

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Marcelo Marini

**CONTROLE GEOLÓGICO E CARACTERIZAÇÃO LEGAL E  
AMBIENTAL DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NA  
BACIA DO RIO DA MADRE (SC)**

Florianópolis  
2017



Marcelo Marini

**CONTROLE GEOLÓGICO E CARACTERIZAÇÃO LEGAL E  
AMBIENTAL DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NA  
BACIA DO RIO DA MADRE (SC)**

Dissertação submetida ao Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Geografia, área de concentração Utilização e Conservação de Recursos Naturais, em cumprimento aos requisitos para obtenção do Grau de mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Marini, Marcelo

Controle geológico e caracterização legal e ambiental da atividade de mineração de areia na Bacia do Rio da Madre (SC) / Marcelo Marini ; orientador, Luiz Fernando Scheibe, 2017.

238 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Geologia do Quaternário. 3. Impactos ambientais. 4. restrições legais. I. Scheibe, Luiz Fernando. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

Marcelo Marini

**CONTROLE GEOLÓGICO E CARACTERIZAÇÃO LEGAL E  
AMBIENTAL DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NA  
BACIA DO RIO DA MADRE (SC)**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de “Mestre em Geografia”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Geografia.

Florianópolis, 29 de março de 2017.

---

Prof. Dr. Aloysio Marthins de Araújo Júnior  
Coordenador do PPGG/UFSC

**Banca examinadora:**

---

Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Norberto Olmiro Horn Filho  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Edison Ramos Tomazzoli  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Dr. Jorge Plá Cid  
Departamento Nacional de Produção Mineral



## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria Ignêz Marini e Mauro Marini pelo apoio incondicional desde o início de tudo.

Aos colegas do Departamento Nacional de Produção Mineral de Santa Catarina (DNPM/SC) que me incentivaram e ajudaram em diversos momentos, principalmente aqueles da Divisão de Fiscalização, notadamente aos geólogos Jorge Plá Cid e João Batista Lins Coitinho e à geógrafa Cláudia Ravazzoli, pelas discussões e sugestões. Aos colegas Sílvio Cesar Correa, Fábio Larroyd e Francisco Freire Neto, pelas ajudas com material bibliográfico e na utilização de *softwares* específicos.

Aos professores Luiz Fernando Scheibe e Norberto Olmiro Horn Filho, pelas conversas esclarecedoras e apoio de grande valia. Ao professor Edison Ramos Tomazzoli, pelas sugestões.

Aos colegas e demais professores do Programa de Pós Graduação em Geografia (PPGG) que me auxiliaram em algum momento da realização dos trabalhos de pesquisa.

À Danae Teixeira e Jarbas Bonetti, do Laboratório de Oceanografia Costeira da Universidade Federal de Santa Catarina, pela ajuda com as análises granulométricas.

À Camila Moreira Osório, pelo incentivo inicial.



## RESUMO

Na Bacia do Rio da Madre, abrangendo partes dos municípios de Palhoça e Paulo Lopes, a intensificação da atividade de mineração de areia observada ao longo dos últimos anos é reflexo direto da expansão urbana dos municípios da região metropolitana de Florianópolis, sendo a indústria da construção civil o principal setor consumidor do minério lavrado. Neste contexto, muitas minas em atividade são desenvolvidas sem a observação de critérios técnicos e ambientais adequados, propiciando a geração de marcantes impactos ambientais. A presente pesquisa teve por objetivo definir o controle geológico que condiciona as ocorrências de depósitos arenosos, e caracterizar os fatores legais e ambientais que podem restringir a continuidade da atividade de mineração de areia como ela vem sendo praticada na Bacia do Rio da Madre. O estudo foi desenvolvido através da definição da geologia local, da indicação do diagnóstico atual da atividade de mineração de areia, da caracterização dos aspectos legais associados à atividade, da identificação dos impactos ambientais decorrentes, e da caracterização do uso do solo e eventuais conflitos existentes. Para tanto foram desenvolvidos trabalhos de campo (abrangendo mapeamento geológico, análise de fácies, coleta de amostras e observação direta), assim como trabalhos de gabinete, incluindo cartografia, inserção e análise de dados em ambiente SIG e análises granulométricas. Na área de estudo, as unidades portadoras de areia economicamente explorável são associadas a depósitos dos sistemas continental e transicional de idade Quaternária, sendo que em ambos se observam limitações ao aproveitamento das jazidas arenosas. A atividade de lavra de areia é realizada de forma semelhante em todas as minas em atividade (escavação a céu aberto e dragagem), sendo que todos os empreendimentos atuam sob o regime de Registro de Licença junto ao DNPM. O minério lavrado apresenta, no geral, grande quantidade de material estéril, tornando a atividade atualmente desenvolvida pouco produtiva. A existência de núcleos residenciais, áreas destinadas à rizicultura e outras atividades são elementos que interagem com os impactos decorrentes da

atividade de lavra, sendo observada a geração de impactos ambientais cumulativos, além dos impactos diretos e potenciais que afetam os meios físico, biótico e antrópico, nas fases de operação e desativação das minas. Dentre as restrições à continuidade da atividade, observam-se limitações ambientais associadas à própria geologia dos depósitos sedimentares, assim como pela interação entre a mineração e as diversas atividades produtivas e ocupações existentes na área de estudo. A ineficiência de alguns dos atuais dispositivos legais (técnicos e ambientais) que norteiam o setor mineral é fator essencial para a falta de definição de necessárias restrições legais à atividade; a eventual revisão e atualização das metodologias direcionadas à regularização e licenciamento da atividade é fator fundamental no que concerne ao uso racional dos recursos naturais.

**Palavras chave:** Geologia do Quaternário. Impactos ambientais. Restrições legais.

## ABSTRACT

In the *Rio da Madre* river basin, which encompasses portions of the municipalities of *Palhoça* and *Paulo Lopes*, the intensification of sand mining in recent years is the direct reflection of urban expansion in the *Florianópolis* metropolitan region. The civil construction industry is the leading consumer of the sand. Many active mines operate without observing proper technical and environmental criteria, leading to strong environmental impacts. The objective of this study is to define geological controls that affect occurrences of sand deposits, and to characterize the legal and environmental factors that can restrict the continuity of the sand mining in the manner that it has been practiced in the *Rio da Madre* basin. The study was developed through a definition of the local geology, indication of the current diagnosis of the sand mining activity, characterization of the legal factors associated to the activity, identification of the environmental impacts and the characterization of the land use and the existing conflicts. Field work was conducted (encompassing geological mapping, analysis of facies, sample collection and direct observation), as well as the office work of cartography, insertion and analysis of data in a GIS environment and granulometric analyses. In the field of study, the sand deposits that are economically exploitable are associated to deposits of continental and transitional systems of the Quaternary age, and in both, limitations are observed to the use of the sandy bodies. The sand mining is conducted in a similar manner in all the mines (open air excavation and dragging) and all of the operations have licenses registered with the federal National Department of Mineral Production. Most of the sand mined has a large quantity of sterile material, lowering the productivity of the current activity. The existence of residential neighborhoods and areas of rice cultivation and other activities are elements that interact with the impacts from the sand mining, and cumulative environmental impacts are observed, as well as direct and potential impacts that affect the physical, biotic and anthropic environments during the operation and deactivation of the mines. Restrictions to the continuity of the activity include environmental limitations associated to the specific geology of the

sedimentary deposits, and the interaction between the mining and the various existing productive activities and occupations in the region. The inefficiency of some of the current legal measures (technical and environmental) which guide the mineral sector is a key factor in the lack of definition of the necessary legal restrictions to the activity. The review and updating of the methodologies for regularization and licensing of the activity is essential to the rational use of natural resources.

**Keywords:** Quaternary geology. Environmental impacts. Legal restrictions.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> - Evolução demográfica dos três principais municípios da região metropolitana de Florianópolis entre os anos de 1991 a 2010.....	26
<b>Figura 02</b> - Mapa de localização regional da Bacia do Rio da Madre e da área de estudo.....	33
<b>Figura 03</b> – Mapa de detalhe da área de estudo.....	34
<b>Figura 04</b> - Geologia simplificada da área de estudo.....	35
<b>Figura 05</b> - Compartimentação tectônica da porção meridional da Província Mantiqueira.....	37
<b>Figura 06</b> - Imagem de satélite LANDSAT-8 de 13/06/2016 (com aumento de 3x da escala vertical) da área de estudo (polígono retangular) e respectiva geomorfologia.....	40
<b>Figura 07</b> - Dados de precipitação da Estação Meteorológica de Florianópolis no período de janeiro de 2014 a maio de 2016.....	43
<b>Figura 08</b> - Formações florestais observadas na área de estudo.....	44
<b>Figura 09</b> - Esquema ilustrativo demonstrando a utilização da perspectiva aloestratigráfica e da relação aloestratigrafia-litoestratigrafia.....	53
<b>Figura 10</b> - Mapa com indicação dos zoneamentos municipais de Palhoça e Paulo Lopes no contexto da área de estudo.....	83
<b>Figura 11</b> - Mapa de pontos de obtenção de dados em campo (pontos de descrição e amostragem).....	89
<b>Figura 12</b> - Inserção das imagens de satélite LANDSAT-8 ( <i>GoogleEarth</i> ) em ambiente SIG, com delimitação dos limites da área de estudo, estradas, rede hidrográfica e demais elementos.....	92
<b>Figura 13</b> - Inserção das fotografias aéreas em escala 1:25.000 em ambiente SIG e fotointerpretação parcial da área de estudo.....	93
<b>Figura 14</b> - Escala granulométrica de Udden-Wentworth.....	95
<b>Figura 15</b> - Escala morfométrica de grãos e clastos de Krumbein e Sloss (1963, apud SORDI, 2014).....	96
<b>Figura 16</b> - Escala gráfica de graus de seleção sedimentar.....	96
<b>Figura 17</b> - Analisador Horiba LA-950 utilizado para determinação da granulometria das amostras coletadas.....	99

<b>Figura 18</b> - Análise das imagens do satélite LANDSAT-8 para a identificação de impactos ambientais após coleta de dados em campo.....	103
<b>Figura 19</b> - Aspecto das rochas riolíticas quando parcialmente alteradas.....	109
<b>Figura 20</b> - Mapa geológico com indicação das unidades do Sistema Depositional Continental.....	111
<b>Figura 21</b> - Depósito coluvial observado na porção oeste da área de estudo (ponto de descrição nº 56).....	114
<b>Figura 22</b> - Seção LA01.....	117
<b>Figura 23</b> - Fotografias ilustrando detalhes da Seção LA01....	119
<b>Figura 24</b> - Seção LA02.....	121
<b>Figura 25</b> - Seção LA03.....	124
<b>Figura 26</b> - Seção LA04.....	126
<b>Figura 27</b> - Margem direita da porção proximal do Rio da Madre.....	130
<b>Figura 28</b> - Imagem de satélite LANDSAT-8 datada de 10/08/2009 da porção mediana do Rio da Madre na área de estudo.....	131
<b>Figura 29</b> - Seção DF01.....	132
<b>Figura 30</b> - Mapa geológico com indicação das unidades do Sistema Depositional Transicional.....	135
<b>Figura 31</b> - Afloramento de areias eólicas Pleistocênicas em cava de extração de areia na localidade de Albardão.....	137
<b>Figura 32</b> - Afloramento de areias eólicas pleistocênicas em cava de extração de areia na localidade de Albardão.....	138
<b>Figura 33</b> - Pilhas de estocagem de biodetritos retirados do interior das cavas de extração de areia localizadas dentro dos limites do depósito flúvio-lagunar.....	141
<b>Figura 34</b> - Conchas de moluscos bivalves ( <i>Anomalocardia brasiliana</i> e <i>Ostrea equestris</i> ) lavradas das cavas de extração de areia na área de estudo.....	142
<b>Figura 35</b> - Mapa de processos minerários.....	153
<b>Figura 36</b> - Etapas de desenvolvimento da lavra de areia na área de estudo e equipamentos utilizados.....	156
<b>Figura 37</b> - Histogramas de distribuição granulométrica das amostras Am-01 e Am-02, referentes à fácies de fluxos de detritos do depósito de leque aluvial.....	164

<b>Figura 38</b> - Diagrama de classificação textural de sedimentos grossos de Folk e Ward (1957), com indicação das amostras coletadas na área de estudo.....	165
<b>Figura 39</b> - Diagrama de classificação textural de sedimentos finos de Folk e Ward (1957), com indicação das amostras coletadas na área de estudo.....	166
<b>Figura 40</b> – Microfotografias das amostras coletadas no depósito fluvial que foram analisadas no presente estudo.....	167
<b>Figura 41</b> - Histogramas de distribuição granulométrica das amostras Am-04 e Am-05, referentes à fácies de fluxos não confinados do depósito de leque aluvial.....	169
<b>Figura 42</b> - Histograma de distribuição granulométrica da amostra Am-08, referente à fácies de fluxos não confinados do depósito de leque aluvial.....	170
<b>Figura 43</b> - Histograma de distribuição granulométrica da amostra Am-03, referente à fácies de fluxos confinados do depósito de leque aluvial.....	170
<b>Figura 44</b> - Histogramas de distribuição granulométrica das amostras Am-07 (superior ) e Am-09 (inferior), referentes à unidade depósito fluvial.....	171
<b>Figura 45</b> - Microfotografias das amostras coletadas no depósito fluvial que foram analisadas no presente estudo. Notar a ponta da lapiseira utilizada como escala (diâmetro 0,7 mm).....	172
<b>Figura 46</b> - Histogramas de distribuição granulométrica das amostras Am-06 (superior ) e Am-11 (inferior), referentes à unidade depósito eólico Pleistocênico.....	173
<b>Figura 47</b> - Microfotografias das amostras coletadas no depósito eólico Pleistocênico (AM11) e depósito eólico Holocênico (AM12), que foram analisadas no presente estudo. Notar a ponta da lapiseira utilizada como escala (diâmetro 0,7 mm).....	174
<b>Figura 48</b> - Histogramas de distribuição granulométrica da amostra Am-10, referente à unidade depósito flúvio-lagunar...	175
<b>Figura 49</b> - Histograma de distribuição granulométrica da amostra Am-12, referente à unidade depósito eólico Holocênico.....	176
<b>Figura 50</b> – Mapa de cobertura, usos e ocupação do solo .....	179
<b>Figura 51</b> - Impactos ambientais identificados na área de estudo.....	186

<b>Figura 52</b> - Esquema indicativo do comportamento esperado do aquífero freático em decorrência da instalação de cone de rebaixamento através do desenvolvimento das cavas de extração de areia.....	190
<b>Figura 53</b> - Aspecto da paisagem formada por cavas de extração de areia com lavra encerrada sem a devida recuperação ambiental na localidade de Sertão do Campo.....	197
<b>Figura 54</b> - Aspecto da paisagem formada por cavas de extração de areia com lavra encerrada na localidade de Sertão do Campo.....	198

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 01</b> - Classificação de litofácies fluviais.....	49
<b>Quadro 02</b> - Elementos arquitetônicos e respectiva caracterização litofaciológica.....	51
<b>Quadro 03</b> - Principais impactos ambientais negativos decorrentes das ações realizadas nas fases de implantação, operação e desativação das minas em atividade na Bacia do Rio Tijucas.....	68
<b>Quadro 04</b> - Intervenções causadoras de impactos ambientais decorrentes da atividade de lavra de areia e de outras atividades desenvolvidas na área de estudo.....	102
<b>Quadro 05</b> - Coluna estratigráfica proposta para a área de estudo.....	105
<b>Quadro 06</b> - Matriz de correlação de impactos ambientais das atividades na fase de operação dos empreendimentos minerários.....	183
<b>Quadro 07</b> - Matriz de correlação de impactos ambientais das atividades na fase de desativação dos empreendimentos minerários.....	184



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> - Situação legal dos processos minerários abrangidos pela área de estudo até a data de 20/10/2016.....	150
<b>Tabela 02</b> - Listagem dos equipamentos em uso nos empreendimentos minerários localizados nos processos DNPM ativos na área de estudo.....	158
<b>Tabela 03</b> - Resultados obtidos nas análises granulométricas realizadas, com indicação dos parâmetros utilizados na caracterização do minério lavrado na área de estudo.....	161
<b>Tabela 04</b> - Classes de cobertura, uso e ocupação do solo da área de estudo e respectiva distribuição em área.....	177



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>30</b>
<b>3 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>31</b>
3.1 LOCALIZAÇÃO .....	31
3.2 GEOLOGIA .....	31
3.3 GEOMORFOLOGIA .....	39
3.4 HIDROGRAFIA .....	41
3.5 CLIMA .....	42
3.6 VEGETAÇÃO .....	43
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>46</b>
4.1 ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA .....	46
4.2 A GEOLOGIA DO QUATERNÁRIO NO CONTEXTO DA ÁREA DE ESTUDO .....	54
4.2.1 Sistema Depositional Continental.....	55
4.2.1.1 Depósitos colúviais .....	56
4.2.1.2 Leques aluviais .....	56
4.2.1.3 Depósitos aluviais.....	58
4.2.2 Sistema Depositional Transicional .....	60
4.2.2.1 Depósitos Pleistocênicos .....	61
4.2.2.2 Depósitos Holocênicos .....	61
4.2.2.2.1 Depósito lagunar .....	62
4.2.2.2.2 Depósito flúvio-lagunar.....	62
4.2.2.2.3 Depósito marinho praiado .....	63
4.2.2.2.4 Depósitos eólicos .....	63
4.2.3 Sistema Depositional Antropogênico.....	64
4.3 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE .....	64
4.3.1 Os impactos ambientais da mineração de areia .....	65
4.3.2 Análise e identificação dos impactos ambientais da mineração .....	69
4.3.2.1 Limitações da AIA e a Avaliação Ambiental Estratégica.....	72
4.3.3 Legislação ambiental aplicável à mineração.....	75
4.3.3.1 Legislação Federal .....	75
4.3.3.2 Legislação Estadual .....	79
4.3.3.3 Legislação Municipal .....	80
4.3.3.4 Áreas de proteção ambiental .....	82
<b>5 METODOLOGIA .....</b>	<b>86</b>

5.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO .....	86
5.1.1 Bibliografia .....	86
5.1.2 Fotointerpretação.....	87
5.1.3 Coleta de dados em campo.....	88
5.1.4 Cartografia geológica.....	88
5.1.5 Levantamento estratigráfico e análise de fácies .....	93
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO .....	94
5.2.1 Análises granulométricas.....	98
5.3 CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	100
5.4 IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS .....	100
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>104</b>
6.1 GEOLOGIA .....	104
6.1.1 Embasamento Cristalino.....	104
6.1.1.1 Granito Serra do Tabuleiro .....	107
6.1.1.2 Riolito Cambirela .....	108
6.1.2 Sistema Depositional Continental .....	109
6.1.2.1 Depósitos Coluviais .....	110
6.1.2.2 Depósito de leque aluvial.....	113
6.1.2.2.1 Fácies de fluxos de detritos .....	114
6.1.2.2.2 Fácies de fluxos confinados .....	120
6.1.2.2.3 Fácies de fluxos não confinados .....	123
6.1.2.2.4 Fácies de planície de inundação .....	127
6.1.2.3 Depósitos fluviais .....	128
6.1.3 Sistema Depositional Transicional.....	133
6.1.3.1 Depósito eólico Pleistocênico .....	133
6.1.3.2 Depósito flúvio-lagunar .....	139
6.1.3.3 Depósito lagunar.....	141
6.1.3.4 Depósito marinho praial.....	143
6.1.3.5 Depósito eólico Holocênico .....	144
6.1.4 Sistema Depositional Antropogênico.....	145
6.2 A ATIVIDADE DE LAVRA DE AREIA NA BACIA DO RIO DA MADRE .....	145
6.2.1 Normas e aspectos legais para a atividade mineral.....	145
6.2.1.1 Regime de licenciamento .....	146
6.2.1.2 Regime de autorização de pesquisa e concessão de lavra .....	147
6.2.1.3 Regime de registro de extração .....	149
6.2.2 Situação legal dos empreendimentos minerários na área de estudo .....	149
6.2.3 Produção e mercado consumidor de areia.....	151

