

Milena Caumo Carniel

**ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA REGIÃO DA BARREIRA DAS
LOMBAS, PROVÍNCIA COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências.

Orientador: Claiton Marlon dos Santos Scherer

Porto Alegre

2019

Milena Caumo Carniel

ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA DA REGIÃO DA BARREIRA DAS LOMBAS, PROVÍNCIA COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geociências.

BANCA EXAMINADORA

Eduardo Guimarães Barboza – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ernesto Luiz Correa Lavina - Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Samanta da Costa Cristiano – Instituto de Oceanografia – Universidade Federal do Rio Grande

CIP - Catalogação na Publicação

Caumo Carniel, Milena

Análise Geomorfológica da região da Barreira das Lombas, Província Costeira do Rio Grande do Sul / Milena Caumo Carniel. -- 2019.

67 f.

Orientador: Claiton Marlon dos Santos Scherer.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. Barreira das Lombas. 2. Província Costeira do Rio Grande do Sul. 3. análise geomorfológica. 4. geodiversidade. I. dos Santos Scherer, Claiton Marlon, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Instituto de Geociências (IGEO). Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) que de alguma forma contribuíram para meu crescimento profissional-acadêmico.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida, sem a qual eu não teria possibilidade de desenvolver este trabalho.

Agradeço imensamente a minha orientadora Maria Luiza Correa da Camara Rosa por desde o início ter acreditado neste trabalho. Tua orientação me fez reacender a paixão pela geologia. Por colocar o coração em tudo que faz, me inspira. Obrigada pelo teu olhar não só de orientadora como de amiga.

Aos meus amigos moradores da Comunidade Osho Rachana, agradeço com todo meu coração. Sem vocês este trabalho não teria acontecido. Obrigada a todos que me apoiaram e contribuíram das mais diversas formas para meu crescimento pessoal e profissional. Agradeço especialmente à Heera e ao Milan, vocês me mostraram o que significa amizade de verdade. Obrigada Subali pela parceria, por me ajudar na organização dos prazos e questionamentos sobre o tema desta dissertação.

Agradeço ao Dionatan, relicto do Trabalho de Campo I, por ter se mostrado disponível sempre que necessitei. Obrigada pela amizade, trocas, divagações geológicas e da vida e pela incrível aula de geologia do Escudo Sul-Riograndense.

Tudo o que acontece, acontece.

Tudo o que, ao acontecer,
faz com que outra coisa aconteça,
faz com que outra coisa aconteça.

Tudo o que, ao acontecer, faz com que ela mesma
aconteça de novo, acontece de novo.

Isso, contudo, não acontece necessariamente
em ordem cronológica.

(Douglas Adams)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo descrever em detalhe a geologia da Barreira das Lombas, na região entre os distritos de Itapuã e Águas Claras. Foi realizada a análise geomorfológica através de imagens do satélite Landsat 7, Modelo Digital do Terreno e seus subprodutos, bem como a confirmação da verdade terrestre. A partir desta análise foram definidos cinco padrões geomorfológicos que foram correlacionados com 1) embasamento cristalino, 2) depósitos de leques aluviais, 3) depósitos eólicos da Barreira I, 4) terraços lagunares e 5) cordões litorâneos. Com base na orientação das declividades máximas, foram estabelecidos dois diferentes setores da Barreira das Lombas, um NW-SE e outro E-W, controlados pelo padrão estrutural dos seus respectivos tipos de embasamento. As altitudes medidas com GNSS permitiram a suposição de que os terraços lagunares estão relacionados ao Sistema Laguna-Barreira II, os quais sofreram retrabalhamento parcial pelo Sistema Laguna-Barreira III. Por fim, verificou-se que a área do estudo possui uma grande diversidade geológica, configurando um potencial de exploração através de geoturismo na região metropolitana de Porto Alegre.

Palavras-chave. Barreira das Lombas, Província Costeira do Rio Grande do Sul, análise geomorfológica, geodiversidade

ABSTRACT

The aim of this work was to describe in detail the geology of the Barreira das Lombas, in the region between Itapuã and Águas Claras districts. The geomorphological analysis was made through Landsat 7 satellite images, Digital Elevation Model and its subproducts, besides the ...confirmation. Based on this, five geomorphological patterns were defined, which were correlated to 1) crystalline basement, 2) alluvial fan deposits, 3) Barreira I aeolian deposits, 4) lacustrine terraces and 5) beach ridges. In large scale, the slope orientations allowed to divide the Barreira das Lombas in two sectors, a NW-SE one and a E-W one, which are controlled by structural pattern of its respective types of basement. The heights measured with GNSS permitted to suppose that the lacustrine terraces are related to the Barrier-Lagoon II System, which were partially reworked by the Barrier-Lagoon III System. Lastly, it was verified that the study area has a big geological diversity, which sets up an exploration potential by geotourism in the Porto Alegre metropolitan region.

Keywords. Barreira das Lombas, Rio Grande do Sul Coastal Province, geomorphological analysis, geodiversity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.....	11
Figura 2 – Geomorfologia da Província Costeira do Rio Grande do Sul (extraído de Barboza, 1999).....	12
Figura 3 – Mapa geológico do Batólito de Pelotas mostrando a localização da Suíte Granítica Dom Feliciano (extraído de Philipp 1998).	14
Figura 4 – Perfil esquemático transversal aos sistemas laguna-barreira e suas correlações com os picos da curva isotópica de oxigênio (extraído de Rosa et al., 2017 com base nos trabalhos de Dillenburg et al. 2013, Dillenburg et al. 2006, 2007, 2009, Travessas et al. 2005, Tomazeli et al. 1998, Martinho et al. 2008, Poupeau et al. 1988, Buchmann e Tomazelli 2003, Lopes et al. 2010, Lopes et al. 2004)	17
Figura 5 – O espectro eletromagnético mostrando os diferentes comprimentos de onda e frequência, além das faixas utilizadas por sensores ópticos, radar e georradar (Florenzano, 2007).....	19

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	10
1.1 Introdução.....	10
1.2 Área	11
1.2.1 Contexto Geológico.....	11
1.3 Materiais e Métodos	18
1.3.1 Sensoriamento Remoto.....	18
1.3.2 Geoprocessamento	20
1.3.3 Sistemas de Posicionamento.....	21
CAPÍTULO III – ARTIGO SUBETIDO	23
CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
REFERÊNCIAS	64

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Introdução

A Província Costeira do Rio Grande do Sul abrange os depósitos sedimentares da Bacia de Pelotas, a qual apoia-se sobre um embasamento que engloba as rochas do Escudo Sul-Rio-Grandense e as sequências sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná (Villwock, 1972). As acumulações da Bacia de Pelotas envolvem sistemas deposicionais de leques aluviais e do tipo Laguna-Barreira. Próximo à borda da bacia, a interação de processos relacionados a diferentes escalas espaciais e temporais configura um registro geodiverso refletido na paisagem.

Esta diversidade motivou a busca da identificação de padrões geomorfológicos que possam ser correlacionados com a gênese das diferentes unidades e seu posicionamento temporal. Desta forma, selecionou-se a área deste estudo, relacionada à unidade geomorfológica definida por Villwock (1984) como Barreira das Lombas. Em termos regionais esta unidade corresponde à Barreira I, sendo composta, majoritariamente, por depósitos sedimentares da Bacia de Pelotas. Porém, em uma análise de detalhe, identifica-se a ocorrência de rochas relacionadas a diferentes estágios evolutivos, desde a colisão dos crátons Rio de La Plata e Kalahari, que gerou o Cinturão Dom Feliciano (Philipp et al., 2016), até a formação dos sistemas laguna-barreira, que registram ciclos de elevação e rebaixamento do nível do mar.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo descrever em detalhe a geologia da Barreira das Lombas, enfocando a sua porção mais diversa, na região entre os distritos de Itapuã e Águas Claras (Fig. 1). Como objetivos específicos destaca-se:

- Tipificar e individualizar os padrões geomorfológicos presentes na área;
- Definir a relação entre os terraços presentes na região do estudo e seus respectivos sistemas laguna-barreira;

1.2 Área

A região do estudo localiza-se no nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul, mais especificamente entre Itapuã e Águas Claras (Fig.1) e possui uma área de aproximadamente 32x37 km indicada na figura abaixo.

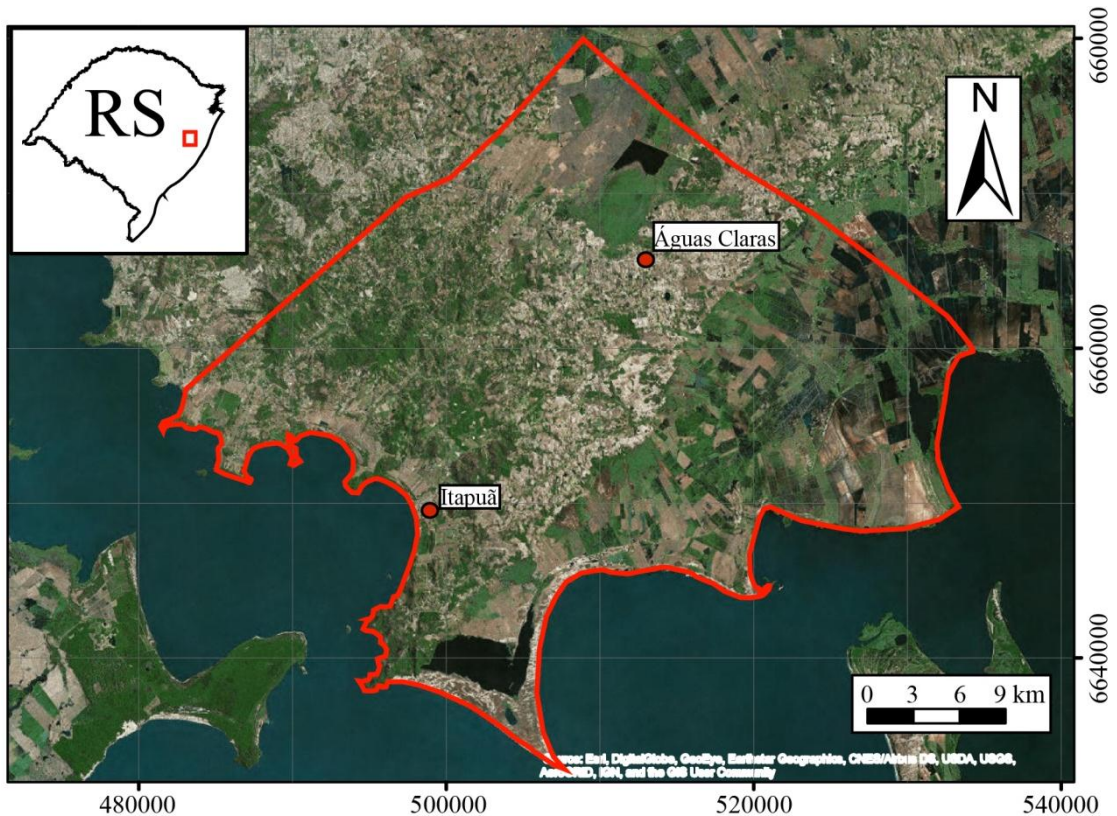


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, situada entre os distritos de Itapuã e Águas Claras.

1.2.1 Contexto Geológico

A Província Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) é caracterizada por Villwock (1972) como “um grupo de elementos geológicos (tectônico, estrutural, sedimentar e morfológico) característico da margem continental brasileira entre os paralelos de 28°40’ e 33°45’ de latitude sul”. A PCRS é dividida em duas unidades geológicas: o Embasamento, formado pelas rochas pré-cambrianas do Escudo Sul-rio-grandense e pelos depósitos paleozoicos e mesozoicos da Bacia do Paraná; e a Bacia de Pelotas, constituída por depósitos terciários e quaternários da costa do Rio Grande do Sul (Fig. 2).

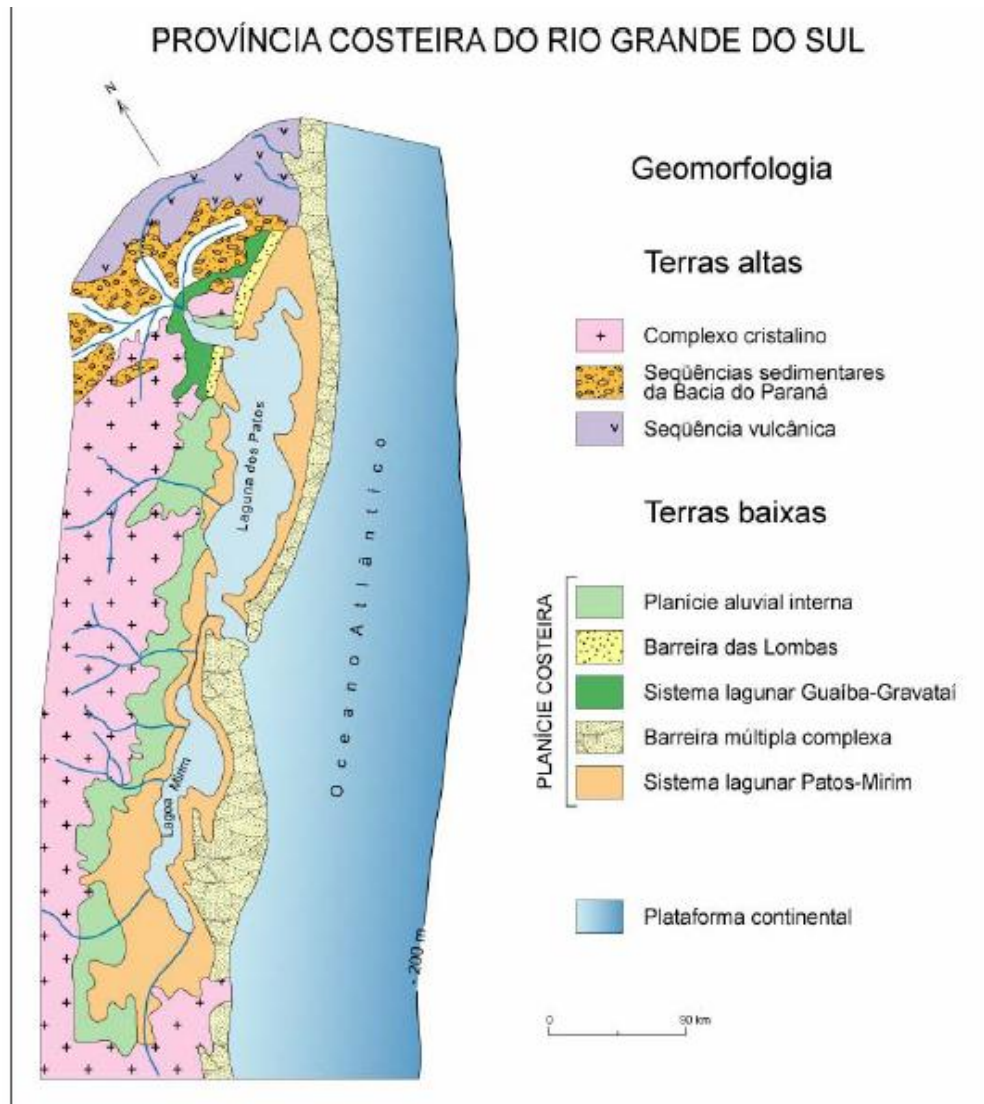


Figura 2 – Geomorfologia da Província Costeira do Rio Grande do Sul (modificado de Barboza, 1999 de Villwock, 1984).

Com relação ao embasamento, segundo Fragozo Cesar et al. (1982) o Cinturão Dom Feliciano (CDF) é uma unidade geotectônica do escudo sul-riograndense que constitui o segmento meridional da Província Mantiqueira e representa uma faixa móvel Brasileira de orientação NE-SW. Sua formação teve origem do fechamento do Oceano Adamastor, através da colisão dos crátons Rio de La Plata e Kalahari, entre 770 e 680 Ma (Philipp, 2016).

Após o pico metamórfico gerado pela colisão, desenvolveram-se zonas de cisalhamento e um magmatismo pós-colisional associado (Batólito de Pelotas) evidenciado pelas rochas alcalinas da Suíte Granítica Dom Feliciano (Philipp, 1998) (Fig. 3). No extremo norte do batólito afloram as rochas da Fácies Serra do Herval (presente na área de estudo), caracterizada por corpos sienograníticos de orientação NE-SW.

Os eventos geotectônicos ocorridos no Cretáceo Inferior que fragmentaram o supercontinente Gondwana e levaram à abertura do Oceano Atlântico Sul deram origem à Bacia de Pelotas, na margem brasileira adjunta ao Rio Grande do Sul (Asmus, 1981). O termo Bacia de Pelotas era utilizado informalmente por geólogos da Petrobrás, referindo-se às rochas terciárias da costa do Rio Grande do Sul. Foi Ghignone (1960) quem formalizou o termo, definindo uma bacia que inclui os depósitos terciários e quaternários da região costeira do Rio Grande do Sul, e, em superfície, as Lagunas dos Patos e Mirim, entre outras.

Essa bacia tem uma área de aproximadamente 210.000 km² e é limitada a norte pelo Alto de Florianópolis (Gamboa & Rabonowitz, 1981) e a sul pelo Alto de Polônio (Urien & Martins, 1978). Possui mais de 10 km de espessura de sedimentos de origem predominantemente clástica terrígena (Villwock & Tomazelli, 1995). Estes sedimentos foram depositados por processos gerados essencialmente em Sistemas de Leques Aluviais e Sistemas do tipo Laguna-Barreira (Villwock et al, 1986).

Os sistemas de leques aluviais se formam, nas porções proximais, por processos gravitacionais, resultando em depósitos de tálus e coluviões, que gradam, nas porções distais, para processos aluviais. Esses sistemas são considerados parcialmente ativos, pois atualmente ainda se observam processos de transporte de pequena intensidade (Villwock & Tomazelli, 1995). Estes autores dividiram o Sistema de Leques Aluviais em três subsistemas, baseado nas diferenças composicionais, texturais e estruturais geradas principalmente pelos diferentes tipos de rochas fonte.

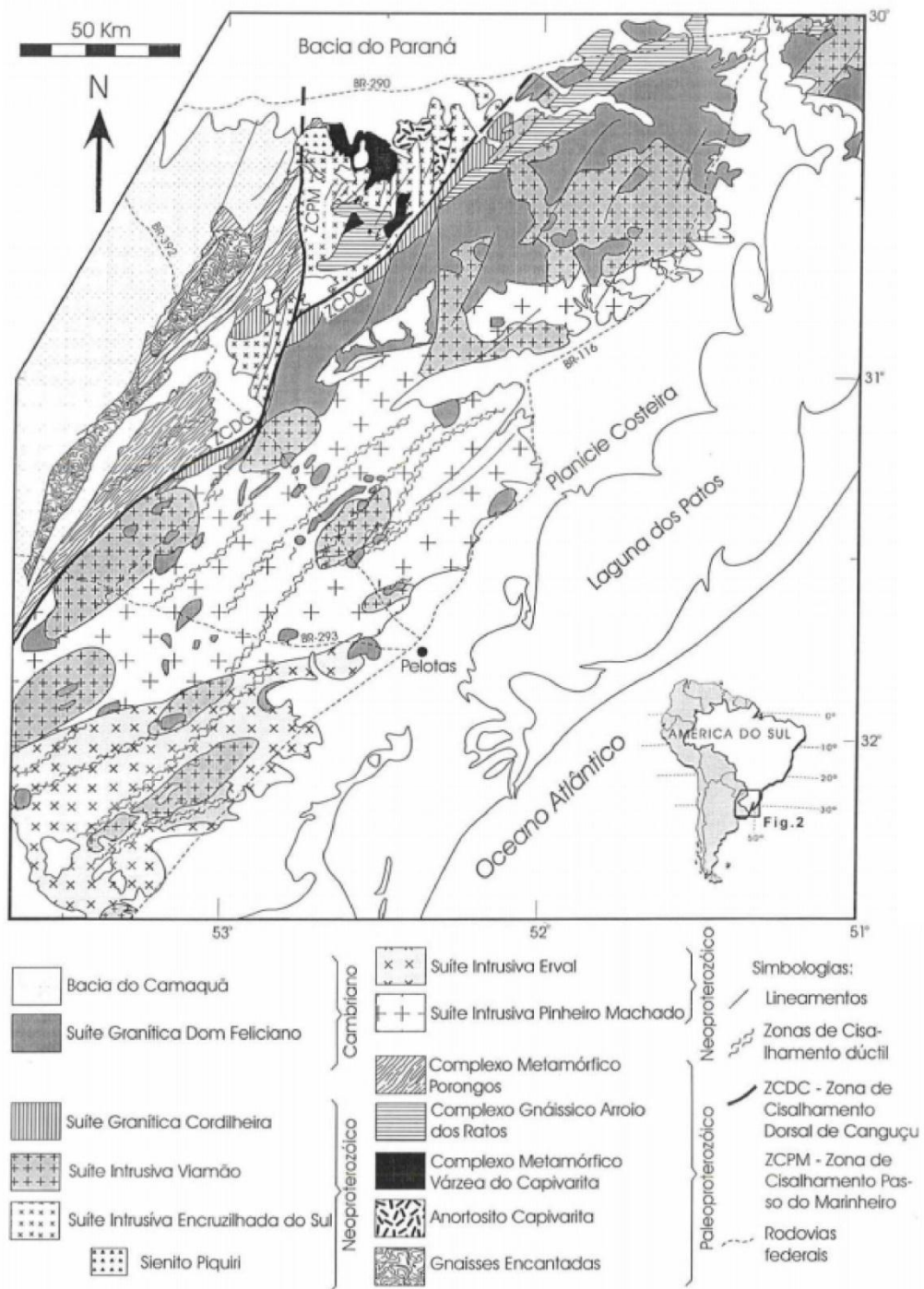


Figura 3 – Mapa geológico do Batólito de Pelotas mostrando a localização da Suíte Granítica Dom Feliciano (extraído de Philipp 1998).

