afluente possui uma significativa quantidade de voçorocas de grande porte associadas as suas vertentes de montante. Neste período os plantios em larga escala de eucaliptos, podem ter acelerado a erosão destas feições e contribuído para o grande aumento dos depósitos arenosos na área. Em geral, plantios florestais

tendem a gerar maiores impactos sobre a quantidade e qualidade da água em nível de bacias hidrográficas nos anos iniciais de implantação, dada a maior ação sobre o solo (ex. revolvimento, covas, limpeza, trânsito de máquinas, etc.) (PERRANDO et al., 2021).

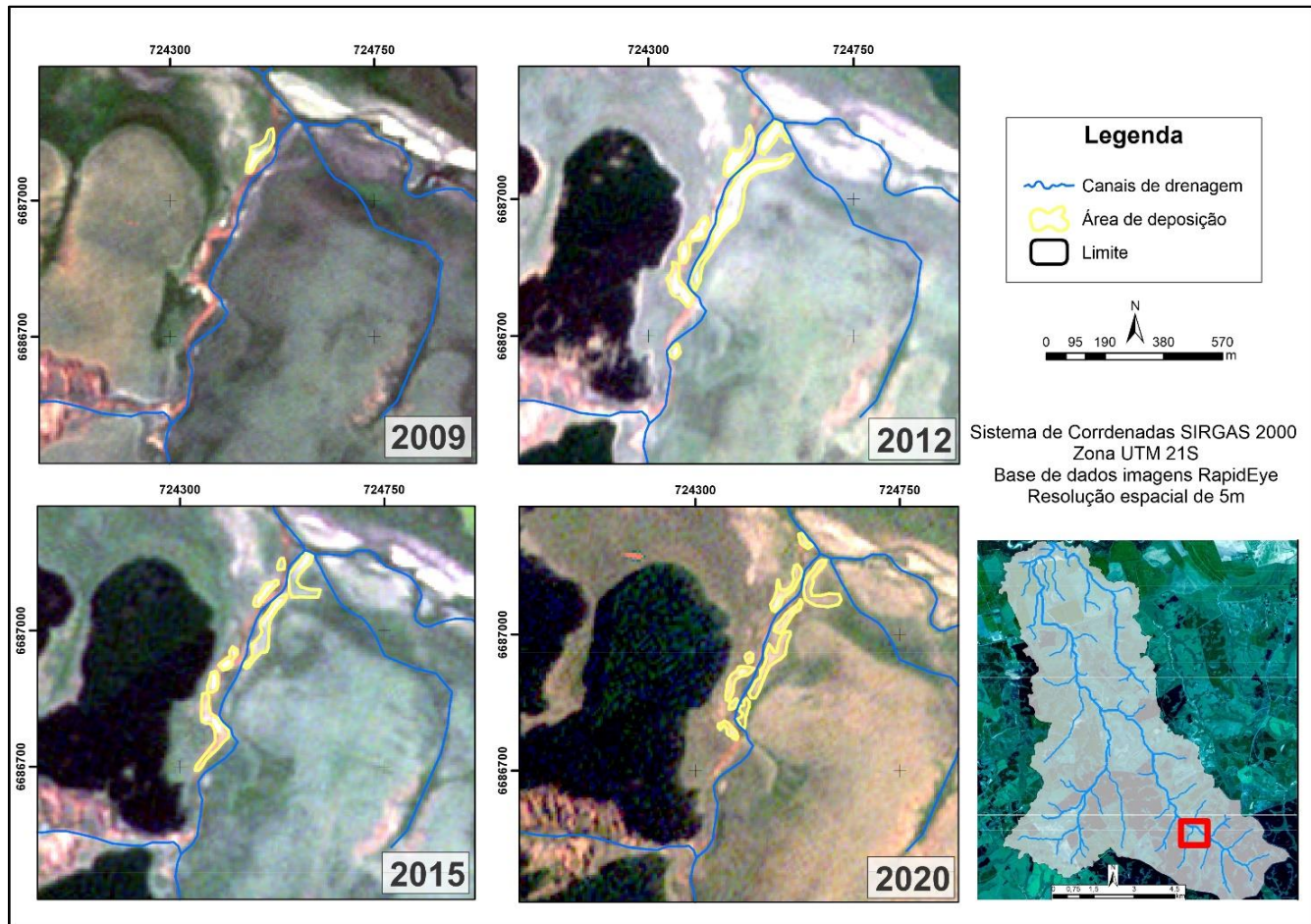


Figura 6 - Deposição fluvial em afluente próximo a ocorrência de voçorocas. (Os autores, 2023)