6.2.4 Método de lavra.....	155
6.2.5 Caracterização do minério .....	159
6.2.5.1 Depósito de leque aluvial ( fácies de fluxos de detritos):....	163
6.2.5.2 Depósito de leque aluvial ( fácies de fluxos não confinados): .....	167
6.2.5.3 Depósito de leque aluvial ( fácies de fluxos confinados): ...	168
6.2.5.4 Depósito fluvial: .....	171
6.2.5.5 Depósito eólico Pleistocênico:.....	172
6.2.5.6 Depósito flúvio-lagunar:.....	174
6.2.5.7 Depósito eólico Holocênico: .....	175
6.3 COBERTURA, USOS E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	176
6.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA ATIVIDADE DE LAVRA DE AREIA NA BACIA DO RIO DA MADRE .....	182
6.4.1 Fase de operação.....	182
6.4.1.1 Impactos diretos .....	185
6.4.1.1.1 Impactos diretos ao meio físico.....	185
6.4.1.1.2 Impactos diretos ao meio biótico.....	187
6.4.1.1.3 Impactos diretos ao meio antrópico .....	187
6.4.1.2 Impactos potenciais.....	188
6.4.1.2.1 Impactos potenciais ao meio físico .....	188
6.4.1.2.2 Impactos potenciais ao meio biótico .....	189
6.4.1.2.3 Impactos potenciais ao meio antrópico.....	189
6.4.1.3 Impactos cumulativos.....	190
6.4.1.3.1 Impactos cumulativos ao meio físico.....	191
6.4.1.3.2 Impactos cumulativos ao meio antrópico .....	192
6.4.2 Fase de desativação .....	194
6.4.2.1 Impactos diretos .....	194
6.4.2.1.1 Impactos diretos ao meio físico.....	194
6.4.2.2 Impactos potenciais.....	195
6.4.2.2.1 Impactos potenciais ao meio físico .....	195
6.4.2.2.2 Impactos potenciais ao meio antrópico.....	195
6.4.2.3 Impactos cumulativos.....	196
6.4.2.3.1 Impactos cumulativos ao meio físico.....	196
6.4.2.3.2 Impactos cumulativos ao meio antrópico .....	196
<b>7 FATORES RESTRITIVOS À ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA .....</b>	<b>199</b>
7.1 RESTRIÇÕES AMBIENTAIS.....	199
7.2 RESTRIÇÕES LEGAIS.....	203
7.2.1 Condicionantes relacionadas à legislação mineraria .....	203
7.2.2 Condicionantes relacionadas à legislação ambiental .....	205
7.2.3 Condicionantes relacionadas à legislação municipal .....	208

**8 CONCLUSÕES .....213**

**APÊNDICE – Mapa geológico da área de mineração de areia da  
Bacia do Rio da Madre**

## 1 INTRODUÇÃO

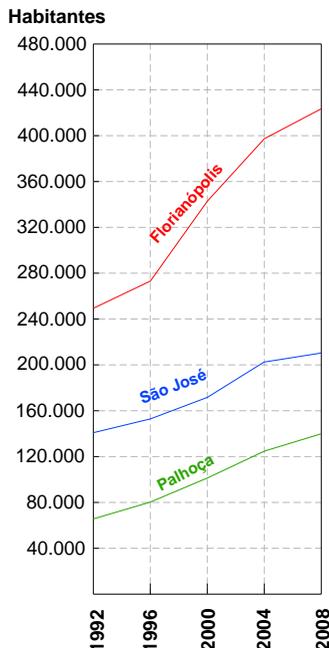
Na sociedade atual, praticamente todos os setores industriais utilizam produtos de origem mineral em sua cadeia produtiva. Atividades diversas, como a agricultura, metalurgia, indústria química e de transformação, e a construção civil são importantes consumidoras de matérias-primas minerais. A evolução das nações modernas está intimamente relacionada à utilização adequada dos bens minerais disponibilizados pela natureza, dada a relação direta entre desenvolvimento econômico/social e a utilização de bens minerais (LUZ; LINZ, 2005), atendendo assim às necessidades geradas pelo contínuo crescimento populacional mundial.

No setor da construção civil, os chamados agregados minerais, representados predominantemente por areia e pedra britada, são os bens minerais mais consumidos em todo o mundo (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2015), haja vista a necessidade de fornecimento de grandes volumes de minério utilizados na fabricação de concreto, cimento, pavimentação e aterros. Somente no Brasil, durante o período abrangido entre os anos de 2001 a 2011, a demanda por agregados na construção civil teve um aumento de 92,3%, relacionada a uma taxa de crescimento anual de 6,8% (INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 2012), ilustrando de forma direta o acelerado desenvolvimento deste setor. Neste contexto destaca-se o consumo de areia, que no ano de 2014 chegou a 391.765.746 toneladas (BRASIL, 2015).

Neste cenário, fica bastante evidente que o intenso processo de expansão urbana observado nas grandes cidades brasileiras ao longo das últimas décadas invariavelmente foi acompanhado pelo desenvolvimento acelerado da indústria da construção civil, notadamente nas capitais e respectivas regiões metropolitanas. A acelerada expansão urbana de Florianópolis e região metropolitana, notadamente a partir da década de 90 (Figura 01), em que se observam índices de desenvolvimento populacional variando de 50% a 100% (no período abrangido entre os anos de 1991 a 2010), gerou uma verdadeira corrida pelo fornecimento de insumos minerais. Como consequência, observou-se também a geração de polos de mineração em áreas

específicas como as bacias hidrográficas do Rio Tijucas, do Rio Cubatão e mais recentemente a do Rio da Madre, todas localizadas em municípios da região metropolitana de Florianópolis. O desenvolvimento destes polos foi balizado, principalmente, pela ocorrência de depósitos sedimentares formados por areias e argilas economicamente aproveitáveis, assim como pela proximidade com os grandes centros consumidores em franca expansão.

**Figura 01:** Evolução demográfica (pessoas residentes) dos três principais municípios da região metropolitana de Florianópolis entre os anos de 1992 a 2008.



**Fonte:** Do autor, baseado em dados de BRASIL (2010).

Na bacia hidrográfica do Rio da Madre, que abrange parte dos municípios de Palhoça e Paulo Lopes, a geologia bastante favorável, responsável pela formação de depósitos econômicos de areia, aliada à proximidade com os centros de consumo, facilitou a geração de um polo de mineração de areia que se

desenvolveu de forma acelerada a partir do ano 2000. A instalação dos primeiros empreendimentos mineiros logo se mostrou uma atividade muito rentável, incentivando assim a criação de empreendimentos semelhantes agrupados ao longo do alto vale do Rio da Madre. Todas as 15 áreas legalmente autorizadas para a lavra de areia atualmente em atividade na Bacia do Rio da Madre, tiveram suas minas instaladas após o ano de 2002 (BRASIL, 2016a).

Em pouco tempo, ficou clara a necessidade de considerar os eventuais conflitos decorrentes, uma vez observada a existência limítrofe de importante unidade de conservação ambiental integral, o Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, assim como conflitos gerados pela ocupação e usos diversos do solo local, dada a rigidez locacional inerente aos depósitos minerais economicamente aproveitáveis.

Com o cenário formado pelo rápido desenvolvimento da atividade de mineração, fica também evidente a intensificação de impactos ambientais<sup>1</sup>, muitas vezes agravados por práticas de lavra tecnicamente inadequadas, ou pela inobservância, por parte dos mineradores, dos aspectos legais e condicionantes ambientais vigentes. A instalação, operação e desativação das minas de areia definem marcantes alterações dos padrões paisagísticos locais, uma vez que se formam cavas inundadas nos locais minerados. Tal característica também acaba limitando o aproveitamento posterior pelas comunidades locais dos locais afetados, uma vez que o desenvolvimento de atividades baseadas no uso da terra se torna limitado ou inviável.

A mineração, sendo uma atividade impactante (como diversas outras atividades econômicas) promove a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio onde se insere (VIEIRA; REZENDE, 2015), uma vez que se baseia na utilização de bem natural não renovável. Para tanto, na legislação brasileira existem diversos dispositivos legais que abrangem o tema, onde o licenciamento ambiental figura como

---

<sup>1</sup>**Impacto ambiental:** alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocadas por ações humanas (SÁNCHEZ, 2013). Ressalta-se que a análise realizada no presente estudo abrangeu apenas a identificação de impactos adversos da atividade de mineração

elemento principal objetivando o enquadramento da atividade às diretrizes técnicas, legais e ambientais pré-estabelecidas. Conforme a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), instituída pela Lei Federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), as atividades poluidoras devem ser realizadas com a observância do princípio do uso sustentável dos recursos naturais, visando a manutenção do equilíbrio ecológico e uso racional do solo, subsolo, da água e do ar, assim como também a recuperação das áreas eventualmente degradadas.

Na seara da legislação ambiental, dispositivos posteriores direcionam também a responsabilidade pelo licenciamento ambiental das atividades poluidoras aos Estados e Municípios, numa clara tentativa de abranger os aspectos locais de cada região, uma vez observadas as características ambientais e sociais de cada local a ser afetado.

No entanto, muitas vezes observa-se, além do descaso de alguns empreendedores do setor mineral em desenvolver a lavra de areia em concordância com as condicionantes legais e ambientais vigentes, a ausência de normas e legislação devidamente adaptadas à realidade formada pelo espaço geográfico onde é exercida a atividade de mineração, assim como aos cenários que se desenvolvem com a intensificação da atividade mineira (ou pela geração de pólos de mineração). Tal situação pode ser exemplificada pelos empreendimentos cuja atividade, mesmo que devidamente enquadrada aos procedimentos técnicos e legais norteadores, é responsável pela geração de marcantes impactos negativos ao meio ambiente local, com possíveis consequências em escala regional. Neste contexto também fica evidenciada a ausência de políticas públicas direcionadas para a pluralidade de interesses envolvidos, uma vez que tanto os aspectos técnicos, quanto os legais e ambientais (que atualmente condicionam a atividade), não consideram diversos elementos atuantes de forma conjunta, impedindo que o aproveitamento dos recursos minerais seja desenvolvido de maneira sustentável.

Desta forma, fica nítida a necessidade de se propor medidas restritivas à continuidade de realização da lavra de areia na forma atual na Bacia do Rio da Madre, medidas estas que devem considerar e abranger o conhecimento aprofundado dos

aspectos geológicos, legais e ambientais que controlam esta atividade.

Para tanto, e como metodologia da presente dissertação, inicialmente é primordial o conhecimento dos aspectos naturais que definem a ocorrência de jazidas de areia, assim como a determinação de sua viabilidade técnica, econômica e ambiental. Devem então ser analisados, de forma conjunta, os impactos adversos causados pela atividade de lavra, análise esta diretamente fundamentada no arcabouço geológico local. Posteriormente, devem ser considerados os aspectos legais que controlam e regulam a atividade minerária no contexto da área de estudo, definindo assim pontos de discussão em relação à sua efetiva funcionalidade na regulamentação da atividade minerária. Evidentemente, toda esta análise deve ser direcionada e amparada pelo diagnóstico detalhado da situação atual da atividade de lavra de areia na área de estudo, assim como pela consideração de eventuais conflitos pelo uso do solo.

O desenvolvimento metodológico aqui proposto vem ao encontro da necessidade de se gerar meios para o correto gerenciamento dos recursos naturais da área de estudo, uma vez que o conhecimento detalhado dos aspectos legais e ambientais da atividade em pauta deve embasar futuras decisões quanto ao uso adequado do território. A abordagem metodológica adotada também poderá ser útil para um planejamento do setor mineral local, direcionado à viabilidade de novos empreendimentos mineiros. Este direcionamento permitirá revisar os procedimentos a serem adotados na definição de novos zoneamentos dos planos diretores municipais, devidamente embasados e amparados pelos aspectos ambientais e legais aplicáveis.

Com o exposto, e de forma a direcionar a pesquisa, a questão norteadora que este trabalho pretende responder é: quais são os fatores geológicos, legais e ambientais restritivos à atividade de lavra de areia na Bacia do Rio da Madre?

## 2 OBJETIVOS

Como objetivo principal, o presente trabalho pretende definir quais os fatores geológicos, legais e ambientais que podem restringir a continuidade da atividade de mineração de areia na Bacia do Rio da Madre, nos moldes como vem sendo desenvolvida na atualidade.

Para atingir o objetivo pretendido, a presente dissertação tem como objetivos específicos:

- Definir os aspectos geológicos que controlam a ocorrência de depósitos de areia na Bacia do Rio da Madre;
- Caracterizar a atividade de lavra de areia na área de estudo;
- Caracterizar os aspectos legais relacionados à atividade de mineração de areia;
- Identificar os impactos ambientais decorrentes da atividade de lavra de areia;
- Caracterizar o uso do solo e eventuais conflitos existentes de outras atividades com a lavra de areia.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

Os dados apresentados neste capítulo foram obtidos através de consulta à bibliografia, mapas pré-existentes e imagens digitais, assim como através de dados obtidos com trabalhos de campo.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo abrange a porção superior da bacia hidrográfica do Rio da Madre, sendo este o marco divisório entre os municípios de Palhoça (ao norte) e Paulo Lopes (ao sul), ambos pertencentes à Região Metropolitana de Florianópolis. Para a delimitação da área de estudo, foi considerada a área de concentração das atuais frentes de lavra de areia existente na bacia, abrangendo as localidades de Albardão, Sertão do Campo e Três Barras (Figuras 02 e 03).

#### 3.2 GEOLOGIA

A caracterização do arcabouço geológico da área de estudo foi realizada com base em estudos prévios desenvolvidos em escala regional. Desta forma, no presente item será apresentada uma breve abordagem dos aspectos referentes à gênese e desenvolvimento das principais unidades litoestratigráficas que ocorrem na porção centro-leste catarinense. Neste cenário, se observam rochas ígneas e metamórficas pertencentes ao Embasamento Cristalino, e também sedimentos inconsolidados representativos dos Depósitos Quaternários (Figura 04).

No contexto geológico referente ao Embasamento Cristalino, a área de estudo se insere na parte sul da Província Mantiqueira conforme definido por Almeida *et al.* (1977), representando assim parte do Escudo Catarinense, formada pelo Domínio Interno do Cinturão Dom Feliciano (BASE1,1985). O Domínio Interno do Cinturão Dom Feliciano (localmente denominado de Batólito Florianópolis), formado por associações

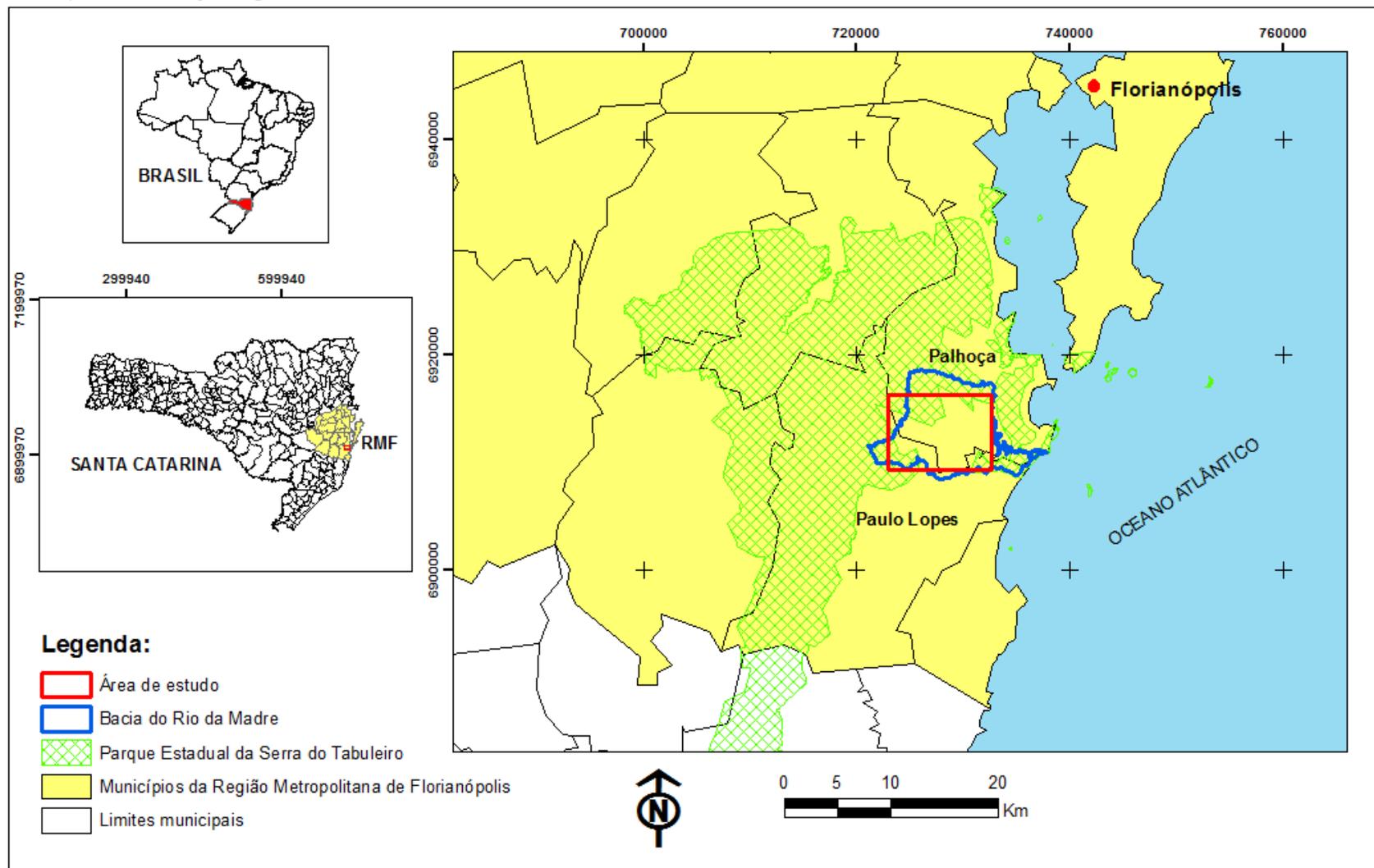
de rochas granitóides dispostas em faixa de direção preferencial NE com idades entre 650 e 580 Ma AP (Figura 05), seria produto da sucessão de pulsos magmáticos associados à tectônica transpressiva do final do Ciclo Brasileiro (BITENCOURT *et al.*, 2008). Após a estabilização tectônica com o fim do Ciclo Brasileiro, ocorreram intrusões na forma de batólitos graníticos anorogênicos, representados pela Suíte Intrusiva Pedras Grandes, assim como por vulcanismo ácido a intermediário formado pelas unidades da Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela.