O subsistema de Leques Alimentados pelo Escudo Pré-cambriano compreende os sedimentos acumulados na margem oeste do Sistema Lagunar Patos-Mirim, cuja área fonte foram rochas ígneas e metamórficas do Batólito de Pelotas. Como produto do tipo de rocha fonte e da curta distância de transporte, as fácies desse sistema apresentam textura e mineralogia imaturas. São caracterizadas principalmente por arenitos grossos e conglomerados de grânulos de composição arcoseana.

Na porção norte da PCRS ocorre o subsistema de Leques Alimentados pelo Planalto, que se estendem pela Depressão Central. Como resultado da energia do relevo e composição da área fonte, predominam processos gravitacionais subaéreos e fácies líticas de granulometria grossa. A deposição destes sedimentos é controlada pelas variações climáticas, sendo que os principais eventos ocorreram em épocas de clima árido (pouca cobertura vegetal).

O subsistema de Leques Alimentados pela Barreira I ocorre restritamente nas encostas dos depósitos da barreira mais antiga da PCRS que se desenvolveu a partir da migração de dunas eólicas sobre os altos do embasamento. Como resultado da diferença de altitude entre a barreira e os terrenos adjacentes, desenvolveu-se um sistema de leques coalescentes que retrabalharam os sedimentos arenosos.

Na porção leste da PCRS formaram-se quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira, os quais registram picos transgressivos seguidos de eventos regressivos. Suas posições espaciais refletem a idade relativa, sendo que o mais antigo é o mais interiorizado e a idade diminui em direção ao sistema mais externo (Villwock & Tomazelli, 1995). De acordo com estes autores, esses eventos transgressivo-regressivos foram controlados por variações glacio-eustáticas, o que permite o uso de curvas isotópicas de oxigênio para determinação das idades absolutas desses sistemas. Portanto, presume-se que os quatro sistemas deposicionais se desenvolveram nos últimos 400 ka. A descrição a seguir tem como base, especialmente, os trabalhos de Villwock (1984), Villwock et al. (1986), Villwock & Tomazelli (1995) e Tomazelli & Villwock (2000).

O Sistema Depositional Laguna-Barreira I é o mais antigo e se formou durante um primeiro evento transgressivo-regressivo no Pleistoceno. Com base na curva isotópica de oxigênio este sistema corresponde ao estágio isotópico 9 (Fig. 4), o que lhe atribui a idade absoluta de aproximadamente 325 ka (Rosa et al., 2017). Este sistema se formou no noroeste da PCRS em uma faixa de orientação NE-SW, como resultado do cavalgamento de dunas eólicas sobre altos do embasamento. As fácies desse sistema são caracterizadas por areias quartzo-feldspáticas, de granulometria fina a média, muito bem arredondadas, semi-consolidadas. Estas areias sofreram intensos processos diagenéticos que destruíram quase totalmente suas estruturas primárias. Dentro do Sistema Lagunar I formaram-se fácies de ambientes lagunares, fluviais e paludais, como resultado da carga de sedimentos provindos de terrenos adjacentes. A região ocupada por este sistema foi retrabalhada por vários eventos

transgressivo-regressivos subsequentes. Como consequência disso, os depósitos situados na região do Sistema Lagunar I representam diferentes eventos de diversas idades.

Um segundo evento transgressivo-regressivo deu origem ao Sistema Depositional Laguna-Barreira II que pode ser correlacionado com o estágio isotópico 7 que lhe confere uma idade absoluta de 230 ka (Lopes et al., 2014) (Fig. 4). Este representa a primeira fase de formação da barreira múltipla complexa, a qual deu origem ao sistema lagunar Patos-Mirim. É caracterizado por sedimentos praias e eólicos da Barreira II, cujas fácies são formadas por areias quartzo-feldspáticas bem arredondadas. Assim como ocorrido na Barreira I, estes sedimentos sofreram intensos processos pós-deposicionais que eliminaram suas estruturas primárias. Na região da retrobarreira desenvolveu-se o Sistema Lagunar II que, através do retrabalhamento dos sistemas de leques aluviais, geraram terraços de abrasão.

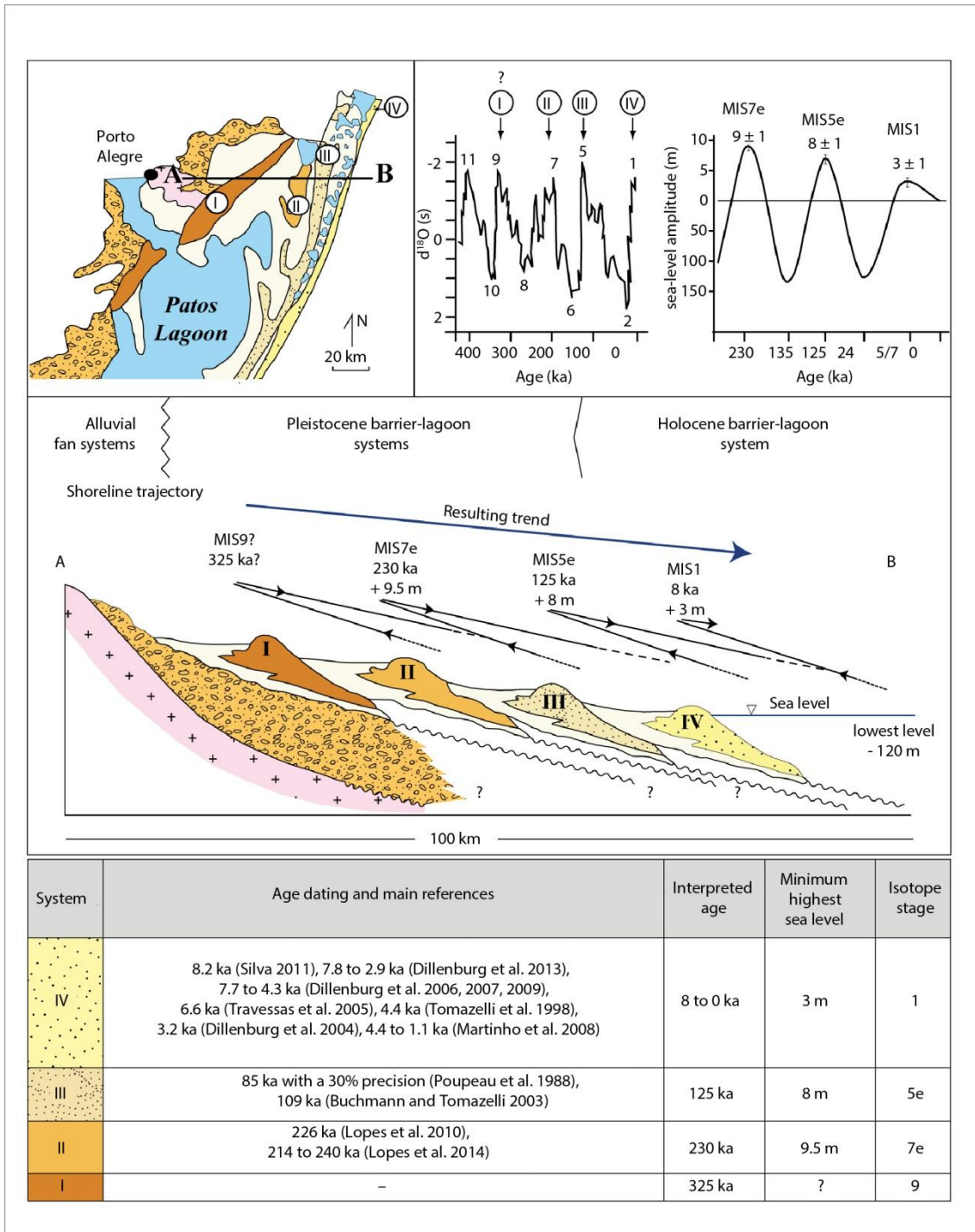


Figura 4 – Perfil esquemático transversal aos sistemas laguna-barreira e suas correlações com os picos da curva isotópica de oxigênio (extraído de Rosa *et al.*, 2017 com base nos trabalhos). De Dillenburg *et al.* 2013, Dillenburg *et al.* 2006, 2007, 2009, Travessas *et al.* 2005, Tomazeli *et al.* 1998, Martinho *et al.* 2008, Poupeau *et al.* 1988, Buchmann e Tomazelli 2003, Lopes *et al.* 2010, Lopes *et al.* 2004)

O Sistema Depositional Laguna-Barreira III ocorre ao longo de toda a planície costeira e encontra-se bem preservadas até os dias atuais. Esse sistema pode seguramente ser correlacionado com o último pico interglacial pleistocênico (subestágio isotópico 5), conferindo uma idade em torno de 125 ka. A Barreira III é formada por sedimentos praias e

de mar raso, cobertos por areias eólicas. Suas fácies são constituídas por areias quartzosas, finas, bem selecionadas, com estratificações plano-paralela, baixo ângulo, planar, acanalada e *hummocky*. O sistema Lagunar III instalado na região da retrobarreira é caracterizado por fácies arenosas de granulometria fina a siltico-argilosas, mal selecionadas com laminação plano-paralela e frequentes fósseis de mamíferos pleistocênicos.

O Sistema Depositional Laguna-Barreira IV representa os depósitos mais jovens da PCRS, correlacionável ao último pico transgressivo Holocênico (estágio isotópico 1), ocorrido há aproximadamente 8 ka. A Barreira IV é formada por fácies praias caracterizadas por areias quartzosas de granulometria fina a muito fina e areias e cascalhos bioclásticos na porção meridional entre Rio Grande e Chuí. Ao longo de toda costa desenvolveu-se um campo de dunas eólicas que migram em direção SW, superpondo-se a terrenos mais antigos e adentrando corpos lagunares adjacentes. Na região de retrobarreira formou-se o Sistema Lagunar IV caracterizado por ambientes lagunares, fluviais, deltaicos e paludais.

1.3 Materiais e Métodos

1.3.1 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto (SR) consiste em métodos de aquisição de informações sem que haja contato físico com os alvos desejados (ASRAR, 1989). A obtenção das propriedades dos alvos é feita através da captura e registro da energia dos mesmos através de diferentes tipos de sensores.

No Sensoriamento Remoto, a energia detectada pelos sensores é a radiação eletromagnética (REM), que pode ser de fonte natural (Sol) ou artificial (radar). Quando o sensor é também a fonte de energia, ele é considerado ativo e quando somente capta a REM emitida por um agente externo, ele é chamado de sensor passivo. Um sensor é considerado do tipo imageador quando o produto gerado é uma imagem e não imageador quando os produtos são curvas espectrais.

As ondas da REM podem ser dispostas quanto a sua frequência e comprimento, gerando o Espectro Eletromagnético (fig. 5). As faixas espectrais mais exploradas no SR são o ultravioleta, visível e infravermelho.

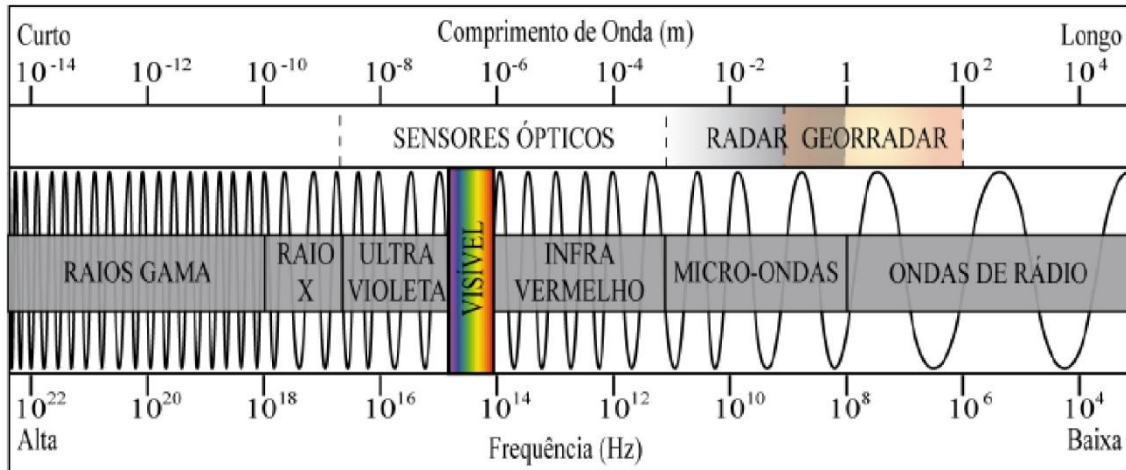


Figura 5 – O espectro eletromagnético mostrando os diferentes comprimentos de onda e frequência, além das faixas utilizadas por sensores ópticos, radar e georradar (Florenzano, 2007).

A REM é absorvida, transmitida ou refletida pelos alvos em proporções diferentes para cada comprimento de onda. É assim que percebemos as cores dos objetos. A cor que enxergamos em determinado objeto é a que corresponde ao comprimento de onda mais refletido por ele e que nossa visão percebe como aquela determinada cor.

Os sensores utilizados no SR captam radiações que vão além do espectro visível. Sendo assim, conhecendo-se a medida de reflectância de um determinado alvo ao longo do espectro eletromagnético, pode-se extrair importantes informações a respeito do mesmo através dos produtos do SR.

As imagens geradas por sensores são tratadas como matrizes. A matriz é formada por células chamadas de “*pixels*” que possuem diferentes tonalidades, evidenciando as diferentes quantidades de energia refletida pelos alvos (Steffen & Moraes, 1993). Além disso, cada *pixel* pode representar também outras grandezas, por exemplo, as altitudes nos Modelos Digitais de Elevação do Terreno (MDET).

O conjunto de valores que representam a intensidade da REM de cada *pixel* determina a resolução radiométrica da imagem. Quanto maior o número de tonalidades de cinza possíveis, maior a resolução radiométrica.

A faixa de comprimento de onda detectada pelo sensor define a resolução espectral. Quanto menor a faixa de detecção e maior a quantidade de faixas, maior será a resolução espectral.

O tamanho que um pixel representa do terreno estabelece a resolução espacial. Em uma imagem com resolução espacial de 1 m, cada *pixel* representa uma área de 1 x 1 m. Objetos menores que essa medida não são reconhecidos, portanto quanto menor esse valor, maior a resolução espacial.

A resolução temporal está ligada à frequência com que um sensor consegue obter novas imagens de uma mesma área.

Com o intuito de caracterizar as unidades geológicas presentes na área de estudo foram utilizados dados de sensoriamento remoto, tanto de sensores óticos quanto de radar. Com relação aos dados óticos, foram escolhidas para este trabalho imagens do satélite Landsat 7, sensor ETM e bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7 e 8. As três primeiras são referentes ao azul, verde e vermelho, a 4, 5 e 7 estão na faixa do infravermelho e a última é pancromática (bandas 1, 2, 3 e 4). A escolha dessas imagens foi feita devido à sua disponibilidade gratuita e a pluralidade de bandas, que possibilita a análise de diferentes produtos. Além destas, foram utilizadas imagens do mapa base *World Imagery*, disponibilizadas no módulo ArcMap do programa ArcGIS. Apesar da limitação quanto ao posicionamento espacial e à resolução espectral (espectro visível), estas possuem ótima resolução espacial, facilitando a análise de pequenas feições.

Para auxiliar na interpretação geomorfológica foi utilizado o dado altimétrico derivado do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), na sua quarta versão de processamento. A partir das imagens obtidas pelo sistema de radar, foram gerados perfis topográficos e produtos derivados como mapas de declividade, orientação de vertentes e curvatura. Este modelo possui algumas limitações relacionadas à faixa de radiação empregada, que não atravessa copas de árvores e construções, de forma que nem sempre a imagem representa a superfície do terreno. Ainda assim, é possível utilizar o modelo do SRTM para interpretações de feições geomorfológicas regionais, atentando-se às suas limitações.

1.3.2 Geoprocessamento

O avanço da tecnologia de informática possibilitou o emprego de técnicas computacionais para aperfeiçoar o armazenamento, representatividade e manipulação de dados geográficos e características dos terrenos, através de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitindo uma melhor integração e interpretação de dados de diferentes fontes. Um SIG tem como

principal propriedade o georreferenciamento, o que significa que seus dados podem ser posicionados espacialmente.

Neste trabalho foi criado um banco de dados utilizando o módulo ArcMap do programa ArcGIS, com o objetivo de organizar, integrar e interpretar os dados de sensoriamento remoto. Primeiramente foi criado o projeto, onde se definiu a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e o sistema geodésico WGS-84 (*World Geodetic System*), que corresponde ao utilizado pelo sistema de posicionamento global (GPS) e pode ser considerado idêntico ao sistema oficial para uso no Brasil, SIRGAS2000, na escala de trabalho.

No projeto, foram inseridas as imagens do Landsat 7 e realizadas composições coloridas com ajustes de contraste. Dentre as diversas composições testadas, a R4G2B3 foi a que melhor permitiu distinguir os padrões geológicos através das variações da vegetação e da rugosidade do terreno. As imagens foram então analisadas quanto aos seus elementos visuais (cor, tonalidade, textura, etc) e com isso foi realizada a interpretação geológica. Examinando o mapa geológico pré-existente observou-se diferentes interpretações para algumas feições presentes na área a partir das quais propôs-se alterações neste mapa.

Os dados do SRTM foram adicionados e a partir deles foram gerados mapas da topografia do terreno e seus derivados. Dentre eles, estão os mapas de declividade (*slope*), orientação das vertentes (*aspect*) e curvaturas. Com base na imagem do SRTM foi feito um mapeamento dos lineamentos presentes na área. Os dados dos lineamentos foram extraídos em formato .txt e inseridos no programa Stereo32. Foram gerados diagramas de roseta para os setores NE e SW da barreira, bem como do embasamento relacionado ao setor SW.

1.3.3 Sistemas de Posicionamento

A partir da análise dos dados de sensoriamento remoto, foram definidos os principais padrões existentes na área de estudo. Estes padrões determinaram as unidades geológicas que deveriam ser verificadas em campo, seguindo o princípio da verdade terrestre. Neste intuito, foi realizada a descrição geomorfológica, incluindo a determinação de posições planialtimétricas com um sistema global de navegação por satélite (GNSS). O intuito da obtenção de posições precisas se refere à determinação da altitude dos os terraços lagunares, cujas elevações podem ser correlacionadas aos diferentes sistemas laguna-barreira.

Para obtenção das posições foi utilizado um sistema de posicionamento diferencial em modo estático (300 leituras por ponto), corrigido por uma base no pós processamento. O equipamento utilizado é da marca Stonex, modelo S8+. O receptor base foi instalado em uma propriedade na área de estudo, tendo suas coordenadas determinadas em um rastreamento de 600 leituras. As coordenadas da estação de referência foram, por sua vez, corrigidas pela estação base de Porto Alegre (POAL), da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Para a determinação das altitudes ortométricas, foram subtraídos os valores de ondulação geoidal (N) das altitudes geométricas utilizando o modelo MAPGEO2010. As coordenadas planialtimétricas resultantes tiveram precisão centimétrica.

CAPÍTULO III – ARTIGO SUBETIDO



Análise Geomorfológica da Barreira das Lombas, Província Costeira do Rio Grande do Sul.

Geomorphological analysis of the Barreira das Lombas, Rio Grande do Sul Coastal Province.

Milena Caumo CARNIEL¹ & Maria Luiza Correa da Camara ROSA^{1,2}

- (1) Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: milenacaumo@gmail.com.
- (2) Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: luiza.camara@ufrgs.br.

