

Capítulo V

ASPECTOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS DE UM CANAL SANGRADOURO AO LARGO DO BALNEÁRIO CASSINO – RS, BRASIL





ASPECTOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS DE UM CANAL SANGRADOURO AO LARGO DO BALNEÁRIO CASSINO – RS, BRASIL

André Luiz Ruiz Goulart¹, Christian Serpa², Ulisses Rocha De Oliveira³

¹Universidade Federal do Rio Grande, Programa de Pós-Graduação em Geografia, andregeomatica@gmail.com (autor correspondente)

²Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Engenharia, ulisseslicke@gmail.com

³Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Ciências Humanas e da Informação, christianserpa@gmail.com

RESUMO

O presente capítulo trata de um estudo de caso de um sangradouro situado na praia do Cassino, e Extremo Sul do Brasil. A área no entorno desse sangradouro é caracterizada por uma expansão urbana, a qual tem afetado o processo de escoamento das águas pluviais coletadas nas depressões e nos banhados localizados entre os cordões litorâneos e em locais de relevo baixo. Para realização do estudo, foram feitas duas campanhas amostrais sazonais, por meio de sobrevoos com uma aeronave remotamente pilotada (ARP). A precisão dos aerolevantamentos se deu a partir da utilização de pontos de controle em campo, os quais tiveram suas coordenadas coletadas com uso de um receptor GNSS Geodésico. De forma concomitante, foram realizados ensaios de medição do nível do lençol freático, com uso de um trado para fazer as perfurações, e uma trena. Com base nos dados de níveis em relação às perfurações, notou-se que o lençol freático, nas dunas, comportou-se de maneira diferente. As maiores variações ocorrem nas nascentes e na desembocadura junto à faixa de praia. O processo de abertura e retenção do sangradouro é fortemente controlado pela pluviometria e pela taxa de evaporação. Apesar da ação das chuvas contribuir para a abertura do canal, os levantamentos das duas saídas apresentaram distintas feições, que foram a retenção e a face aberta em direção à zona de surfê. Esses diferentes períodos corroboram com as épocas de escassez de precipitação na região, catalogados em intervalos amostrais anteriores às medições de campo. Por fim, a drenagem promovida pelos sangradores tem uma importância fundamental para o sistema praiado, à medida que promove a interação entre o balanço hídrico e sedimentar na zona de transição entre a Planície Costeira e o Oceano.

Palavras-chave: Canais de drenagem; Geoprocessamento; Variação do lençol freático.

ABSTRACT

This chapter deals with a case study of a washout on Cassino Beach, in Southern Brazil. The area surrounding this washout is characterized by urban expansion, which has affected the runoff process of rainwater collected in depressions and

marshes located between the coastal strips and low-lying areas. Two seasonal sampling campaigns were carried out to carry out the study, involving overflights with an unmanned aerial vehicle (UAV). The precision of the aerial surveys was achieved through the use of ground control points, whose coordinates were collected using an RTK-GPS receiver. At the same time, tests were carried out to measure the water table level, using an auger to make the perforations and a tape measure. Based on the level data about the perforations, it was noted that the water table, in the dunes, behaved differently. The greatest variations occur in the springs and at the mouth next to the beach strip. The process of opening and retention of the washouts is strongly controlled by rainfall and evaporation rates. Although rainfall contributed to the opening of the channel, the surveys of the two outlets showed distinct features, such as retention and the open face towards the surf zone. These different periods corroborate the periods of scarce precipitation in the region, cataloged in sampling intervals before the field measurements. Finally, the drainage promoted by the washouts is of fundamental importance for the beach system, as it promotes the interaction between the water and sediment balance in the transition zone between the Coastal Plain and the Ocean.

Keywords: Drainage channels; Geoprocessing; Water table variation.

INTRODUÇÃO

A Faixa Litorânea corresponde à zona de transição entre o domínio continental e o domínio marinho, caracterizando-se como o resultado da interferência de inúmeros fatores, que podem ser de origem natural ou antrópica. Inseridos na Zona Costeira estão os sangradores, os quais são pequenas bacias hidrográficas comumente encontradas na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (RS). Os sangradores são feições de pequena escala, que, além de terem papel fundamental na drenagem da Zona Costeira, são agentes responsáveis pela remobilização de sedimentos das dunas e praias (CALLIARI et al., 2005).

Estudos pioneiros sobre os sangradouros da Costa do RS foram realizados por SILVA (2003), onde foi apresentada uma descrição completa desses cursos d'água. Posteriormente, FIGUEIREDO (2002), FIGUEIREDO & CALLIARI (2004) e FIGUEIREDO et al. (2007), desenvolveram estudos na porção Norte da Costa do RS e na praia do Cassino. Podemos, ainda, destacar os trabalhos de SERPA (2008) e SERPA et al. (2008) para praia do Cassino.

Segundo SILVA (1998), os sangradouros geralmente possuem profundidades rasas, com formas que podem variar entre meandantes e sinuosas. A profundidade do lençol freático, a composição e a permeabilidade do substrato, a orientação do campo de dunas e a presença de áreas alagadiças são fatores importantes no surgimento e na distribuição desses cursos d'água (FIGUEIREDO & CALLIARI, 2005).

Os sangradouros possuem grande importância para o balanço hídrico costeiro, influenciando diretamente na variação da profundidade do lençol freático, e podendo gerar descontinuidades no cordão de dunas frontais da ordem de centenas de metros. Variações hidrogeomorfológicas dos sangradouros estão associadas à taxas de evaporação e à frequência das precipitações pluviométricas (SILVA, 1998; SERPA, 2008). Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é caracterizar aspectos

hidrogeomorfológicos de um canal sangradouro ao largo do balneário Cassino, RS, município do Rio Grande, Extremo Sul do Brasil, comparando um período mais seco, com menos precipitação, de outro mais chuvoso, buscando relacionar o comportamento do nível freático junto à desembocadura do canal sangradouro.

ÁREA DE ESTUDO

Diversos sangradouros são observados ao largo da costa do Rio Grande do Sul. Esses corpos hídricos fazem parte da drenagem da superfície costeira, dando escoamento às águas pluviais coletadas nas depressões e nos banhados localizados entre cordões litorâneos e em locais de relevo baixo, atrás das dunas frontais (SILVA, 1995), onde tais drenagens conectam os respectivos banhados (áreas úmidas) ao mar.

O sangradouro em estudo se localiza ao Sul do balneário Cassino (Figura 1), em uma área ainda pouco urbanizada, mas em processo de expansão urbana. Pela proximidade com o Camping do Leopoldo, neste trabalho, denominou-se Sangradouro do Leopoldo. A área de estudo foi escolhida, levando-se em conta a localização próxima à Estação Marinha de Aquicultura (EMA), da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), devido à facilidade de acesso e à disponibilidade logística, às características do cordão de dunas frontais, à morfodinâmica da zona de surfe e à