Segundo Basei (1985), a Suíte Intrusiva Pedras Grandes estaria relacionada às rochas granitóides na forma de batólitos intrusivos nas unidades granitóides anteriores do Complexo Granito-Migmatítico, dentro dos domínios internos do Cinturão Dom Feliciano.

Posteriormente Zanini *et al.* (1997) definiram a Suíte Intrusiva Pedras Grandes como sendo formada por *stocks* e batólitos granitoides isótopos e de quimismo alcalino, com idades de aproximadamente 596 milhões de anos, que ocorrem no setor Centro-sul catarinense. Localmente, e em função de aspectos texturais receberam as denominações de Granito Ilha, Granito Serra do Tabuleiro, Granito São Bonifácio, Granito Angelina e Granito Capivari.

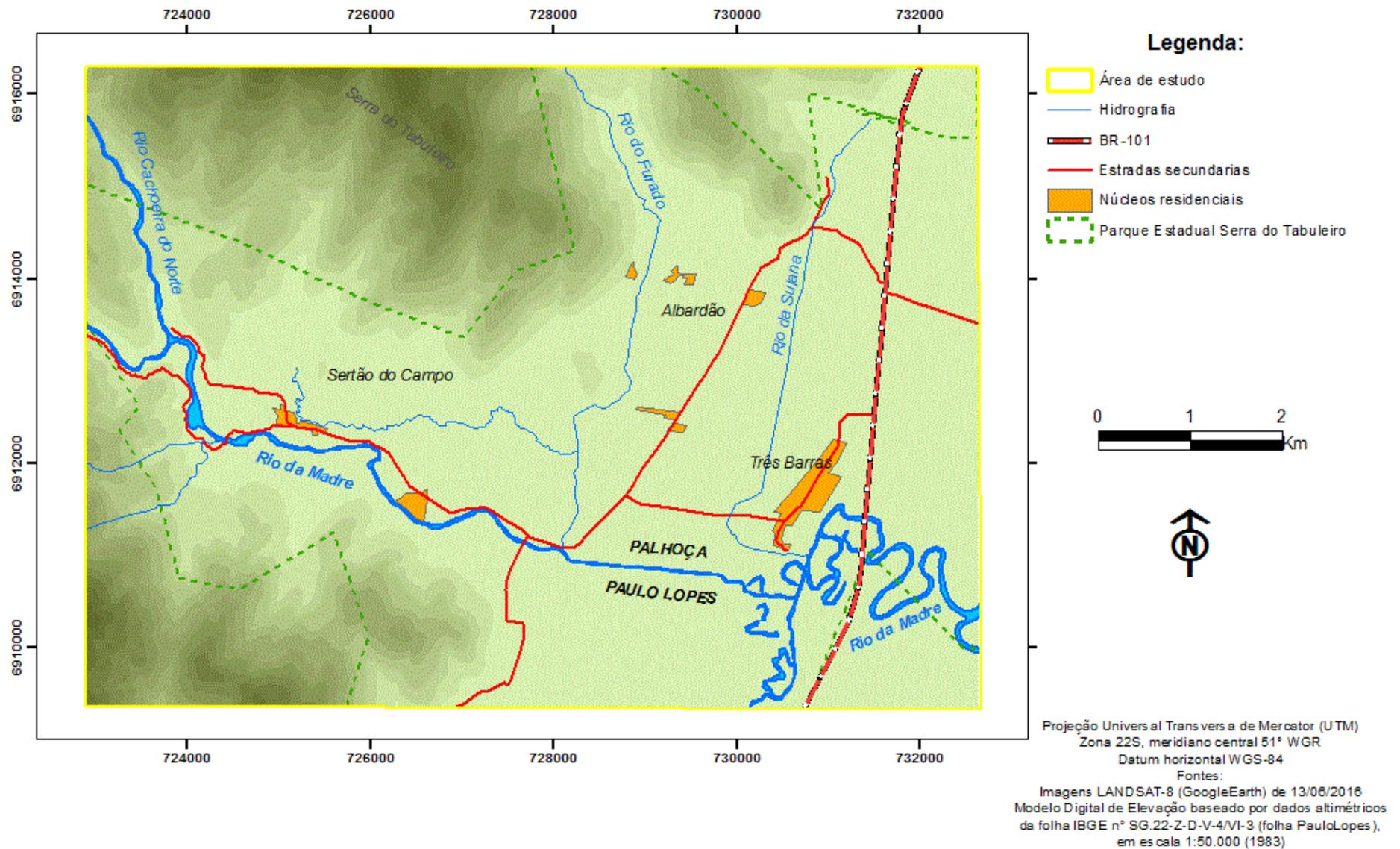
A Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela de Zanini *et al.* (1997) abrangeu os granitóides porfiríticos designados de Granito Itacorubi e também os derrames e tufos riolíticos denominados de Riolito Cambirela, com idades de aproximadamente 507 milhões de anos. A esta mesma unidade estariam relacionados diques e corpos filoneanos de origem vulcânica, ocorrendo tanto na ilha de Santa Catarina quanto nas margens da serra do Tabuleiro. Bitencourt *et al.* (2008) enquadraram as rochas efusivas da Suíte Plutono-Vulcânica Cambirela dentro da unidade definida como Suíte Cambirela. Nesta unidade estariam agrupadas as rochas hipoabissais representadas por diques de riolito, e também por rochas plutônicas a sub plutônicas representadas pelo Granito Ilha, Granito Itacorubi e Riolito Cambirela.

Figura 02: Mapa de localização regional da Bacia do Rio da Madre e da área de estudo.



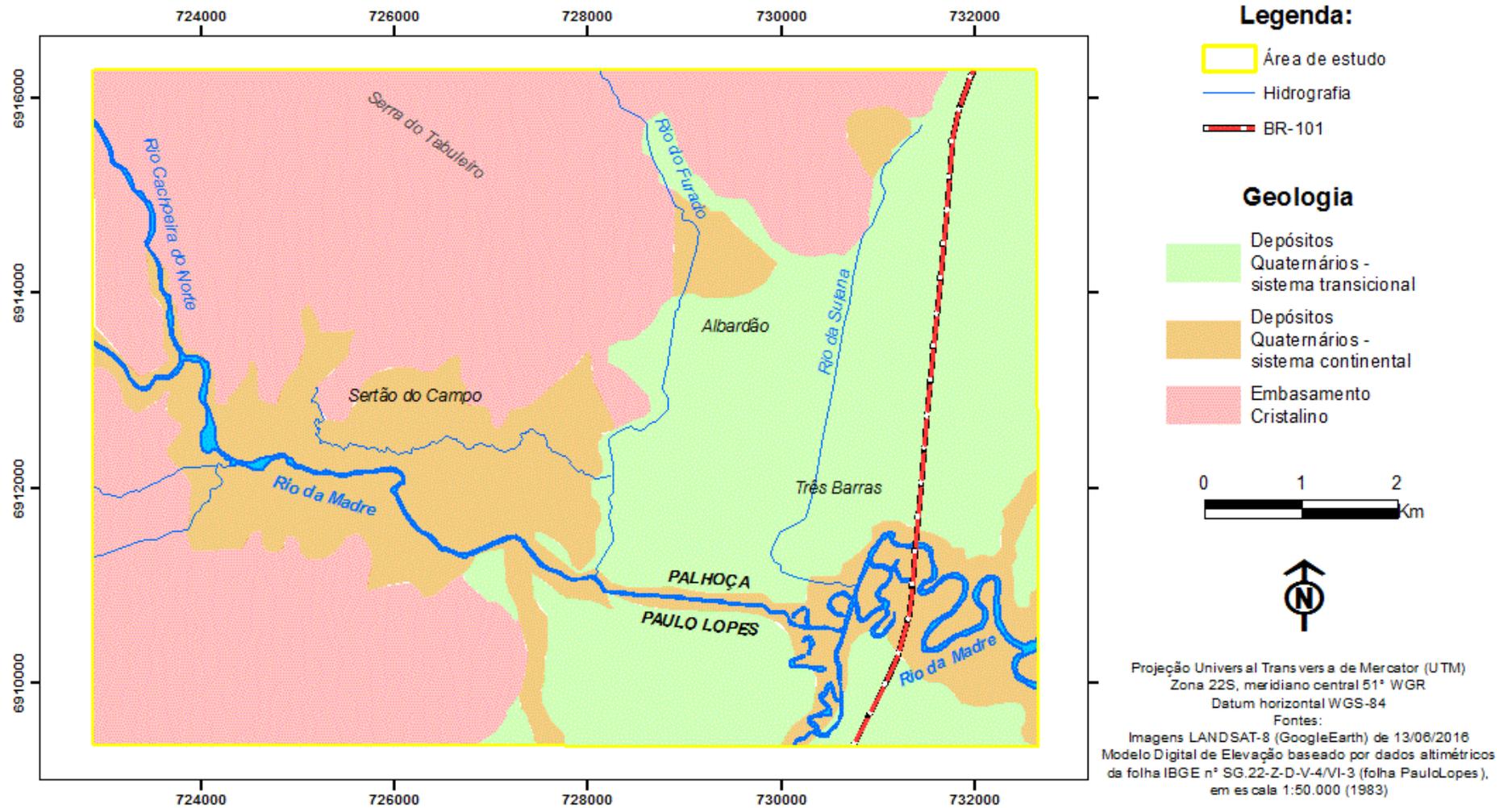
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 03: Mapa de detalhe da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

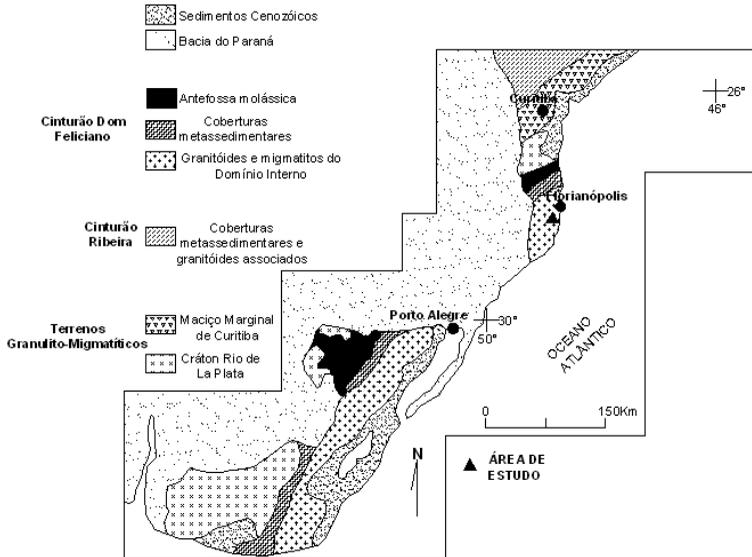
**Figura 04:** Geologia simplificada da área de estudo.



**Fonte:** Elaborado pelo autor, com base em dados apresentados por Caruso Jr (1995) e Horn Filho *et al* (2014).



**Figura 05:** Compartimentação tectônica da porção meridional da Província Mantiqueira.



**Fonte:** Adaptado de Basei (1985).

Segundo Milani (1997), durante as fases finais de preenchimento da Bacia do Paraná, na transição Juro-Cretácica, ocorreu o magmatismo Serra Geral, capeando as camadas sedimentares com derrames predominantemente basálticos de até 1.700m de espessura, sendo o auge do magmatismo observado entre 137 e 127 Ma AP. Este evento extrusivo seria gerado a partir de fases distensionais da crosta relacionadas ao ciclo geotectônico que culminou com a separação dos continentes Sul Americano e Africano e conseqüente formação do Oceano Atlântico Sul. Neste contexto, a tectônica atuante à época seria responsável pela geração de uma intrincada rede de falhamentos e diques cortando toda a seção sedimentar da Bacia do Paraná e

Embasamento Cristalino, ocorrendo também reativação localizada de falhamentos mais antigos.

A partir do Cenozóico (aproximadamente 65 Ma AP), relativa estabilidade magmática e tectônica permitiu a intensificação da atuação de fenômenos erosivos e deposicionais ao longo das margens continentais emersas, permitindo assim a formação de grande variedade de depósitos sedimentares. Na área de estudo, inserida na Província Costeira de Santa Catarina (HORN FILHO, 2003), observa-se, além do Embasamento Cristalino, a presença dos sedimentos relacionados à porção emersa da Bacia de Santos (planície costeira), sendo esta formada por depósitos clásticos de origem continental, transicional e marinha, associados às transgressões e regressões ocorridas desde o Cretáceo Inferior ao Quaternário (HORN FILHO, 2014).

Os Depósitos Quaternários, no contexto da área de estudo, são associados a sistemas deposicionais variando do continental (formados por sedimentos provindos de unidades do embasamento) ao transicional, formados essencialmente por eventos de oscilação do nível relativo do mar durante o Pleistoceno e Holoceno. No Estado de Santa Catarina, Duarte (1995) e Krebs (2004) relacionam a sedimentação do sistema deposicional continental a eventos decorrentes de chuvas concentradas ao longo das encostas das maiores elevações (notadamente na Serra Geral) durante o Pleistoceno até os dias atuais, formando extensos leques aluviais e aluviões atuais. No contexto do sistema deposicional transicional, Caruso Jr. (1995) e Duarte (1995) individualizaram a planície costeira da porção sudeste de Santa Catarina em sistemas do tipo laguna-barreira, com base nos depósitos formados pelos ciclos de sedimentação decorrentes dos eventos transgressivos e regressivos durante o Pleistoceno e Holoceno, abrangendo unidades relacionadas a ambientes marinhos, eólicos, lagunares e paludiais, de forma análoga à descrita por Villwok *et al.* (1986) no Rio Grande do Sul.

Horn Filho *et al.* (2014) também identificam depósitos relacionados ao sistema antropogênico, representados por sambaquis e depósitos tecnogênicos (aterros).

### 3.3 GEOMORFOLOGIA

No contexto da área de estudo, e abrangendo a porção centro-leste catarinense, Mendonça (1991) compartimenta as formas de relevo dominantes em Serra do Tabuleiro e Planície Costeira. Santa Catarina (2010) utiliza divisão semelhante, definindo dois grandes domínios geomorfológicos (Terras Altas e Terras Baixas), e mais cinco compartimentos geomorfológicos (embasamento cristalino, aluvial, lagunar, eólico e praias).

As porções mais elevadas do relevo local, sustentadas por rochas ígneas e metamórficas associadas ao Embasamento Cristalino, e com idades que variam do Proterozoico Superior ao Cretáceo, associam-se a paisagens com vales profundos e encostas íngremes e sulcadas, separadas por cristas bem marcadas, e com elevações associadas às áreas de aplainamento que apresentam altitudes variando de 800 a 1.000m (MENDONÇA, 1991). As maiores altitudes são observadas ao longo da porção centro – norte da Serra do Tabuleiro, com picos alcançando até 1.200m. Em direção leste as elevações diminuem, adentrando na planície costeira na forma de morros isolados ou pontões rochosos. Na área de estudo, a paisagem associada ao Embasamento Cristalino apresenta elevações de até 640 metros de altitude, com vertentes íngremes que mergulham em direção ao vale do Rio da Madre, localmente suavizadas pela presença de depósitos coluviais (Figura 06). No Embasamento Cristalino predominam os modelados de dissecação, controlados principalmente pela ocorrência de fenômenos erosivos como enxurradas, deslizamentos e movimentos de massa, notadamente ao longo das encostas mais

**Figura 06:** Imagem de satélite LANDSAT-8 de 13/06/2016 (com aumento de 3x da escala vertical) da área de estudo (polígono retangular) e respectiva geomorfologia. Visada da imagem de sudoeste para nordeste.



**Fonte:** GoogleEarth (2016).

íngremes (SANTA CATARINA, 2010), formando vales fechados e bem encaixados, e com ocorrência de vertentes variando de 24° a 37° de declividade.

Como unidade geomorfológica Planície Costeira, Mendonça (1991) define as baixadas com relevo diretamente contrastante ao das serras litorâneas (Serra do Tabuleiro), indicando os diferentes processos erosivos e deposicionais formadores de ambas. Nesta unidade, os componentes geológicos fundamentais são representados pelos sedimentos resultantes das dinâmicas fluviais e litorâneas, sendo de grande importância genética as variações relativas do nível do mar durante o Quaternário. No domínio geomorfológico das Terras Baixas, Santa Catarina (2010) abrange as unidades litoestratigráficas dos sistemas deposicionais continental e litorâneo, representados predominantemente por modelados de acumulação e com relevo gerado por deposição em ambientes colúvio-aluvionar, lagunar, marinho e eólico. Na área de estudo, o domínio geomorfológico das Terras Baixas abrange a Bacia do Rio da Madre desde suas

porções mais elevadas até as cercanias da BR-101, incluindo todo o relevo mais suavizado e com cotas altimétricas de até 15m. O próprio vale do Rio da Madre é formado por baixada com direção alongada no sentido WNW/ESE, associado a lineamentos estruturais que adentram nos limites do Embasamento Cristalino.

### 3.4 HIDROGRAFIA

A área abrange parcialmente a Bacia do Rio da Madre, cuja rede hidrográfica é formada por drenagens da vertente atlântica das encostas da Serra do Tabuleiro. Segundo Santa Catarina (2014), a Bacia do Rio da Madre faz parte da Região Hidrográfica Litoral Centro Catarinense, sendo esta a região com maior densidade demográfica do Estado, e consequentemente uma das que apresenta grandes problemas relacionados à qualidade de suas águas.

O Rio da Madre é formado pela confluência dos rios Cachoeira do Norte e Cachoeira do Sul, delimitando os municípios de Palhoça, a norte, e Paulo Lopes, ao sul, percorrendo um total de aproximadamente 21,8 quilômetros até desaguar no Oceano Atlântico, na localidade da Guarda do Embaú. Ao longo do seu trajeto ocorrem padrões variados de canal, sendo que a montante se observam padrões essencialmente entrelaçados, localmente com curtos trechos com canais retilíneos, sendo comum a presença de ilhas fluviais parcialmente vegetadas. A partir da cota de cinco metros o padrão dominante é o meandrante, uma vez observada a presença de relevo essencialmente plano, com presença de lagoas formadas por meandros abandonados. Observa-se também a retificação do trecho do Rio da Madre entre as localidades de Sertão do Campo e Três Barras, direcionada à implantação de canchas de rizicultura.

As drenagens pertencentes à Bacia do Rio da Madre apresentam padrões dendríticos a pinados, localmente com algumas drenagens retilinizadas apresentando padrões paralelos e retangulares, geralmente acompanhando lineamentos estruturais das rochas do Embasamento Cristalino em direções NE e NW (tropa bidirecional). A maioria das drenagens que ocorrem no âmbito das rochas cristalinas são de primeira ordem (STRAHLER, 1952 apud BRASIL, 2009), sendo que as drenagens que correm ao longo da planície costeira geralmente são de segunda ou terceira ordem (com exceção do Rio da Madre, sendo este hierarquizado como de quarta ordem).