Este trabalho teve como objetivo descrever em detalhe a geologia da Barreira das Lombas, na região entre os distritos de Itapuã e Águas Claras, noroeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul. Foi realizada a análise geomorfológica através de imagens do satélite Landsat 7, do Modelo Digital de Superfície e seus subprodutos, bem como a confirmação da verdade terrestre. A partir desta análise foram definidos cinco padrões geomorfológicos que foram correlacionados com 1) embasamento cristalino, 2) depósitos de leques aluviais, 3) depósitos eólicos da Barreira I, 4) terraços lagunares e 5) cordões litorâneos. Com base na orientação das declividades máximas, foram estabelecidos dois diferentes setores da Barreira das Lombas, um NE e outro SW,

configurados com diferentes padrões estruturais, associados aos seus respectivos tipos de embasamento. As altitudes medidas com GNSS indicam que os terraços lagunares da região estão relacionados ao Sistema Laguna-Barreira II, os quais sofreram retrabalhamento parcial pelo Sistema Lagunar III. Por fim, verificou-se que a área do estudo possui uma grande diversidade geológica, configurando um potencial de exploração através de geoturismo na região metropolitana de Porto Alegre.

Palavras-chave. Barreira das Lombas, Província Costeira do Rio Grande do Sul, análise geomorfológica, geodiversidade

Abstract.

The aim of this work was to describe in detail the geology of the Barreira das Lombas, in the region of Itapuã and Águas Claras districts. The geomorphological analysis was made through Landsat 7 satellite images, the Digital Elevation Model and its subproducts, besides field confirmation. Based on this, five geomorphological patterns were defined, which were correlated to 1) crystalline basement, 2) alluvial fan deposits, 3) Barreira I aeolian deposits, 4) lacustrine terraces and 5) beach ridges. In large scale, the slope orientations allowed to divide the Barreira das Lombas in two sectors, a NE and SW, which are controlled by structural pattern of its respective types of basement. The heights measured with GNSS allowed to interpret that the lacustrine terraces are related to the Barrier-Lagoon System II, which were partially reworked by the Lagoon System III. Lastly, it was verified that the study area has a great geological diversity, which sets up an exploration potential by geotourism in the Porto Alegre metropolitan region.

Keywords. Barreira das Lombas, Rio Grande do Sul Coastal Province, geomorphological analysis, geodiversity

1 Introdução

A Província Costeira do Rio Grande do Sul abrange os depósitos sedimentares da Bacia de Pelotas, a qual se apoia sobre um embasamento que engloba as rochas do Escudo Sul-Rio-Grandense e as sequências sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná (Villwock, 1972). As acumulações da Bacia de Pelotas envolvem sistemas deposicionais de leques aluviais e do tipo Laguna-Barreira. Próximo à borda da bacia, a interação de processos relacionados a diferentes escalas espaciais e temporais configura um registro geodiverso refletido na paisagem.

Esta diversidade motivou a busca da identificação de padrões geomorfológicos que possam ser correlacionados com a gênese das diferentes unidades e seu posicionamento temporal. Desta forma, selecionou-se a área deste estudo, relacionada à unidade geomorfológica definida por Villwock (1984) como Barreira das Lombas. Em termos regionais esta unidade corresponde à Barreira I, sendo composta, majoritariamente, por depósitos sedimentares da Bacia de Pelotas. Porém, em uma análise de detalhe, identifica-se a

ocorrência de rochas relacionadas a diferentes estágios evolutivos, desde a colisão dos crátons Rio de La Plata e Kalahari, que gerou o Cinturão Dom Feliciano (Philipp *et al.*, 2016), até a formação dos sistemas laguna-barreira, que registram ciclos de elevação e rebaixamento do nível do mar.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo descrever em detalhe a geologia da Barreira das Lombas, enfocando a sua porção mais diversa, na região entre os distritos de Itapuã e Águas Claras (Fig. 1). Como objetivos específicos destaca-se:

- Tipificar e individualizar os padrões geomorfológicos presentes na área;
- Definir a relação entre os terraços presentes na região do estudo e seus respectivos sistemas laguna-barreira;
- Propor uma alternativa para divulgação e conservação da geodiversidade da região.

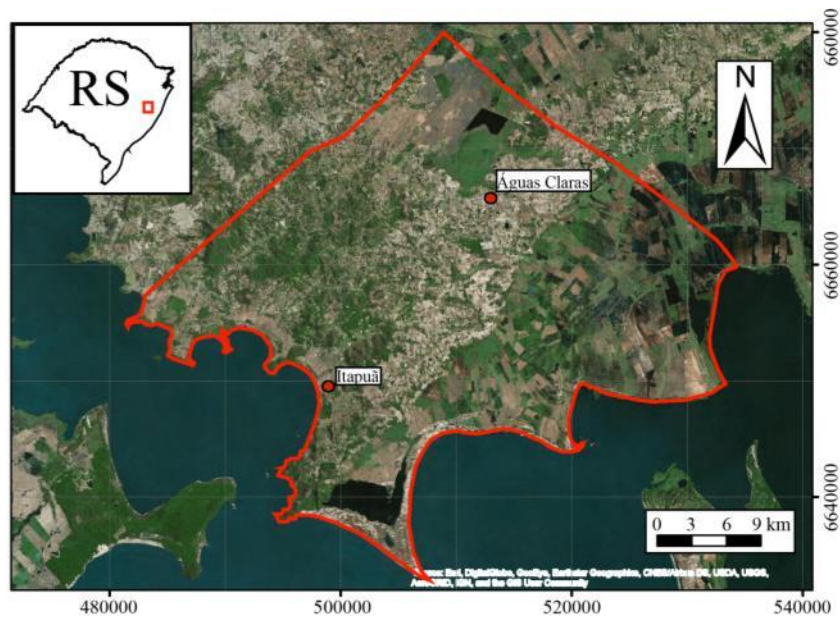


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, situada entre os distritos de Itapuã e Águas Claras.

Figure 1. Location map of the study area, situated between Itapuã and Águas Claras districts.

2 Área, materiais e métodos

2.1 Localização da área

A região do estudo localiza-se no noroeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul, mais especificamente no município de Viamão, entre os distritos de Itapuã e Águas Claras, possuindo uma área de aproximadamente 1200 km² (Fig. 1).

2.1.1 Contexto Geológico

A Província Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) é caracterizada por Villwock (1972) como “um grupo de elementos geológicos (tectônico, estrutural, sedimentar e morfológico) característico da margem continental brasileira entre os paralelos de 28°40’ e 33°45’ de latitude sul”. A PCRS é dividida em duas unidades geológicas: o Embasamento, formado pelas rochas pré-cambrianas do Escudo Sul-rio-grandense e pelos depósitos paleozoicos e mesozoicos da Bacia do Paraná; e a Bacia de Pelotas, constituída por depósitos terciários e quaternários da costa do Rio Grande do Sul.

Com relação ao embasamento, segundo Fragozo Cesar et al. (1982) o Cinturão Dom Feliciano (CDF) é uma unidade geotectônica do Escudo Sul-riograndense que constitui o segmento meridional da Província Mantiqueira e representa uma faixa móvel Brasileira de orientação NE-SW. Sua formação teve origem do fechamento do Oceano Adamastor, através da colisão dos crátons Rio de La Plata e Kalahari, entre 770 e 680 Ma (Philipp, 2016).

Após o pico metamórfico gerado pela colisão, desenvolveram-se zonas de cisalhamento e um magmatismo pós-colisional associado (Batólito de Pelotas) evidenciado pelas rochas alcalinas da Suíte Granítica Dom Feliciano (Philipp, 1998). No extremo norte do batólito afloram as rochas da Fácies Serra do Herval (presente na área de estudo), caracterizada por corpos sienograníticos de orientação NE-SW.

Os eventos geotectônicos ocorridos no Cretáceo Inferior que fragmentaram o supercontinente Gondwana e levaram à abertura do Oceano Atlântico Sul deram origem à Bacia de Pelotas, na margem brasileira adjunta ao Rio Grande do Sul (Asmus, 1981). O termo Bacia de Pelotas era utilizado informalmente por geólogos da Petrobrás, referindo-se às rochas terciárias da costa do Rio Grande do Sul. Foi Ghignone (1960) quem formalizou o termo, definindo uma bacia que inclui os depósitos terciários e quaternários da região costeira do Rio Grande do Sul, e, em superfície, as Lagunas dos Patos e Mirim, entre outras.

Essa bacia tem uma área de aproximadamente 210.000 km² e é limitada a norte pelo Alto de Florianópolis (Gamboa & Rabonowitz, 1981) e a sul pelo Alto de Polônio (Urien & Martins, 1978). Possui mais de 10 km de espessura de sedimentos de origem predominantemente clástica terrígena (Villwock & Tomazelli, 1995). Estes sedimentos foram depositados por processos gerados essencialmente em Sistemas de Leques Aluviais e Sistemas do tipo Laguna-Barreira (Villwock et al, 1986).

Os sistemas de leques aluviais se formam, nas porções proximais, por processos gravitacionais, resultando em depósitos de tálus e coluviões, que gradam, nas porções distais, para processos aluviais. Esses sistemas são considerados parcialmente ativos, pois atualmente ainda se observam processos de transporte de pequena intensidade (Villwock & Tomazelli, 1995). Estes autores dividiram o Sistema de Leques Aluviais em três subsistemas, baseado nas diferenças composicionais, texturais e estruturais geradas principalmente pelos diferentes tipos de rochas fonte.

Na porção leste da PCRS formaram-se quatro sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira, os quais registram picos transgressivos seguidos de eventos regressivos. Suas posições espaciais refletem a idade relativa, sendo que o mais antigo é o mais interiorizado e a idade diminui em direção ao sistema mais externo (Villwock & Tomazelli, 1995). De acordo com estes autores, esses eventos transgressivo-regressivos foram controlados por variações glacio-eustáticas, o que permite o uso de curvas isotópicas de oxigênio para determinação das idades absolutas desses sistemas. Portanto, presume-se que os quatro sistemas deposicionais se desenvolveram nos últimos 400 ka.

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Sensoriamento Remoto

Com o intuito de caracterizar as unidades geológicas presentes na área de estudo foram utilizados dados de sensoriamento remoto, tanto de sensores óticos quanto de radar. Com relação aos dados óticos, foram escolhidas para este trabalho imagens do satélite Landsat 7, sensor ETM e bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7 e 8. As três primeiras são referentes ao azul, verde e vermelho, a 4, 5 e 7 estão na faixa do infravermelho e a última é pancromática (bandas 1, 2, 3 e 4). A escolha dessas imagens foi feita devido à sua disponibilidade gratuita e

a pluralidade de bandas, que possibilita a análise de diferentes produtos. Além destas, foram utilizadas imagens do mapa base *World Imagery*, disponibilizadas no módulo ArcMap do programa ArcGIS. Apesar da limitação quanto ao posicionamento espacial e à resolução espectral (espectro visível), estas possuem ótima resolução espacial, facilitando a análise de pequenas feições.

Para auxiliar na interpretação geomorfológica foi utilizado o dado altimétrico derivado do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, na sua quarta versão de processamento. A partir das imagens obtidas pelo sistema de radar, foram gerados perfis topográficos e produtos derivados como mapas de declividade, orientação de vertentes e curvatura. Este modelo possui algumas limitações relacionadas à faixa de radiação empregada, que não atravessa copas de árvores e construções, de forma que nem sempre a imagem representa a superfície do terreno. Ainda assim, é possível utilizar o modelo do SRTM para interpretações de feições geomorfológicas regionais, atentando-se às suas limitações.

2.2.2 Geoprocessamento

Neste trabalho foi criado um banco de dados utilizando o módulo ArcMap do programa ArcGIS, com o objetivo de organizar, integrar e interpretar os dados de sensoriamento remoto. Primeiramente foi criado o projeto, onde se definiu a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e o sistema geodésico WGS-84 (*World Geodetic System*), que corresponde ao utilizado pelo sistema de posicionamento global (GPS) e pode ser considerado idêntico ao sistema oficial para uso no Brasil, SIRGAS2000, na escala de trabalho.

No projeto, foram inseridas as imagens do Landsat 7 e realizadas composições coloridas com ajustes de contraste. Dentre as diversas composições testadas, a R4G2B3 foi a que melhor permitiu distinguir os padrões geológicos através das variações da vegetação e da rugosidade do terreno. As imagens foram então analisadas quanto aos seus elementos visuais (cor, tonalidade, textura, etc) e com isso foi realizada a interpretação geológica. Examinando o mapa geológico pré-existente observou-se diferentes interpretações para algumas feições presentes na área a partir das quais propôs-se alterações neste mapa.

Os dados do SRTM foram adicionados e a partir deles foram gerados mapas da topografia do terreno e seus derivados. Dentre eles, estão os mapas de declividade (*slope*),

orientação das vertentes (*aspect*) e curvaturas. Com base na imagem do SRTM foi feito um mapeamento dos lineamentos presentes na área. Os dados dos lineamentos foram extraídos em formato .txt e inseridos no programa Stereo32. Foram gerados diagramas de roseta para os setores NE e SW da barreira, bem como do embasamento relacionado ao setor SW.

2.2.3 Verdade Terrestre

A partir da análise dos dados de sensoriamento remoto, foram definidos os principais padrões existentes na área de estudo. Estes padrões determinaram as unidades geológicas que deveriam ser verificadas em campo, seguindo o princípio da verdade terrestre. Neste intuito, foi realizada a descrição geomorfológica, incluindo a determinação de posições planialtimétricas com um sistema global de navegação por satélite (GNSS). O intuito da obtenção de posições precisas se refere à determinação da altitude dos terraços lagunares, cujas elevações podem ser correlacionadas aos diferentes sistemas laguna-barreira.

Para obtenção das posições foi utilizado um sistema de posicionamento diferencial em modo estático (300 leituras por ponto), corrigido por uma base no pós processamento. O equipamento utilizado é da marca Stonex, modelo S8+. O receptor base foi instalado em uma propriedade na área de estudo, tendo suas coordenadas determinadas em um rastreamento de 600 leituras. As coordenadas da estação de referência foram, por sua vez, corrigidas pela estação base de Porto Alegre (POAL), da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Para a determinação das altitudes ortométricas, foram subtraídos os valores de ondulação geoidal (N) das altitudes geométricas utilizando o modelo MAPGEO2010. As coordenadas planialtimétricas resultantes tiveram precisão centimétrica.

3 Resultados

A partir dos dados coletados em campo e de sensoriamento remoto, foi realizada a análise geomorfológica da área de estudo. A integração das informações permitiu a definição de diferentes padrões, que foram correlacionados às seguintes unidades geológicas: 1) embasamento cristalino, 2) leques aluviais, 3) depósitos eólicos da Barreira I, 4) terraços lagunares e 5) depósitos praias e cordões litorâneos.

As altitudes da Barreira das Lombas variam de 0 a 160 m, com uma moda de 100 m (Fig. 2). As maiores altitudes ocorrem na porção sul e ao longo de alinhamentos com direção SW-NE. Na região central da Barreira, observa-se uma região de menores altitudes, com

máximo de 100 m e moda de 40 m. Esta região mais baixa permite dividir a Barreira em dois setores, um SW e outro NE.

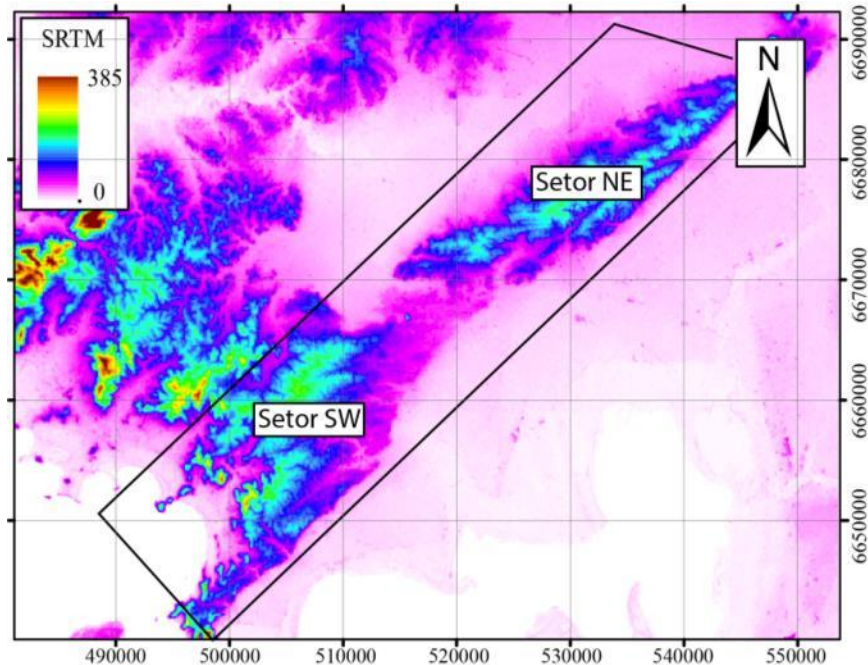


Figura 2. Imagem do Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDET) mostrando que os setores NE e SW da barreira têm altitudes similares, enquanto que a porção da divisa dos setores apresenta altitudes mais baixas.

Figure 2. Digital Elevation Model (DEM) showing similar heights to both NE and SW sectors, while the sectors division portion shows lowest heights.

O setor NE possui um relevo ondulado a fortemente ondulado, com um espigão principal com orientação SW-NE, que se estende por todo o comprimento da área. As declividades máximas estão orientadas, para noroeste e sudeste, com algumas linhas esparsas de orientação sul (Fig. 3 e 5). Além deste padrão principal, observam-se espigões secundários com direção E-W, no qual as declividades máximas se dão, em geral, para sul.

No setor SW da Barreira, o padrão de declividades máximas é mais heterogêneo, sendo possível definir três padrões principais. No primeiro, na porção NNE, com 2,2 km de largura e 13,8 km de comprimento, as declividades máximas tendem para noroeste. O segundo, no centro da área, com 25 km de extensão e 8 km de largura, adelgaçando nas extremidades, tem orientação sudeste. Já na porção sudeste, a orientação das vertentes se dá neste mesmo sentido.

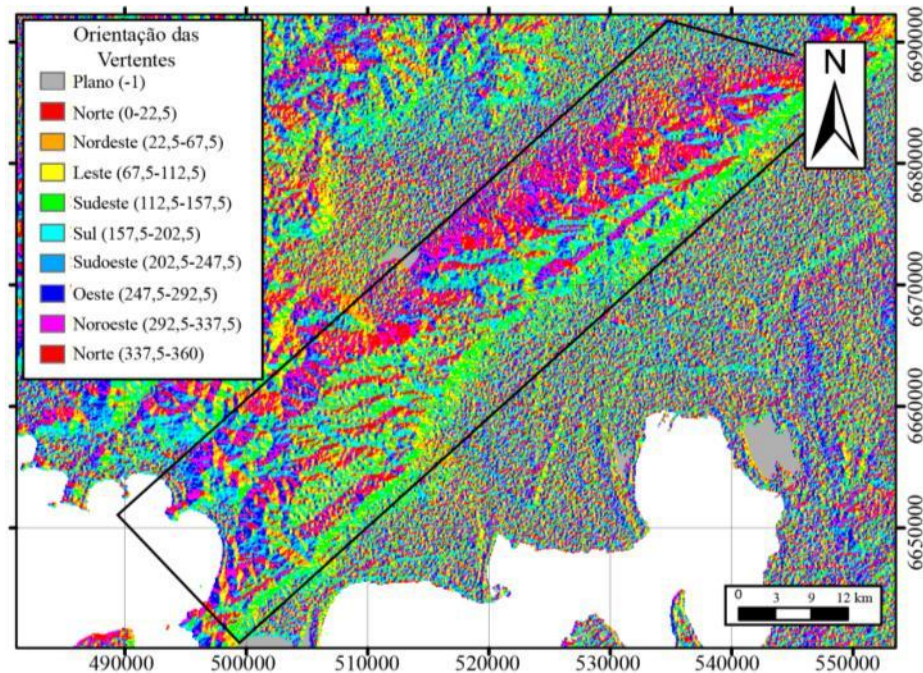


Figura 3. Orientação das vertentes (*aspect*) da Barreira das Lombas, mostrando diferentes padrões para os setores NE e SW.

Figure 3. Slope orientation (aspect) of the Barreira das Lombas, showing different patterns to the NE and SW sectors.

A imagem de curvaturas também destaca a ocorrência de duas regiões com rugosidade mais grossa e maior amplitude de variação, com relevo mais acidentado, entre uma região central de relevo mais suave, cuja variação da curvatura se reflete em uma textura de rugosidade fina na imagem (Fig. 4). Nesta região, se observam os menores valores de declividade, chegando próximos a 0%. Num geral, as declividades da barreira variam de 0 a 25%, com moda 10%, sendo que os maiores valores são encontrados no setor NE (Fig. 5).