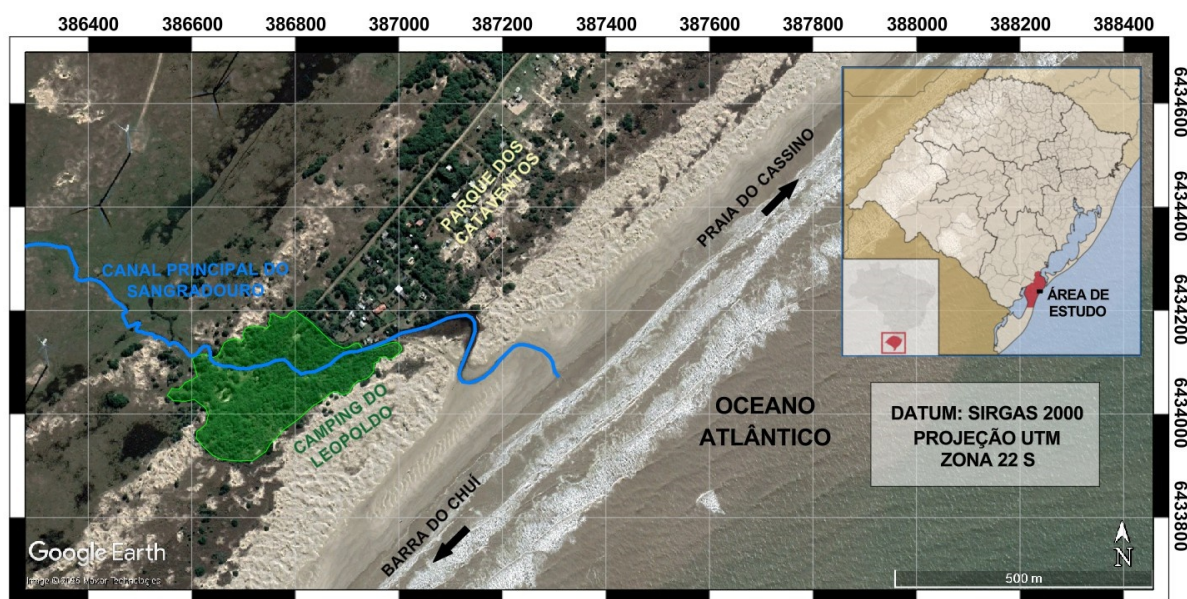


Figura 1. Mapa de localização do canal sangradouro Leopoldo no Camping do Leopoldo, Sul do balneário Cassino, Rio Grande do Sul. Fonte: Os autores.

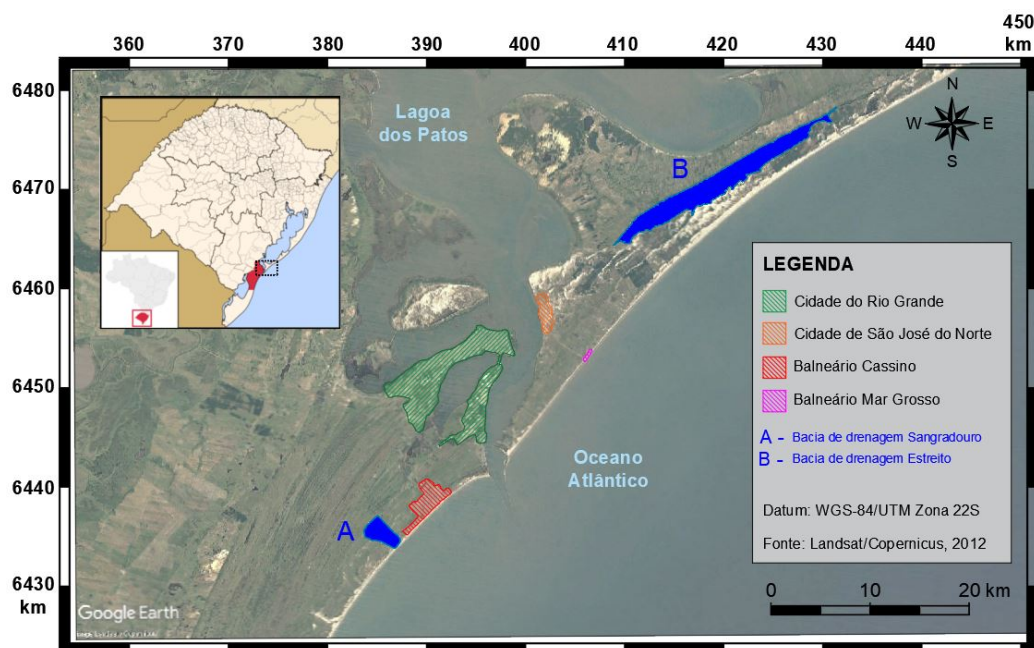


Figura 2. Bacia de Drenagem estimadas do Sangradouro do Parque dos Cata-ventos (A) e a Desembocadura da Lagoa do Estreito (B). Fonte: Os autores.

hidrologia intermitente do sangradouro formado no local.

Segundo GOULART (2022), as maiores variações, nesse canal, ocorrem nas áreas de nascentes e na desembocadura, junto à faixa de praia (Figura 2). Nas áreas de nascentes, há baixos e altos índices de umidade, com secas ou bastante quantidade de água nos banhados (áreas úmidas), situados nas depressões dos cordões litorâneos (barreira progradante). Já, junto à praia, pode haver retenção de água no limite superior ou se o fluxo for para o mar, sofrendo, também, com a influência da dinâmica praias. Quanto ao crescimento urbano, com a expansão urbana do balneário Cassino, houve um aumento de 120% de construções no entorno do canal, entre 2002 e 2018 (GOULART, 2022). Ressalta-se que a construção de casas no entorno do curso de água pode prejudicar o seu desague em direção à praia, além de poluir as águas. Nos autores deste trabalho, é muito complexo obter a precisão exata em relação a bacia de drenagem de um sangradouro, em virtude de se trata de uma planície costeira onde ele se localiza e varia.

Geologia, geomorfologia e fatores meteoceanográficos regionais

A Província Costeira do estado do RS é constituída por dois ambientes: o Embasamento e a Bacia Marginal de Pelotas. O Embasamento é

constituído, em sua maior parte, por rochas cristalinas do Pré-Cambriano, pertencentes ao Escudo Sul-Rio-Grandense e Uruguaio, e por seqüências sedimentares e vulcânicas, paleozoicas e mesozoicas da Bacia do Paraná. A Bacia de Pelotas é ampla e preenchida por sedimentos terciários e quaternários, na qual podem ser encontradas inúmeras lagoas e lagunas (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995). A Costa Oceânica da Planície Costeira do RS, com mais de 600 km de extensão, pode ser considerada como uma das mais extensas e contínuas faixas de praias arenosas do mundo (TOMAZELLI & VILLWOCK, 1992).

A Planície Costeira é compartimentada em Planície Aluvial Interna, Barreira das Lombas (chamada barreira I), Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí, Barreira Múltipla Complexa (barreiras II, III e IV) e Sistema Patos-Mirim (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995) (Figura 3). A Barreira Múltipla Complexa consiste em uma sucessão de terraços aplainados, intercalados com depressões alongadas, ocupadas por lagoas, lagunas e pântanos, em diferentes estágios evolutivos. O conjunto é composto por três sistemas do tipo laguna-barreira, formados no decorrer dos últimos três ciclos de variação do nível do mar, sendo responsável pelo isolamento do Sistema Patos-Mirim (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995).

O sistema mais recente é o Laguna-Barreira

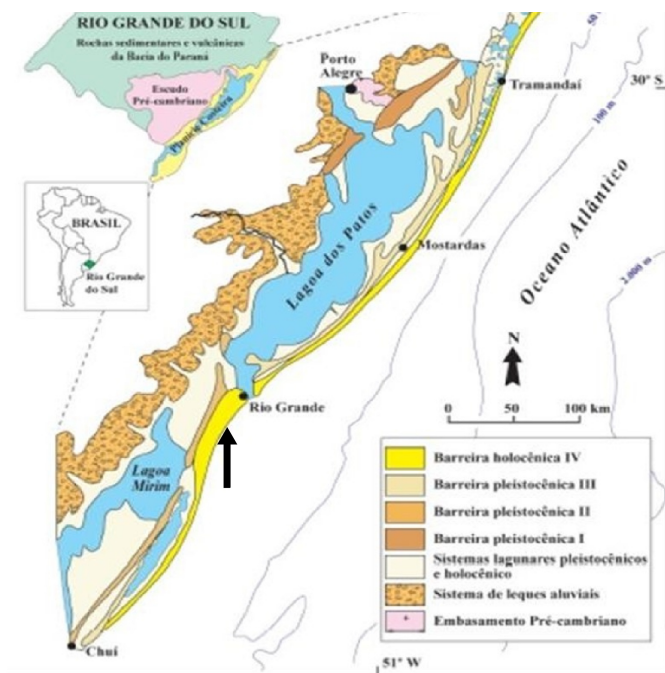


Figura 3. Mapa geológico simplificado da Planície Costeira do RS, Modificado por GOULART (2022), mostrando a distribuição dos principais sistemas deposicionais. Fonte: Modificado TOMAZELLI & VILLWOCK (2000).