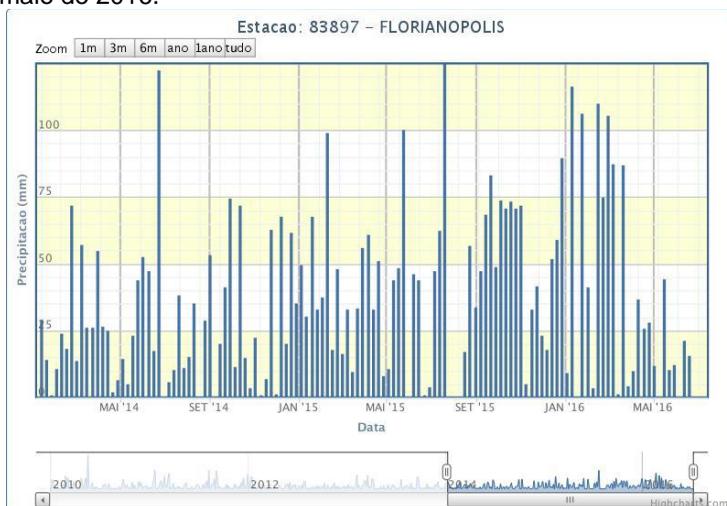
### 3.5 CLIMA

Na área de estudo, a circulação atmosférica é controlada pela ocorrência predominante de massa de ar quente e úmida, denominada de Massa Tropical Atlântica, com influências da Massa Polar Atlântica (SANTA CATARINA, 2010). A primeira é responsável pela ocorrência de ventos provindos do quadrante norte/nordeste, ocorrendo nos meses de primavera e verão. Já a Massa Polar Atlântica é responsável pela ocorrência predominante dos ventos sul/sudeste, associada a chuvas em sistema frontal/pré-frontal com diminuição de temperaturas.

A temperatura do mês mais quente é superior a 22°C; já no mês mais frio, varia entre 18 e -2°C (MENDONÇA, 1991), sendo o clima local classificado como subtropical mesotérmico úmido. As chuvas em geral são bem distribuídas, não sendo observadas estações secas, sendo que em qualquer estação são comuns as passagens de frentes frias que propiciam bruscas mudanças (SANTA CATARINA, 2010).

Segundo dados da estação meteorológica de Florianópolis (BRASIL, 2016b), as maiores precipitações ao longo dos anos de 2014 a 2016 ocorreram nos meses de janeiro, fevereiro, maio, junho e julho (Figura 07), sendo que as precipitações nos meses de inverno foram responsáveis pelas maiores acumulações, variando de 123 a 164 mm (leituras diárias de 23/06/2014 e 20/07/2015).

**Figura 07:** Dados de precipitação da Estação Meteorológica de Florianópolis no período de janeiro de 2014 a maio de 2016.



**Fonte:** BRASIL (2016b).

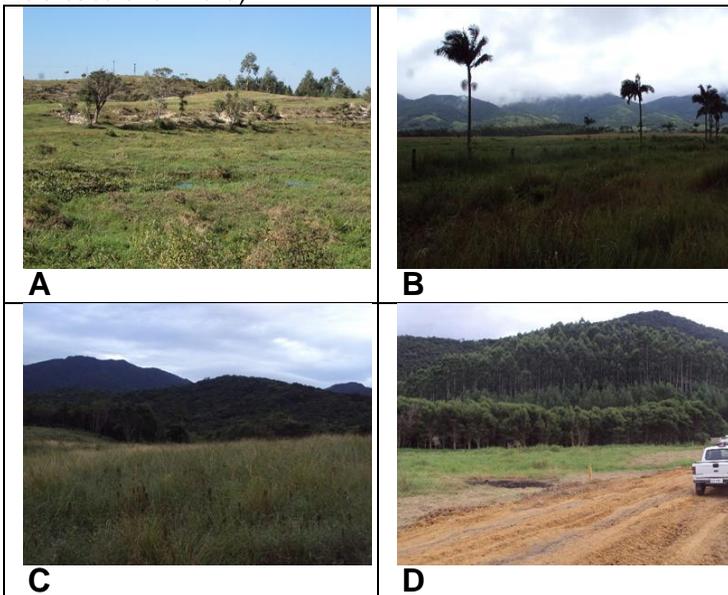
### 3.6 VEGETAÇÃO

Segundo os dados indicados em Santa Catarina (2010), assim como por Mendonça (1991), a área de estudo é parte integrante da região fitoecológica denominada Floresta Ombrófila Densa, atualmente já bastante descaracterizada por intervenções antrópicas.

Nas áreas adjacentes ocorrem também as denominadas Formações Pioneiras, representadas pelas vegetações de dunas e de restingas (Figura 08).

Os remanescentes da Floresta Ombrófila Densa são observados, na área de estudo, principalmente ao longo das encostas de maior declividade, sendo formadas por espécies arbóreas de grande porte. Estas formações

**Figura 08:** Formações florestais observadas na área de estudo. A: vegetação arbustiva recobrendo dunas fixas. B: pastagens desenvolvidas em antigos núcleos de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas. C: em primeiro plano, pastagens, e em segundo plano, remanescentes de Floresta Ombrófila Densa, incorporadas aos limites do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro. D: Espécies exóticas (*eucalyptus* e *melaleuca alternifolia*).



Fonte: Do autor, em 10/06/2015 e 16/03/2016.

são devidamente protegidas pelos limites do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro que abrange as porções norte-noroeste e sudoeste da área de estudo, assim como suas adjacências. Atualmente, a cobertura vegetal original da Floresta Ombrófila Densa já se encontra muito descaracterizada, sendo observado o desenvolvimento de formações secundárias, adaptadas às ações antrópicas iniciais. Na porção central da área se observam também pelo menos dois núcleos de formações florestais em estágio inicial (pioneiro) associados à Floresta Ombrófila Densa (SANTA CATARINA, 2010), ocorrendo ao longo de baixadas pouco drenadas associadas à deposição aluvial.

Ao longo da porção leste da área de estudo se observam formações associadas a dunas fixas e de restinga, ocorrendo nos locais com relevo mais suavizado.

As espécies representativas destas formações são as arbustivas, recobrimdo dunas estabilizadas e cordões litorâneos, indicando total adaptação às condições ambientais locais. Em algumas porções da área também se observam espécies arbóreas de pequeno porte, desenvolvidas em áreas com maior presença de húmus, formando núcleos de florestas higrófilas (MENDONÇA, 1991), principalmente ao longo de baixadas pouco drenadas (como na porção sudeste da área de estudo).

Na porção central da área, principalmente nas localidades de Sertão do Campo e Albardão, se observam áreas com desenvolvimento de cultivos de hortaliças, pastagens e rizicultura, em locais anteriormente abrangidos pelas formações vegetais representativas da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (SANTA CATARINA, 2000). Nestas localidades também são observados cultivos de espécies exóticas como pinus, eucaliptos e melaleucas.

## **4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

No presente capítulo serão apresentados os conceitos teóricos utilizados na presente pesquisa, objetivando a compreensão, de forma conjunta, dos aspectos ambientais e legais que abrangem o tema proposto.

Com o intuito de se atingir os objetivos da dissertação, na primeira parte deste capítulo serão abordados conceitos relativos à análise e formação dos depósitos portadores das jazidas de areia que são observados na área de estudo. Na segunda parte do capítulo será feita abordagem sucinta dos conceitos relacionados à atividade de mineração de areia e sua interação com o ambiente local, através dos impactos decorrentes da atividade. Serão também apresentados os dispositivos legais que regem a temática ambiental referente à mineração de areia nas esferas federal, estadual e municipal, assim como os aspectos legais referentes às áreas de preservação existentes no contexto da área de estudo.

### **4.1 ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA**

Na pesquisa realizada, a definição dos ambientes de sedimentação, assim como a compreensão de suas histórias evolutivas, é de vital importância para o entendimento da abrangência e tipologia dos depósitos sedimentares portadores de jazidas de areia. Desta forma, torna-se essencial a realização de uma análise estratigráfica que indique, de forma clara, a sequência de eventos formadores de tais depósitos, auxiliando também na indicação daqueles que efetivamente poderão ser aproveitados economicamente.

O estudo de ambientes de sedimentação normalmente inicia com a análise e correlação

estratigráfica, de modo a se definir o conteúdo litológico presente, a geometria tridimensional do depósito e também as estruturas sedimentares internas (WALKER; JAMES, 1992). Para tal, comumente são realizadas análises de perfis verticais, ou seções estratigráficas, que indicam a sequência deposicional e respectivos eventos formadores de determinado depósito.

Para a análise de seções estratigráficas, faz-se necessária a individualização e divisão do perfil vertical em diversas unidades, através da utilização de diferentes parâmetros que podem abranger desde aspectos litológicos, passando por tipos de estruturas sedimentares, conteúdo fóssilífero, ambientes de formação ou disposição espacial (orientação) dos componentes sedimentares, dentre outros. Os parâmetros de individualização de tais unidades são direcionados pelos objetivos do levantamento realizado, sendo necessário para tanto a adoção de critérios puramente descritivos. Neste sentido, e de forma a abranger os parâmetros necessários no estudo, tais unidades individualizadas são denominadas de fácies, que conforme definição apontada por Walker e James (1992), são *“corpos de rochas caracterizados por uma combinação particular de litologia e estruturas físicas e biológicas que se diferenciam, nestes aspectos, dos corpos adjacentes”*. Os mesmos autores também apontam que podem ser definidas associações de fácies, através do agrupamento daquelas que ocorrem em determinado tempo e espaço e relacionadas a um ambiente de sedimentação específico (ou elementos arquiteturais), e as sucessões de fácies, representadas por mudanças progressivas em um ou mais parâmetros de análise. Tais elementos podem ainda ser limitados por descontinuidades, na forma de superfícies erosivas ou superfícies de não deposição, que indicam, de forma direta, tanto o tipo como a intensidade dos agentes naturais atuantes à época de formação dos depósitos.

A partir da década de 80, alguns pesquisadores, com destaque para Miall (1985;1996), desenvolveram metodologias direcionadas a um melhor entendimento dos processos formadores dos depósitos sedimentares, notadamente aqueles formados por sedimentação em ambiente aluvial. Desta forma a *análise de elementos arquiteturais* se direciona ao reconhecimento dos padrões de ocorrência de fácies em ambientes específicos, permitindo a visão tridimensional de pacotes rochosos a partir de seções aflorantes com alguma continuidade lateral (ou seções bidimensionais).

A *análise de elementos arquiteturais* de Miall (1985) define que os processos deposicionais que direcionam o desenvolvimento de fácies fluviais clásticas obedecem às mesmas leis físicas; conseqüentemente rios formados em condições ambientais similares produzem fácies e superfícies semelhantes. Sob esta ótica, são individualizadas associações de fácies que apontam ambientes deposicionais específicos, sendo possível a definição dos sistemas deposicionais atuantes. Desta forma, Miall (1996) aponta oito elementos arquitetônicos básicos (ou macroformas) que podem ser observados nos ambientes deposicionais aluviais, sendo que cada macroforma é definida pela sucessão de fácies específica (Quadros 01 e 02). Tal metodologia pode ser desenvolvida a partir de modelos de desenvolvimento paleogeográfico, perfis verticais, blocos-diagrama ou pela combinação destes recursos, onde o objetivo primordial é relacionar a sucessão de fácies e os padrões de canais (VIEIRA, 2008).

No entanto, apesar de toda a evolução metodológica no que concerne à identificação de fácies e definição de sistemas deposicionais proporcionada pela análise de elementos arquiteturais (que inicialmente foi desenvolvida para a estratigrafia de corpos rochosos), existem dificuldades para a aplicação do método na análise de depósitos Quaternários, conforme apontado por Mello (1994) e Etchebere (2002).

Os depósitos Quaternários, em especial os de origem aluvial, muitas vezes se apresentam com pequenas

**Quadro 01:** Classificação de litofácies fluviais.

<b>Código de Fácies</b>	<b>Fácies</b>	<b>Interpretação</b>
<b>Gmm</b>	Cascalho maciço, matriz suportado, levemente gradacional	Fluxo de detritos viscoso (plástico)
<b>Gmg</b>	Cascalho maciço matriz suportado, gradação inversa a normal	Fluxo de detritos viscoso (pseudoplástico)
<b>Gci</b>	Cascalho clasto suportado, gradação inversa	Fluxo de detritos rio em clastos
<b>Gcm</b>	Cascalho maciço clasto suportado	Fluxo de detritos turbulento (pseudoplástico)
<b>Gh</b>	Cascalho clasto suportado pouco estratificado; estratos horizontalizados, imbricamento de seixos	Formas de leito longitudinais, depósitos residuais de canal
<b>Gt</b>	Cascalho estratificado; estratificação cruzada acanalada	Preenchimento de canais secundários
<b>Gp</b>	Cascalho estratificado; estratificação cruzada tabular	Formas de leito transversais; dunas 3D
<b>St</b>	Areia fina a muito grossa com cascalho; estratificação cruzada acanalada	Dunas 3D
<b>Sp</b>	Areia fina a muito grossa com cascalho; estratificação cruzada tabular	Dunas 3D
<b>Sr</b>	Areia muito fina a grossa; laminação cruzada tipo <i>ripples</i>	<i>Ripples</i>
<b>Sh</b>	Areia muito fina a grossa podendo ser cascalhenta; laminação horizontal	Fluxo planar crítico
<b>Sl</b>	Areia muito fina a grossa podendo ser cascalhenta; laminação de baixo ângulo	Preenchimento de escavações ( <i>scour</i> ); antidunas

<b>Código de Fácies</b>	<b>Fácies</b>	<b>Interpretação</b>
<b>Ss</b>	Areia fina a muito grossa podendo ser cascalhenta; escavações ( <i>scour</i> ) largas e rasas	Preenchimento de escavações
<b>Sm</b>	Areia fina a grossa, maciça ou levemente laminada	Depósitos de gravidade
<b>Fl</b>	Areia, silte, argila, laminação fina, <i>ripples</i> muito pequenas	Depósitos de transbordo, canais abandonados ou de fluxo decrescente ( <i>waning floods</i> )
<b>Fsm</b>	Silte, argila; maciço	Depósitos de canais abandonados ou planícies de inundação
<b>Fm</b>	Argila, silte; maciço, gretas de dessecação	Canais abandonados ou depósitos de cobertura
<b>Fr</b>	Argila, silte; maciço, raízes, bioturbações	Solos
<b>C</b>	Carvão; argilas orgânicas; plantas, filmes de argila	Depósitos de brejo
<b>P</b>	Calcretes; feições pedogenéticas; nódulos	Solos com precipitação química

**Fonte:** Miall (1996).

espessuras, formando conjuntos de ocorrências com ampla distribuição em área, mas com unidades de pequena extensão individual (ETCHEBEHERE, 2002). Desta forma podem também ser observados estratos mais jovens ocupando posição topográfica inferior em relação aos outros depósitos mais antigos. Mello (1994) também aponta que as abordagens tradicionalmente utilizadas no estudo de sequências sedimentares antigas não resultam na identificação de marcadores estratigráficos e temporais significativos, quando aplicadas a depósitos Quaternários, uma vez que estes são marcados por frequentes recorrências e similaridade de fácies.

**Quadro 02:** Elementos arquitetônicos e respectiva caracterização litofaciológica

<b>Elemento</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Litofácies</b>	<b>Geometria e relações</b>
Canal	<b>CH</b>	Qualquer combinação	Dígito, lente ou camada tabular; base erosiva côncava para cima; escala a forma altamente variável; são comuns superfícies de erosão secundárias, côncavas para cima
Barras e formas de leito cascalhosas	<b>GB</b>	Gm, Gp, Gt	Lente, recobrimento; geralmente corpos tabulares; comumente interacamados com elemento SB
Formas de leito arenosas	<b>SB</b>	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Lente, camada tabular, recobrimento, cunha; ocorre como preenchimento de canais, rompimento de diques marginais, pequenas barras
Acreção lateral	<b>LA</b>	St, Sp, Sh, Sl, Ss; menos comumente Gm, Gt, Gp	Cunha, recobrimento, lobo, caracterizado por superfícies internas de acreção lateral

<b>Elemento</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Litofácies</b>	<b>Geometria e relações</b>
Sedimentos de fluxos gravitacionais	<b>SG</b>	Gmm, Gmg, Gci, Gcm	Lobo, recobrimento, tipicamente intercamado com elemento GB
Camadas tabulares de areias laminadas	<b>LS</b>	Sh, Sl, secundariamente Sp, Sr	Recobrimento mantiforme
Depósitos finos de planície de inundação	<b>FF</b>	Fm, Fl	Mantiformes, finos a espessos, comumente intercamado com elemento SB

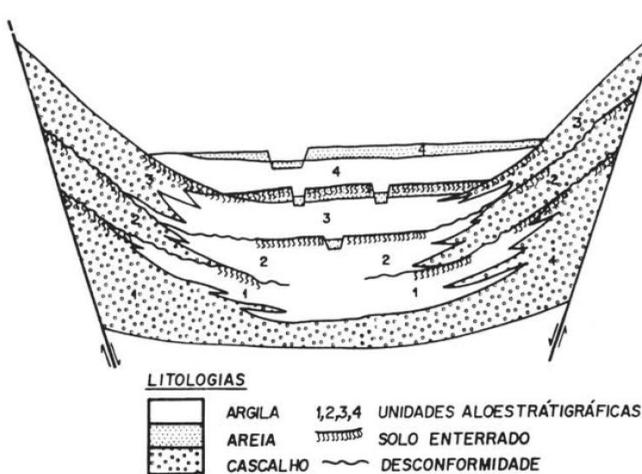
**Fonte:** Miall (1985) e Miall (1996).

Para a distinção adequada dos depósitos Quaternários, e considerando toda a problemática envolvida, em 1983 foi introduzido no Código Estratigráfico Norte Americano a categoria de unidade aloestratigráfica (NACSN, 1983 apud ETCHEBEHERE, 2002), onde a individualização dos depósitos considera aspectos morfológicos reconhecíveis em campo.

De acordo com o referido código, uma unidade aloestratigráfica corresponde a um corpo sedimentar estratiforme, mapeável, definido e identificado com base em suas descontinuidades limitantes, podendo englobar depósitos de litologias similares ou heterogêneas, contíguos ou descontínuos geograficamente (Figura 09). No Código de Nomenclatura Estratigráfica Brasileiro são reconhecidas quatro classes de unidades estratigráficas (litoestratigráfica, bioestratigráfica, cronoestratigráfica e cronogeológica); no entanto o mesmo documento também define que um código deve ser entendido como um conjunto de regras e medidas recomendáveis “a ser testado na prática e sujeito a eventuais modificações

*ditadas pelos desenvolvimentos futuros*". Pontelli (1998) também sugere a abordagem morfoestratigráfica e pedogenética para a análise dos depósitos Cenozóicos recentes, uma vez observadas as dificuldades na individualização de depósitos sedimentares correntemente afetados pelos processos de erosão e deposição observados ao longo do Quaternário.

**Figura 09:** Esquema ilustrativo demonstrando a utilização da perspectiva aloestratigráfica e da relação aloestratigrafia-litoestratigrafia: quatro unidades aloestratigráficas superpostas definidas por descontinuidades lateralmente traçáveis (desconformidades e paleossolos), reunindo duas classes litológicas principais (uma ou duas unidades litoestratigráficas).



**Fonte:** Mello 1994, modificado de NASCN (1983).

## 4.2 A GEOLOGIA DO QUATERNÁRIO NO CONTEXTO DA ÁREA DE ESTUDO

Mapeamentos geológicos anteriores abrangendo a Planície Costeira central catarinense (MARTIN *et al.*, 1988; CARUSO Jr, 1995; ZANINI *et al.*, 1997) já apontavam a ocorrência de importantes jazidas de areia (tanto para uso na construção civil quanto destinadas à indústria de transformação) localizadas nas sequências sedimentares do Cenozóico do Estado. Nestes trabalhos, não se observa a definição de unidades litoestratigráficas formais associadas aos sedimentos, sendo os mesmos associados a depósitos de cada sistema deposicional formador. A definição litoestratigráfica de unidades sedimentares formais associadas ao Quaternário impõe uma série de dificuldades, uma vez observada grande diversidade litológica das unidades, baixo conteúdo fossilífero dos sedimentos, escassez de dados em sub-superfície, assim como pela ampla distribuição de depósitos semelhantes (HORN FILHO *et al.*, 2014).