Em termos geológicos, a região sudoeste da Barreira das Lombas possui maior diversidade. Por este motivo, optou-se por trabalhar de forma mais detalhada neste setor, caracterizando os padrões encontrados nos dados de sensoriamento remoto e os correlacionado às unidades geológicas correspondentes.

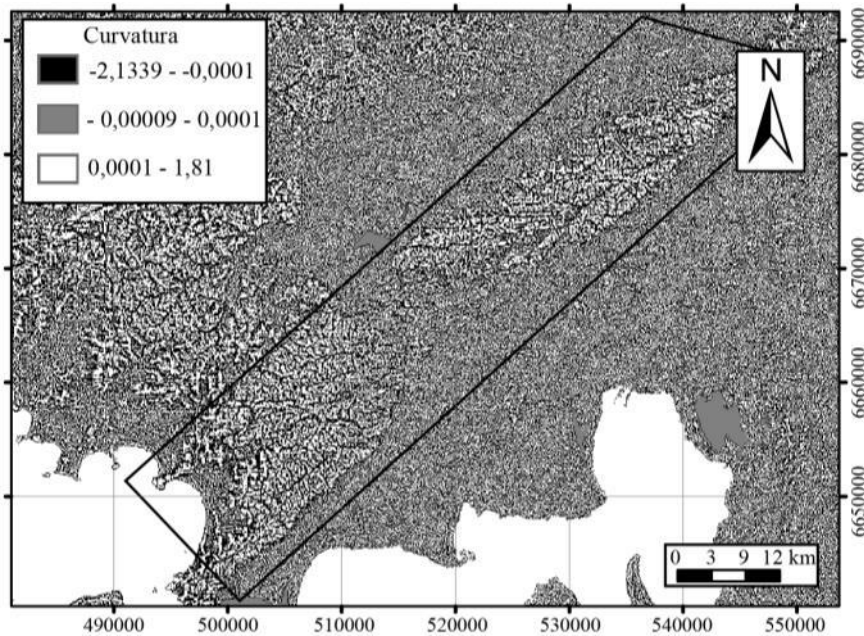


Figura 4. Imagem mostrando as curvaturas similares para os setores NE e SW da barreira e a região de divisa dos setores com um padrão diferente, onde as curvaturas variam numa frequência maior.

Figure 4. Image showing similar curvatures to the NE and SW sectors, while sectors division portion shows a different pattern, with curvatures varying in higher frequency.

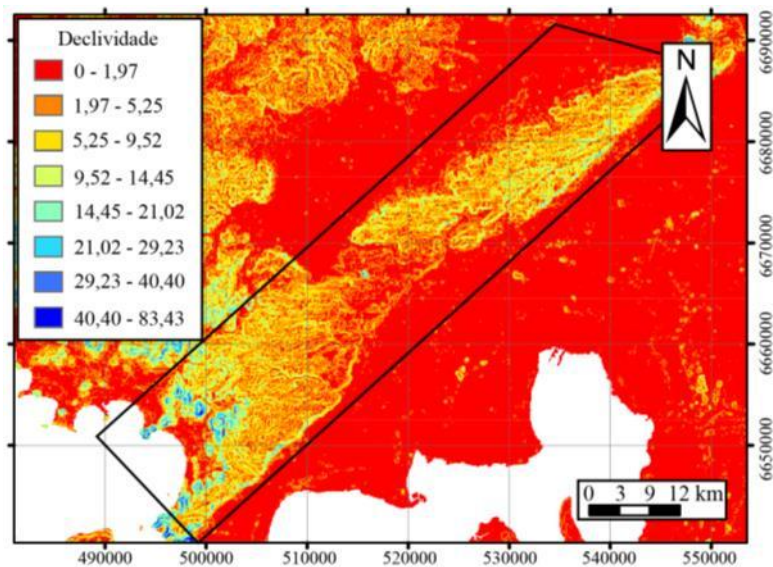


Figura 5. Imagem mostrando que os setores NE e SW possuem padrões similares, enquanto a região da divisa dos setores possui declividades mais baixas.

Figure 5. Image showing similar patterns to the NE and SW sectors, while the division region has lowest slopes.

3.1 Caracterização das Unidades

A partir da análise integrada dos produtos de sensoriamento remoto com as características geomorfológicas observadas em campo, foram definidos cinco padrões (Fig. 6) para a região sudoeste da Barreira das Lombas, os quais são descritos a seguir.

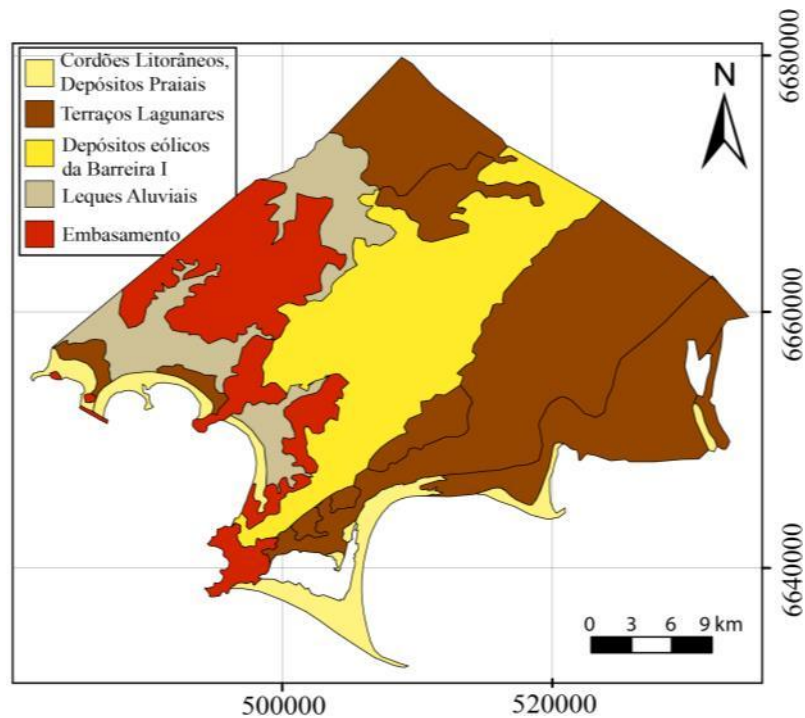


Figura 6. Unidades geológicas interpretadas através da análise geomorfológica.

Figure 6. Geological units interpreted by geomorphological analysis.

3.1.1 Padrão 1 – embasamento cristalino

Este padrão ocorre desde a porção oeste e se estende pela região central até o sul e faz contato com todos os outros padrões, em diferentes pontos da área de estudo.

As altitudes obtidas através do Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDET) variam de 10 a 250 m, e a moda é 90 m (Fig. 7). As declividades do embasamento variam de 0 a 45%, com moda 10% (Fig.8). Os alinhamentos dos espigões formam padrões arredondados, marcando a transição entre cristas e vales do embasamento e o contato do embasamento com os depósitos aluviais adjacentes.

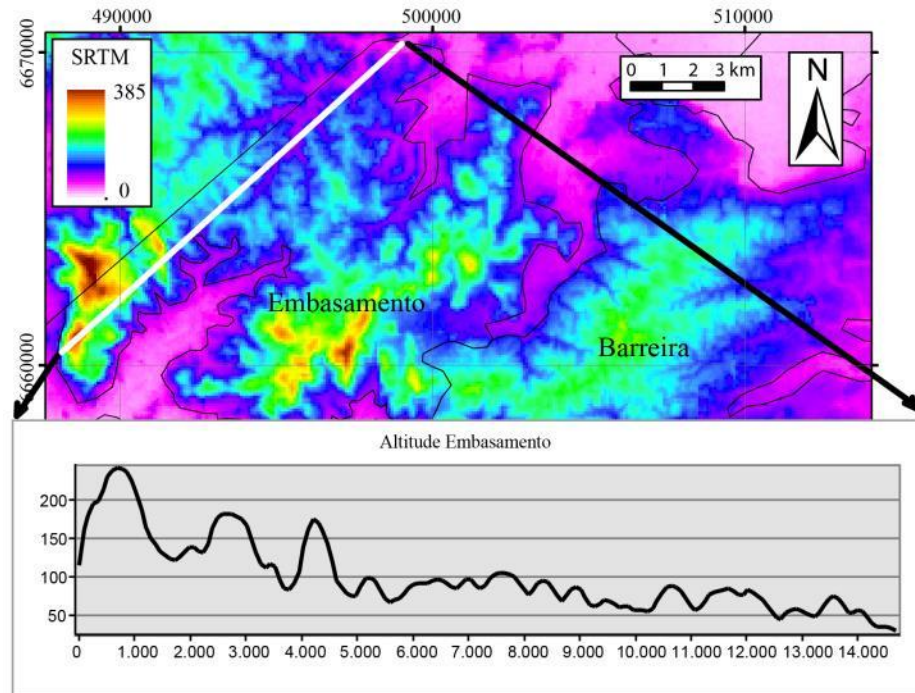


Figura 7. Perfil da altitude do embasamento, onde a moda é 90 m, com alguns picos mais altos em 175 m e 250 m.

Figure 7. Basement's height profile, where the mode is 90 m, with higher peaks in 175 and 250 m.

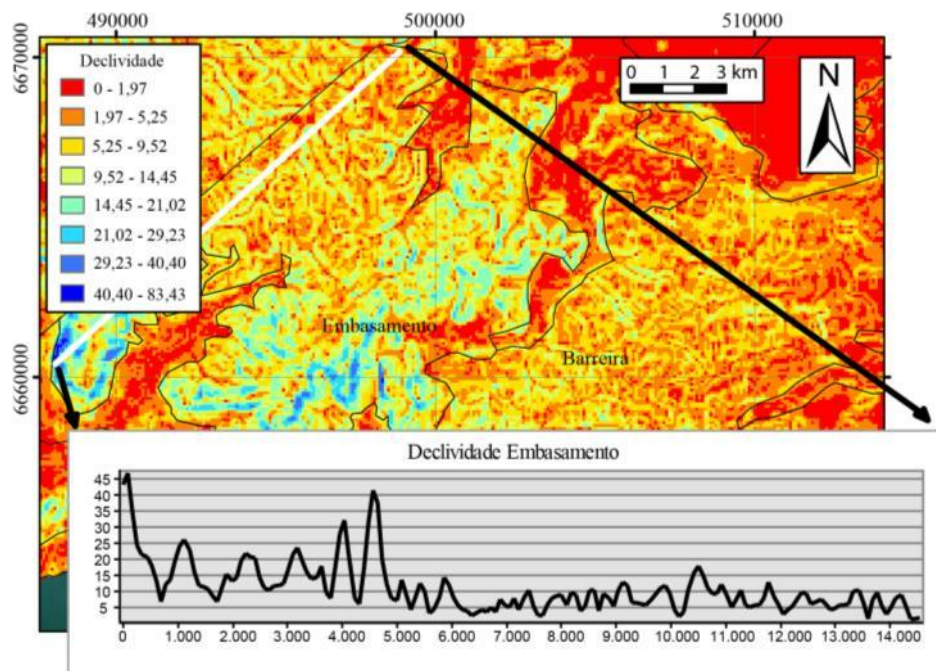


Figura 8. Perfil de declividade do embasamento, com moda 10% e concentrações secundárias de 30, 40 e 48%.

Figura 9. Basement's slope profile, with mode of 10% in addition to 30, 40 and 48% secondary concentrations.

Na imagem de orientação das vertentes (*aspect*) verifica-se que na porção leste desta unidade as declividades máximas têm orientação E/SE/S, enquanto que na porção oeste as declividades estão voltadas para N/NW/W. Na composição colorida (R4G2B3) das imagens do satélite Landsat 7, observa-se um vermelho intenso, que indica densa vegetação (Fig. 10A). Além disso, a imagem mostra que a textura deste padrão é levemente rugosa.

Na área abrangida por este padrão são encontradas as maiores altitudes da área de estudo, bem como as maiores declividades. A divisão na orientação das vertentes, ora para sudeste, ora para noroeste (Fig. 10B) se deve à presença de uma estrutura em maior escala, alongada, com orientação NE/SW, o que faz com que as declividades máximas estejam perpendiculares ao eixo da estrutura. Estas características permitem interpretar que este padrão geomorfológico corresponda ao embasamento cristalino, que constitui altos que formam divisores de águas (espigões). As curvaturas variam de -0,5 (côncavo) a 0,5 (convexo) com moda 0,1 (Fig. 9).

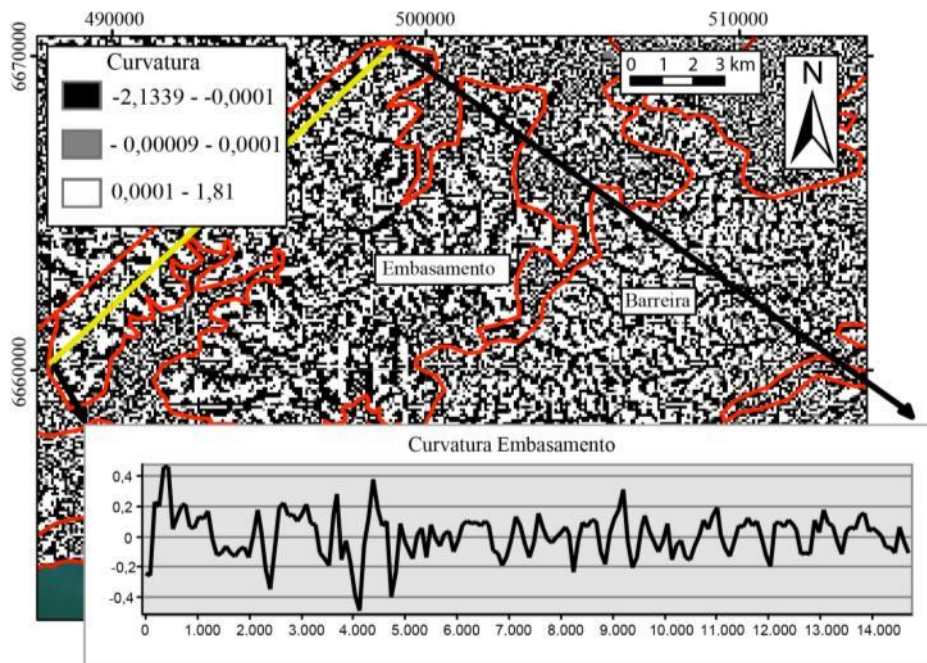


Figura 9. Perfil de curvatura do embasamento, mostrando uma moda de 0,1 e uma anomalia em 0,5.

Figure 9. Basement's curvature profile, showing 0,1 mode and an anomaly of 0,5.

No ponto 01, localizado no alto de uma coxilha, aflora um matacão de sienogranito com textura equigranular média, composto por feldspato alcalino, plagioclásio, quartzo e biotita. O relevo observado é fortemente ondulado e a inclinação das coxilhas é alta (Fig. 10C). Estas características observadas em campo confirmam a interpretação geomorfológica das imagens orbitais.

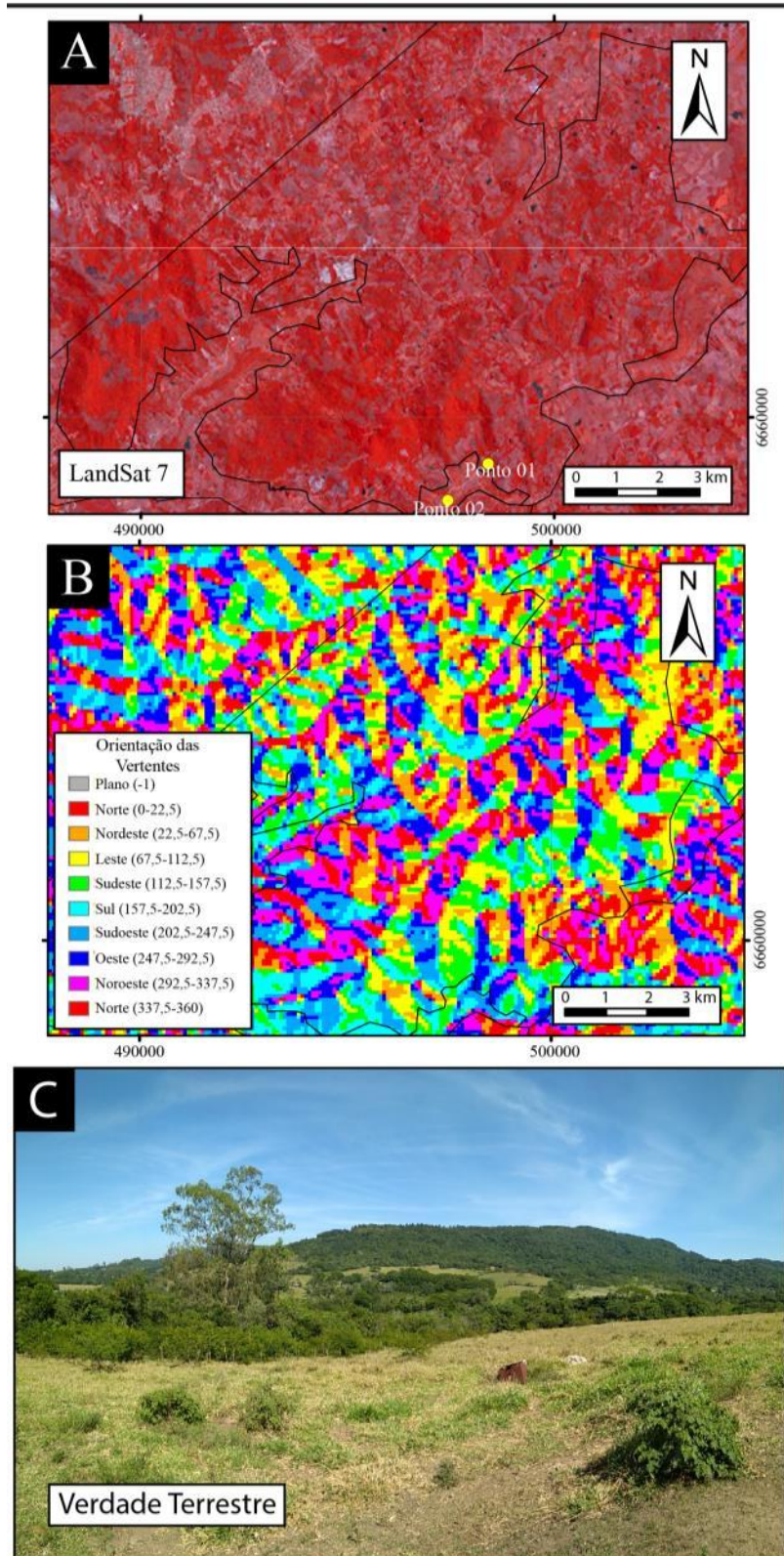


Figura 10. A) Imagem do satélite Landsat 7, composição colorida R4G2B3; B) mapa de orientação de vertentes (aspect); C) vista em campo da unidade relacionada ao Padrão 1.

Figure 10. A) Landsat 7 satellite image, colored composition R4G2B3; B) Slope orientation map (aspect); C) Fieldwork view of the unit correlated to Pattern 1.

3.1.2 Padrão 2 – leques aluviais

Este padrão é observado nas regiões baixas, na transição entre as coxilhas do embasamento e os depósitos de terraços lagunares no sentido sul. As altitudes obtidas pelo MDET variam de 12 a 82 m, com moda em 30 m (Fig. 11). A declividade na região destes depósitos é muito baixa, variando de 0 a 13%, com moda de 3% (Fig. 12). A declividade máxima na parte leste ocorre em continuidade à do embasamento, com orientação W/NW (Fig. 14B). Na porção oeste apresenta a mesma orientação do embasamento, com direção S/SE. Na imagem do satélite Landsat 7, observa-se uma textura variando de lisa à rugosa grossa, e coloração vermelha clara (Fig. 15A). As curvaturas variam de -0,18 (côncava) a 0,15 (convexa), com moda em 0 (Fig. 13).