IV que, segundo DILLENBURG et al., (2005), desenvolveu-se durante o Holoceno, no último pico transgressivo pós-glacial, a cerca de 5-6 ka, quando o nível do mar estava entre 2 e 4 m acima do nível atual, possibilitando a formação dessa barreira, devido à grande disponibilidade de sedimentos. Para DILLENBURG et al. (2000), os setores côncavos da Costa (reentrâncias) são dominados por barreiras progradantes (regressivas), enquanto os setores com saliências, normalmente, apresentam barreiras retrogradacionais (transgressivas), com orientação geral da linha de costa NE-SW.

As barreiras progradantes, que caracterizam a barreira IV, ao Sul da desembocadura da Lagoa dos Patos, são caracterizadas por cordões litorâneos regressivos, que são corpos arenosos alongados, dispostos paralelamente à linha de costa atual (VILLWOCK et al., 2005), formando uma sequência alternada de cavas e cristas, com amplitude média de 1m e uma distância de 30 a 40m entre os cordões sucessivos (TAGLIANI, 1997). Nessas áreas, formaram-se pequenas lagoas e banhados, os quais abrigam as nascentes dos pequenos arroios e dos canais sangradouros do município do Rio Grande.

Regime de precipitação

A precipitação na região Sul do Brasil é, em geral, bem distribuída ao longo do ano, não possuindo uma estação chuvosa ou seca bem definida (VIANELLO & ALVES, 1991). Todavia, mesmo com uma pequena variabilidade mensal, ocorrem secas intensas e chuvas torrenciais. A localidade é sujeita a mudanças bruscas de tempo, por ser uma localidade susceptível à passagem de ciclones extratropicais e frentes polares.

Entre os sistemas atmosféricos que influenciam as precipitações na região estão os sistemas frontais, os ciclones, os sistemas convectivos de mesoescala (SCMs), os vórtices ciclônicos de altos níveis (VCANs) e as circulações de brisa (REBOITA et al., 2012). Segundo REBOITA et al. (2012), os sistemas frontais correspondem ao encontro entre duas massas de ar com propriedades térmicas opostas. Essa situação acontece na ocorrência de frentes frias, pois a massa de ar frio força a massa de ar quente a subir, favorecendo a formação de nuvens e chuva. Em relação aos ciclones, os quais frequentemente causam ventos fortes, precipitação e diminuição da temperatura, os SCMs estão associados às nuvens Cumulonimbus quando organizadas em mesoescala. É uma denominação abrangente que engloba uma variedade de configurações meteorológicas, tais como conglomerado de nuvens, linhas de instabilidade, complexos convectivos de mesoescala e tempestades tropicais, as quais trazem chuvas bastante intensas para a região Subtropical do Brasil, principalmente no verão (SAKAMOTO, 2009).

Os VCANs são sistemas meteorológicos caracterizados por centros de pressão relativamente baixa, que se originam na alta troposfera e se estendem até os níveis médios. Apresentam um centro relativamente frio, convergência de massa, movimentos verticais subsidentes no centro e ascendente na periferia, e nebulosidade mais intensa na direção do seu deslocamento (FERREIRA et al., 2009). Outro sistema que influencia a precipitação no Sul do Brasil são os bloqueios atmosféricos. Krusche et al. (2003., e.g. Figura 4) indicam que os bloqueios no escoamento atmosférico caracterizam uma interrupção da

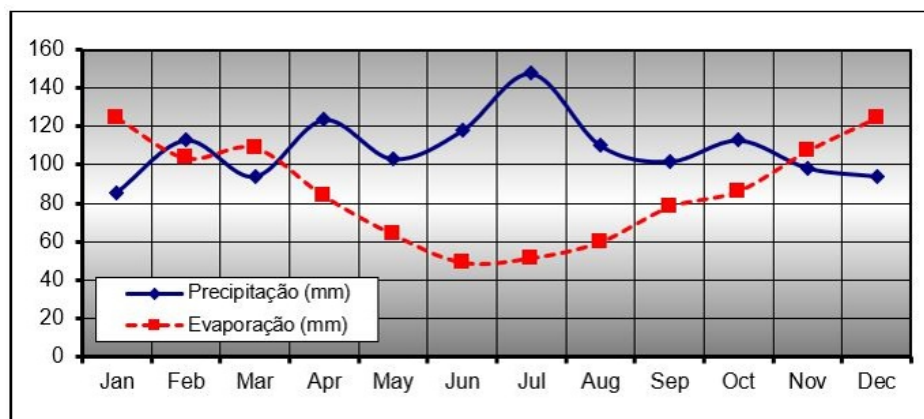


Figura 4. Balanço Hídrico Sazonal, mostrando médias mensais para uma série temporal de 10 anos. Fonte dos Dados: Krusche et. al., 2003.

regularidade da propagação dos sistemas sinóticos, provocando períodos relativamente longos de estiagem ou chuva. A frequência máxima dos bloqueios ocorre no outono e a mínima nos meses de inverno e primavera, podendo durar de cinco a sete dias até três semanas. As autoras indicam, ainda, que os bloqueios atmosféricos, principalmente no verão, estão associados ao estacionamento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), nas regiões Sul e Sudeste.

O fenômeno ENOS (*El Niño* e *La Niña*) corresponde a um acoplamento entre o oceano e a atmosfera, através de anomalias na temperatura da superfície do mar (TSM), no oceano Pacífico Tropical Central-Leste, além de anomalias na pressão atmosférica (REBOITA et al., 2021). O *El Niño* é o fenômeno resultante do aquecimento anormal das águas do Pacífico Equatorial. No Brasil, o fenômeno também contribui para o aumento de chuvas nas regiões Sul e em partes do Sudeste e do Centro-Oeste. Já a *La Niña* é um fenômeno exatamente inverso. Ela representa um esfriamento anormal das águas do Oceano Pacífico Equatorial, em virtude do aumento da força dos ventos alísios. No Brasil, o *La Niña* provoca os efeitos opostos, com a intensificação das chuvas na Amazônia, no Nordeste e em partes do Sudeste, e períodos de seca no Sul do país. Sendo assim, ocorrem anomalias do Oceano Pacífico, de maneira cíclica, em determinado tempo, manifestando-se a cada três anos ou sete anos. Os fenômenos mais comuns de acontecer é o *El Niño* em relação à *La Niña*, para evento global, tendo seu comportamento igualmente variável nas águas oceânicas do mundo, que duram, em média, anos.

Regime de ventos, ondas, correntes de deriva litorânea e marés

Os ventos são os grandes responsáveis pela dinâmica costeira, pois além do papel que desempenham na geração das ondas (e, por consequência, das correntes de deriva litorânea), eles são os responsáveis pela movimentação de grandes quantidades de areia ao longo da linha de Costa, influenciando as dunas costeiras. Quando os ventos sopram do mar, eles acabam por levar a areia para o interior, construindo campos de dunas, cuja orientação retrata a direção dos ventos dominantes na região Costeira (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995). A origem dos ventos da Costa do RS está, em linhas gerais, relacionada aos dois sistemas de alta pressão que atuam na região: o anticiclone semifixo do Atlântico Sul e o anticiclone Polar. A alternância da ação desses dois sistemas durante o ano faz com que ocorram ventos predominantes do quadrante NE, nos meses de verão (setembro a fevereiro), enquanto no outono e no inverno (abril a agosto), predominam dos ventos de SW (GODOLPHIM, 1976).