A individualização dos depósitos Quaternários tem sido feita através da análise de fácies sedimentares e definição de seus respectivos sistemas deposicionais, uma vez considerada também a abordagem cronoestratigráfica necessária aos mapeamentos destes depósitos. Desta forma, os trabalhos de mapeamento dos depósitos Quaternários de Santa Catarina, sob o enfoque cronoestratigráfico, têm sido pautados principalmente pelos resultados apresentados por Villwock *et al.* (1986) e posteriormente Villwock e Tomazzelli (1995), que se utilizaram da análise das fácies sedimentares e respectiva correlação de sistemas deposicionais para a definição da sequência evolutiva do litoral do Rio Grande do Sul. Caruso Jr. (1995) e Duarte (1995) adotando a mesma metodologia, identificam depósitos correlatos no litoral de Santa Catarina, sendo então individualizados sistemas deposicionais associados à sedimentação continental

(representados pelo sistema leque aluvial), e também por sistemas associados à sedimentação decorrente das variações do nível relativo do mar ao longo do Pleistoceno e Holoceno, sendo representados pelos sistemas laguna-barreiras.

Em trabalhos mais recentes (SANTA CATARINA, 2010; HORN FILHO *et al.*, 2014), os depósitos Quaternários relacionados à área de estudo são individualizados em sistema continental (com depósitos coluviais, de leques aluviais e aluviões), sistema transicional (com depósitos do tipo laguna-barreira, abrangendo depósitos marinhos, lagunares, eólicos e paludiais) e também sistema antropogênico, considerando os diversos tipos de depósitos resultantes da ação humana no ambiente geológico (depósitos tipo sambaqui e depósitos tecnogênicos).

#### **4.2.1 Sistema Depositional Continental**

Como depósitos de origem continental, Martin *et al.* (1988) associam os depósitos de coluviões de pé de relevo, formados por sedimentos mal selecionados depositados ao longo do Quaternário. Posteriormente Villwock e Tomazzelli (1995) indicaram como pertencentes ao sistema continental os depósitos de leques aluviais de idades Pliocênicas a Holocênicas e também os aluviões holocênicos, de forma similar a Caruso Jr (1995). Duarte (1995) associa à deposição em ambiente continental os depósitos de leques aluviais e aluviões, apontando para os primeiros idades Pleistocênicas (anteriores a 123Ka AP). Zanini *et al.* (1997) associam aos depósitos continentais os leques aluviais e sedimentos de origem fluvial holocênicos com exceção dos depósitos na forma de terraços, que teriam idades Pleistocênicas. Horn Filho *et al.* (2014) apontam como sistema deposicional continental os depósitos coluviais, de leques aluviais e aluviões recentes,

formados no Quaternário indiferenciado, ao longo do setor ocidental da Planície Costeira.

#### 4.2.1.1 Depósitos coluviais

Como depósitos coluviais, Bigarella, Becker e Passos (2009) definem “os depósitos onde predominam os movimentos de massa, que recobrem as seções médias e inferiores das vertentes, aumentando a sua espessura quando diminuem os declives, entrando em contato com o alúvio.” Os depósitos coluviais são observados ao longo das encostas das elevações, geralmente associados a movimentações do maciço decorrentes do intemperismo atuante, sendo reflexo direto da composição do manto de alteração da rocha fonte. O transporte ao longo da encosta é efeito essencialmente por gravidade, sendo formados depósitos com formas associadas a rampas e tálus, dispostos ao longo das cabeceiras das drenagens locais associadas a feições morfológicas de anfiteatros (MOURA; PEIXOTO; SILVA, 1991). Os colúvios são compostos predominantemente por frações argilosas a arenosas mal selecionadas associadas a macroclastos derivados das rochas fontes (HORN FILHO *et al.*, 2014), que na área de estudo são associadas a granitos e riolitos. Em trabalhos anteriores não são indicadas ocorrências de jazidas de areias relacionadas aos depósitos de colúvio no contexto da área de estudo.

#### 4.2.1.2 Leques aluviais

Como leque aluvial, Boggs (1995) aponta os depósitos com formas aproximadamente semi-cônicas, exibindo perfil transversal convexo, que ocorrem na base de cadeias montanhosas, formados por sedimentos essencialmente mal classificados onde a fração cascalhosa

é dominante. As condições climáticas e a atividade tectônica seriam os principais elementos controladores da ocorrência de leques aluviais, sendo que alguns autores ainda apontam fatores influentes como dimensões da bacia de drenagem, litologia, cobertura vegetal, declividade do canal e descargas de água e sedimento, conforme sumarizado por Pontelli (1998). Neste contexto, em condições climáticas áridas ou semiáridas a formação dos leques seria favorecida, dada a ausência de vegetação e maior incidência de transporte sedimentar ao longo das encostas através de chuvas esporádicas, sendo que em condições de clima úmido a dissecação dos depósitos seria predominante, uma vez observadas condições de maior entalhamento dos canais pelas vazões mais constantes (BLISSENBACH, 1954; BULL, 1968 apud PONTELLI, 1998). Duarte (1995) ressalta ainda, que leques aluviais são feições de um sistema duplo erosivo e deposicional, dadas as condições de variação dos processos climáticos atuantes no ambiente ao longo do tempo, assim como pelas variações da dinâmica aluvial ao longo do perfil longitudinal do leque.

A sedimentação nos leques aluviais é essencialmente associada a eventos de fluxos de correntes canalizados ou não canalizados (com formação de depósitos associados a fluxos e transbordamento de canais, inundações em lençol ou depósitos de peneiramento), e/ou a eventos associados a fluxos de detritos (depósitos de *debris flow*), conforme apontado por Boggs (1995). Neste aspecto, fica evidente a grande variação de fácies relacionada à deposição em ambientes de leque aluvial, sendo que a definição deste ambiente deposicional fica diretamente atrelada à associação entre processos deposicionais e carga de sedimentos do fluxo (PONTELLI, 1998). Tais características também apontam para a alta suscetibilidade a inundações repentinas dos locais formados por depósitos de leques aluviais,

inviabilizando e limitando a ocupação humana ao longo destes locais (PONTELLI; PAISANI, 2005).

No Estado de Santa Catarina, os depósitos de leques aluviais do Quaternário possuem ampla distribuição e abrangência, uma vez observadas as características do relevo regional, geralmente associadas à ocorrência de escarpas, montanhas e vertentes limitadas por planícies e baixadas. Na região sul do Estado, Duarte (1995) analisou os extensos depósitos de leques aluviais da Planície Costeira adjacente às encostas da Serra Geral com base na caracterização dos aspectos morfológicos e sedimentológicos. Krebs (2004) estuda os leques aluviais da mesma região objetivando a definição de potencialidades aquíferas destes depósitos, apontando como principais processos deposicionais atuantes os fluxos torrenciais canalizados e não canalizados, as correntes normais e os fluxos de detritos, que estariam atuando desde o Plioceno até atualmente, inclusive com contribuição de eventos neotectônicos atuantes na região. No setor central da Planície Costeira catarinense, Horn Filho *et al.* (2014) incluem os leques aluviais dentro do Quaternário indiferenciado (entre aproximadamente 2Ma AP até os dias atuais).

#### 4.2.1.3 Depósitos aluviais

No Estado de Santa Catarina, a atividade de lavra de areia vem sendo desenvolvida principalmente ao longo dos aluviões de importantes rios, como o Rio Tijucas, Rio Itajaí-Açu, Rio Cubatão do Norte e Rio Cubatão do Sul, sendo que a lavra é realizada tanto ao longo dos canais ativos destas drenagens, como também nos depósitos formados pela atividade fluvial Quaternária.

A dinâmica fluvial atuante ao longo do tempo geológico é responsável pela formação de paisagens típicas, formadas por relevo essencialmente plano,

suscetível a inundações quando da ocorrência de intensas chuvas, e que historicamente já tanto afetou as populações de importantes municípios catarinenses. Ao mesmo tempo, tais fenômenos demonstram a grande competência da atividade fluvial na transformação da paisagem, seja através da ação de processos erosivos como também de eventos deposicionais marcantes, sendo estes últimos os responsáveis pela formação de importantes jazidas de areia para uso na construção civil.

Como depósito aluvial, Horn Filho *et al.* (2014) definem os depósitos resultantes do transporte de sedimentos por meio da energia exercida pelos canais fluviais antigos e/ou atuais depositados nas margens e áreas de transbordo de drenagens ao longo do período Quaternário, de forma indiferenciada. No âmbito da área de estudo, trabalhos de mapeamento anteriores não detalham (sob a ótica da análise estratigráfica) os depósitos de origem fluvial, sendo apenas associados aos depósitos aluviais Quaternários todos os sedimentos inconsolidados de composição cascalhosa a areno argilosa ao longo de várzeas das principais drenagens (MARTIN *et al.*, 1988, CARUSO Jr, 1995, ZANINI *et al.*, 1997). No entanto, Horn Filho *et al.* (2014) caracterizam os depósitos aluviais do setor central da Planície Costeira catarinense através da indicação de relações de contato com depósitos adjacentes, assim como pela definição de fácies associadas a alguns ambientes de sedimentação aluvial (depósitos de barras em pontal e depósitos de planície de inundação).

Para o reconhecimento e entendimento dos sistemas fluviais antigos, Boggs (1995) aponta a necessidade da definição das formas de canal, processos de transporte sedimentar e caracterização dos sedimentos. Suguio (1980) aponta três principais grupos de depósitos fluviais: os depósitos de canal (formados pela dinâmica atuante na margem ativa das drenagens), depósitos marginais (formados nas margens dos canais principais durante

enchentes), e depósitos de planície de inundação (formados pelo extravasamento dos canais principais através de inundações).

#### 4.2.2 Sistema Depositional Transicional

Como sistema deposicional transicional adotou-se a definição dada por Villwock e Tomazzelli (1995), que também embasou os trabalhos de Caruso Jr (1995) e Horn Filho *et al.* (2014). Neste sistema estariam associados os depósitos arenosos, siltsos e argilosos com matéria orgânica, formados em ambientes eólicos, praias, paludiais, lagunares e flúvio lagunares associados aos sistemas deposicionais laguna-barreiras do Pleistoceno e Holoceno. Tais sistemas seriam representativos de processos costeiros relacionados a transgressões e regressões marinhas ocorridas durante o Quaternário, sendo responsáveis pela formação de depósitos dos subsistemas lagunar, barreira e canal de ligação (*inlet*).

Villwock e Tomazzelli (1995) individualizaram quatro sistemas laguna-barreiras (I, II, III e IV) em mapeamento da planície costeira do Estado do Rio Grande do Sul, sendo que em Santa Catarina foram reconhecidos depósitos associados aos sistemas II, III e IV (CARUSO JR, 1995; DUARTE, 1995; HORN FILHO *et al.*, 2014). Na porção central do litoral catarinense, Horn Filho *et al.* (2014) indicam a ocorrência de depósitos associados aos sistemas laguna-barreiras III e IV, de idades Pleistocênica e Holocênica respectivamente, sendo que a individualização dos depósitos de cada período específico (dadas suas semelhanças litológicas), é feita através de diferenças de cotas altimétricas e aspectos texturais.

#### 4.2.2.1 Depósitos Pleistocênicos

Na porção central do litoral catarinense, Caruso Jr (1995) indica a ocorrência de depósitos arenosos de origem Pleistocência formados em ambientes marinho praial e eólico, responsáveis por importantes jazidas de areia, abrangendo parte das localidades de Três Barras, Maciambu e Albardão, no município de Palhoça. Tais depósitos seriam formados essencialmente por areias finas a muito finas, bem selecionadas, com cores variando do bege ao avermelhado, sendo as de origem marinha praial reconhecíveis pela presença de icnofósseis de *Callichirus major*, correlacionáveis ao sistema Laguna Barreira III. Outro fator de diferenciação de ambientes Pleistocênicos seria a presença de matriz siltosa e película ferruginosa de grãos de areia (responsáveis por cores mais avermelhadas e acastanhadas dos sedimentos), associados aos depósitos de ambientes eólicos, na forma de paleo dunas, paleo mantos ou terraços eólicos do Pleistoceno Superior (HORN FILHO *et al.*, 2014), que recobrem as areias de origem marinha praial.

#### 4.2.2.2 Depósitos Holocênicos

Dentre os depósitos de idades Holocênicas do litoral centro sul catarinense, Caruso Jr (1995) associa as fácies da Barreira IV de Villwock e Tomazzelli (1995), formadas por depósitos de origem lagunar, flúvio lagunar, eólicos, marinho praial, flúvio-deltaico-lagunares e paludiais.

No Holoceno catarinense, Horn Filho *et al.* (2014) distinguem os depósitos deste período através da energia hidrodinâmica e aerodinâmica dos ambientes formadores, individualizando depósitos formados em ambiente de baixa energia (lagunar, flúvio-lagunar, deltaico intra-lagunar, de baía, estuarino e paludial) e os de ambiente de alta energia

(marinho praiado, lagunar praiado, estuarino praiado, *chenier*, eólico).

De acordo com os mapeamentos realizados anteriormente (CARUSO JR, 1995; HORN FILHO *et al.*, 2014), no contexto da área de estudo podem ser observados os seguintes depósitos Holocênicos:

#### 4.2.2.2.1 Depósito lagunar

Os depósitos lagunares Holocênicos são formados essencialmente por sedimentos areno argilosos associados a matéria orgânica e com coloração acinzentada, formados em ambiente de baixa energia quando da instalação de lagunas pela subida do nível relativo do mar ao longo da Planície Costeira (CARUSO, JR, 1995). São comuns as ocorrências de conchas de moluscos nestes depósitos, e também as intercalações entre horizontes arenosos, argilosos e turfáceos, demonstrando a dinâmica deposicional variada associada a eventos de retrabalhamento por ondas e erosão (HORN FILHO *et al.*, 2014). No contexto da área de estudo tais depósitos são observados ao longo de baixadas inundáveis, geralmente com cobertura formada por canchas de rizicultura e turfeiras. Em alguns locais os depósitos são reconhecidos pela presença de canais de drenagem que expõem material argilo arenoso cinza associado à presença de biodetritos.

#### 4.2.2.2.2 Depósito flúvio-lagunar

Como depósito flúvio-lagunar, Horn Filho *et al.* (2014) indicam aqueles formados pela acumulação de sedimentos provindos das cabeceiras das drenagens costeiras que posteriormente são retrabalhados pela dinâmica lagunar na forma de ondas, vento ou correntes

litorâneas. Tais depósitos também são associados a drenagens que desaguam em paleo lagunas, onde a dinâmica deposicional é reflexo direto da interação entre padrões fluviais e lagunares. No geral apresentam composição arenosa a argilosa com matéria orgânica, sendo reflexo da intercalação entre processos fluviais e lagunares, de forma sequencial, podendo formar terraços atualmente dissecados e preencher áreas alagadiças.

#### *4.2.2.2.3 Depósito marinho praiial*

Horn Filho *et al.* (2014) definem os depósitos marinho praiiais como os depósitos arenosos existentes na forma de praias atuais e praias pretéritas, sendo estas caracterizadas por cordões litorâneos associados a eventos regressivos recentes. Tanto nos cordões praiiais quanto nas praias atuais ocorre retrabalhamento pelo vento, sendo gerados os depósitos eólicos Holocênicos. No contexto da área de estudo tais depósitos são identificáveis pela presença de cordões associados ao sistema da Praia da Pinheira, onde as cristas e cavas são facilmente observáveis por fotos aéreas. Composicionalmente são formados por areias finas a grossas, com colorações bege esbranquiçada, geralmente associadas a minerais pesados e bioclastos.

#### *4.2.2.2.4 Depósitos eólicos*

Caruso Jr. (1995) associa os depósitos eólicos Holocênicos às fácies da Barreira IV, sendo formados por sistemas de dunas vegetadas (ou fixas) e dunas livres (ou móveis). São depósitos formados por areias quartzosas finas a médias bem selecionadas, com cores bege a esbranquiçadas. Os depósitos eólicos são observados ocorrendo de forma adjacente às praias atuais, também

recobrimo cordões regressivos litorâneos e áreas próximas (HORN FILHO *et al.*, 2014). Na porção central do litoral catarinense as dunas Holocênicas apresentam formas alongadas na direção NE (direção de ventos predominantes), com transporte de sedimentos sobre depósitos lagunares e marinho praias.

#### **4.2.3 Sistema Depositional Antropogênico**

De acordo com Horn Filho *et al.* (2014), depósitos do sistema antropogênico são formados natural ou artificialmente pela ação antrópica, sendo classificados em depósitos tipo sambaqui e depósitos tecnogênicos.

Os sambaquis são formados por acumulações de materiais de origem natural, compostos por biodetritos, artefatos líticos e sedimentos, sendo observados em sítios arqueológicos ao longo de todo litoral do Estado de Santa Catarina. No contexto da área de estudo observa-se o Sambaqui da Pinheira, localizado nas margens da rodovia BR-101.

Os depósitos tecnogênicos são formados por acumulações de origem artificial através de ações humanas e com técnica especializada. São associados a aterros, depósitos de rejeitos minerais, enrocamentos e rodovias. Na área de estudo são representados pelos depósitos ao longo da rodovia BR-101.

### **4.3 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE**

Ao mesmo tempo em que a mineração é de grande importância para o desenvolvimento e manutenção da qualidade de vida da sociedade atual, em muitos casos a atividade é desenvolvida de maneira conflitante com outros setores produtivos, assim como em desacordo com preceitos técnicos e legais reguladores. Durante muito

tempo o setor mineral esteve diretamente associado à degradação ambiental, visto que muitos mineradores, agindo de forma ambiciosa, negligenciavam os aspectos relacionados ao efetivo controle e minimização dos impactos gerados pela extração de recursos minerais. Neste cenário, a falta de fiscalização adequada dos órgãos responsáveis também toma parte no processo de geração de impactos, uma vez que os dispositivos legais e ambientais vigentes não podem ser efetivamente aplicados e impostos aos mineradores.

A mineração é caracterizada por sua natureza extrativa, sendo responsável, na maioria das vezes, pelo aproveitamento econômico de recursos naturais não renováveis, tendendo a inevitavelmente gerar impactos significativos ao meio ambiente. Sob esta ótica, a mineração possui atributos próprios que a diferenciam de outras atividades produtivas, e que merecem, portanto, atenção específica no que tange à caracterização de seus impactos ambientais (BRASIL, 2004). Outro aspecto a ser considerado é a questão da rigidez locacional das jazidas minerais, que muitas vezes restringe as opções de planejamento de lavra em áreas menos suscetíveis à geração de impactos.

Desta forma, fica clara a necessidade de compreensão não somente dos aspectos naturais que controlam a viabilidade do desenvolvimento da mineração nas áreas de jazimentos, mas principalmente da natureza e abrangência dos impactos decorrentes ao ambiente, assim como dos dispositivos legais que regem o tema atualmente.

#### **4.3.1 Os impactos ambientais da mineração de areia**

Na presente dissertação será adotada a definição de Sánchez (2013), que indica como impacto ambiental “*a alteração da qualidade ambiental que resulta da*

*modificação de processos naturais ou sociais provocadas por ações humanas.* ” Nesta dissertação será feita abordagem visando a identificação apenas dos impactos ambientais negativos na área de estudo.