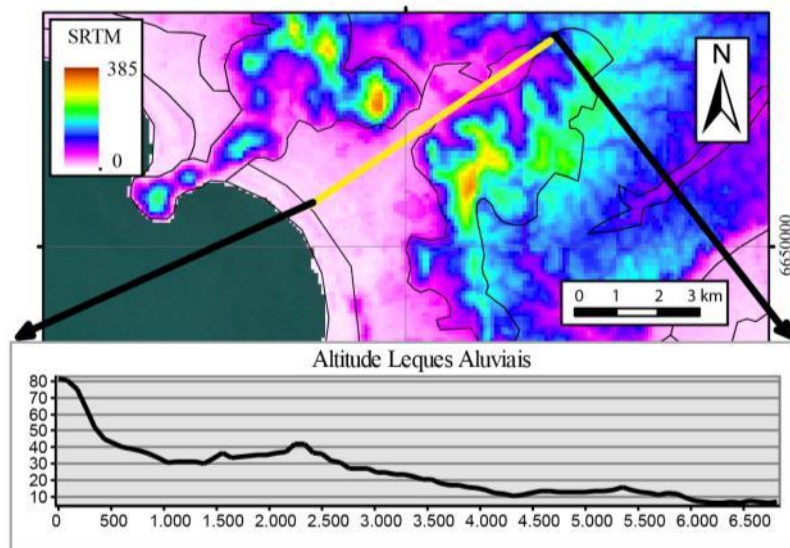


Figura 11. MDET dos depósitos de leques aluviais, mostrando altitudes que variam de 12 a 82 m com moda 30 m.

Figure 11. DEM of the aluvial fan deposits, showing heights varying from 12 to 82 m and mode of 30 m.

Em campo observou-se um afloramento de 10 m de largura e 60 cm de altura, com intercalação milimétrica a centimétrica de areia média e grânulos, pouco consolidada, com estratificação plano-paralela e alguns truncamentos de baixo ângulo (Fig. 14C). Foi realizado um furo com trado, observando-se, 20 cm abaixo do terreno, um pacote de argila cinza, misturada com areia fina.

A granulometria e a estratificação destes depósitos sugere que correspondam a fácies distais de leques aluviais, os quais ocorrem entre o embasamento e os terraços lagunares.

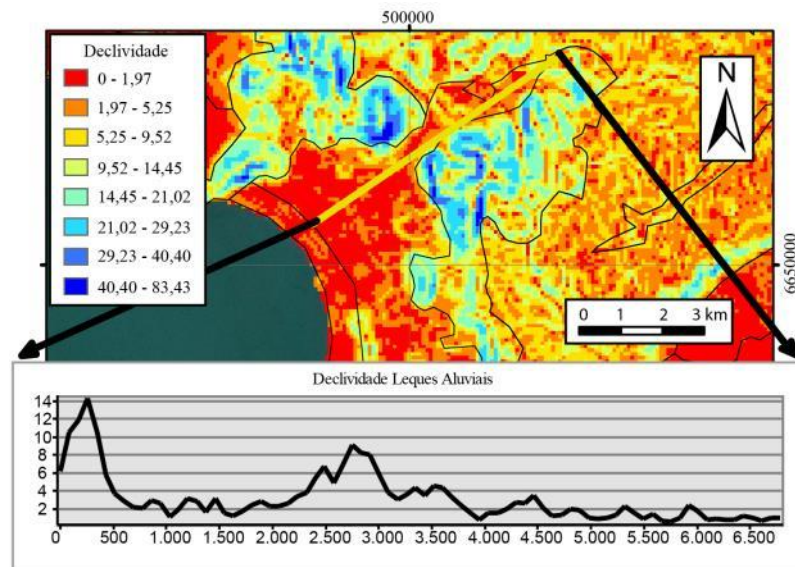


Figura 12. Imagem mostrando a variação da declividade dos depósitos de leques aluviais, que vai de 0 a 13%.

Figure 12. Image showing the slope variation of aluvial fan deposits, wich is 0 to 13%.

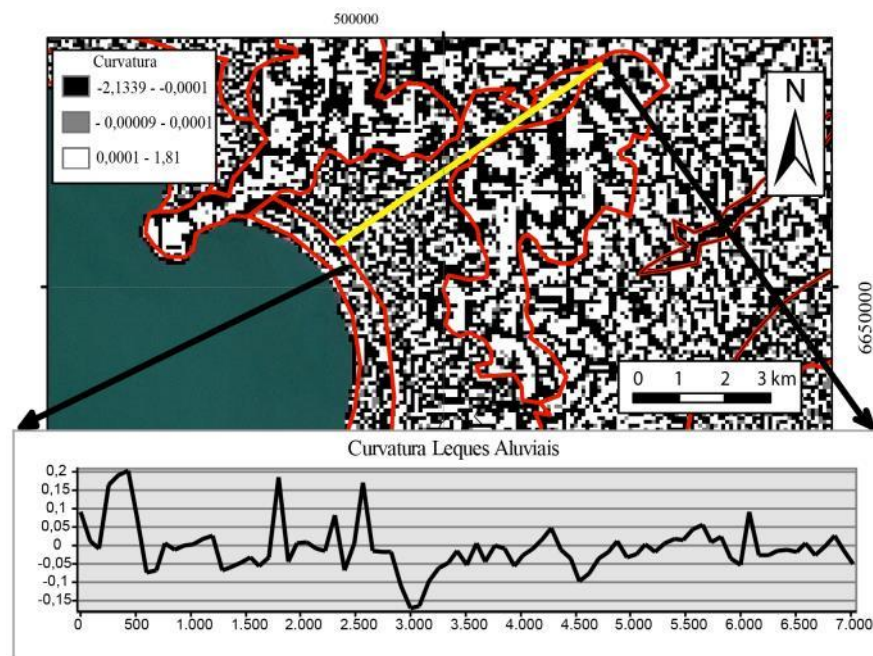


Figura 13. Perfil de curvatura dos depósitos de leques aluviais, variando de -0,18 a 0,15.

Figure 13. Curvature profile of the aluvial fan deposits, variating from -0,18 to 0,15.

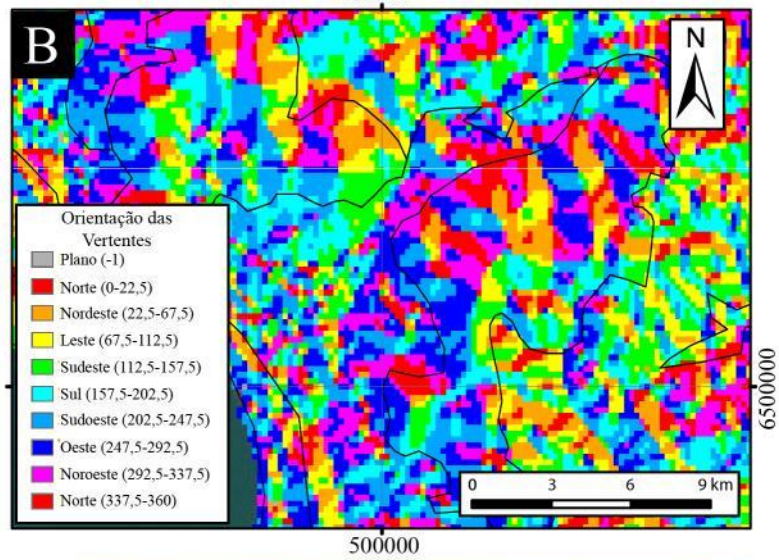
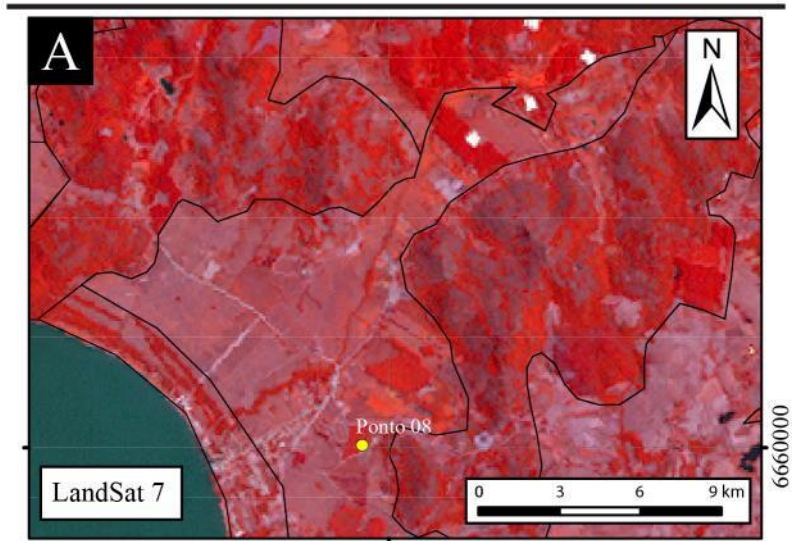


Figura 14. A) Imagem do satélite Landsat 7, composição colorida R4G2B3; B) mapa de orientação de vertentes (aspect); C) vista em campo da unidade relacionada ao Padrão 2.

Figure 14. A) Landsat 7 satellite image, colored composition R4G2B3; B) Slope orientation map (aspect); C) Fieldwork view of the unit correlated to Pattern 2.

3.1.3 Padrão 3 – depósitos eólicos da Barreira I

Este padrão ocorre na porção leste da área de estudo, numa região de orientação SW/NE e faz contato com o embasamento e com os depósitos de terraços lagunares.

Nesta unidade os valores de altitude variam de 10 a 158 m (Fig. 15), com modas de 130 e 40 m. Os valores de declividade variam de 0 a 14%, sendo predominantemente constituído por dois valores: 2 e 8% (Fig. 16). Os maiores valores de declividade são observados na borda leste desta unidade, que está em contato com os depósitos de terraços lagunares.

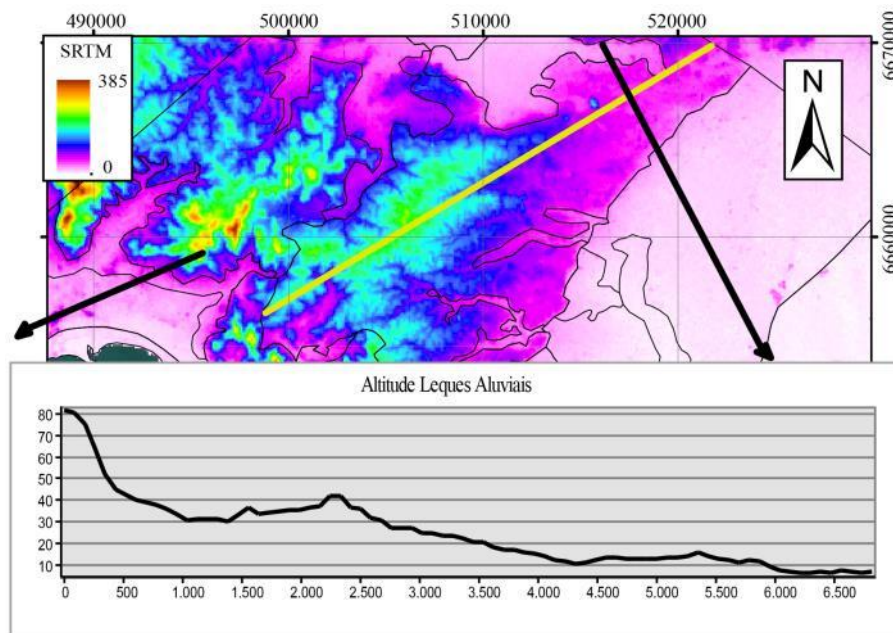


Figura 15. Imagem das altitudes da barreira mostrando duas modas, uma de 40 m e outra de 130 m, além de uma anomalia de 60 m dentro da segunda moda.

Figure 15. Heights image of the barrier showing two modes, a 40 m one and a 130 m one, besides an anomaly of 60 m inside the second mode.

Nesta região, observam-se alinhamentos com direção noroeste-sudeste que, em geral, têm declividades máximas voltadas para sudeste e para leste, subordinadamente. Em menor quantidade, ocorrem alinhamentos de direção leste-oeste com declividades máximas para norte/noroeste. Na borda em contato com os terraços lagunares a declividade máxima é para

sudeste. Além disso, a oeste desta borda, observa-se uma região com largura de 1,4 km onde a orientação média das vertentes é para noroeste (Fig.18B).

Na imagem do satélite Landsat 7, observa-se uma tonalidade de vermelho muito claro e textura rugosa com tendência mais fina, na porção oeste, e mais grossa na porção leste (Fig. 18A). Na porção NE, observam-se lagoas de 60 a 720 m de diâmetro, alinhadas na mesma orientação dos alinhamentos de declividade máxima. Na parte SW a textura é mais rugosa, as lagoas são menores (até 240 m) e também ocorrem alinhadas em regiões baixas. As curvaturas variam de -0,2 (côncavo) a 0,15 (côncava) e modas 0,1 e 0. Na porção com moda 0,1 há uma anomalia de 0,3 (Fig. 17).

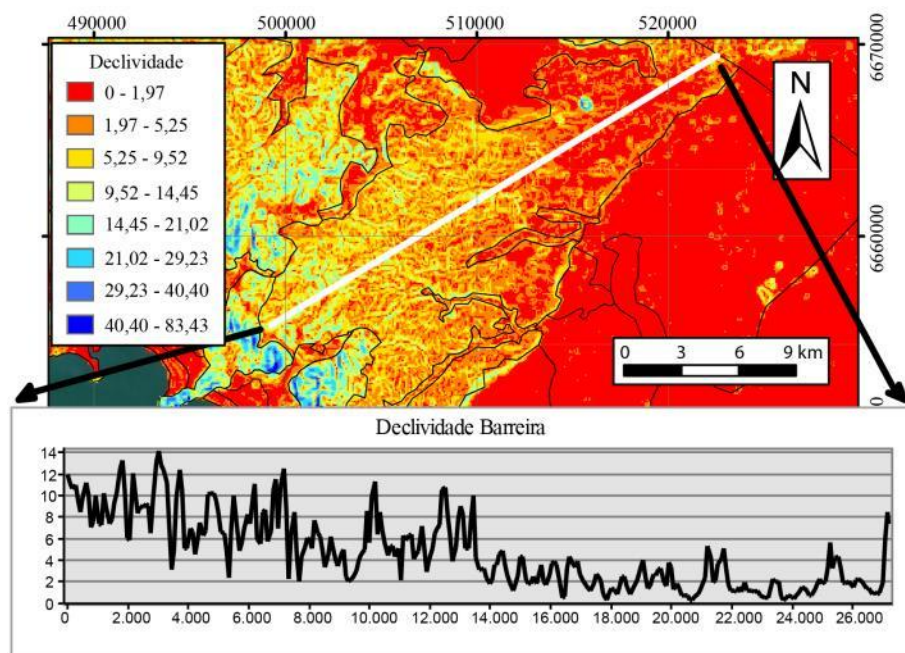


Figura 16. Declividades da barreira, mostrando uma moda de 2% e outra de 8%.

Figure 16. Barrier slopes, showing a 2% mode and another mode of 8%.

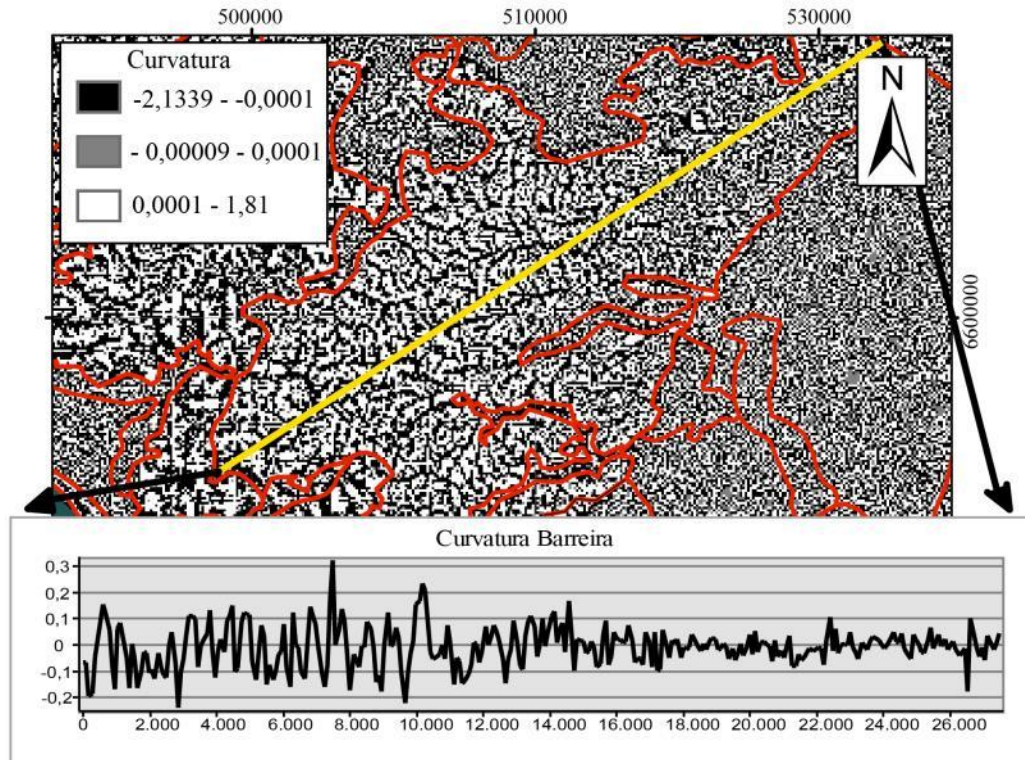


Figura 17. Curvaturas da barreira, mostrando modas de 0,1 com uma anomalia de 0,3 e outra moda em 0.

Figure 17. Barrier curvatures, showing a 0,1 mode with a anomaly of 0,3 and another mode in 0.

Em campo, foi descrito um afloramento em corte de estrada, com 20 m de largura e 2 m de altura (Fig. 18C). Observa-se uma estrutura horizontal que indica camadas de areia média semi-consolidada, porém não foi possível individualizar as camadas com precisão, nem observar estruturas internas. Além disso, há grande quantidade de argila, provavelmente diagenética. O relevo é fortemente ondulado, onde as coxilhas têm amplitude igual ao embasamento, porém com menor inclinação. O tipo de vegetação das coxilhas também difere da do embasamento, sendo de menor porte.

Apesar de não haver estruturas primárias remanescentes, os próprios processos diagenéticos e o nível de consolidação do sedimento, aliados às demais características texturais, estruturais e morfológicas acima descritas, indicam que esta unidade corresponda aos depósitos eólicos da Barreira I.

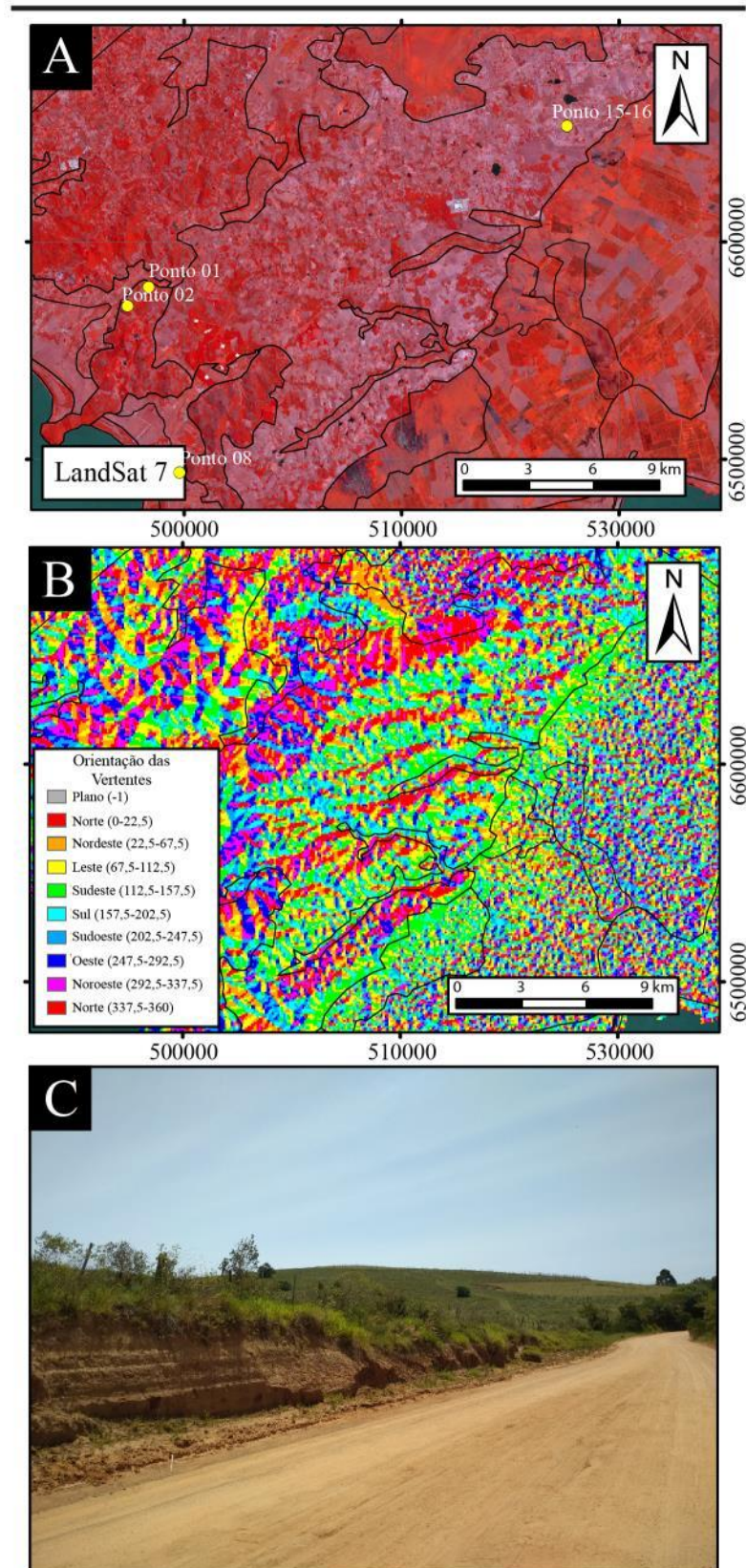


Figura 18. A) Imagem do satélite Landsat 7, composição colorida R4G2B3; B) mapa de orientação de vertentes (*aspect*); C) vista em campo da unidade relacionada ao Padrão 3.