A Costa do RS é classificada como uma Costa dominada por ondas, e a sua configuração, praticamente retilínea, confere-lhe um caráter aberto, exposta à ação das ondas de energia média a elevada (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995). Grande parte da energia incidente está associada às ondas de gravidade (STRAUCH et al., 2009). Segundo FONTOURA (2004), as ondas do Litoral Sul do Brasil são classificadas como ondulações (*swell*), vagas (*sea*) e ondas de tempestade (*storm surges*). A maior frequência de incidência fica por conta das ondulações e vagas de média a elevada

energia, com altura em torno de 1,5 m e período entre 7 e 9 s (TOLDO JR. et al., 2006), caracterizando um espectro direcional bimodal.

Quando as ondas incidem obliquamente na linha de Costa, desenvolvem-se as correntes litorâneas, através das quais as massas de água se deslocam paralelamente à linha de praia. Essas correntes transportam os sedimentos que estão em movimento na linha de Costa, devido à ação das ondas, sendo esse movimento de areia denominado deriva litorânea, o qual se constitui em um dos processos mais significativos de transporte de sedimentos, ao longo das costas arenosas (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995). TOZZI (1995) apresentou evidências, para o Litoral Sul do RS, do predomínio no sentido do transporte, onde correntes de sentido NE-SW se apresentam mais constantes e fracas, enquanto para SW-NE ocorrem correntes mais fortes e de menor frequência. Indicadores geomorfológicos, como a desembocadura (não estabilizada) dos rios, dos arroios e das lagunas, confirmam a deriva predominante para NE (VILLWOCK & TOMAZELLI, 1995). Nos canais sangradouros da área de estudo, a deriva litorânea geralmente os empurra para Norte, na porção superior (maré alta), e para Sul, na face da praia (maré baixa), havendo variação sazonal.

Registos efetuados pela tábua de marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil demonstram que as marés astronômicas da Costa do RS são de pequena amplitude quando comparadas às variações associadas às marés meteorológicas. A amplitude da maré astronômica é, em média, 0,47 m, do tipo diurno, com amplitudes máximas de até 0,80 m no outono e na primavera (FONTOURA, 2004), o que classifica a Costa do estado como de micromaré (até 2 m de amplitude de maré). Devido a esse aspecto, as variações de nível do mar, produzidas pelas marés meteorológicas, assumem um papel mais determinante na esculturação das feições costeiras da Costa do RS. Em certas situações, a maré meteorológica pode ultrapassar em até 1 m a maré astronômica, sendo considerada como agente modelador, responsável por bruscas alterações na morfologia das praias e no volume de sedimentos

disponibilizados (CALLIARI et al., 1998). Durante períodos de maré alta, as águas marinhas invadem os canais sangradouros, podendo haver erosão da Costa em episódios de eventos extremos de alta energia de onda.

A partir do conjunto de fotografias verticais (Figura 5), foram produzidos dois mosaicos, utilizado o *software Agisoft Photoscan*. Primeiramente, foi realizado o alinhamento das fotos, a partir da triangulação de cada pixel, estabelecendo-se, posteriormente, uma nuvem de pontos, que materializa o sistema de coordenada do terreno. Para executar essa densificação, na aba “Fluxo de Trabalho”, seleciona-se a opção “*Build Dense Cloud*”. Na mesma escala de produção da etapa alinhamento de fotos, muito elevado, elevado, médio, baixo e muito baixo, foi utilizado o parâmetro médio, assim, pode-se obter uma nuvem densa de ótima qualidade e com um tempo não muito alto. No trabalho, foi utilizada a alta resolução. A etapa seguinte foi a construção do Modelo Digital de Elevação (MDE), o qual foi referenciado no *datum* SIRGAS 2000, zona UTM 22 S. A última etapa realizada foi a geração do ortomosaico.

Georreferenciamento dos pontos de controle

Para melhorar a precisão do modelo tridimensional, foi feita a colocação de 10 alvos, bem distribuídos ao longo da área de estudo. Cada alvo foi georreferenciado com a utilização de um receptor GNSS Geodésico, modelo Leica GS15, operando no módulo RTK. O receptor GNSS é composto por uma base fixa montada sobre um

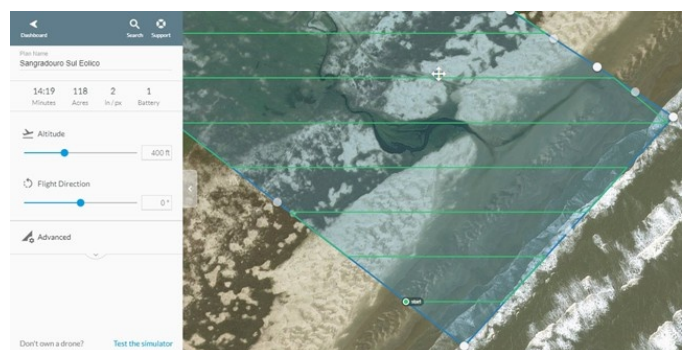


Figura 5. Fragmento de plano de voo para um segmento situado ao Sul do balneário Cassino, construído no *software Drone Deploy*, semelhante ao realizado neste trabalho. Fonte: SIMÕES et al. (2019).



Figura 6. A- Rover; B- Base do receptor GNSS Geodésico; C- GCPs utilizados nos trabalhos de campo. Fonte: Os Autores.

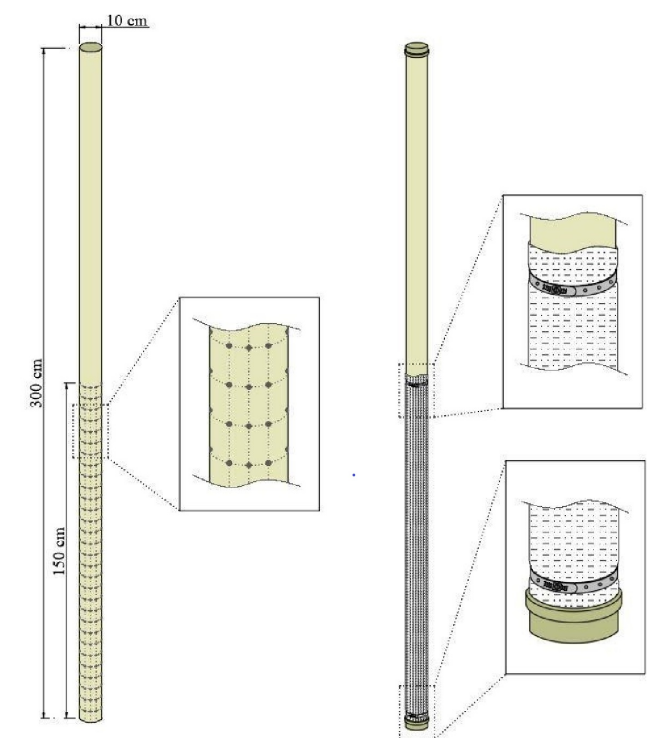


Figura 7. Detalhes da elaboração dos poços de monitoramento. Fonte: SERPA (2008).

ponto de coordenada conhecida com um rádio de alta potência de sinal agregada, e por um Rover (Figura 6A), que é o equipamento móvel usado para coleta de ponto em campo, juntamente com sua controladora. A base (Figura 6B) foi instalada sobre um referencial de nível (RN) existente dentro do imóvel da Corsan, próximo à parte central do Cassino, na distância de 6 km da área estudada, e possui coordenadas UTM X e Y 390914,158 e 6438107,319, respectivamente. O sistema de referência do RN é o SIRGAS 2000, zona UTM 22 S, a uma altitude de 3,613 m. Todos os GCPs (Figura 6C) foram empregados e personalizados, utilizando-se uma placa branca com uma marcação centralizada, a fim de possibilitar a visualização de

seu centro nas imagens aéreas, espalhados no entorno do canal sangradouro, no sistema praia duna frontal.