Atualmente, na avaliação de impactos ambientais de empreendimentos potencialmente poluidores (como empreendimentos mineiros), é comum a individualização dos componentes ambientais impactados (meios físico, biótico e antrópico). A grande maioria dos impactos da mineração afeta inicialmente o meio físico, sendo que os impactos aos meios biótico e antrópico geralmente são decorrentes dos primeiros (DIAS, 2001). Os impactos ao meio físico (e de forma menos evidente aos meios biótico e antrópico), na maioria das vezes são perceptíveis e identificáveis de forma direta, uma vez constatadas alterações dos padrões normais de qualidade ambiental após a intervenção humana.

Impactos decorrentes da atividade de mineração de areia são facilmente perceptíveis logo após as primeiras etapas de instalação das minas, podendo ser observados através de simples comparação visual com a situação anterior à atividade. No presente estudo, tais impactos serão denominados de impactos diretos. Os impactos diretos geralmente são os impactos inseridos no contexto da avaliação de impacto ambiental de empreendimentos mineiros, sendo que todas as ações direcionadas a minimizar seus efeitos, assim como no tocante à recuperação de áreas afetadas, são baseadas pelo conhecimento prévio da ocorrência dos mesmos.

No entanto, alguns impactos ambientais podem não ser diretamente observados e identificados no desenvolvimento da lavra, sendo que os mesmos podem ser previstos, dadas as condições ambientais e características próprias de cada área afetada. Tais impactos, uma vez caracterizadas as condições propícias para suas ocorrências, serão aqui denominados como impactos ambientais potenciais. Tal definição encontra

amparo na necessidade de se identificar alguns dos impactos da mineração de areia na área de estudo de forma associada com outras atividades humanas existentes, assim como através da relação de ambas com os aspectos dos meios físico, biótico e antrópico.

Em Estudo de Impacto Ambiental (EIA) realizado para a atividade de mineração na Bacia do Rio Tijucas (SC), Caruso Jr Estudos Ambientais Ltda (2003) observa na mineração de areia em cavas os principais impactos ambientais negativos decorrentes das ações realizadas nas fases de implantação, operação e desativação das minas (Quadro 03). Importante ressaltar que no referido estudo são apontados, além dos impactos diretos, os impactos denominados de *decorrentes*, gerados pela interação (de forma sinérgica) das ações potencialmente impactantes com os componentes ambientais passíveis de serem afetados. Tal aspecto considera a natureza do estudo realizado, que objetiva não somente a avaliação dos impactos ambientais gerados por um único empreendimento, mas sim a caracterização e avaliação dos impactos gerados por todos os empreendimentos mineiros localizados na Bacia do Rio Tijucas.

Conforme aponta Sánchez (2013), é de extrema importância no processo de avaliação de impactos ambientais a definição da real significância dos impactos gerados, uma vez considerados os parâmetros necessários de avaliação para cada tipo de atividade, e sob certas restrições e condicionantes legais aplicáveis. Neste sentido, muitas vezes uma atividade avaliada é responsável pela geração de impactos considerados como insignificantes quando observados de forma individual, associado a apenas um empreendimento em atividade.

No entanto, a ocorrência de forma conjunta de vários impactos semelhantes associados a vários empreendimentos que desenvolvem a mesma atividade em determinado espaço geográfico podem causar sérias alterações na qualidade ambiental e nos processos

**Quadro 03:** Principais impactos ambientais negativos decorrentes das ações realizadas nas fases de implantação, operação e desativação das minas em atividade na Bacia do Rio Tijucas.

	<b>Meio Físico</b>	<b>Meio Biótico</b>	<b>Meio antrópico</b>
Fase de instalação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas;</li> <li>- Erosão;</li> <li>- Alteração da qualidade dos solos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remoção de cobertura vegetal;</li> <li>- Afugentamento da fauna;</li> <li>- Perda de habitats.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprometimento do patrimônio arqueológico.</li> </ul>
Fase de operação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erosão;</li> <li>- Alteração do nível de base de aquíferos;</li> <li>- Alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas;</li> <li>- Poluição sonora;</li> <li>- Geração de poeiras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remoção de cobertura vegetal;</li> <li>- Alteração da estrutura ecológica;</li> <li>- Atropelamento de animais;</li> <li>- Aumento da pressão sobre a fauna aquática.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poluição sonora;</li> <li>- Sobrecarga da malha viária;</li> <li>- Proliferação de vetores;</li> <li>- Alteração da paisagem;</li> <li>- Êxodo da população de entorno.</li> </ul>
Fase de desativação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução da qualidade das águas de aquíferos.</li> </ul>	-	-

**Fonte:** Adaptado de Caruso Jr Estudos Ambientais Ltda (2003).

naturais de forma cumulativa. Neste contexto, Oliveira (2008), após análise dos conceitos utilizados por órgãos ambientais internacionais (que regulamentaram o processo de avaliação de impactos cumulativos), define impacto cumulativo como sendo “as alterações dos sistemas

*ambientais causadas pela interação ou somatória dos efeitos de ações humanas, originadas de uma ou mais atividades, com os efeitos ou impactos de outras ações ocorridas no passado, no presente, ou previsíveis no futuro.”*

Desta forma, nota-se que a consideração destes impactos, no contexto da área de estudo, é de vital importância no que tange ao efetivo conhecimento do modo como a atividade de lavra de areia afeta o ambiente local, ainda mais considerando a existência dos vários empreendimentos que vêm atuando de forma conjunta na Bacia do Rio da Madre ao longo dos últimos anos.

#### **4.3.2 Análise e identificação dos impactos ambientais da mineração**

Atualmente, o principal mecanismo utilizado no Brasil para a identificação e avaliação de impactos ambientais decorrentes da atividade de mineração, assim como das demais atividades potencialmente poluidoras (BRASIL, 1986), é a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA).

Dada a grande variedade de conceitos utilizados nos vários países onde a AIA é regularizada, Sánchez (2013) aponta que, embora apresentem diferentes formulações, tais conceitos diferem pouco em sua essência. Neste contexto são usados termos como procedimentos, instrumentos de política ambiental, processo sistemático, e avaliação de ações propostas. Isto posto, o mesmo autor apresenta definição sintética, porém abrangente, em relação ao tema, utilizada pela *International Association for Impact Assessment – IAIA*: “*avaliação de impacto é o processo de identificar as consequências futuras de uma ação presente ou proposta.*”

Os procedimentos para a realização de AIA foram estabelecidos nos Estados Unidos a partir da década de setenta, objetivando primordialmente servir como um

instrumento de avaliação das consequências futuras das ações humanas sobre o meio ambiente (DIAS, 2001). Sob este aspecto, e incluindo as questões ambientais no tocante às decisões sobre a viabilidade de empreendimentos privados ou obras públicas, a AIA consolidou-se como um processo que abrange a adoção de medidas específicas desde as fases de implantação até a desativação de determinada atividade.

Conforme aponta Dias (2001), a AIA tem por objetivo principal subsidiar as decisões referentes à viabilidade ambiental não somente de projetos, mas também de políticas, leis, planos e programas. Sánchez (1995) também aponta pelo menos outras quatro funções complementares que este instrumento pode desempenhar. A primeira seria relacionada à sua capacidade de fornecer ajuda para tomada de decisões, seja referente à implementação de projetos, ou no estabelecimento de planos e programas estatais. O segundo papel complementar da AIA seria relacionado à sua capacidade de auxílio à concepção de projetos, principalmente através da definição de aspectos técnicos que podem limitar ou alterar o modo de desenvolvimento de uma determinada atividade. A AIA também serve de instrumento de gestão ambiental, servindo, assim, como uma garantia de realização das medidas de proteção ambientais inicialmente propostas no processo, e também para avaliar sua eficiência ao longo do desenvolvimento de determinada atividade. A AIA também desempenha a função de instrumento de negociação social, uma vez observados mecanismos de participação pública que a compõem, podendo assim servir de elemento de integração entre a visão técnica/científica e a visão das populações eventualmente afetadas pela atividade avaliada (DIAS, 2001).

O processo de AIA, independente do país em que é realizado, geralmente é desenvolvido através de três etapas primordiais (SÁNCHEZ, 2013), cada uma delas

agrupando diferentes atividades: (i) etapa inicial, onde se define o tipo de estudo ambiental a que deve ser submetida a proposta de avaliação; (ii) a análise detalhada, que abrange desde a realização do estudo de impacto ambiental, sua análise e tomada de decisão pelo órgão competente, com a devida participação pública; e (iii) a etapa pós-aprovação, sendo incluídas as ações de monitoramento dos impactos e adoção de medidas mitigadoras, no caso de parecer favorável à implementação do projeto.

Durante a etapa inicial, é realizada triagem das ações a serem submetidas à AIA, objetivando incluir no processo apenas as atividades que poderão gerar impactos significativos ao ambiente. A triagem possui a função de definir se é necessário proceder-se a uma AIA, e em caso positivo, determinar o alcance e a profundidade dos estudos necessários (SÁNCHEZ, 2013). Desta forma, a triagem remeterá as propostas de projetos ou ações para um procedimento de licenciamento ambiental simples; para um processo completo de avaliação ambiental; ou para uma reprovação direta, caso seja detectada presença de impeditivos legais incontornáveis (DIAS, 2001).

Caso o projeto de empreendimento proposto seja direcionado à AIA, o órgão ambiental emitirá um termo de referência para nortear os estudos a serem realizados, uma vez consideradas as questões inerentes a cada situação a ser avaliada. É então que se desenvolvem as ações referentes à etapa de análise detalhada, onde é realizado o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e a redação do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). No EIA são realizados os estudos técnicos/científicos de detalhe necessários à definição da viabilidade ambiental da ação proposta, sendo desenvolvidos os trabalhos de diagnóstico ambiental, identificação e avaliação dos impactos, assim como são propostas alternativas frente às condições e características do projeto inicial. O RIMA é o relatório sucinto, de fácil entendimento, com objetivo de indicar de

forma acessível ao público em geral as questões técnicas apontadas no EIA.

Na elaboração do EIA podem ser utilizados diversos métodos para a identificação de impactos, sendo os mais comuns relacionados à elaboração de diagramas de interação, matrizes de correlação, *checklists* e também sobreposição de cartas (SÁNCHEZ, 2013), sendo este último método diretamente associado à utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Tal metodologia invariavelmente deve ser complementada com outras formas de identificação e avaliação (notadamente a obtenção de dados em campo), abrangendo assim aspectos relacionados à interação ou adição entre impactos gerados por uma ou mais atividades humanas. Como vantagem, a utilização de SIG na identificação de impactos ambientais facilita a visualização espacial e geográfica dos fatores ambientais envolvidos, tal como a extensão dos impactos, permitindo fácil comparação de alternativas (CREMONEZ *et al.*, 2014).

#### 4.3.2.1 Limitações da AIA e a Avaliação Ambiental Estratégica

Apesar de possuir um embasamento legal e técnico bem desenvolvido, e com aplicação devidamente regularizada e inserida no contexto ambiental do país, diversos autores apontam limitações e deficiências no processo de AIA.

Souza (2007) aponta que, na maioria dos casos, os EIA's funcionam apenas como meros requisitos burocráticos no processo de licenciamento ambiental, sendo que geralmente os projetos com relatórios apresentados são prontamente aprovados. Para Egler (2001), mesmo quando a AIA é considerada como adequadamente implantada, as principais deficiências decorrentes são associadas ao atraso na aplicação do

processo em relação às etapas de planejamento iniciais dos projetos, dificultando assim a consideração de todas as alternativas possíveis relevantes à implantação dos empreendimentos. Sánchez (2008) aponta que mesmo os melhores EIA's apresentam deficiências em analisar com profundidade alternativas tecnológicas e de localização dos projetos, assim como desconsideram a ocorrência de impactos cumulativos, indiretos ou sinérgicos decorrentes, cuja mitigação requer ação governamental coordenada ou aplicação de novas leis e instituições.

Assim como a desconsideração de variáveis ambientais durante a etapa de planejamento de projetos, o Ministério do Meio Ambiente (2002) aponta que, durante discussões acerca dos processos de licenciamento ambiental de grandes obras públicas e privadas, foram apontadas questões relevantes em termos de consequências ambientais, porém pertinentes a diretrizes políticas de desenvolvimento econômico ou de planejamento setorial. Desta forma, fica claro que atualmente a AIA é direcionada e aplicável a projetos de empreendimentos individuais, e não considera os processos de planejamento e as eventuais decisões políticas ou estratégias que os originam.

Através da constatação das limitações dos EIA's, a partir da década de noventa, países como Holanda e Canadá começaram a desenvolver trabalhos de Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) de forma destacada da AIA, metodologia a qual foi logo expandida para outros países europeus, onde é devidamente institucionalizada e regulamentada por leis (SÁNCHEZ, 2008). Sadler e Verheem (1996, *apud* EGLER, 2008) definem AAE como sendo um *“processo sistemático para avaliar as consequências ambientais de uma política, plano ou programa, de forma a assegurar que elas sejam integralmente incluídas e apropriadamente consideradas no estágio inicial e apropriado do processo de tomada de*

*decisão, juntamente com as considerações de ordem econômica e sociais.*”

De acordo com síntese de casos apresentada por Egler (2001), três tipos principais de ações podem ser submetidos a um processo de AAE: (i) políticas, planos e programas (PPP's) setoriais; (ii) PPP's relacionados com o uso do território, o qual cobre todas as atividades a serem implementadas em uma determinada área e; (iii) políticas ou ações que não necessariamente se implementam por meio de projetos, mas que podem ter impactos ambientais significativos.

Sánchez (2008) também aponta a importância da definição do enfoque da AAE a ser realizada, uma vez que atualmente são observados dois direcionamentos adotados nas avaliações, sendo que o primeiro aponta o entendimento de que a AAE é uma extensão da AIA de projetos, e que, portanto, emprega métodos e procedimentos semelhantes, e do outro lado, de que a AAE seria um exercício de planejamento que expande seus horizontes para incorporar questões relativas à proteção ambiental e ao desenvolvimento sustentável.

Importante também ressaltar o caráter de complementaridade da AAE em relação à AIA, uma vez que, conforme indicado por Nooteboom (2000, *apud* Sánchez, 2008), a AAE não substitui o EIA, mas trata melhor de certos tipos de impactos (cumulativos e sinérgicos), assim como também refina o escopo do EIA (podendo muitas vezes reduzir o tempo e o custo do mesmo), podendo ainda ser aplicada a PPP's que não são seguidas por AIA's de projetos.

No Brasil, apesar de ainda não ser devidamente institucionalizada e regulamentada, a AAE foi abrangida por estudos do Ministério do Meio Ambiente com o intuito de se aplicar a mesma ao Plano Plurianual do governo federal, culminando com a elaboração de uma síntese do conhecimento atual sobre AAE com vistas à sua aplicação no país (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002). No

referido documento são inclusos conceitos fundamentais, síntese do conhecimento técnico, âmbito de aplicação e metodologias para utilização da AAE, objetivando assim o encaminhamento de sugestões sobre as medidas e os procedimentos necessários para sua prática no contexto de alguns setores governamentais.

### 4.3.3 Legislação ambiental aplicável à mineração

No presente item serão abordados os dispositivos legais atuais nas esferas federal, estadual e municipal que abrangem a regularização de empreendimentos de mineração no que se refere à questão ambiental, assim como também aqueles relacionados às áreas de preservação identificáveis no contexto da área de estudo.

#### 4.3.3.1 Legislação Federal

- **Lei 6.938/1981:** institui a Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1981), iniciando um processo de importante evolução da legislação ambiental nacional, uma vez que cria dispositivos de proteção aos recursos naturais, assim como institui a gestão integrada dos recursos naturais.

A Lei nº 6.938/1981 também cria o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo encarregado de assessorar, estudar e propor diretrizes de políticas ambientais, além de normas e padrões de controle ambiental. Na Lei nº 6.938/1981 também se estabelece a criação do SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente), formado pelo conjunto das instituições governamentais responsáveis pela gestão e proteção da qualidade ambiental.

Outro ponto importante a ser considerado na política nacional de meio ambiente, é que esta direciona ações

associadas ao planejamento, dado que institui o zoneamento ambiental e a avaliação de impacto ambiental. Apresenta também dispositivos relacionados à responsabilização por danos ambientais, não somente dos empreendimentos privados como também das ações do Estado.

- **Resolução CONAMA nº 01/1986:** define as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1986), sendo que aponta a atividade de extração e beneficiamento mineral como atividade poluidora passível de licenciamento ambiental. O referido dispositivo institui o licenciamento ambiental estruturado por três licenças (licença prévia, licença de instalação e licença de operação), sendo regularizada através do Decreto nº 99.274/1990 (BRASIL, 1990).

A licença prévia é emitida na fase preliminar de planejamento da atividade, após a apreciação do EIA RIMA respectivo (apesar da possibilidade de exigência de realização de EIA em qualquer uma das fases do licenciamento). A licença de instalação permite a implantação do projeto proposto, sendo definidas as premissas para a próxima fase, sendo que a licença de operação, que autoriza o funcionamento do empreendimento, somente é emitida após o cumprimento das condições de todas as fases anteriores.

No seu artigo 5º estabelece como diretrizes para a realização do EIA:

- I - Contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização de projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto;
- II - Identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade;
- III - Definir os limites da área

geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza;

IV - Considerar os planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade.

Interessante notar que, em relação ao caso dos projetos de empreendimentos minerários, observa-se que a efetiva aplicação do inciso I fica parcialmente prejudicada, devido à questão da rigidez locacional dos jazimentos minerais. DIAS (2001) sugere a realização de estudos de locação atrelados a pesquisas de demanda pelos minérios (apesar dos altos custos para realização dos mesmos, o que poderia limitar ou inviabilizar a decisão sobre uma alternativa viável de localização dos projetos). O segundo inciso também não considera a caracterização dos impactos decorrentes da desativação dos empreendimentos. No entanto, o conteúdo da Lei nº 6.938/1981 estabelece a necessidade de realização de plano de recuperação das áreas degradadas dos empreendimentos minerários de forma concomitante à apresentação do EIA RIMA. No mesmo dispositivo podem também ser observadas as atividades mínimas que devem ser abrangidas pelo EIA.

De acordo com DIAS (2001), a Resolução CONAMA nº 01/1986 restringiu o instrumento de política ambiental formulado pela Lei nº 6.938/1981, uma vez que subordina ao licenciamento ambiental a avaliação de impacto ambiental, excluindo dessa maneira sua aplicação a políticas, planos e programas.

Através da Resolução CONAMA nº 237/1997 (BRASIL, 1997), são estabelecidas novas diretrizes para o processo de licenciamento ambiental, sendo revistos e

readequados os procedimentos da resolução CONAMA nº 01/1986. A Resolução nº 237/1997 também estabelece a obrigatoriedade do licenciamento ambiental para as atividades relacionadas não só à extração mineral, como também as atividades de beneficiamento

- **Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988):** altera a distribuição de competências ambientais entre a União, os Estados e os municípios. A União é responsável pela elaboração das normas gerais; os Estados fixam as normas suplementares (podem suprir a inexistência de norma federal ou complementá-la, quando existir); os municípios podem suplementar as normas federais e estaduais, quando for de interesse local (DIAS, 2001).

No Artigo 186, se observa a determinação da função social da propriedade rural, uma vez atendidos requisitos relacionados ao seu aproveitamento racional e adequado no que se refere ao uso dos recursos naturais e preservação do meio ambiente.