Figure 18. A) Landsat 7 satellite image, colored composition R4G2B3; B) Slope orientation map (aspect); C) Fieldwork view of the unit correlated to Pattern 3.

3.1.4 Padrão 4 – terraços lagunares

Este padrão ocorre entre os depósitos de leques aluviais e os cordões litorâneos na porção sudoeste da área. Em grande parte da porção leste, esta unidade ocorre em uma área de 35 km de extensão, fazendo contato com os depósitos da Barreira I a noroeste.

As altitudes variam muito, indo de 0 a 14 m (Fig. 19), e três modas com 2, 4 e 6 m. As declividades são muito baixas (Fig. 20) e, por isso, a orientação de vertentes é muito variada, já que pequenas variações não permitem definir um padrão. Ainda assim, é possível identificar alinhamentos de maior declividade e altitude, os quais correspondem a linhas de árvores. Estas podem ser interpretadas como antigas margens lagunares, indicando a ocorrência de distintos períodos de estabilização do nível do corpo lagunar.

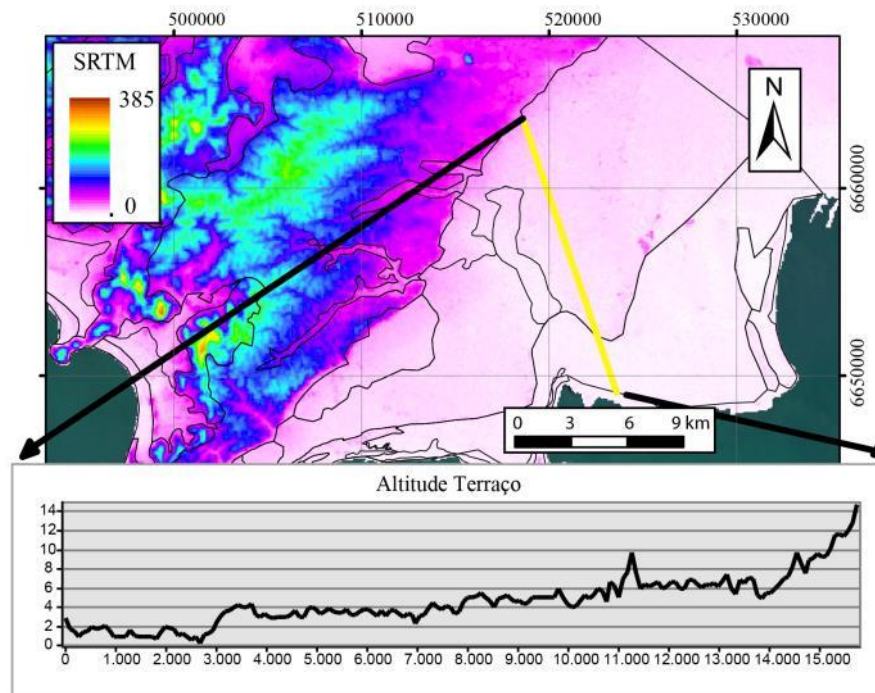


Figura 19. Perfil mostrando as variações de altitude dos terraços lagunares, que variam de 0 a 14 m, com três diferentes padrões: 2, 4 e 6 m.

Figure 19. Profile showing the high variation of the lacustrine terraces, which variate from 0 to 14 m, with three different patterns: 2, 4 and 4 m.

Nos terraços que fazem contato com os cordões litorâneos, verifica-se que as declividades máximas têm orientação NE e SW/W (Fig. 22B). Já na área maior de terraço

lagunar que faz contato com a Barreira I, observa-se que as mesmas linhas de direção norte-sul e nordeste-sudoeste vistas na imagem de declividade, têm máxima declividade orientada para E, com exceção de uma linha mais a sudoeste, de direção leste-oeste, que tem máxima declividade para S.

As curvaturas variam de -0,07 (côncavo) a 0,05 (convexo), com moda em 0 (Fig. 21). Há dois picos de anomalia de concavidade em -0,25 e um de convexidade em 0,16. Na imagem do satélite Landsat 7, destaca-se a textura lisa e a coloração vermelha muito clara (Fig. 22A), que permite diferir estes depósitos dos de leques aluviais.

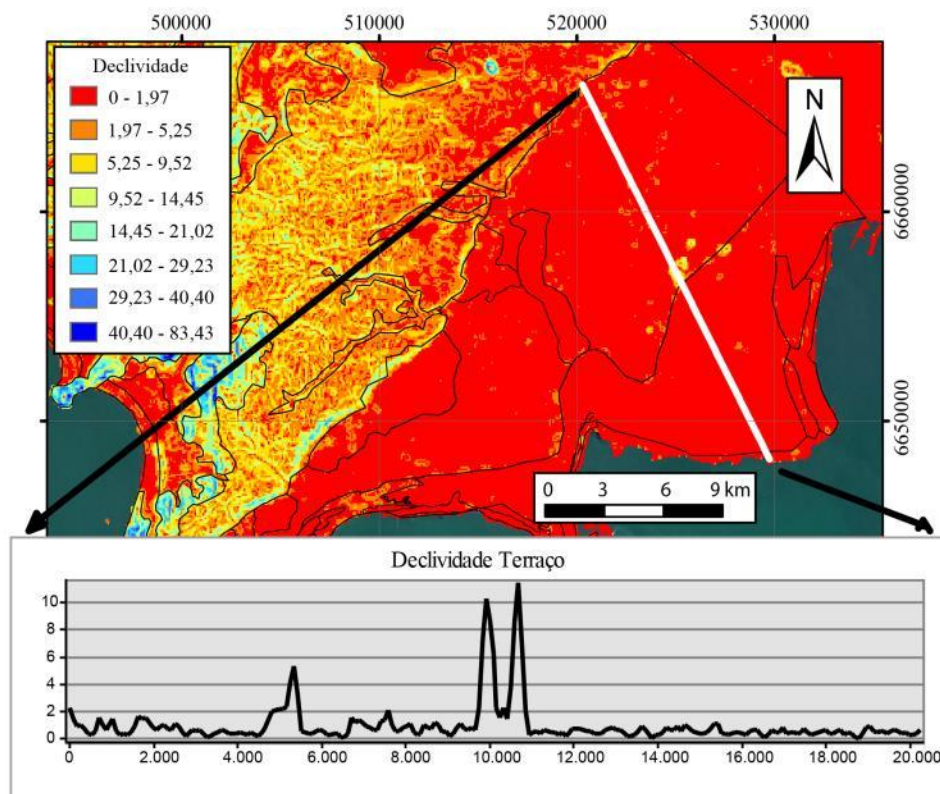


Figura 20. Perfil de declividade dos terraços lagunares, mostrando variações de 0 a 2%. Os picos observados relacionam-se, principalmente, com a presença de vegetação arbórea.

Figure 20. Slope profile of the lacustrine terraces, showing variations from 0 to 2%. The observed peaks are mainly related to arboreous vegetation presence.

Em campo foram analisados quatro pontos, nos quais o padrão de relevo é plano e não ocorriam afloramentos. No ponto 05 observou-se o alinhamento de árvores marcando limites de diferentes terraços (fig. 22C). Com o sistema de posicionamento por satélite, foram coletadas medidas de altitude dos terraços, as quais estão indicadas na figura 23. As baixas

altitudes, textura lisa e aspecto invariavelmente plano observado em todas as imagens e em campo permite interpretar este padrão como sendo de depósitos de terraços lagunares.

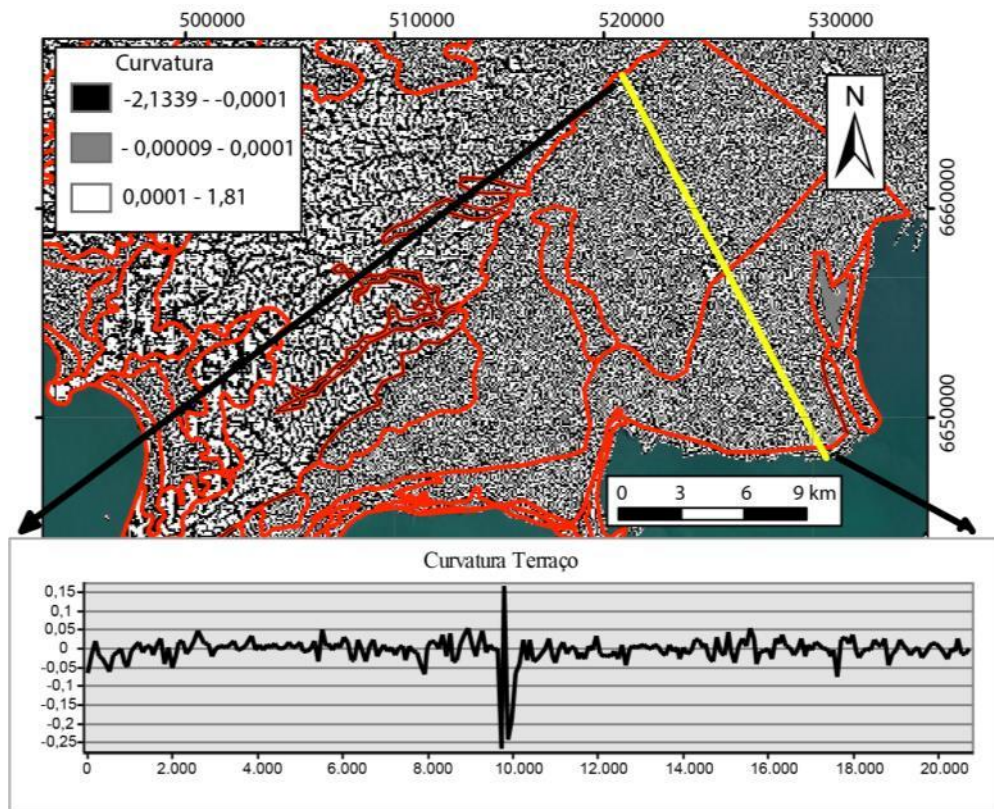


Figura 21. Perfil de curvatura dos terraços lagunares, variando de -0,07 a 0,05.

Figure 21. Curvature profile of the lacustrine terraces, varying from -0,7 to 0,05.

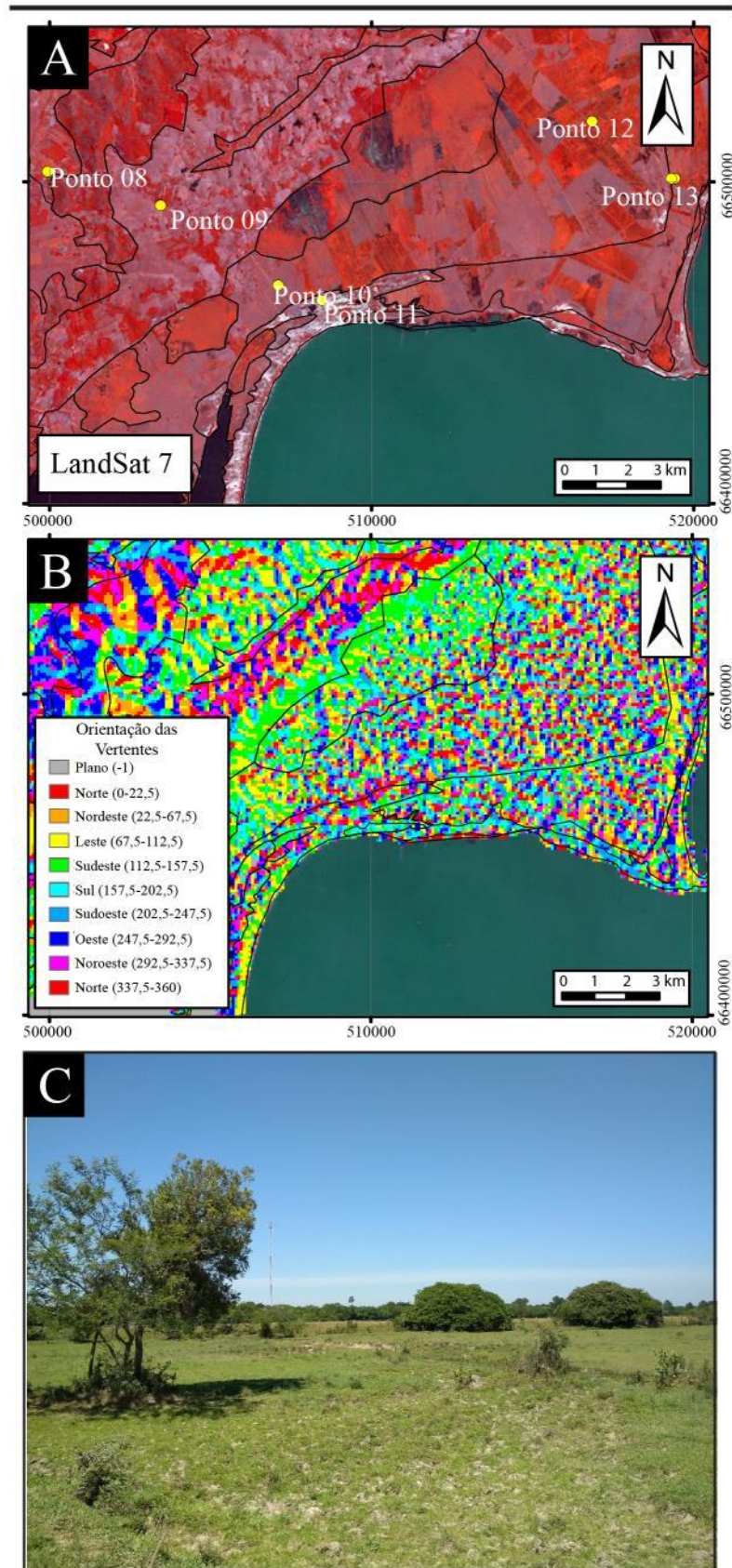


Figura 22. A) Imagem do satélite Landsat 7, composição colorida R4G2B3; B) mapa de orientação de vertentes (*aspect*); C) vista em campo da unidade relacionada ao Padrão 4.

Figure 22. A) Landsat 7 satellite image, colored composition R4G2B3; B) Slope orientation map (aspect); C) Fieldwork view of the unit correlated to Pattern 4.

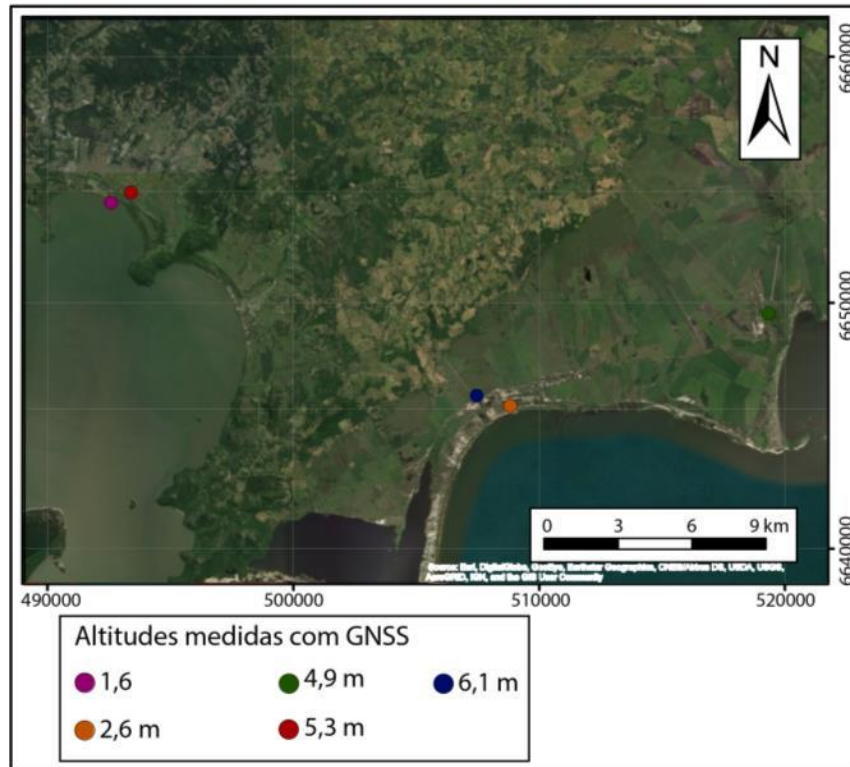


Figura 23. Imagem de satélite mostrando os pontos onde foram coletadas medidas através do sistema de posicionamento por satélite e suas respectivas altitudes.

Figure 23. Satellite image showing the points where measures were collected by a satellite positioning system and its respective heights.

3.1.5 Padrão 5 – cordões litorâneos

Este padrão ocorre nas margens do lago Guaíba e faz contato com os depósitos de terraços lagunares. Localmente há alguns morrotes de embasamento, no meio desta unidade e adentrando o lago, formando pontais. A altitude destes depósitos varia de 2 a 5 m (Fig. 24).

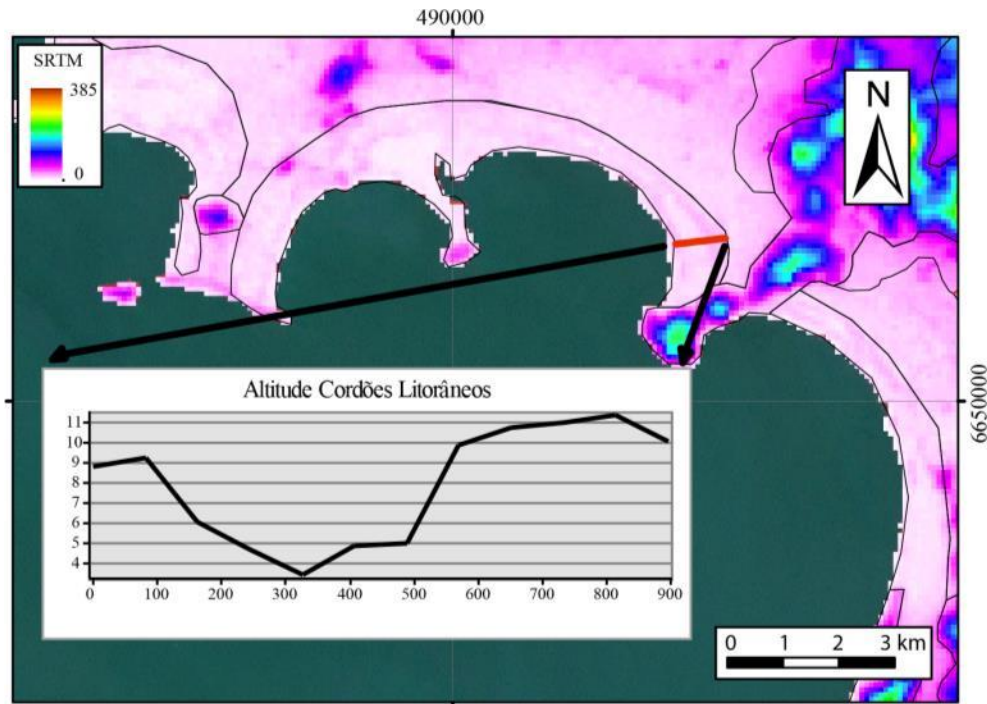


Figura 24. Perfil do MDET dos corões litorâneos, mostrando altitudes de 2 a 12 m. Acima de 5 m, os valores observados correspondem à ocorrência de vegetação arbórea.

Figure 24. DEM profile of the beach ridges, showing Heights from 2 to 12 m. Above 5 m, the observed values correspond to arboreous vegetation occurrence.

A declividade é muito baixa, variando de 0 a 3,6% (Fig. 25). É possível observar algumas linhas de maior declividade paralelas à linha de praia. Em alguns pontos próximos aos morrotes do embasamento, estas linhas fazem um contorno que segue a forma dos morros, por vezes perdendo o paralelismo entre si, devido à existência de truncamentos complexos.