Análise do nível freático

Para a análise do comportamento e da variação das propriedades hidrológicas do lençol freático, foram feitas 10 perfurações no lençol freático (Figura 7), com trado manual, disponibilizado pelo Laboratório de Topografia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), visando à verificação da variação do lençol freático nas duas datas, onde foram realizados os trabalhos de campo. Ao lado de cada buraco escavado, foram cravadas estacas, para medir o nível do lençol freático, usando uma trena. Esse método foi adaptado do utilizado por SERPA (2013), o qual adaptou a metodologia proposta por TURNER (1977), para as condições locais. A adaptação condicionada por SERPA (2013) foi fundamentada nas normas da ABNT NBR 113895:1997 para a construção de poços de monitoramento e amostragem, e na norma ASTM D 92:2004 (*Standart for Desing and Installation of Ground Water Monitoring Wells*).

Os valores de profundidade obtidos foram organizados em tabelas do Excel, com os dados coletados em campo, nas saídas de campo. O *software* usado para criação da grade foi o *Surfer*, utilizando procedimento similar ao de TAGLIANI et al. (2006). O *software Surfer* permite ao usuário realizar a representação topográfica de um local, em duas ou em três dimensões.

Análise das condições climáticas

Neste trabalho, julgou-se necessário a

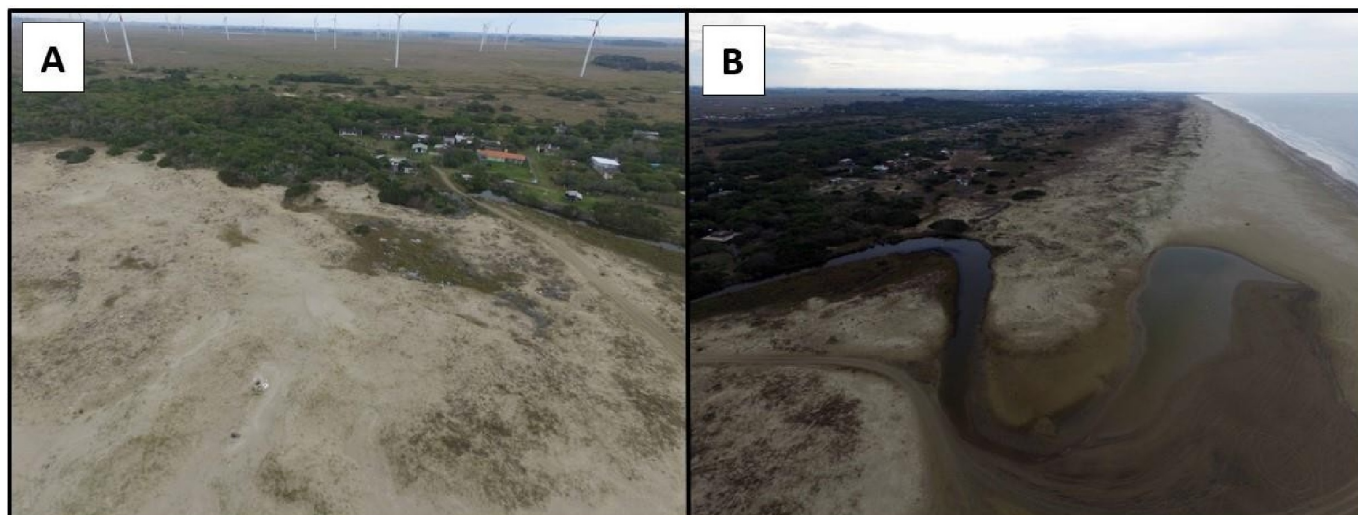


Figura 8. Fotografias aéreas obtidas por ARP, mostrando: A- a área de banhado; B- a desembocadura do Sangradouro Leopoldo, em 11/06/2019. Fonte: Os autores.

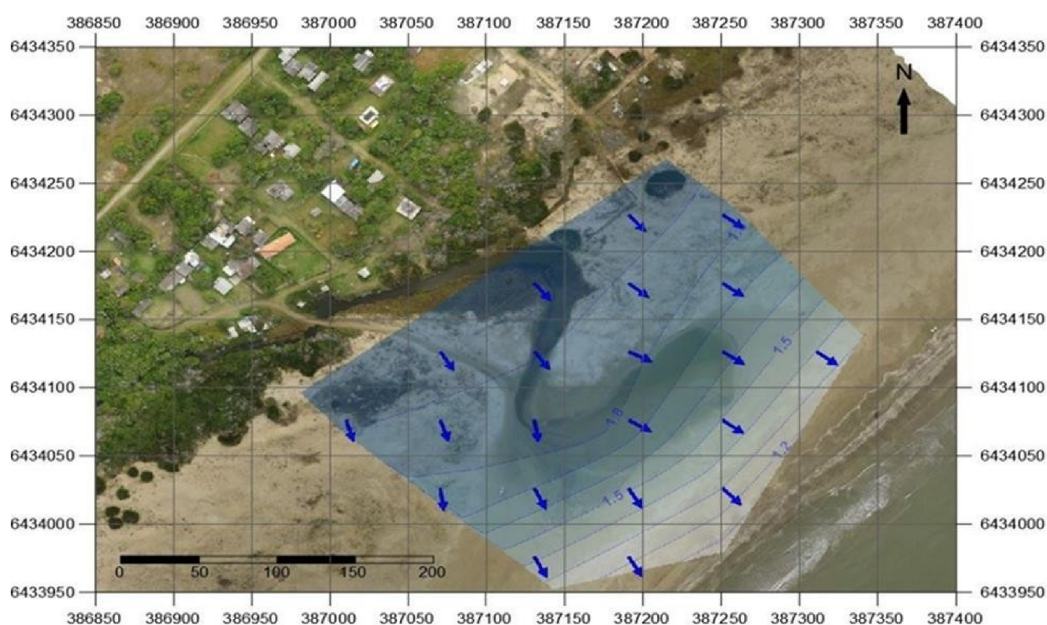


Figura 9. Modelo digital do escoamento do lençol freático junto ao canal sangradouro, em 11/06/2019. Fonte: Os autores.

utilização de dados de precipitação e evaporação, para analisar o comportamento dos sangradouros diante dessa forçante meteorológica. A principal fonte de dados de precipitação desta pesquisa foi advinda da Estação Meteorológica Automática do Rio Grande (INMET, A802).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização hidrogeomorfológica em junho de 2019

No dia 11/06/2019, as nascentes estavam com baixos níveis e o canal do sangradouro estava fechado na face da praia, formando uma pequena lagoa temporária, retendo água, sedimentos e matéria orgânica. As fotografias aéreas oblíquas,

obtidas por sobrevoo com ARP, mostram as áreas de nascente e a desembocadura do Sangradouro Leopoldo, em 11/06/2019 (Figura 8).

A Figura 9 foi gerada no *software Surfer*, no intuito de trazer aspectos tridimensionais, envolvendo o escoamento do nível freático. Os valores indicados nas curvas de nível, para demonstrar profundidade do nível freático, no dia 11/06/2019, acusaram valores entre 1,1 m e 1,9 m em nível do mar, valores maiores na área de dunas e menores em direção à praia, diminuindo progressivamente.