O Capítulo VI é inteiramente dedicado aos aspectos ambientais, sendo apontadas as diretrizes necessárias ao Poder Público para a garantia do direito ao ambiente equilibrado por todos os cidadãos. No mesmo dispositivo é apontada a necessidade de recuperação de áreas degradadas, assim como também é indicada a penalização por crimes ambientais.

- **Lei 9.605/1998:** dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Inova ao permitir a responsabilização penal à pessoa jurídica sem desvinculação com a pessoa física, permitindo desta maneira a condenação de determinada empresa, seus respectivos dirigentes e quaisquer pessoas envolvidas na ação criminosa.

#### 4.3.3.2 Legislação Estadual

- **Lei nº 14.675/2009 (SANTA CATARINA, 2009b):** é o dispositivo legal que institui o Código Estadual do Meio Ambiente, sendo definidas as diretrizes, objetivos e os instrumentos da Política Estadual de Meio Ambiente. No documento são apontados os órgãos executores da Política institucionalizada, sendo incumbida à FATMA a tarefa de licenciar, fiscalizar e elaborar normativas para as atividades com potencial poluidor. No mesmo dispositivo é devidamente instituída a necessidade de realização de avaliação prévia de impactos na forma de EIA, Estudo Ambiental Simplificado (EAS), ou de Relatório Ambiental Prévio (RAP), assim como são estabelecidas as diretrizes para emissão das licenças prévia, de instalação e de operação.

- **Resolução CONSEMA nº 01/2006:** define a listagem revisada de atividades consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental, incluindo a mineração (SANTA CATARINA, 2006). O mesmo dispositivo aponta os procedimentos atualizados para o processo de licenciamento das atividades elencadas, complementando assim o teor da resolução CONSEMA nº 01/2004 (SANTA CATARINA, 2004).

Na Resolução CONSEMA nº 01/2006 são apresentados roteiros técnicos para instrução dos Relatórios Ambientais Prévios e também dos Estudos Ambientais Simplificados, apontando o conteúdo mínimo necessário para sua efetiva consideração, uma vez indicada a possibilidade de não realização de EIA RIMA para determinadas atividades. Neste contexto, é definido que os empreendimentos mineiros com lavra a céu aberto por escavação, com utilização direta do minério na construção civil, com pequenos e médios portes (produção anual estimada entre 12.000 a 80.000 m<sup>3</sup>), deverão estar sujeitos apenas à realização de Estudo Ambiental Simplificado (EAS).

- **Instrução Normativa FATMA nº 07:** neste documento são apontados os procedimentos detalhados para o processo de licenciamento dos empreendimentos minerários. No mesmo documento são incluídas normas para o disciplinamento da atividade, e recomendações para a instalação e operação dos empreendimentos nas bacias hidrográficas onde já foi realizado EIA RIMA específico para a atividade de mineração (Cubatão do Norte, Itajaí-Açu e Itapocu). É incluído também termo de referência para elaboração de Estudo Ambiental Simplificado (EAS), objetivando assim a emissão da Licença Prévia (LP), sendo indicado o conteúdo técnico mínimo a ser abrangido pelos estudos.

O termo de referência aponta a necessidade de realização de estudo para identificação e avaliação de impactos decorrentes da instalação e operação do empreendimento considerando o diagnóstico ambiental local, devendo também ser apontadas as medidas mitigatórias e de monitoramento. Na Instrução Normativa nº 07 é indicado também termo de referência para elaboração e Projeto de Recuperação de área Degradada (PRAD), diretrizes gerais para a atividade de mineração, assim como diretrizes específicas para a mineração de areia em cavas, sendo apontada a metodologia a ser desenvolvida durante a extração mineral. Estabelece, dentre outros aspectos, a necessidade de definição adequada da profundidade das cavas, conformação topográfica, lavra em módulos não superiores em área a 4,0 hectares, assim como ações de recuperação ambiental após o término da lavra.

#### 4.3.3.3 Legislação Municipal

- **Lei Municipal nº 15/1993 (PREFEITURA MUNICIPAL DE PALHOÇA, 1993a):** é o dispositivo que institucionaliza o Plano Diretor do município de Palhoça,

apresentando como objetivos o resguardo e melhoria de qualidade de vida quanto à utilização de recursos naturais, orientação do crescimento urbano evitando ocupação desordenada, organização do desenvolvimento urbano para garantir preservação de aspectos naturais, paisagísticos e culturais, dentre outros.

- **Lei Municipal nº 16/1993 (PREFEITURA MUNICIPAL DE PALHOÇA, 1993b):** regulamenta o zoneamento de uso e ocupação do território do município de Palhoça. No zoneamento proposto, define Área de Exploração Rural (AER – áreas com uso atual ou potencial para produção agrícola, pecuária, florestal ou agro-industrial), e Área de Alteração da Superfície do Solo (AA - áreas sujeitas à alteração devido à prospecção, extração ou deposição de recursos minerais. Atualmente as frentes de lavra localizadas no município de Palhoça, e abrangidas pela área de estudo, estão incluídas na AER (Figura 10).

- **Lei Municipal Complementar nº 29/2010:** é o dispositivo legal que institui o Plano Diretor Participativo do município de Paulo Lopes (PREFEITURA MUNICIPAL DE PAULO LOPES, 2010a). Esta lei define o plano diretor como instrumento básico de uma política de desenvolvimento, ordenamento territorial e expansão urbana, incluindo as diretrizes de cada um dos citados itens.

- **Lei Municipal Complementar nº 31/2010 (PREFEITURA MUNICIPAL DE PAULO LOPES, 2010b):** dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo

municipal de Paulo Lopes. Em seu Artigo 9º, individualiza o macrozoneamento municipal em quatro setores distintos, sendo que partes da área de estudo são abrangidas pela Macrozona de Uso Rural, a área onde se localizam os empreendimentos de mineração de areia atuais e inclusos na Zona de Uso Agropecuário, assim como pela Macrozona de Valorização Ambiental (ao longo das encostas da Serra do Tabuleiro e em parte da várzea

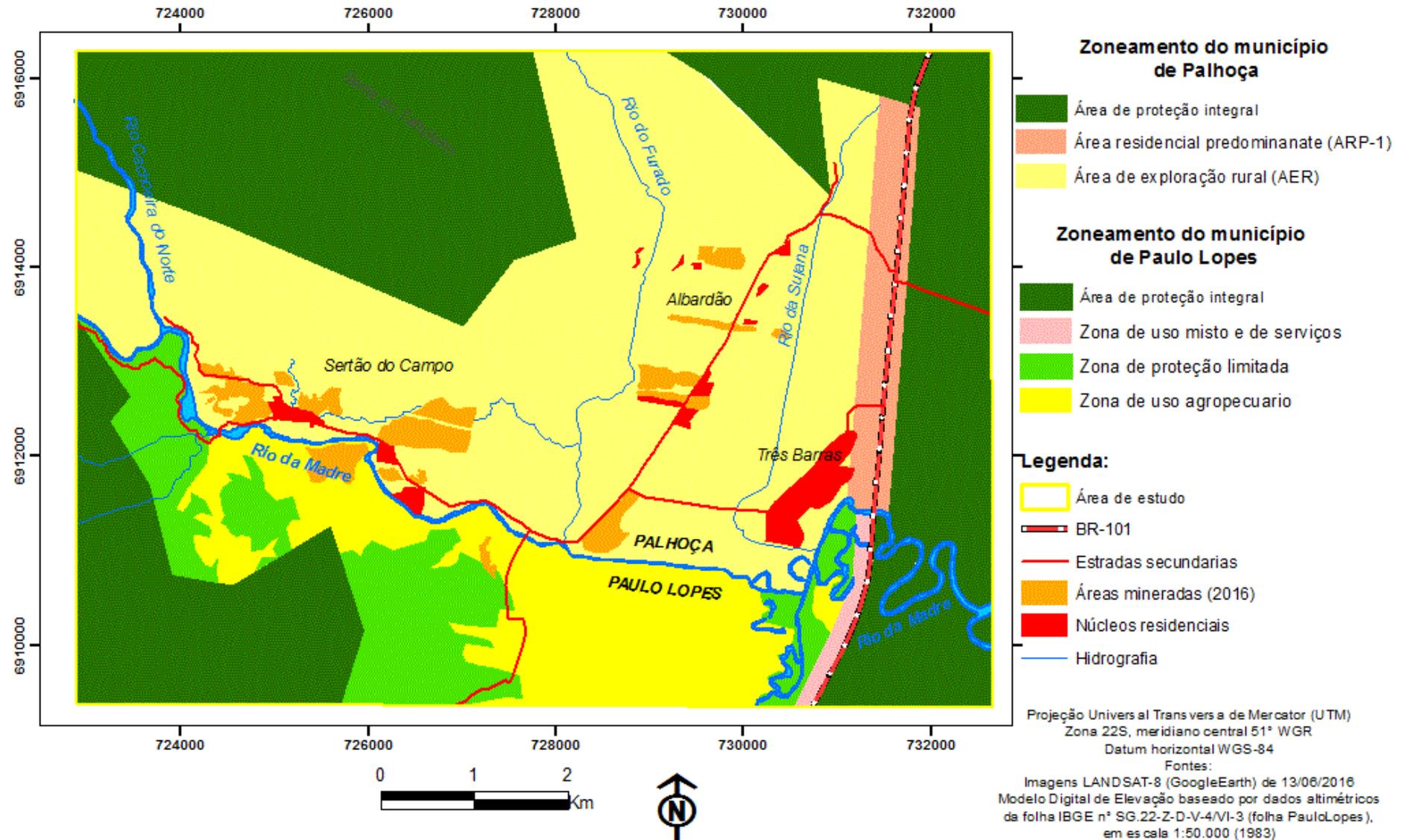
vegetada do Rio da Madre, inclusos na Zona de Proteção Limitada), e pela Macrozona Urbana e de Expansão Urbana, localizada ao longo das margens da rodovia BR-101, representada na área de estudo pela Zona de Uso Misto e Serviços.

#### 4.3.3.4 Áreas de proteção ambiental

Na área de estudo, importante área de preservação ambiental é representada pelo Parque Estadual da Serra do Tabuleiro (PEST), criado pelo Decreto Estadual nº 1.260 de 01 de novembro de 1975 (SANTA CATARINA, 1975), objetivando a conservação de uma área total de 90.000 hectares, englobando importantes ecossistemas representativos de variadas formações vegetais do bioma Mata Atlântica. Desde sua criação até os dias atuais, a área total do PEST sofreu várias alterações na forma de incorporações e desanexações efetivadas por decretos Estaduais e levando em consideração os conflitos existentes, principalmente aqueles relacionados com o uso e ocupação do solo das áreas a serem protegidas. Os limites atuais do PEST são definidos pela Lei Estadual nº 14.661 de 26 de março de 2009 (SANTA CATARINA, 2009a).

A definição das Áreas de Proteção Permanente (APP's) referentes às drenagens existentes na área de estudo foi baseada no teor da Lei Federal nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012a) e atualizações posteriores (BRASIL, 2012b). Segundo o referido dispositivo, as margens das APP's de drenagens com menos de 10 metros de largura de canal devem possuir 30 metros de faixa de proteção, e as dos canais com larguras entre 10 e 50 metros devem possuir faixas de proteção de 50 metros. Na área de estudo, apenas o canal do Rio da Madre (com larguras variando entre 21 e 25 metros) teve delimitação de APP com faixa de 50 metros, sendo que todas as outras

**Figura 10:** Mapa com indicação dos zoneamentos municipais de Palhoça e Paulo Lopes no contexto da área de estudo.



**Fonte:** Do autor, baseado em dados da Prefeitura Municipal de Palhoça (1993b) e Prefeitura Municipal de Paulo Lopes (2010b).



drenagens se enquadram na primeira situação apontada (APP com 30 metros).

## 5 METODOLOGIA

No presente capítulo estão indicadas as formas como a pesquisa foi desenvolvida, assim como detalhados os métodos e materiais utilizados em cada etapa, considerando os objetivos específicos propostos. Neste contexto, será feita caracterização da metodologia utilizada em cada uma das etapas da pesquisa de forma individual, uma vez que estas abrangem tanto a caracterização de aspectos ambientais da área de pesquisa (geologia, uso e ocupação do solo e impactos ambientais decorrentes), quanto dos aspectos referentes à própria atividade de mineração e legislação correlata.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO

Para a caracterização do arcabouço geológico da área de estudo, objetivando a cartografia geológica e definição dos ambientes de sedimentação das unidades portadoras de jazimentos de areia atualmente exploradas (assim como também para definição daquelas onde a lavra poderá ser restringida ou limitada), foram desenvolvidos trabalhos de mapeamento geológico e de análise estratigráfica, de forma associada, a seguir detalhados.

#### 5.1.1 Bibliografia

Os trabalhos de levantamento bibliográfico consistiram na análise de material relacionado tanto aos levantamentos geológicos já realizados no contexto da área de estudo, quanto referente às técnicas de análise estratigráfica aplicáveis ao tema proposto. Desta forma foram consultados livros, periódicos, dissertações, teses e monografias, sendo feitas também consultas a *sites* da

*internet* de órgãos públicos e entidades associadas. No mapeamento realizado foram utilizados como referência os levantamentos apresentados por Caruso Jr (1995) e Horn Filho *et al.* (2014), uma vez que os mesmos incluem a caracterização geológica abrangendo a área de estudo.

### **5.1.2 Fotointerpretação**

Para os trabalhos de fotointerpretação foram utilizadas fotografias aéreas do levantamento fotogramétrico realizado pela empresa Cruzeiro do Sul Ltda durante os anos de 1976 a 1978, em escala 1:25.000, obtidas junto à biblioteca da Superintendência de Santa Catarina do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM/SC).

Na fotointerpretação foram utilizados estereoscópios de mesa e de bolso, objetivando a observação de feições topográficas que indicassem mudanças litológicas ou outras estruturas associadas aos depósitos Quaternários portadores de jazidas de areias. Desta forma, foi de grande importância a definição de formas como terraços, cordões, elevações e padrões de drenagens. Tais trabalhos foram realizados tanto preliminarmente às etapas de campo quanto no refinamento dos dados obtidos na área de estudo, auxiliando na cartografia geológica e definição da abrangência dos depósitos sedimentares. Diferenças nos padrões de relevo também foram fundamentais na individualização das unidades do Embasamento Cristalino, assim como a indicação de feições estruturais na forma de lineamentos. Através da fotointerpretação também foi possível a observação dos usos do solo, cobertura vegetal e relevo, anteriormente à instalação das minas de areia.

### **5.1.3 Coleta de dados em campo**

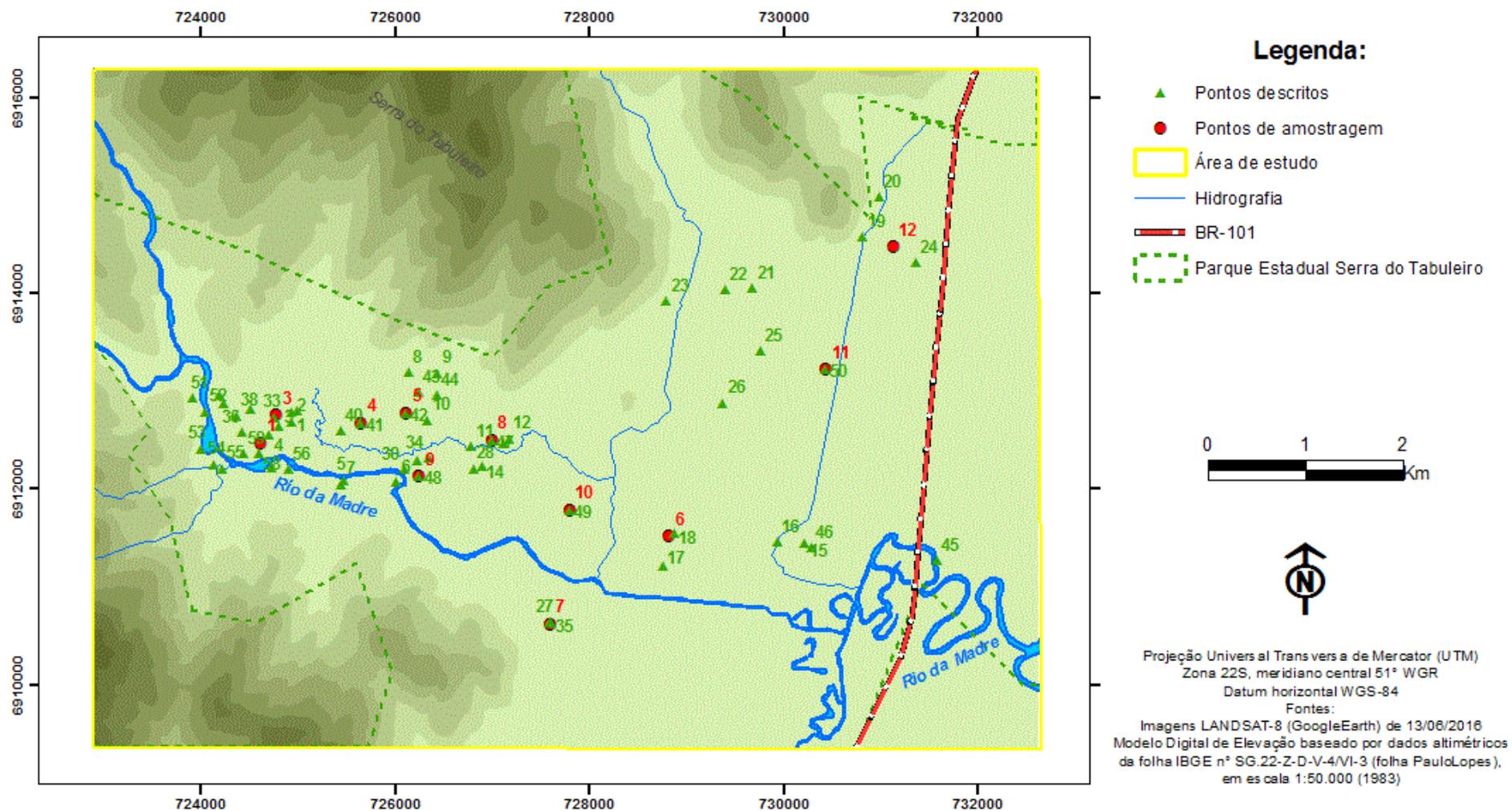
Ao todo foram realizadas cinco incursões à área de estudo, abrangendo o período de junho de 2015 a julho de 2016. No campo foram descritos pontos objetivando a identificação das unidades previamente fotointerpretadas, assim como para o levantamento de perfis estratigráficos. Nos pontos de descrição também foram coletados dados para a caracterização ambiental e da própria atividade de lavra, com localizações obtidas através de GPS portátil.

Foram realizadas coletas de amostras para a realização de análises granulométricas direcionadas à caracterização do minério de areia atualmente lavrado na área de estudo. A coleta foi realizada em um total de 12 pontos, através da obtenção de aproximadamente 500 gramas de material proveniente de afloramentos e taludes de cavas de extração. A coleta foi realizada com auxílio de pá, com as amostras sendo condicionadas em sacos plásticos devidamente identificados com o número do local de amostragem (ponto de descrição). Ao todo foram levantados 58 pontos de coleta de dados (Figura 11), sendo que a distribuição dos mesmos foi feita de forma a abranger a maior quantidade possível de depósitos dentro da área de estudo, considerando a existência de afloramentos ou locais favoráveis à coleta de informações.