Posteriormente, no ano de 2015 houve uma diminuição de cerca de 30% na área total dos depósitos de areia e nos anos seguintes, até 2020, houve uma tendência de estabilidade com um pequeno aumento de 3%. Apesar de no período de 2009 à 2012 a implantação da silvicultura ter contribuído para o aumento dos depósitos arenosos nesta área, a partir do ano de 2012 quando as árvores apresentaram um maior desenvolvimento vegetativo, tendem a produzir serapilheira sobre o solo, induzir a contenção por barreiras, e geralmente em associação com um sub-bosque, há uma diminuição da erosão, o que pode ter causado a diminuição das áreas de depósito neste período.

Na porção mais baixa da bacia hidrográfica, próximo ao rio Ibicuí as áreas de deposição seguem próximas ao canal de drenagem (Figura 7). As áreas de deposição no início da série temporal, no ano de 2009, correspondiam a uma área de 2,68 ha formado principalmente por bancos de areia entre 0,1 e 0,5 ha. No ano de 2012 é possível observar um grande aumento da área de deposição (44%) para 4,84 ha e o aumento do tamanho médio dos bancos de areia. Assim como nas demais áreas da bacia, entre os anos de 2012 e 2015 houve uma queda acentuada das áreas de deposição nesta área, de cerca de 44% (diminuição de 1,47 ha). Já a partir do ano de 2015 até o ano de 2020 houve novamente um aumento das áreas de deposição de cerca de 27% para 4,67 ha, apontando para um aumento da erosão à montante. Cabe destacar que a precipitação se manteve semelhante ao longo do período analisado, com eventos extremos antes e depois da redução da área e número de bancos de areia.



Figura 7 - Deposição fluvial no baixo curso da área de estudo. (Os autores, 2023)

De modo geral em toda a bacia hidrográfica do rio Areal do Limeira houve uma pequena diminuição das áreas de deposição entre os anos de 2009 e 2011, um pico de aumento no ano de 2012, seguido de uma queda

da área total até o ano de 2015, e posteriormente uma relativa estabilização nos anos subsequentes. O aumento ocorrido principalmente entre os anos de 2009 e 2012 pode ser relacionado com o uso da terra na área de estudo, onde houve uma mudança significativa de grande parte da área da bacia hidrográfica, sobretudo na porção superior da bacia. Neste período houve o aumento de 291% das áreas de eucalipto ocupando as áreas de campos e lavouras, que no seu processo de plantio podem contribuir para o aumento da erosão. Porém, o impacto da implantação da silvicultura nas áreas de deposição se deu de forma mais acentuada em escala local, tendo um grande impacto nas áreas adjacentes às novas plantações e não refletindo de forma tão acentuada na área total da bacia.

Durante a fase de plantio do eucalipto é realizado o preparo do solo, que apesar deste não ser muito exigente em relação a preparo do solo, necessita do procedimento de subsolagem com profundidade de 40 a 60 cm, que consiste na quebra de camadas superficiais do solo para facilitar a formação das raízes. Outro procedimento frequentemente utilizado na silvicultura do eucalipto após o plantio é a limpeza da área, com a remoção da vegetação daninha no entorno das mudas para eliminar a concorrência (WILKLEN et al. 2008, PEZZATO, et al. 2016).

Estes procedimentos de subsolagem e remoção de grande parte da vegetação podem contribuir para a erosão. A quebra das camadas superficiais, e por consequência a desagregação do solo, auxilia na diminuição da resistência do solo à erosão, facilitando o carregamento de partículas de solo. Já a remoção da vegetação, que pode ser considerada a defesa natural do solo contra a erosão (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012), diminui a proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva e diminui a capacidade de infiltração do solo (GALETI, 1984; BIGARELLA, 2003; PRUSKI, 2009; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2012).

A silvicultura do eucalipto quando atinge um estágio mais avançado necessita de menos cuidados e com menor impacto no solo, sendo o desbaste e a desrama os principais manejos necessários que, quando depositado o material na própria plantação, fornece matéria orgânica ao solo, tornando mais resistente à erosão (WILKLEN et al. 2008, PEZZATO, et al. 2016). Desta forma, foi possível associar a diminuição das áreas de deposição na área de estudo nos anos seguintes ao plantio do eucalipto, quando as árvores se desenvolveram e formaram serrapilheira podendo ser o principal fator para as oscilações das áreas de deposição próximo aos canais de drenagem da área estudada.