Na imagem do satélite Landsat 7, destaca-se linhas de orientação paralela à linha de praia e uma coloração vermelha clara (Fig. 27A).

Na imagem de orientação das vertentes também aparecem linhas paralelas à costa, da mesma forma que na imagem de declividade. As linhas de declividade máxima intercalam-se com orientação W/SW e NE/E (Fig. 27B). Com exceção da porção mais a oeste, em um dos pontais, onde as linhas intercalam-se para SE/E e W/NW.

As curvaturas variam muito, indo de -0,03 (côncavo) a 0,06 (convexo), com moda -0,01 (Fig. 26).

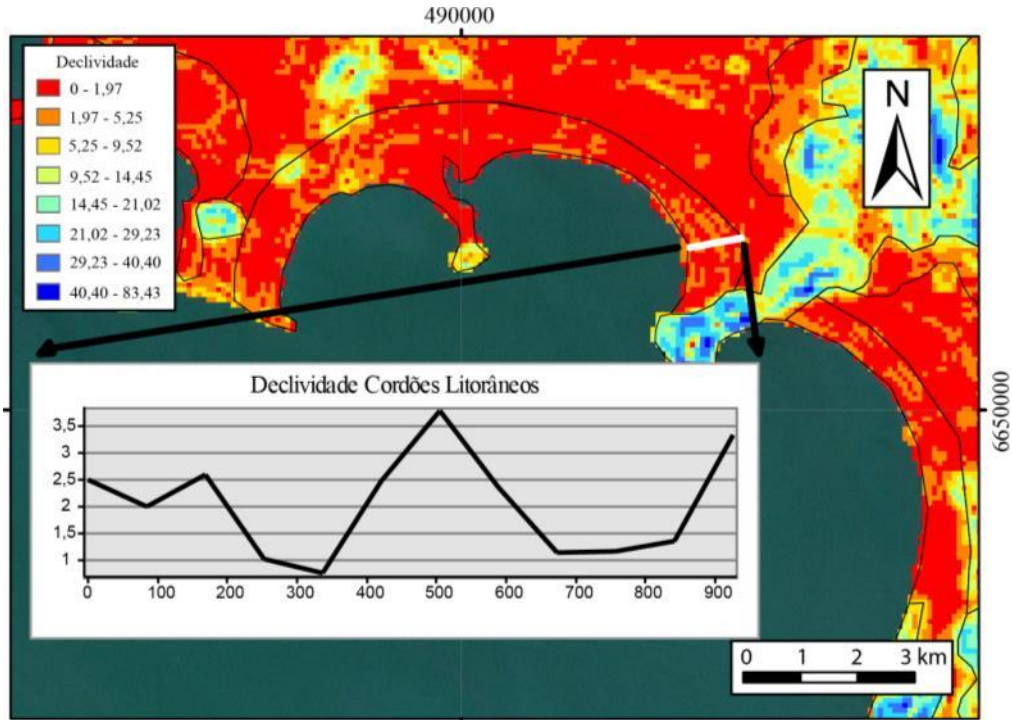


Figura 25. Perfil de declividades dos cordões litorâneos, variando de 0 a ~4%.

Figure 25. Slope profile of the beach ridges, varianting from 0 to ~4%.

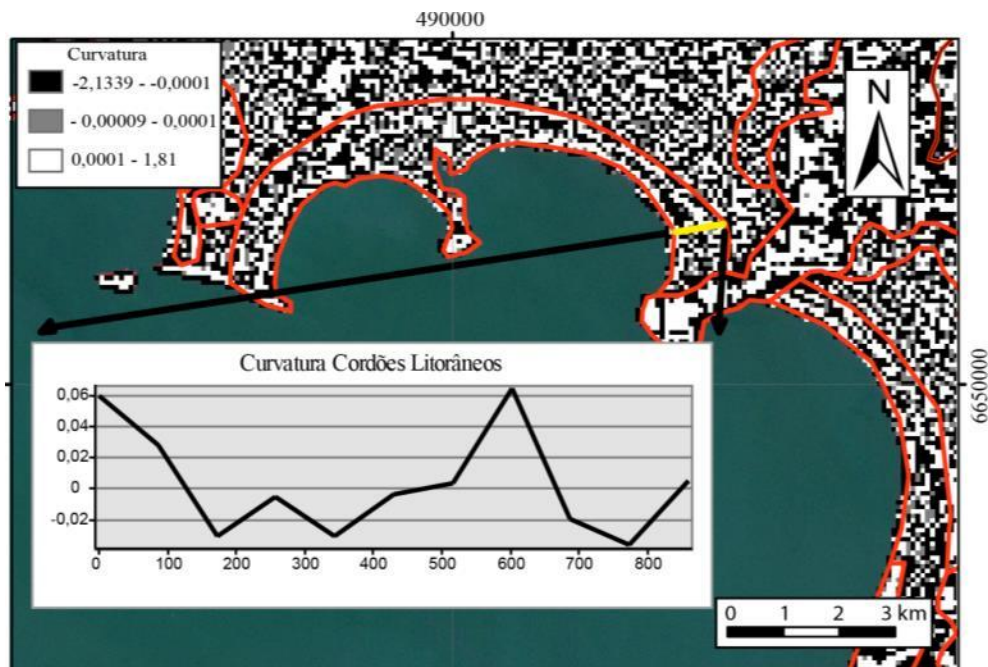


Figura 26. Perfil da curvatura dos cordões litorâneos, variando de 0 a 0,06.

Figure 26. Curvature profile of the beach ridges, variation from 0 to 0,06.

Em campo, se observou um relevo levemente ondulado, com orientação paralela à linha de praia. Esta orientação concentra também a vegetação, que marca a presença de ondulações no terreno.

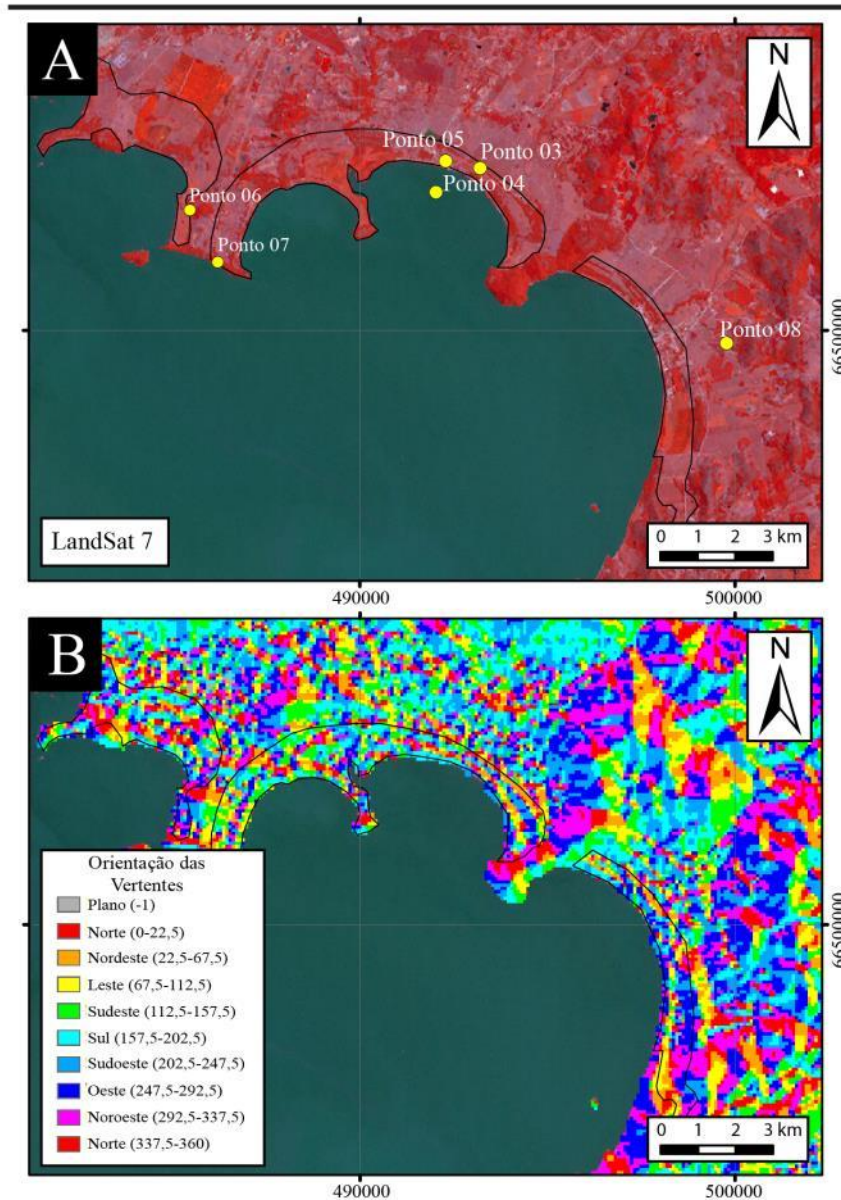


Figura 27. A) Imagem do satélite Landsat 7, composição colorida R4G2B3; B) mapa de orientação de vertentes (*aspect*); C) vista em campo da unidade relacionada ao Padrão 5.

Figure 27. A) Landsat 7 satellite image, colored composition R4G2B3; B) Slope orientation map (*aspect*); C) Fieldwork view of the unit correlated to Pattern 5.

4 Discussão dos resultados

4.1 Análise regional

Em escala regional, os diferentes padrões de orientação das vertentes observados para o setor NE da barreira e para o setor SW podem ser interpretados de duas maneiras: 1) Esta diferença reflete o tipo de embasamento no qual a barreira está apoiada (NE – sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná e SW – granitoides do Batólito de Pelotas); ou 2) Ocorreu uma falha que movimentou os blocos, gerando esta diferença nas orientações.

Para identificar os fatores controladores das orientações das declividades máximas dos setores da barreira, foram traçados os lineamentos com base na imagem do SRTM para o Setor NE (Fig. 28A) e SW (Fig. 28B), gerando-se diagramas de roseta.

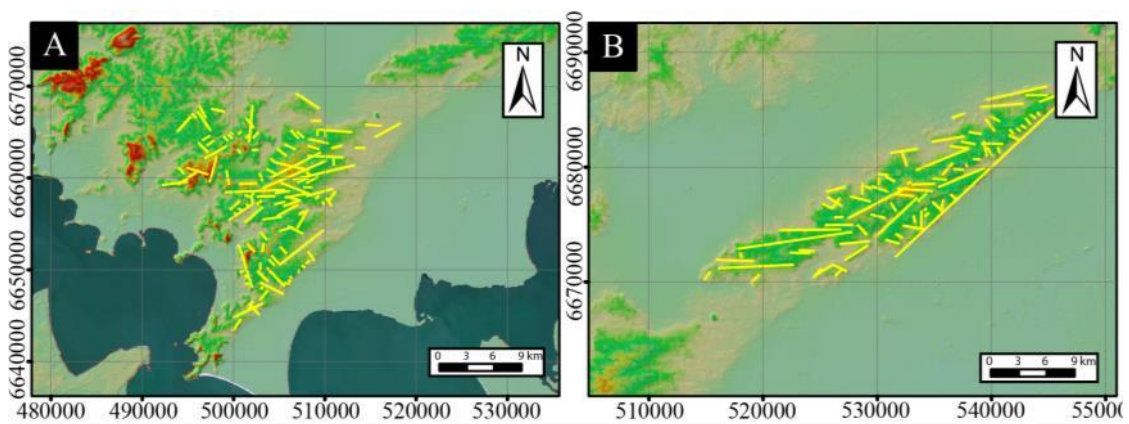


Figura 28. Mapeamento dos lineamentos (A) do Setor SW e (B) do Setor NE.

Figure 28. Lineaments mapping (A) of the SW Sector and (B) NE Sector.

Analisando os diagramas de roseta, é notável a diferença no controle estrutural de cada setor. No setor SW observa-se uma grande quantidade de estruturas com orientação NW-SE (Fig. 29A). Em menor quantidade ocorrem lineamentos nas direções NE-SW a E-W e subordinadamente há algumas feições orientadas N-S. Já no setor NE, a orientação principal das estruturas é E-W (Fig. 29B), com alguns lineamentos de direção NE-SW e outros, subordinadamente, com orientação NW-SE.

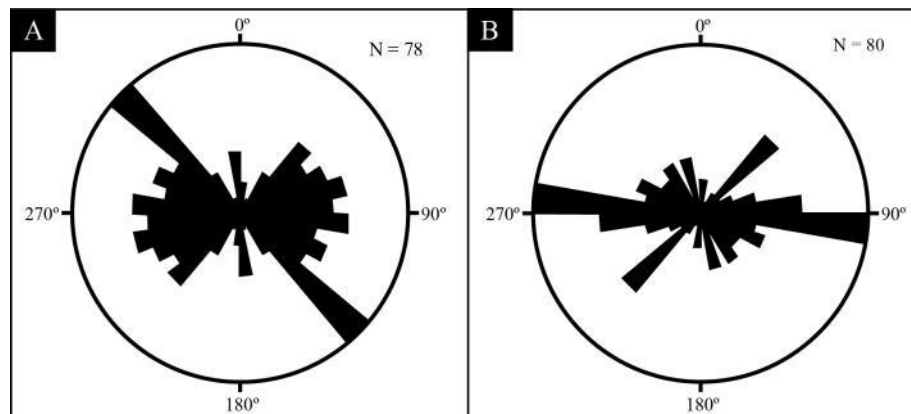


Figura 29. (A) Diagrama de rosetas do setor SW da barreira, com orientação preferencial NW-SE. (B) Diagrama de rosetas do setor NE da barreira, com orientação preferencial E-W.

Figure 29. (A) Rose diagram of the barrier SW sector, with NW-SE main orientation. (B) Rose diagram of the barrier NE sector, with E-W main orientation.

Com o intuito de verificar se o padrão estrutural do setor SW da barreira coincide com o do embasamento granítico das rochas do Escudo Sul-Riograndense, foram traçados os lineamentos desse embasamento (Fig. 30) e, da mesma forma que os setores da barreira, colocados em diagramas de rosetas (Fig. 31). Verificou-se o mesmo padrão de orientação dos lineamentos na direção NW-SE vistos no setor SW da barreira. Isto sugere que a orientação das vertentes dos depósitos da barreira é controlada pelo padrão estrutural do embasamento granítico sotoposto.

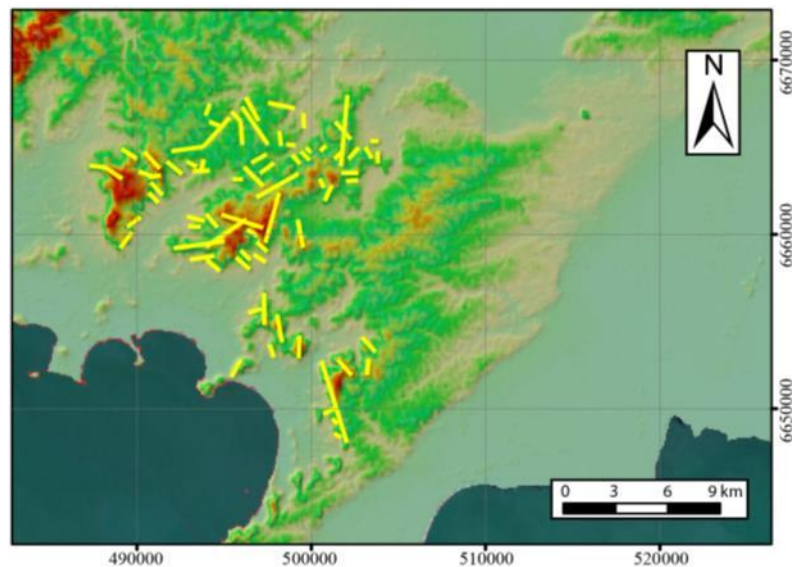


Figura 30. Mapeamento dos lineamentos do embasamento granítico.

Figure 30. Lineaments mapping of the granitic basement.

Apesar de não saber-se ao certo onde termina o embasamento do tipo granítico abaixo dos depósitos da barreira, é provável que isso ocorra justamente na região de quebra observada entre os setores NE e SW, visto que os padrões estruturais são bem distintos e que o setor SW tem comportamento muito parecido ao dos granitos do escudo.

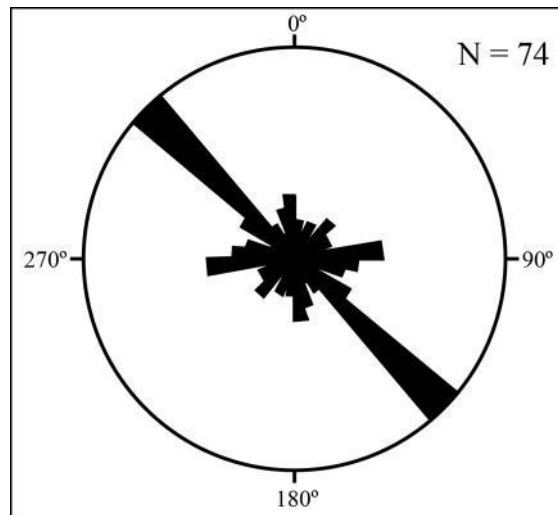


Figura 31. Diagrama de rosetas do embasamento granítico, mostrando direção preferencial NW-SE, similar ao do setor SW da barreira.

Figure 31. Rose diagram of the granitic basement, showing NW-SE main direction, similar to the barrier SW Sector.

4.2 Análise de detalhe

Os padrões encontrados na área de estudo estão relacionados aos eventos evolutivos que levaram à gênese e posteriores modificações nas unidades geológicas correspondentes. Cada padrão observado corresponde a um evento geológico, que pode ser subdividido em diferentes escalas temporais.

A unidade descrita como Padrão 1 corresponde ao embasamento cristalino, relacionado à evolução do Escudo Sul-Rio-Grandense. No decorrer do Neoproterozoico (Ediacariano), em um contexto pós-colisional, sucedeu-se um evento de magmatismo alcalino, gerando as suítes graníticas do Batólito de Pelotas, posicionadas através da reativação de zonas de cisalhamento. No extremo norte do batólito, já no final do Proterozoico, cristalizaram-se os leucogranitos da Fácies Serra do Herval, Suíte Granítica Dom Feliciano (Philipp & Machado, 2001), os quais ocorrem na área de estudo. Estas rochas, posteriormente, desempenharam um importante papel, constituindo o embasamento e fonte de sedimentos para os depósitos da Bacia de Pelotas.

Os demais padrões descritos (2 a 4) fazem parte da Bacia de Pelotas. Os processos tectônicos que levaram à separação dos continentes africano e sul-americano, no Cretáceo Superior, geraram uma série de bacias sedimentares na margem leste brasileira, incluindo a Bacia de Pelotas. Neste estágio, os granitos acima citados representavam um total

desequilíbrio no ambiente. Processos erosivos ocorriam sobre os granitos do embasamento, gerando mantos de alteração. Através da remobilização gravitacional dos sedimentos residuais provindos destas alterações, formaram-se depósitos de leques aluviais (Padrão 2) nas encostas do embasamento cristalino, transicionando nas porções distais para fluxos torrenciais canalizados ou não-canalizados.

Apesar de receber a terminologia de “leque aluvial”, não é possível mapear a geometria de leques para estes depósitos. Villwock e Tomazelli (1995) atribuíram essa geometria aos diferentes pontos de afluxo de sedimentos, resultando na aglutinação de diversos leques. Além disso, os terraços lagunares formados posteriormente retrabalham os sedimentos aluviais, contribuindo para uma morfologia em forma de rampa suave.

Foi feita uma comparação entre a análise feita através das imagens de satélite e o mapa geológico pré-existente e observou-se uma diferença na interpretação de uma das feições previamente interpretada como depósitos de planície lagunar (Fig. 32). Tendo em vista que as características dessa feição são as mesmas identificadas nos depósitos de leques aluviais a oeste, faz sentido interpretá-la como este tipo de depósito. Além disso, a textura e estrutura observadas em campo corroboram com esta ideia.