Caracterização hidrogeomorfológica em setembro de 2019

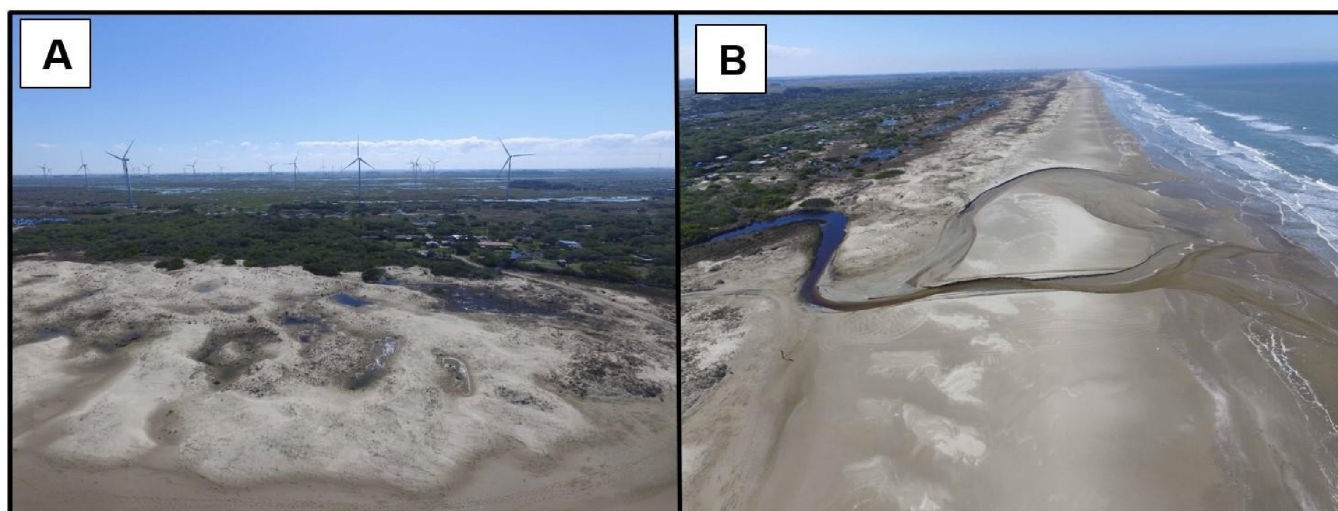


Figura 10. Fotografias aéreas oblíquas, obtidas por drone, mostrando: A- as áreas de nascente do sangradouro, com o afloramento do lençol freático; B- a desembocadura do sangradouro Leopoldo, em 13/09/2019. Fotos: Os autores.

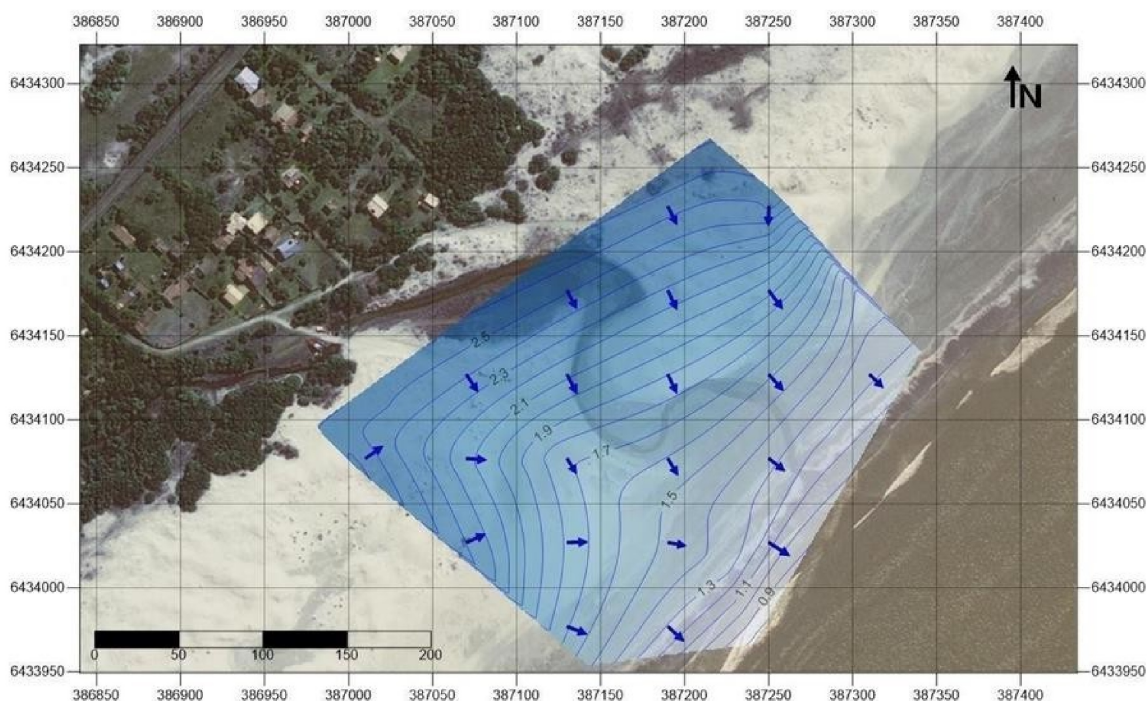


Figura 11. Modelo digital do escoamento do lençol freático, em 13/09/2019. Fonte: Os autores.

No dia 13/09/2019, as nascentes do canal estavam com maior volume de água e o sangradouro se encontrou bem aberto, no pós-praia e face praia. As fotografias aéreas oblíquas, obtida por sobrevoo com ARP, mostram as áreas de nascente e a desembocadura do Sangradouro Leopoldo, na referida data (Figura 10).

A Figura 11 foi gerada no *software Surfer*, no intuito de trazer aspectos tridimensionais, envolvendo o escoamento do nível freático, em 13/09/2019. Os valores indicados nas curvas de nível, para demonstrar profundidade do nível freático, acusaram valores entre 0,9 m e 2,5 m, e incluem seu desague em direção ao caimento para a

praia, uma maior amplitude entre os valores mínimos e máximos.

Influência das condições climáticas e antrópicas nos resultados

Os processos relacionados à formação de sangradouros incluem vários componentes naturais e antrópicos, relacionados com eventos de alta precipitação e baixa evaporação, como indicado nos estudos anteriores de SILVA (1998) e FIGUEIREDO & CALLIARI (2004), mas, também, influenciados pelas variações de nível do lençol freático e ações humanas sobre a vazão da drenagem. A distribuição sazonal dos sangradouros

está associada às taxas de evaporação e à frequência das precipitações pluviométricas (SILVA, 1998; SERPA, 2008).

DE-ZOTTI (2012) afirma que o balanço hídrico positivo para a região de estudo está relacionado à entrada de frentes frias, fato que contribui para a acreção de água à calha do sangradouro, forçando sua abertura. Já em estações com menor entrada de frentes frias, onde o balanço hídrico é negativo, ocorre o gradual fechamento do sangradouro.

FIGUEIREDO (2002), FIGUEIREDO & CALLIARI (2005) e SERPA (2013) apontam que, apesar de não haver uma sazonalidade bem definida no regime pluviométrico, ao longo do ano, as maiores taxas de evaporação são verificadas nos meses de verão, estação na qual o número de sangradouros é reduzido, demonstrando que a sua distribuição espacial depende, principalmente, das taxas de evaporação.

SERPA (2008), ao determinar e quantificar processos associados ao ciclo morfodinâmico evolutivo e investigar o mecanismo responsável pela abertura e pelo fechamento de um sangradouro nas proximidades do limite Sul do balneário Cassino, observou que aquele teve períodos de maior atividade nos meses de outono e inverno, quando os índices pluviométricos são mais

acentuados em relação aos meses de primavera e verão. Sob condições de lençol freático elevado, níveis de pressão positivos são estabelecidos, iniciando-se um fluxo a partir do lençol freático à superfície. A água do lençol freático, combinada com a água da chuva coletada nas áreas pantanosas atrás das dunas frontais, é drenada para a praia pelos sangradouros.