A análise da pluviosidade não permitiu identificar uma relação entre o aumento ou diminuição da precipitação média com a variação dos campos de areias. Entretanto, a alteração do uso parece ter contribuído diretamente com a dinâmica superficial da área, inclusive com o aumento e diminuição das áreas de deposição.

IV. CONCLUSÕES

De modo geral as ferramentas de geoprocessamento e do sensoriamento remoto com a utilização de imagens com resolução espacial de 5 m se mostraram eficazes para os objetivos do trabalho. A utilização destas ferramentas permitiu identificar os depósitos arenosos a uma boa escala de trabalho garantindo precisão e qualidade aos dados gerados. As análises de interpretação visual de imagens de alta resolução espacial possibilitou contextualizar a dinâmica temporal na série de dados de 2009 a 2020 quanto à ocorrência dos bancos de areia presentes na bacia hidrográfica do rio Areal do Limeira. As áreas de deposição na área de estudo, de maneira geral, apresentaram uma dinâmica de aumento entre os anos de 2009 e 2012, seguido de uma queda gradual até 2015 seguido de uma estabilização. Este aumento registrado se refere às áreas de ocorrência dos bancos de areia. No contexto geral do período analisado constatou-se uma diminuição das áreas de deposição.

O aumento destas áreas de deposição no período de 2009 a 2012 coincidiu com a implantação da silvicultura em uma porção da área de estudo. Desta forma, apresentando uma relação entre a fase de plantio do eucalipto com o aumento da erosão e conseqüentemente o aumento da disponibilidade de sedimentos para a formação de depósitos nos canais de drenagem. Ainda, a fase de crescimento e maturação das árvores de eucalipto coincidiu com os períodos de diminuição dos depósitos arenosos, que se mantiveram em patamares inferiores aos anteriores e durante o plantio.

O trabalho desperta diversas indagações que devem ser investigadas através de aplicações de metodologias distintas e que possam subsidiar futuras discussões quanto aos procedimentos a serem adotados na área de estudo, bem como em áreas similares. Observou-se mudanças nas áreas dos depósitos, mas cabe investigar se o volume de material destes bancos de sedimentos alterou, e se o aumento das áreas reflete diretamente o aumento de volume destas áreas e a diminuição das áreas o contrário. Existe a possibilidade de a diminuição das áreas ser reflexo da diminuição da dinâmica superficial, mas os bancos de sedimentos permaneceram presentes na área de estudo, mas cobertas por vegetação o que mascararia sua identificação, necessitando de trabalhos mais aprofundados.

Uma futura análise de outros parâmetros que influenciam na erosão além do uso da terra e a precipitação absoluta podem levar a outras possibilidades de interpretação destas variações nos depósitos arenosos, sendo de grande importância a sua investigação, bem como uma investigação mais detalhada dos bancos de areia com a análise do volume dos mesmos. Ainda, a análise do material dos depósitos arenosos,

permitindo identificar a origem deste material poderá auxiliar na compreensão da dinâmica destas áreas de deposição.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 305084/2020-8; processo 300975/2019-8; processo: 302996/2021-4) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro. Agradecem a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) pelo espaço e apoio a pesquisa e o Planet Labs pela disponibilidade das Imagens RapidEye de alta definição (Education and Research Standard – ID 503533).

V. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (2013), 711–28 <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- AUZANI, G. M.; DA SILVA, J. L. S.; CASSOL, R. Sensoriamento Remoto Aplicado Ao Estudo Da Arenização Em São Francisco de Assis, RS. *Geomática*, 1 (2006), 67–76 <http://coralx.ufsm.br/rgeomatica/pdfs/art07.pdf>.
- BHATTACHARYA, R. K.; DAS CHATTERJEE, N.; DOLUI, G. Grain Size Characterization of Instream Sand Deposition in Controlled Environment in River Kangsabati, West Bengal. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2 (3), 2016. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0173-z>.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. São Paulo: Ícone, 8ª ed., 2012.
- BIGARELLA, J. J. *Estrutura e Origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003.
- BLASCO, J. M. D.; CHINI, M.; VERSTRAETEN, G.; HANSEN, R. F. Sand Dune Dynamics Exploiting a Fully Automatic Method Using Satellite SAR Data. *Remote Sensing*, 12 (2020), 1–22 <https://doi.org/10.3390/rs12233993>.
- BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R. Detection of Sandy Soil Surfaces Using ASTER-Derived Reflectance, Emissivity and Elevation Data: Potential for the Identification of Land Degradation. *International Journal of Remote Sensing*, 29 (2008), 1833–40 <https://doi.org/10.1080/01431160701851791>.
- BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; COUTO, E. G. The Combined Use of Reflectance, Emissivity and Elevation Aster/Terra Data for Tropical Soil Studies. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 33 (2009), 1785–94 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600027>.
- CABRAL, I. L. L. *Depressões interfluviais e voçorocas articuladas à rede de drenagem: o exemplo das bacias dos rios Ibicuzinho, Areal do Paredão, Cacequi, Santa maria e Ibicuí*. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- CABRAL, T. L. *Distribuição e classificação de voçorocas por meio de indicadores morfométricos em sub-bacias no município de Cacequi – RS*. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2018.
- CARBONNEAU, P. E.; LANE, S. N.; BERGERON, N. *Feature Based Image Processing Methods Applied to*

Bathymetric Measurements from Airborne Remote Sensing in Fluvial Environments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31 (2006), 1413–23 <https://doi.org/10.1002/esp.1341>.

CARBONNEAU, P. E.; BIZZI, S.; MARCHETTI, G. Robotic Photosieving from Low-Cost Multirotor SUAS: A Proof-of-Concept. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43 (2018), 1160–66 <https://doi.org/10.1002/esp.4298>.

JORDAN, C. A. Local Sorting, Bend Curvature, and Particle Mobility in Meandering Gravel Bed Rivers. *Water Resources Research*, 46 (2), 2010. <https://doi.org/10.1029/2008WR007669>.

DRUSCH, M.; DEL BELLO, U.; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120 (2012), 25–36 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.

FAGHERAZZI, S.; EDMONDS, D. A.; NARDIN, W.; LEONARDI, N.; CANESTRELLI, A.; FALCINI, F.; JEROLMACK, D. J.; MARIOTTI, G.; ROWLAND, J. C.; SLINGERLAND, R. L. Dynamics of River Mouth Deposits. *Reviews of Geophysics*, 53 (3): 642–72, 2015. <https://doi.org/10.1002/2014RG000451>.

GALETI, P. A. *Práticas de Controle à Erosão*. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1984.

GERALD M. F. Dynamic Processes and Statistical Parameters Compared for Size Frequency Distribution of Beach and River Sands. *SEPM Journal of Sedimentary Research*, Vol. 37, 1967. <https://doi.org/10.1306/74d716cc-2b21-11d7-8648000102c1865d>.

GIOVANNI. TRMM 3B43: Monthly Precipitation Estimates. *GIOVANNI - The Bridge Between Data and Science*, v 4.34, 2021.

HUETE, A. R.; MIURA, T.; GAO, X. Land Cover Conversion and Degradation Analyses through Coupled Soil-Plant Biophysical Parameters Derived from Hyperspectral EO-1 Hyperion. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41 (2003), 1268–76 <https://doi.org/10.1109/TGRS.2003.813209>.

JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY. Advanced Land Observing Satellite "Daichi" (ALOS): start of operations phase and data provision to the public. Disponível em: <http://www.jaxa.jp/press/2006/10/20061023_alos_e.html>. Acesso em: 13 set. 2018.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons a Pattern Recognition Approach to Classification and Mapping of Landforms. *Geomorphology*, v.182, pag. 147–156, 2013.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15 (2006), 259–63. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.

KUZMINA, ZH V., S. E. TRESHKIN, AND S. S. SHINKARENKO. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region. *Arid Ecosystems*, v.8, (2018), 231–44 <https://doi.org/10.1134/S2079096118040066>.

ŁABUZ, TOMASZ A. 'A Review of Field Methods to Survey Coastal Dunes—Experience Based on Research from South Baltic Coast'. *Journal of Coastal Conservation*, 20 (2016), 175–90 <https://doi.org/10.1007/s11852-016-0428-x>.

LIU, Y. et al. Global rainfall erosivity changes between 1980 and 2017 based on an erosivity model using daily precipitation data. *CATENA*, v. 194, p. 104768, nov. 2020.