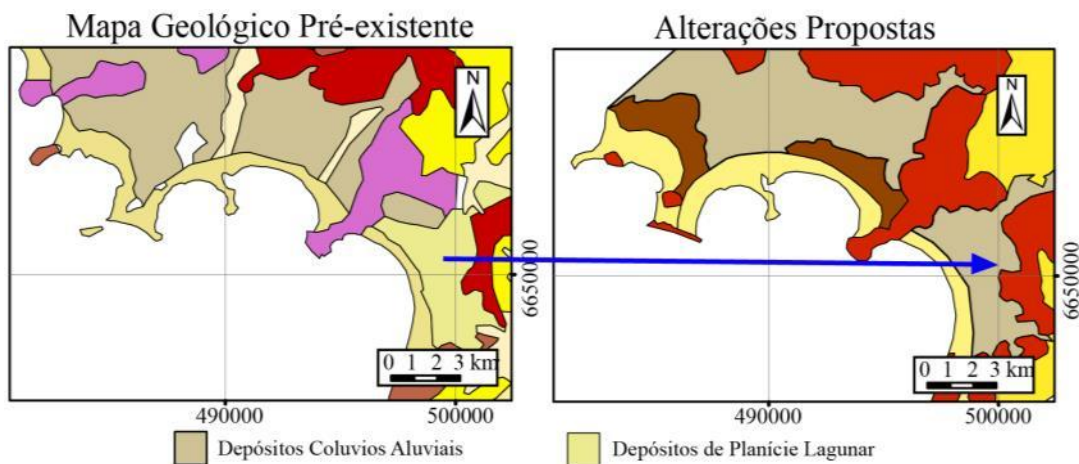


Figura 32. Proposta de alteração no mapa geológico, onde os depósitos de planície lagunar foram reinterpretados como depósitos de leques aluviais.

Figure 32. Modification of the geological map propose, where lagunar plain deposits were reinterpreted as aluvial fan deposits.

No Pleistoceno, oscilações eustáticas controladas pelos ciclos glaciais estabeleceram um primeiro sistema deposicional do tipo laguna-barreira (Villwock & Tomazelli, 1995). Neste sistema, sedimentos eólicos eram empilhados sobre os altos do embasamento,

formando os depósitos da Barreira I (Padrão 3). Este padrão ocorre em continuidade e/ou intercalado com o Padrão 1, correspondente ao embasamento. Assim, muitas vezes é difícil distinguir os contatos entre estas unidades. A declividade menor, bem como a amplitude altimétrica, conferem uma ondulação mais suave aos depósitos eólicos. Outra característica distintiva é a vegetação de maior porte junto ao embasamento, resultando em tonalidades mais claras nas imagens óticas.

Na região dos depósitos da barreira é observada a presença de pequenas lagoas, que se orientam na direção das linhas de declividade máxima e estão posicionadas em regiões baixas (Fig. 33A e 33B). Isto sugere que estas lagoas eram ligadas entre si, através de antigas drenagens, as quais podem corresponder a regiões mais baixas entre as dunas, que por sua vez também pode ter um controle estrutural refletido no relevo do embasamento. Diversos condomínios estão sendo construídos na região onde ocorrem essas lagoas, principalmente em Águas Claras, e já existem relatos de que em épocas de chuvas as lagoas enchem e inundam estas regiões próximas aos condomínios, impedindo o acesso a estes. É provável que estas lagoas ainda utilizem os baixios das antigas drenagens nas épocas de cheias. Portanto, sugere-se que seja realizado um mapeamento dessas drenagens, para que no futuro sejam evitadas construções nestas regiões.

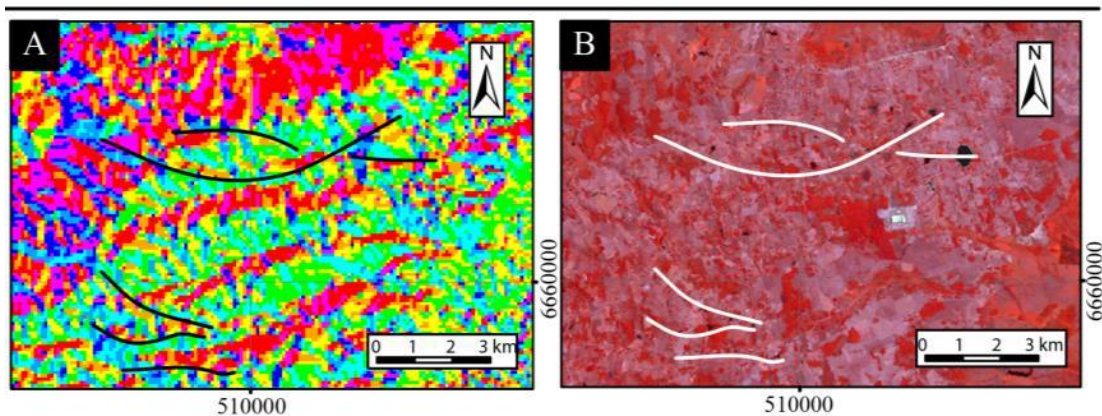


Figura 33. (A) Imagem do *aspect* com indicação das linhas de declividades máximas nas quais as lagoas estão orientadas. (B) Lagoas alinhadas nas regiões de baixios.

Figure 33. (A) Aspect image indicating the maxime slope lines in wich the lagoons are orientated. (B) Lagoons lined up in the low regions.

Os sistemas laguna-barreira resultam de variações do nível do mar, as quais foram efetivas também junto aos sistemas lagunares pré-existentes. Na área de estudo, estas

oscilações estão registradas na forma de terraços com diferentes altitudes, cujas bordas são delimitadas por ondulações no terreno, onde concentram-se depósitos eólicos e/ou por alinhamentos de vegetação. Com base nas altitudes obtidas através do sistema de posicionamento por satélite e nas elevações já conhecidas, relacionadas aos últimos máximos eustáticos, é possível correlacionar os terraços lagunares presentes na área de estudo a, pelo menos, dois diferentes eventos. Um dos terraços possui altitudes entre 5,3 e 6,1 m (Fig. 23). Sabe-se que nos últimos dois eventos pleistocênicos que formaram os Sistemas Laguna-barreira II e III o nível do mar elevou-se até 7 e 9,5 m acima do atual, respectivamente. Pela posição regional, no contexto da evolução desses sistemas, presume-se que tenham sido gerados depósitos no tempo de formação do Sistema Laguna-barreira II, os quais foram parcialmente inundados e retrabalhados durante a máxima inundação relativa à formação do Sistema Laguna-Barreira III. Para confirmar esta hipótese e detalhar a evolução destes terraços, sugere-se que seja realizada a sua datação.

Comparando a interpretação geológica das imagens de satélite com o mapa geológico pré-existente, observa-se que os depósitos de terraços lagunares adjacentes aos cordões litorâneos interpretados neste trabalho foram previamente mapeados como leques aluviais (Fig. 34). Propõe-se então a alteração do mapa, visto que é possível identificar claramente uma diferença nas texturas da imagem do satélite Landsat 7, nas declividades e altitudes, assim como o padrão do relevo visto em campo, o que permite individualizar os depósitos de terraços lagunares.

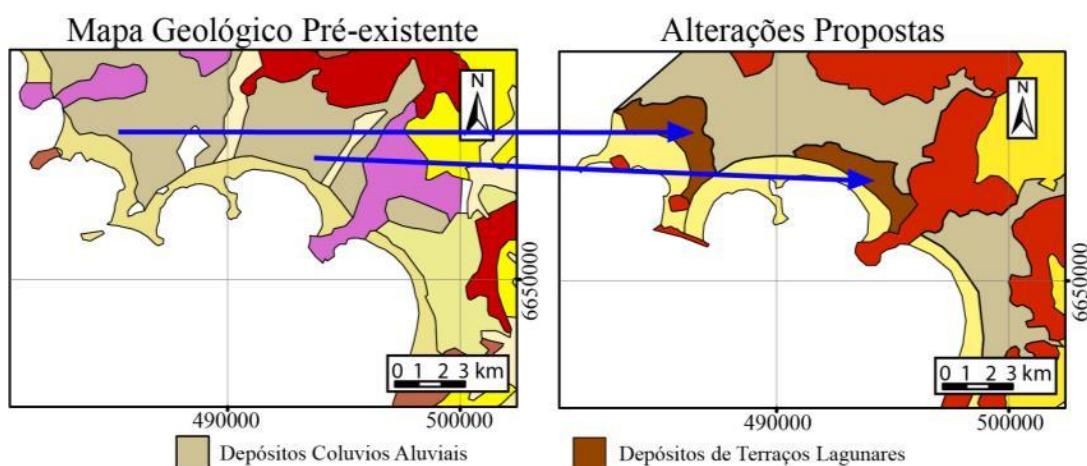


Figura 34. Proposta de alteração do mapa geológico. A porção distal dos depósitos aluviais foram reinterpretadas como depósitos de terraços lagunares.

Figure 34. Geological map alteration propose. The distal portion of the aluvial deposits were reinterpreted as lacustrine terraces.

Já os pontos de altitude entre 1,6 e 2,6 m (Fig. 23) correspondem a depósitos praias e de cordões litorâneos, os quais podem ser correlacionados com o último evento de elevação do nível do mar no Holoceno, quando este atingiu até 3 m acima do atual (Dillenburg & Barboza, 2014). Estes correspondem ao Padrão 5, interpretado como cordões litorâneos, que ocorrem nas regiões do Lami até Itapuã. Estas feições refletem a progradação da margem lagunar, cuja gênese pode associar a ação do vento, de ondas e a variação do nível do corpo lagunar. Na área deste estudo, a presença de vegetação e os relictos de embasamento dificultam a identificação dos tipos de cordões a partir das imagens de satélite. Em campo, a ação do vento com a formação de depósitos eólicos não foi observada, o que pode ter influência da granulometria grossa dos sedimentos presentes. Ainda assim, futuros estudos poderiam se concentrar nestes cordões, que possuem orientações e truncamentos diversos em resposta a presença do embasamento e a morfologia complexa da margem lagunar.

5 Conclusões

Através da análise de imagens de satélite, do MDET e seus subprodutos, além da confirmação da verdade terrestre, foram identificados cinco padrões geomorfológicos na região de estudo, que foram interpretados como: 1) embasamento, 2) depósitos de leques aluviais, 3) depósitos eólicos da Barreira I, 4) terraços lagunares e 5) depósitos praias e cordões litorâneos.

Analisando a imagem de orientação das vertentes dos depósitos da Barreira das Lombas em escala regional, definiram-se dois diferentes setores. Um setor NE onde a orientação geral das vertentes é NE, e um setor SW onde as declividades máximas estão orientadas, num geral, para SE.

Tendo em vista que: 1) os diagramas de roseta gerados para o setor NE e SW da barreira mostraram padrões distintos, 2) os diagramas de roseta gerados tanto para o setor SW quanto para o embasamento granítico próximo a este setor mostraram padrões muito similares e 3) o tipo de embasamento do setor NE da barreira provavelmente é diferente do setor SW, conclui-se que a individualização desses setores se deve ao fato de que diferentes tipos de embasamento geram diferentes padrões estruturais para os depósitos sobrepostos.

Através da observação de que as lagoas que ocorrem sobre os depósitos da barreira estão alinhadas em regiões baixas e que estas linhas coincidem com as de declividades máximas, entende-se que essas lagoas sejam relictos de antigas drenagens.

Referências bibliográficas

- Asrar, G.R. 1989. Theory and applications of optical remote sensing. 734 p. New York (N.Y.): Wiley.
- Asmus, H.E., & Baisch, R.P. 1983. Geological Evolution of the Brazilian Continental Margin. *Episodes*. v. 4, n. 4, p. 3-9.
- Barboza, G.R. 1999. *Terraços da margem leste da Laguna dos Patos, litoral médio do Rio Grande do Sul: estratigrafia e evolução holocênica*. 154 p. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Cristiano, S.C. 2018. *Interfaces entre a geoconservação e a gestão costeira no município de Araranguá (Santa Catarina, Brasil)*. 252 p. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Delaney, P.J.V. 1962. Fisiografia e Geologia de Superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. *Publicação especial da Escola de Geologia, UFRGS*. Porto Alegre, n. 6, 195 p.
- Dillenburg, S.R & Barboza, E.G. 2014. The strike-fed sandy coast of Southern Brazil. *Geological Society of London Special Publication*, 388:333-352.
- Fairbridge, R.W. 1968. Terraces – Lacustrine. In: FAIRBRIDGE. (ed). *Encyclopedia of Geomorphology*. Encyclopedia of Earth Sciences Series, New York: Reinhold Book, 3:1138 – 1140.
- Florenzano, T.G. 2007. *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. São Paulo, Oficina de Textos. 2 ed. 101p.
- Fragoso Cesar, A.R.S. 1980. O cráton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul RioGrandense. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, *Anais*, SBG, 31, Camboriú, 5: 2879 – 2891.

- Gamboa, L.A.P. & Rabinowitz, P.D. 1981. The Rio Grande Fracture Zone in the western South Atlantic & its tectonic implications. *Earth Planetary Science Letters*, 52:410-418.
- Ghingone, J.I. 1960. Reconhecimento gravi-magnético na Bacia de Pelotas. *Boletim Técnico Petrobrás*, 3(2):73-79.
- Gray, M. 2004. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. 434 p. New York: John Wiley & Sons.
- Lopes, R.P., Konoshita, A., Baffa, O. Figueiredo, A.M.G., Dillenburg, S.R., Schultz, C.L., Pereira, C.L. & Pereira, J.C. 2014. ESR dating of Pleistocene mammals & marine shells from the coastal plain of Rio Grande do Sul state, Brazil. *Quaternary International*, 325:124 – 134.
- Phillip, R.P., Pimentel, M.M. & Farid, C. 2016. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, 46:83-104.
- Phillip, R.P. & Machado, R. 2001. Suítes Graníticas do Batólito de Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrogenéticos. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(3):257-266.
- Ramos, C.L.M. 2015. *A geodiversidade e a geoconservação nas ilhas das Pombas e da Ponta Escura, Rio Grande do Sul*. 136 p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Rosa, M.L.C.C., Barboza, E.G., Abreu, V.S., Tomazelli, L.J. & Dillenburg, S.R. 2017. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2): 183-207.
- Steffen, A. C. & Moraes, E.C. 1993. Introdução à radiometria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, VII. Curitiba, 10-14. Maio-1993. Tutorial São José dos Campos, INPE, 1993. 7p.
- Tomazelli, L.J. & Villwock J.A. 2005. Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras: o Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*, 3:109-115.
- Trennepohl, B. M. 2014. Caracterização Petrográfica e tipologia dos zircões dos granitoides associados a depósitos epitermais na região da Mina da Galena, Amaral Ferrador, RS. 68 p. Monografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Urien, C.M. & Martins, L.R.S. 1978. Structural & physiographic map of eastern South America & western South Africa. Porto Alegre. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO/UFRGS). *Série Mapas*, 03.
- Villwock, J.A. 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. *Pesquisas em Geociências*, 16 (16):5-49.
- Villwock, J.A., Tomazelli L.J., Loss, E.L., Dehnhardt, E.A., Horn, N.O., Bachi, F.A. & Dehnhardt, B.A. 1986. Geology of the RS coastal province. In: Rabasa J. (ed), *Quaternary of South America & Antarctic Peninsula*, v. 4. p. 79-97.
- Villwock, J.A., Tomazelli L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*, 8:1-45.

CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região de estudo foi dividida em cinco padrões geomorfológicos: 1) embasamento, 2) depósitos de leques aluviais, 3) depósitos eólicos da Barreira I, 4) terraços lagunares e 5) depósitos praias e cordões litorâneos.

Analisando em escala regional, dividiu-se a Barreira das Lombas em dois diferentes setores. Um setor NE onde a orientação geral das vertentes é NE, e um setor SW onde as declividades máximas estão orientadas, num geral, para SE.

Com base no mapeamento dos lineamentos dos setores NE e SW da Barreira e do embasamento relacionado ao segundo setor, concluiu-se que a individualização dos setores da Barreira das Lombas se deve ao fato de que diferentes tipos de embasamento geram diferentes padrões estruturais para os depósitos sobrepostos.

Através da observação de que as lagoas que ocorrem sobre os depósitos da barreira estão alinhadas em regiões baixas e que estas linhas coincidem com as de declividades máximas, entende-se que essas lagoas sejam relictos de antigas drenagens.

Sugere-se que seja feito um mapeamento dessas drenagens, com o objetivo de impedir futuras construções nestas regiões, impedindo que, em períodos de cheia dessas lagoas, as áreas das construções sejam prejudicadas.

A região do estudo, observada em detalhe, mostra uma grande variedade geológica, com paisagens diversas, que compreendem eventos de milhares a milhões de anos e constituem importantes registros do desenvolvimento da porção meridional do continente Sul-Americano. Portanto, sugere-se que seja criada uma rota turística, bem como a exposição de painéis contendo a evolução geológica da região e importância da conservação destas paisagens.

REFERÊNCIAS

- ASRAR, G.R. 1989. Theory and applications of optical remote sensing. 734 p. New York (N.Y.): Wiley.
- ASMUS, H.E., & Baisch, R.P. 1983. Geological Evolution of the Brazilian Continental Margin. *Episodes*. v. 4, n. 4, p. 3-9.
- BARBOZA, G.R. 1999. *Terraços da margem leste da Laguna dos Patos, litoral médio do Rio Grande do Sul: estratigrafia e evolução holocênica*. 154 p. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CRISTIANO, S.C. 2018. *Interfaces entre a geoconservação e a gestão costeira no município de Araranguá (Santa Catarina, Brasil)*. 252 p. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DELANEY, P.J.V. 1962. Fisiografia e Geologia de Superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. *Publicação especial da Escola de Geologia, UFRGS*. Porto Alegre, n. 6, 195 p.
- DILLENBURG, S.R & Barboza, E.G. 2014. The strike-fed sandy coast of Southern Brazil. *Geological Society of London Special Publication*, 388:333-352.
- FAIRBRIDGE, R.W. 1968. Terraces – Lacustrine. In: FAIRBRIDGE. (ed). *Encyclopedia of Geomorphology*. Encyclopedia of Earth Sciences Series, New York: Reinhold Book, 3:1138 – 1140.
- FLORENZANO, T.G. 2007. *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. São Paulo, Oficina de Textos. 2 ed. 101p.
- FRAGOSO CESAR, A.R.S. 1980. O cráton do Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul RioGrandense. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, *Anais*, SBG, 31, Camboriú, 5: 2879 – 2891.
- GAMBOA, L.A.P. & Rabinowitz. P.D. 1981. The Rio Grande Fracture Zone in the western South Atlantic & its tectonic implications. *Earth Planetary Science Letters*, 52:410-418.

- GHINGNONE, J.I. 1960. Reconhecimento gravi-magnético na Bacia de Pelotas. *Boletim Técnico Petrobrás*, 3(2):73-79.
- GRAY, M. 2004. *Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*. 434 p. New York: John Wiley & Sons.
- LOPES, R.P., Konoshita, A., Baffa, O. Figueiredo, A.M.G., Dillenburg, S.R., Schultz, C.L., Pereira, C.L. & Pereira, J.C. 2014. ESR dating of Pleistocene mammals & marine shells from the coastal plain of Rio Grande do Sul state, Brazil. *Quaternary International*, 325:124 – 134.
- PHILIPP, R.P., Pimentel, M.M. & Farid, C. 2016. Tectonic evolution of the Dom Feliciano Belt in Southern Brazil: Geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*, 46:83-104.
- PHILIPP, R.P. & Machado, R. 2001. Suítes Graníticas do Batólito de Pelotas no Rio Grande do Sul: petrografia, tectônica e aspectos petrogenéticos. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(3):257-266.
- RAMOS, C.L.M. 2015. *A geodiversidade e a geoconservação nas ilhas das Pombas e da Ponta Escura, Rio Grande do Sul*. 136 p. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ROSA, M.L.C.C., Barboza, E.G., Abreu, V.S., Tomazelli, L.J. & Dillenburg, S.R. 2017. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2): 183-207.
- STEFFEN, A. C. & Moraes, E.C. 1993. Introdução à radiometria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, VII. Curitiba, 10-14. Maio-1993. Tutorial São José dos Campos, INPE, 1993. 7p.
- TOMAZELLI, L.J. & Villwock J.A. 2005. Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras: o Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*, 3:109-115.
- TRENNEPOHL, B. M. 2014. Caracterização Petrográfica e tipologia dos zircões dos granitoides associados a depósitos epitermais na região da Mina da Galena, Amaral Ferrador, RS. 68 p. Monografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- URIEN, C.M. & Martins, L.R.S. 1978. Structural & physiographic map of eastern South America & western South Africa. Porto Alegre. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO/UFRGS). *Série Mapas*, 03.

- VILLWOCK, J.A. 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. *Pesquisas em Geociências*, 16 (16):5-49.
- VILLWOCK, J.A., Tomazelli L.J., Loss, E.L., Dehnhardt, E.A., Horn, N.O., Bachi, F.A. & Dehnhardt, B.A. 1986. Geology of the RS coastal province. In: Rabasa J. (ed), *Quaternary of South America & Antarctic Peninsula*, v. 4. p. 79-97.
- VILLWOCK, J.A., Tomazelli L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*,8:1-4