A Figura 12 mostra que o mês de junho de 2019 teve um índice pluviométrico de 38,4 mm, influenciando no aspecto do tempo na área de estudo. Nos meses anteriores, os níveis de chuva acumulados na INMET também foram baixos, influenciando na retenção do canal e na formação de uma pequena lagoa temporária. Já, entre julho e setembro de 2019, houve maior índice de chuva. No mês de setembro, o índice pluviométrico obteve 163,6 mm, influenciado no aspecto do tempo na área estudada, movendo o aumento do fluxo. Além disso, intervenções humanas possivelmente escavaram parte do leito do canal, no pós-praia, promovendo a retinização e o aumento do fluxo em direção à face da praia. A precipitação média anual é de 1000-1500 mm, distribuídas uniformemente, ao longo do ano. As taxas de evaporação são maiores durante os meses de verão. Isso demonstrou uma relação entre o período de maior precipitação anterior ao trabalho de campo

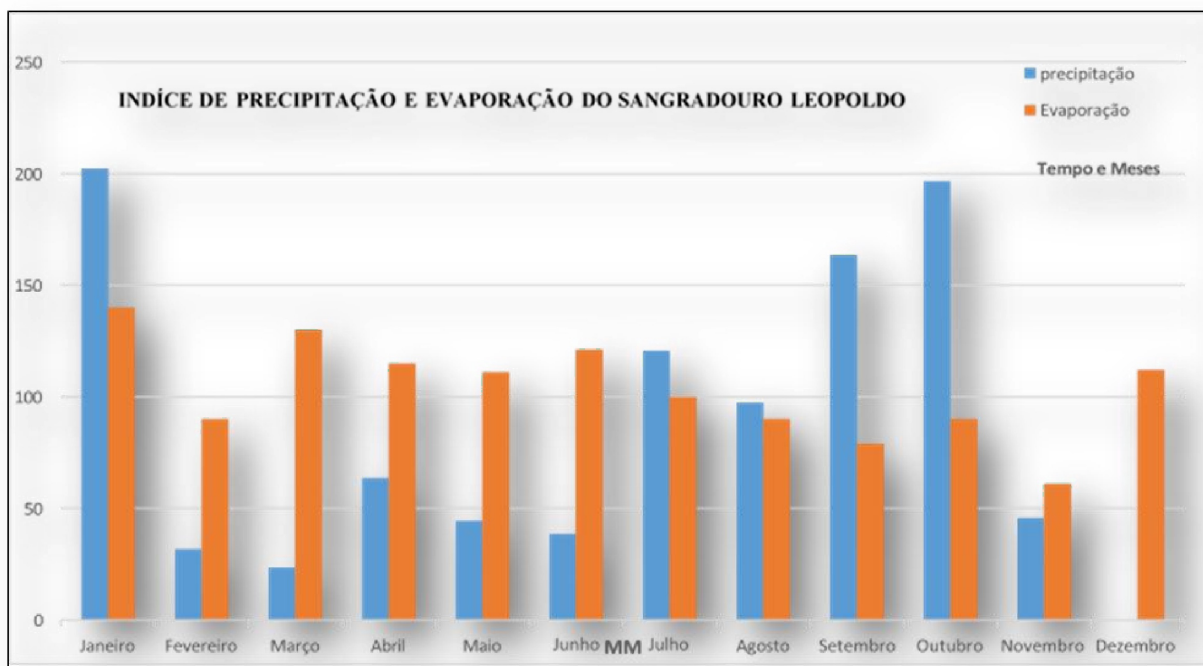


Figura 12. Taxas de precipitação evaporação mensal em 2019. Fonte: INMET (2019).

(no inverno), com um fluxo intenso de água em direção à zona de espraiamento, fazendo com que aquele rompesse a berma da praia, com uma vazão bem alta, mas, há, também, indícios de intervenção humana no processo de desobstrução, visando diminuir a água retida na Planície Costeira (nascentes).

A evaporação é um conjunto de fenômenos da natureza física, que transforma em vapor a água da superfície do solo, dos cursos de água, dos reservatórios acumulados e dos mares. Já a evapotranspiração tem a perda de água ou é transpirada nas condições atmosféricas e na umidade do solo, percebendo-se, principalmente na temporada correspondente ao verão, onde ocorre maior incidência solar, corroborando no fechamento das drenagens. No inverno, as taxas de evaporação são menores, em conta da diminuição da incidência solar e dos índices de precipitação mais elevados, apresentando um maior número de canais sangradouros abertos.

A abertura e o fechamento do canal também estão relacionados aos processos que ocorrem na zona de surfe (SERPA, 2008), enquanto a migração da desembocadura dos sangradouros está relacionada com a deriva litorânea local, causada pela incidência oblíqua de ondas (SERPA, 2013). Para DE-ZOTTI (2012), o formato do canal na face de praia é influenciado, principalmente, pela intensidade e orientação do vento que atinge a região. Além disso, destaca-se que eventos de alta energia, como a passagem de marés meteorológicas têm influência na dinâmica dos sangradouros, principalmente na porção a jusante do canal. SERPA (2013) confirma que tempestades podem estar associadas não apenas à abertura do sangradouro, mas, também, ao seu fechamento, ou seja, a elevação do nível do mar durante marés meteorológicas pode ocasionar o fechamento de um canal quando este não tem competência para manter-se aberto.

Cabe considerar outro agente modelador, capaz de fazer grandes alterações em curtos espaços de tempo: o homem. A interferência antrópica é tão eficaz como modeladora da paisagem. Assim, alguns autores utilizam a expressão "morfologia antropogênica" para classificar alterações antrópicas e consideram a

interferência humana como ação geomorfológica (RODRIGUES, 2005). Pressões antrópicas impostas aos canais sangradouros podem variar desde modificações no leito do canal, o descarte de lixo e o esgoto doméstico até a construção de edificações muito próximas às margens.

Uma das influências antrópicas sobre o referido canal sangradouro, observada por GOULART & COZZA (2010), trata do afunilamento do canal sangradouro próximo à desembocadura. A localidade foi parcialmente aterrada, com a construção de uma ponte de entulhos e a colocação de um tubo de aço, para dar vazão à parte superior do arroio. A locação dessa estrutura pode ser um fator contribuidor para a redução dos fluxos de vazão nos períodos de verão, tendo em vista que, quantidades significativas de entulho são lançadas no sangradouro, contribuindo para a formação de uma barreira no fundo. Outra ação é a abertura artificial, para promover maior vazão da água. Segundo HERES (2017), a abertura artificial geralmente ocorre em sangradouros localizados na área urbana do balneário Cassino. Esses canais passaram por periódicos desassoreamentos, alterando a sua morfologia, principalmente na porção do pós-praia, seja com a retificação do canal ou com a abertura de um canal secundário. Em relação aos canais urbanos do balneário Cassino, o desassoreamento é realizado após uma Autorização Geral expedida pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) (HERES, 2017). Essas intervenções ocorreram devido a uma questão social, ou seja, abrir um canal que havia fechado naturalmente, com a finalidade de contribuir na drenagem urbana.

CONCLUSÕES

O processo de abertura e retenção do canal sangradouro é fortemente controlado pela relação dos períodos de intensas precipitações e variações acentuadas nas épocas de redução de taxa de evaporação. Os levantamentos das duas saídas apresentaram distintas feições, que foram a retenção e a face aberta em direção à zona de surfe. Em relação ao nível freático, observou-se que ele se comportou de maneira diferente nos dois levantamentos, realizados em distintas condições,

uma com retenção de água e a outra com o canal fluindo em direção à zona de surfe. No período mais seco, as variações do lençol freático tiveram menos amplitude do que no período com maior precipitação.