Lobera, G.; Muñoz, I.; López-Tarazón, J. A.; Vericat, D.; Batalla, R. J. 2017. "Effects of Flow Regulation on River Bed Dynamics and Invertebrate Communities in a Mediterranean River." *Hydrobiologia*, 784 (1): 283–304.

<https://doi.org/10.1007/s10750-016-2884-6>.

MORGAN, R. P. C. Soil erosion and conservation. 3rd ed ed. Malden, MA: Blackwell Pub, 2005.

MASEK, J. G.; WULDER, M. A.; MARKHAM, B.; MCCORKEL, J.; CRAWFORD, C. J.; STOREY, J.; JENSTROM, T. Landsat 9: Empowering Open Science and Applications through Continuity. *Remote Sensing of Environment*, 248 (October): 111968, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111968>.

MASEK, J. G.; WULDER, M. A.; MARKHAM, B.; MCCORKEL, J.; CRAWFORD, C. J.; STOREY, J. Landsat 9: Empowering Open Science and Applications through Continuity. *Remote Sensing of Environment*, 248 (2020) <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111968>.

MUELLER, E. R.; PITLICK, J.; NELSON, J. M. Variation in the Reference Shields Stress for Bed Load Transport in Gravel-Bed Streams and Rivers. *Water Resources Research*, 41 (4): 1–10, 2005. <https://doi.org/10.1029/2004WR003692>.

NEUHOLD, C.; STANZEL, P.; PETER, H. 2011. Integrating River Bed Dynamics to Flood Risk Assessment. *Sediment Transport in Aquatic Environments*, 317–32, 2011. <https://doi.org/10.5772/20307>.

PERRANDO, E. R.; BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; BOSTELMANN, S. L.; MARTARELLO, V.; STRAUBE, J.; CONTE, B.; SESTARI, G.; BURGIM, M. R. B.; DE MARCO, R. Evaluation of the Effects of Pine Management on the Water Yield and Quality in Southern Brazil. *Journal of Sustainable Forestry*, 40 (3): 217–33, 2021. <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1746916>.

PLANET TEAM. Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. San Francisco, CA: Planet Labs, 2020, p. n/a <https://api.planet.com>.

PLANET TEAM. Planet Surface Reflectance Product. San Francisco: Planet Labs, 2019, p. 10 https://assets.planet.com/marketing/PDF/Planet_Surface_Reflectance_Technical_White_Paper.pdf.

RADEMANN, L. K. 2019. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MECANISMOS EROSIVOS ATUANTES NA VOÇOROCA DO AREAL NO MUNICÍPIO DE CACEQUI/RS COM AUXÍLIO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/21206>.

RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R. Compartimentação do Relevo de Forma Automatizada em Ambiente SIG na BHAL. *Geographia Opportuno Tempore*, v. 4, n. 2, 2018. <https://doi.org/10.5433/got.2018.v4.35566>.

RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R. Análise das Características Hidrográficas do Município de Cacequi - RS - Brasil, com o uso de SIG. In: XV Encuentro de Geógrafos de América Latina, 2015, La Habana. XV Encuentro de Geógrafos de América Latina. La Habana: EGAL, 2015. v. 1. p. 594-603.

RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R.; DE SOUZA ROBAINA, L. E. Zoneamento geoambiental do município de Cacequi, Rio Grande do Sul. *Geosul*, v. 33, n. 66, p. 85–104, 2 mar. 2018. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n66p85>.

RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R.; DE SOUZA ROBAINA, L. E. Zoneamento morfolitológico do município de Cacequi, RS. *Geografia em Questão*, v. 13, n. 1, 14 abr. 2020. <https://doi.org/10.48075/geoq.v13i1.20370>.

RAPIDEYE. Satellite Imagery Product Specifications, RapidEye Delivering the World. Brandenburg an der Havel, Germany: RapidEye, 2012. www.rapideye.com.

RICHTER, R. Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR - 2/3 User Guide). ATCOR-2/3

User Guide, Version 6.3 (Wessling, Germany; Wil SG, Switzerland, 2007) <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

ROBAINA, L. E. S.; NETO, S. F.; PAULA, P. M.; PEREIRA, V. P. Processo Erosivo acelerado no RS: Voçorocamento no município de Cacequi. *Revista Geografia. Rio Claro*, v. 27(2), p. 109-120, 2002.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; Degradação dos solos: Problema ambiental no Sudoeste Gaúcho. *Interface, Porto Nacional, TO*. v.1, n.1, p. 29-41, maio 2004.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, tendências e tipologia. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, abr. 2011.