Quanto aos aspectos morfológicos os sangradouros apresentaram formas retilíneas, sinuosas e meandrante, sendo que a maioria das variações se deu nas nascentes e desembocadura junto à faixa de praia. Ressalta-se que a construção de casas no entorno do curso da água pode prejudicar seu desague em direção à praia, uma vez que são construídas próximas às regiões de banhado e impactam no ambiente praial. Por fim, a drenagem promovida pelos sangradouros tem uma importância fundamental para as praias do RS, à medida que promove a interação entre o balanço hídrico e sedimentar na zona de transição entre a Planície Costeira e o Oceano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALLIARI, L. J. & KLEIN, A. H. F. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas*, 20(1): 48- 56.
- CALLIARI, L. J.; PEREIRA DA SILVA, R.; OLIVEIRA, A.O. & FIGUEIREDO, S.A. 2005. Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Gravel*, 3: 15-30.
- DILLENBURG, S. R.; ROY, P. S.; COWELL, P. J. & TOMAZELLI, L. J. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shoreface Translation- Barrier Model (STM). *Journal of Coastal Research*, 16 (1): 71-81.
- FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS. 2016. Regiões hidrográficas do estado do RS. Porto Alegre: FEPAM, 2016. Relatório Técnico.
- FERREIRA, N. J.; RAMÍREZ, M. V. & GAN, M. A. 2009. Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam na vizinhança do nordeste do Brasil. In: FERREIRA, N. J. & CAVALCANTI, I. F. A. (Eds.). *Tempo e clima no Brasil*, pp. 43-60, Oficina de textos, São Paulo, Brasil. (ISBN: 978-6862355245).
- FIGUEIREDO, S. A. 2002. Distribuição espaço-temporal dos sangradouros na costa gaúcha no trecho de São José do Norte – Farol de Mostardas. Monografia de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Rio Grande, RS, Brasil. 43p.
- FIGUEIREDO, S. A. & CALLIARI, L. J. 2004. Sangradouros: distribuição espacial, variação sazonal, padrões morfológicos e implicações no gerenciamento costeiro. *Gravel*, 3: 47- 57.
- FIGUEIREDO, S. A. 2005. Sedimentologia e suas implicações na morfodinâmica de praias adjacentes à desembocadura da linha de costa do Rio Grande do Sul. *Revista Gravel*, 4: 73-87.
- FONTOURA, J. A. S. 2004. Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos molhes da Barra do Rio Grande, RS, Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 223p.
- GOULART, A. L. R. & COZZA, R. 2010. Geotecnologias aplicadas ao estudo e manejo de sangradouros. estudo de caso do arroio Querência, praia do Cassino, RS. Monografia de Conclusão de Curso, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil, 32p.
- GOULART, A. L. R. 2022. Variações espaço-temporais do sangradouro Leopoldo, Riogrande/RS. Monografia de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, RS, Brasil. 49p.
- GODOLPHIM, M. 1976. Geologia do holoceno costeiro do município de Rio Grande, RS. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 146 p.
- HERES, T. C. 2017. Uso de geoindicadores para caracterização de canais sangradouros ao largo do balneário Cassino (RS) e de alterações no seu padrão natural. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil. 101p.
- KRUSCHE, N.; SARAIVA, J. M. B. & REBOITA, M. S. 2003. Normais Climatológicas Provisórias de 1991 a 2000 para Rio Grande, RS. 84p. Rio Grande, Brasil, 84 p., Editora da FURG, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. (ISBN:

- REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T. & ROCHA, R. P. 2012. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. *Terra e Didática*, 8(1): 34-50.
- SERPA, C. G. 2008. Estudo da influência dos fatores climáticos, hidrológicos e morfológicos no ciclo de vida de um sangradouro intermitente, Praia do Cassino, Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil. 97 p.
- SERPA, C. G. 2013. Morfodinâmica praial relacionada à presença de corpos de água intermitentes em duas praias da costa do Rio Grande do Sul, Brasil. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil. 131p.
- SILVA, R. P. 1995. Comportamento morfodinâmicos dos sangradouros entre a praia do Cassino e Chuí, RS. Monografia de Conclusão de Curso. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, 36p.
- SILVA, R. P. 1998. Ocorrência, distribuição e características morfodinâmicas dos sangradouros na zona costeira do Rio Grande do Sul: trecho Rio Grande-Chuí, RS. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 146p.
- SILVA, R. P. 2003. The influence of washouts on the erosive susceptibility of Rio Grande do Sul between Cassino and Chuí beaches, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 35(SI): 332-338.
- SIMÕES, R. S.; OLIVEIRA, U. R.; ESPINOZA, J. M.; ALBUQUERQUE, M. G. & ALVES, D. C. L. 2019. Uso de drone de pequeno porte para análise costeira: enfoque metodológico. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(2): 622-640.
- STRAUCH, J. C.; CUCHIARA, D. C.; TOLDO JR, E. E. & ALMEIDA, L. E. S. B. 2009. O padrão das ondas de verão e outono no litoral sul e norte do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 14(4): 29-37.
- TAGLIANI, C. R. A. 1997. Proposta para o manejo integrado da exploração de areia no município costeiro de Rio Grande - RS, dentro de um enfoque sistêmico. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil. 158p.
- TAGLIANI, C. R. A.; CONTERATO, M. R.; ANTIQUEIRA, J. A. F.; CALLIARI, L. J.; TAGLIANI, P. R. & SOARES, M. N. 2006. Construção de um modelo digital de terreno para a Ilha dos Marinheiros, Rio Grande, RS, com uso de DGPS e rotinas de geoprocessamento. *Gravel*, 4: 89-98.
- TOZZI, H. A. M.; PEREIRA DA SILVA, R.; CALLIARI, L. J. & BARLETTA, R. C. 2000. Influência das tempestades extratropicais sobre as praias do Rio Grande do Sul (Laguna dos Patos-Chuí), Brasil. In: *Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas. Anais do Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas*, Itajaí, Santa Catarina, 1: 184-189.
- TOMAZELLI, L. J. & VILLWOCK, J. A. 1992. Algumas considerações sobre o ambiente praial e deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 19(1): 1-19.
- TOMAZELLI, L. J. & VILLWOCK, J. A. 2000. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: geologia da planície costeira. In: Holz, M. & De Ros, L.F., eds., *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Edições CIGO/UFRGS, p.375-406.
- TOLDO JR, E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B.; NICOLODI, J. L.; ABSALONSEN, L. & GRUBER, N. L. S. 2006. O controle da deriva litorânea no desenvolvimento do campo de dunas e da antepraia no litoral médio do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 33(2): 35-42.
- TURNER, I. L.; COATES, B. P. & ACWORTH, R. I. 1997. Tides, waves and the super-elevation of groundwater at the coast. *Journal of Coastal Research*, 13(1): 46-60.
- VIANELLO, R. L. & ALVES, A. R. 1991. *Meteorologia Básica e Aplicações*. 447p., Editora UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. (ISBN: 978-8572694322).
- VILLWOCK, J. A. & TOMAZELLI, L. J. 1995. *Geologia costeira do Rio Grande do Sul*. CECO/IG/UFRGS, Notas Técnicas 8, 45p. Porto Alegre, RS, Brasil.
- VILLWOCK, J. A.; LESSA, G. C.; SUGUIO, K.; ANGULO, R. J. & DILLENBURG, S.R. 2005. Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S. & OLIVEIRA, P. E. (Eds.). *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto, pp. 94-113, Editora Holos, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.