SALISBURY, J. W.; D'ARIA, D. M. Infrared (8-14 Microns) Remote Sensing of Soil Particle Size. *Remote Sensing of Environment*, 42 (1992), 157–65.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). Radam – D. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/Sensoriamento-Remoto-eGeofisica/RADAM-D-628.html>>. Acessado em 25 de outubro de 2017.

SIMENSEN, T.; HALVORSEN, R.; ERIKSTAD, L. Methods for Landscape Characterisation and Mapping: A Systematic Review. *Land Use Policy*, 75 (June): 557–69, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.022>.

SOUZA, J. R.; REIS, L. N. G. Mapeamento e Análise do Uso dos Solos no Município de Ibiá-MG Utilizando o software SPRING 5.1.8: análise da dinâmica agropecuária. *OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia*, v.3, n.8, p.141-163, dez. 2011.

STRICK, R. J. P.; ASHWORTH, P. J.; SMITH, G. H. S.; NICHOLAS, A. P.; BEST, J. L.; LANE, S. N. Quantification of Bedform Dynamics and Bedload Sediment Flux in Sandy Braided Rivers from Airborne and Satellite Imagery. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44 (2019), 953–72 <https://doi.org/10.1002/esp.4558>.

SUERTEGARAY, D. M. O Rio Grande Do Sul Descobre Seus “Desertos”. *Ciência & Ambiente*, 1 (1995), 34–52 <http://coralx.ufsm.br/reciam/resenha.php?IDResenha=62>.

Suertegaray, D. M. A. *Desertificação: Recuperação e Desenvolvimento Sustentável*. 3rd ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

SUERTEGARAY, D. M. A.; BELLANCA, E. T.; VERDUM, R.; GUASSELLI, L. A.; BASSO, L. A.; MEDEIROS, R. M. V. ‘Projeto Arenização No Rio Grande Do Sul, Brasil: Gênese, Dinâmica e Espacialização’. *Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales*, ed. by INPE (Foz do Iguaçu, Brasil: INPE, 2001), pp. 349–56 <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.14.12.00/doc/0349.356.234.pdf>.

SUERTEGARAY, D. M. A.; MORELLI, L. A. Conflitos da Silvicultura em áreas em processo de arenização. Sudoeste do Rio Grande do Sul. In: MOREIRA, E; TARGINO, I. (organizadores). *Desertificação, desenvolvimento sustentável e agricultura familiar: recortes no Brasil em Portugal e na África*. Editora da Universidade da Paraíba; Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 344, 2010.

SUERTEGARAY, D. M. A. EROSIÃO NOS CAMPOS SULINOS: ARENIZACAO NO SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL. *Rev. Bras. Geomorfol.* 12, 2012. <https://doi.org/10.20502/rbg.v12i0.259>.

TEOTIA, H. S.; RIBEIRO, G. N.; FRANCISCO, P. R. M. Integração do sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas (SIG) para identificação, mapeamento e classificação do uso da terra e cobertura vegetal numa parte do Agreste Paraibano no Brasil. *Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*.

Natal, p. 4489-4496, abril de 2009.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Mapeamento Morfolitológico Da Bacia Hidrográfica Do Rio Itú. Anais... VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Goiânia – GO, 2006.

VERICAT, D.; BATALLA, R. J.; GARCIA, C. Bed-Material Mobility in a Large River below Dams. *Geodinamica Acta*, 21 (1–2): 3–10, 2008. <https://doi.org/10.3166/ga.21.3-10>.

VIEIRA, V. C. B.; MOREIRA, M. A.; DANTAS, F. R.; DE ALENCAR, H. M. Q.; DE SOUSA, M. F. L. O.; ROCHA, M. E. S. A. Avaliação Da Seca de 2016 Do Rio Javaés (Bacia Do Rio Araguaia) Com Uso de Dados de Múltiplos Satélites. Anais... Do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR, 2017, pp. 4227–34.

YANG, D.; GAO, C.; LI, L.; VAN EETVELDE, V. Multi-Scaled Identification of Landscape Character Types and Areas in Lushan National Park and Its Fringes, China. *Landscape and Urban Planning*, 201, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103844>.

WILCKEN, C. F.; LIMA, A. C. V.; DIAS, T. K. R.; MASSON, M. V.; FILHO, P. J. F.; POGETTO, M. H. F. A. Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto. p. 19, Botucatu: FEPAF, 2008.