### **5.1.4 Cartografia geológica**

As bases cartográficas existentes da área de estudo são representadas pela folha topográfica do IBGE de nº SG.22-Z-D-V-4/VI-3 (folha Paulo Lopes), em escala 1:50.000 com curvas de nível espaçadas em 20 metros, pelas fotografias aéreas em escala 1:25.000 utilizadas na fotointerpretação, e também pelas imagens do satélite

Figura 11: Mapa de pontos de obtenção de dados em campo (pontos de descrição e amostragem).



Fonte: Elaborado pelo autor.



LANDSAT-8 disponibilizadas pelo *site GoogleEarth*, cobrindo o período de 09/11/2003 a 13/06/2016.

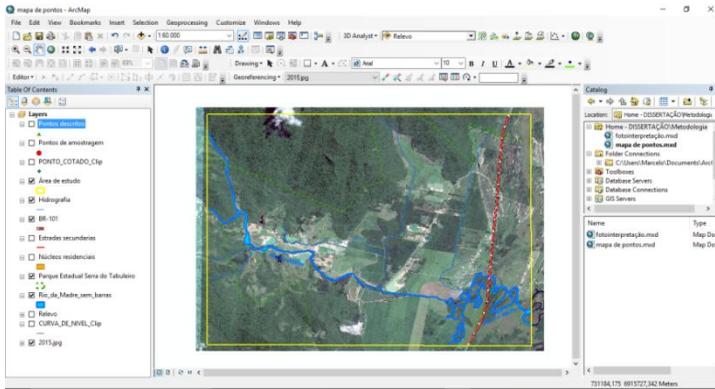
Os primeiros elementos a serem obtidos para a cartografia geológica foram as imagens de satélite, sendo as mesmas inseridas em ambiente SIG através do *software* ESRI ArcGIS® 10.2, e devidamente georreferenciadas de acordo com sua fonte (*GoogleEarth*), com projeção UTM e *datum* horizontal WGS-84, fuso 22 sul (Figura 12).

Sobre as imagens foi então delimitada a poligonal da área de estudo, e traçadas as estradas, drenagens, limites das cavas de areia e núcleos residenciais, sendo gerados arquivos tipo *shapefile* específicos para cada elemento. Nesta etapa também foi obtida folha do IBGE em meio digital (SANTA CATARINA, 2016) com elementos de toponímia já devidamente individualizados em arquivos do tipo *shapefile*, disponibilizados em *datum* SAD-69.

Para a inserção em ambiente SIG, estes *shapefiles* foram convertidos para o *datum* de trabalho (WGS 84), sendo feita a retificação parcial daqueles gerados através das análises das imagens de satélite. Tal etapa de trabalho objetivou a delimitação de forma conjunta dos elementos de toponímia existentes, de forma a se obter a situação mais próxima possível da realidade, sendo obtido então o mapa base para a inserção dos elementos geológicos (Figura 03).

A delimitação dos depósitos Quaternários não pôde ser direcionada pelas cotas altimétricas das curvas de nível da folha do IBGE, uma vez que estas apresentam espaçamentos muito amplos (20 metros), sendo que tais depósitos muitas vezes são marcados por contatos formados por quebras de relevo variando de 1,0 a 3,0 metros de altura. As curvas de nível foram somente aproveitadas para a confecção de modelo digital de elevação da área de estudo (presente nos mapas confeccionados), de forma a indicar os contrastes entre as formas do Embasamento Cristalino e dos depósitos Quaternários da Planície Costeira.

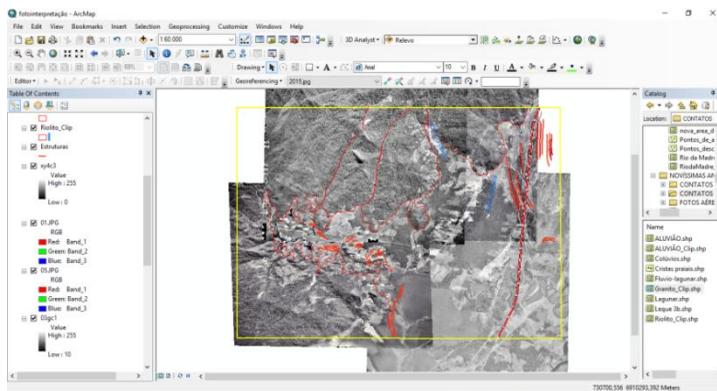
**Figura 12:** Inserção das imagens de satélite LANDSAT-8 (*GoogleEarth*) em ambiente SIG, com delimitação dos limites da área de estudo, estradas, rede hidrográfica e demais elementos.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Sobre o mapa base foram então inseridas as fotografias aéreas em escala 1:25.000, sendo as mesmas devidamente georreferenciadas no *datum* WGS-84, fuso 22 sul, com georreferenciamento realizado através de pontos de controle obtidos em campo e pelas imagens de satélite (Figura 13). Nesta etapa foram inseridos os dados obtidos na fotointerpretação inicial, objetivando direcionar os pontos de obtenção de dados em campo. Após a realização de cada uma das incursões de campo, o SIG foi sendo abastecido com dados adicionais, na forma de retificação de elementos de toponímia (haja vista a obtenção de mais pontos de controle), assim como também através da inserção de contatos definidos entre as unidades geológicas observadas.

**Figura 13:** Inserção das fotografias aéreas em escala 1:25.000 em ambiente SIG e fotointerpretação parcial da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.1.5 Levantamento estratigráfico e análise de fácies

Os trabalhos de análise estratigráfica foram desenvolvidos de forma a complementar o mapeamento de superfície, uma vez que se objetivou a compreensão dos ambientes de sedimentação dos depósitos Quaternários. Para tanto foram levantadas seções estratigráficas em campo, notadamente nos locais com presença de afloramentos onde se pôde obter dados referentes às variações faciológicas dos depósitos portadores de jazidas de areias, assim como com trabalhos posteriores de interpretação e análise de fácies sedimentares.

Perfis de espessura significativa não puderam ser observados em campo, uma vez que a maioria dos afloramentos existentes se localizam ao longo dos taludes das cavas de extração que se encontram inundadas, sendo que estes locais muitas vezes são instabilizados e altamente suscetíveis à movimentação

(desmoronamentos); desta forma, as seções levantadas apresentam espessuras variando de 1,5 a 5,0 metros.

Em campo, foram obtidos dados referentes à composição, espessura, geometria, contatos e estrutura dos depósitos ao longo dos perfis verticais. Para a definição composicional dos sedimentos foi realizada análise macroscópica com auxílio de lupa binocular (aumento de 20x), com utilização de escala granulométrica de Udden-Wentworth (Figura 14), escala morfométrica de grãos e clastos de Krumbein e Sloss (Figura 15) e escala gráfica de graus de seleção sedimentar (Figura 16). Os dados referentes à disposição espacial e estruturas associadas dos depósitos foram obtidos por observação direta, sendo igualmente documentados em caderneta e fotografados. A análise de fácies seguiu a metodologia de Miall (1996), que propõe uma classificação para as litofácies fluviais através da utilização de códigos específicos, relacionados a cada macroforma específica (ou elemento arquitetural) dentro do sistema fluvial (Quadros 02 e 03).

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO

Objetivando o levantamento de informações para a caracterização da atividade de mineração de areia na área de estudo, inicialmente foi desenvolvida pesquisa acerca dos aspectos legais que regulam a atividade mineral, através de consultas aos dispositivos vigentes, em sua grande maioria disponibilizados na *internet*. Posteriormente foram desenvolvidos trabalhos de coleta de dados junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Neste contexto, foram obtidos arquivos tipo *shapefile* de todas as poligonais de processos minerários localizados na área de pesquisa, devidamente disponibilizados através do sistema SIGMine (DNPM, 2016a). Os arquivos foram então inseridos em ambiente

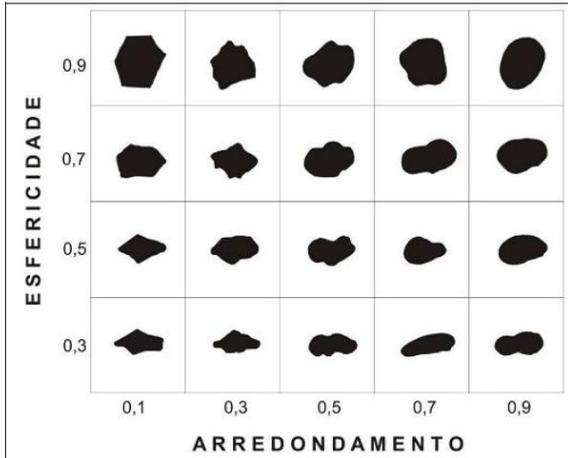
SIG através do *software* ESRI ArcGIS® 10.2, sendo selecionados apenas aqueles com atividade de lavra atualmente em andamento ou com lavra já encerrada, totalizando assim 20 processos considerados na análise.

**Figura 14:** Escala granulométrica de Udden-Wentworth.

$\phi$	Português	Inglês	mm
-9	Bloco	Boulder	512
-8			256
-7	Seixo	Cobble	128
-6			64
-5			32
-4	Cascalho muito grosseiro	Very coarse gravel	16
-3	Cascalho grosseiro	Coarse gravel	8
-2	Cascalho médio	Medium gravel	4
-1	Cascalho fino	Fine gravel	2
0	Areia muito grosseira	Very coarse sand	1,000
1	Areia grosseira	Coarse sand	0,500
2	Areia média	Medium sand	0,250
3	Areia fina	Fine sand	0,125
4	Areia muito fina	Very fine sand	0,0625
5	Silte grosseiro	Coarse silt	31,25
6	Silte médio	Medium silt	15,63
7	Silte fino	Fine silt	7,81
8	Silte muito fino	Very fine silt	3,91
9	Argila grosseira	Coarse clay	1,95
10	Argila média	Medium clay	0,98
11	Argila fina	Fine clay	0,49
12	Argila muito fina	Very fine clay	0,24
13	Colóides	Colloid	0,12

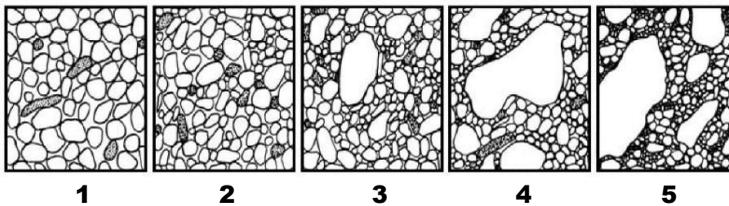
Fonte: Dias (2007).

**Figura 15:** Escala morfométrica de grãos e clastos de Krumbein e Sloss (1963, apud SORDI, 2014).



Fonte: Sordi (2014).

**Figura 16:** Escala gráfica de graus de seleção sedimentar. 1: Sedimento muito bem selecionado. 2: Sedimento bem selecionado. 3: Sedimento moderadamente selecionado. 4: Sedimento mal selecionado. 5: Sedimento muito mal selecionado.



Fonte:

[http://gs.sysu.edu.cn/Geoscience2008/english/content/chapter4/content\\_04\\_03.htm](http://gs.sysu.edu.cn/Geoscience2008/english/content/chapter4/content_04_03.htm)

Nos referidos *shapfiles* também são encontradas informações adicionais acerca de cada processo mineralógico, como titularidade, fase atual processual, substância

mineral, tamanho da área autorizada, dentre outras. Foi feito levantamento dos Relatórios Anuais de Lavra referentes aos anos base 2013 e 2015, objetivando assim a definição de aspectos relacionados à produção de minério de areia referente aos processos analisados no contexto da área de estudo.

De forma a complementar os dados de cada processo minerário, foi realizada também delimitação das áreas totais afetadas pela atividade de mineração na área de estudo, através da utilização das imagens de satélite disponibilizadas pelo *site GoogleEarth*, abrangendo o período de 2003 a 2016. As imagens obtidas foram inseridas no sistema SIG e devidamente georreferenciadas (*datum* WGS 84, fuso 22 sul), sendo gerados arquivos tipo *shapefile* para cada contorno das áreas totais afetadas pelas diversas etapas de desenvolvimento das minas. Como áreas totais foram consideradas tanto as áreas das cavas de extração quanto as áreas decapeadas, com instalações das minas, áreas de estoque de minério e acessos. Foram delimitados os contornos individuais das cavas de extração com lavra ativa e encerrada, objetivando a ilustração da situação atual decorrente do desenvolvimento das frentes de extração, assim como a evolução da atividade ao longo dos últimos treze anos.

Posteriormente foram coletados dados em campo quando da realização das incursões para o levantamento geológico, sendo obtidas informações junto aos mineradores locais no que concerne ao tipo de lavra desenvolvida, maquinário utilizado, ações de recuperação ambiental, tipo de minério, dentre outros dados, devidamente inseridos em caderneta e fotografados. Em campo foram obtidos dados para a complementação dos trabalhos de delimitação das áreas afetadas pela mineração feitas através de uso de SIG, sendo feita verificação *in situ* do funcionamento dos equipamentos e demais instalações das minas.

### 5.2.1 Análises granulométricas

Durante as etapas de campo foram realizadas coletas de amostras para realização de análises granulométricas, objetivando a caracterização do minério que vem sendo explorado na área de estudo. Ao todo foram coletadas 12 amostras, com aproximadamente 500 gramas cada, abrangendo os depósitos sedimentares que são atualmente lavrados, assim como alguns com lavra já encerrada (localização dos pontos de amostragem na Figura 11).

Tendo em vista que em alguns dos depósitos lavrados e que foram amostrados são observadas frações granulométricas representadas por matações e blocos de rocha associados às areias, e considerando também o objetivo inicial da amostragem (direcionado à determinação da qualidade do minério aproveitado economicamente), as coletas foram feitas de forma a evitar as frações mais grossas, motivação esta que inviabilizou a utilização destes dados no refinamento da caracterização geológica da área. Tal procedimento considerou também a rotina comum em todas as frentes de lavra observadas, que realizam a seleção granulométrica por peneiramento e descartam as frações grossas como rejeito.

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Oceanografia Costeira da Universidade Federal de Santa Catarina para a realização das análises, sendo utilizado o método de análise de partículas por difração de luz através do analisador Horiba LA-950 (Figura 17). Este equipamento realiza as análises com apenas 10 gramas de cada amostra, apresentando os resultados em tempo real e em formato digital, com dados já previamente tratados. Como resultado, o analisador de partículas fornece planilhas com definição de parâmetros estatísticos como mediana, tamanho médio de partículas, curtose, variância, desvio padrão e distribuição granulométrica de acordo com a classificação de Udden – Wentworth, sendo inclusive

analisada a fração coloidal da amostra. As distribuições granulométricas são representadas em milímetros, micras ( $\mu\text{m}$ ) ou phi ( $\phi$ ), com gráfico de distribuição das frequências e frequências acumuladas das classes granulométricas. Como fator limitante, o equipamento tem capacidade apenas para analisar as frações granulométricas mais finas que cascalho fino ( $-2 \phi$ ), impossibilitando portanto a determinação da composição granulométrica integral de alguns dos depósitos amostrados conforme já mencionado.

A análise dos dados obtidos foi realizada através do software *Gradistat v.8.0*<sup>®</sup>, com obtenção de parâmetros para classificação de Folk e Ward (1957), com definição das médias de classes granulométricas, desvio padrão e grau de seleção, assimetria, curtose e grupo textural de cada amostra, através do uso de diagramas triangulares de classificação granulométrica para sedimentos grossos e para sedimentos finos.

**Figura 17:** Analisador Horiba LA-950 utilizado para determinação da granulometria das amostras coletadas.



**Fonte:** Do autor, em 01/06/2016.

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Para a identificação e delimitação das diversas atividades desenvolvidas na área de estudo, e que podem interagir de forma direta ou indireta com a mineração, foram realizados trabalhos de coleta de dados em campo e análise de imagens de satélite.

Inicialmente foram analisadas as imagens do satélite LANDSAT-8 disponibilizadas pelo *site GoogleEarth* abrangendo os anos de 2015 e 2016, de forma a se observar o desenvolvimento recente das atividades de uso e ocupação do solo, sendo as mesmas inseridas em ambiente SIG e devidamente georreferenciadas, de forma análoga à realizada para a caracterização geológica da área. Posteriormente foram gerados arquivos tipo *shapefile* através da delimitação espacial das ocupações identificadas, agrupadas em classes específicas. Para a inserção dos limites do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, foi realizada consulta no site da FATMA, sendo feito *download* do arquivo tipo *shapefile* com a delimitação do parque de acordo com a Lei Estadual nº 14.661 de 26 de março de 2009 (SANTA CATARINA, 2009a).

Durante as incursões de campo para a caracterização geológica foram coletados dados relativos aos usos do solo através de observação direta, de modo a complementar as informações obtidas com a análise de imagens em ambiente SIG, tarefa esta auxiliada pela utilização de GPS portátil. Algumas informações também foram obtidas junto aos moradores e mineradores locais.

### 5.4 IDENTIFICAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

A identificação dos impactos ambientais decorrentes da atividade de mineração de areia foi feita através de trabalhos conjuntos de campo e de escritório. Desta forma,

foram utilizadas ferramentas típicas dos estudos de avaliação de impactos ambientais (SÁNCHEZ, 2013), representadas pelas matrizes de correlação de impactos, com a adição de dados complementares provenientes de análises de imagens em ambiente SIG.

Inicialmente foi realizada inserção das imagens de satélite obtidas no *site GoogleEarth* dentro de ambiente SIG, de forma similar à caracterização geológica da área de estudo. Neste contexto foram obtidas imagens dos anos de 2003 a 2016, sendo as mesmas devidamente georreferenciadas (*datum* horizontal WGS 84, fuso 22 sul), direcionando os trabalhos para uma identificação inicial de impactos. A identificação preliminar dos impactos ambientais com uso de SIG foi realizada de forma individual para cada poligonal de processo DNPM com lavra ativa ou já desativada. Para tanto foram definidas as intervenções ou atividades causadoras de impactos em cada uma das fases de desenvolvimento das minas (operação e desativação), conforme indicado no Quadro 04, com base nos resultados da caracterização da atividade de mineração de areia na área de estudo. Esta etapa foi direcionada para a identificação dos impactos diretos da mineração, considerando apenas as alterações ambientais observáveis decorrentes de cada empreendimento individual devidamente licenciado pelo DNPM. Na sequência foram analisados e parcialmente identificados os impactos gerados de forma conjunta entre as diversas minas em atividade na área de estudo, sendo também apontados alguns dos impactos cumulativos decorrentes.

Após esta primeira fase, foram colhidos dados em campo, sendo de grande importância a consideração de forma conjunta das diferentes atividades produtivas desenvolvidas na área de estudo além da mineração (conforme apontado pela caracterização do uso e ocupação do solo) na geração de impactos, uma vez constatadas interações entre tais atividades. Esta análise

conjunta também foi auxiliada pela definição dos aspectos geológicos da área de estudo, uma vez que os parâmetros físicos dos depósitos sedimentares são de fundamental importância na definição da abrangência e tipos de impactos gerados.

Alguns novos impactos diretos puderam ser observados através da análise visual *in situ* das minas em atividade, com indicação de alterações aos meios físico, biótico e antrópico. Dados colhidos em campo também auxiliaram na identificação de impactos cumulativos, dadas as alterações observáveis que ocorrem de forma conjunta entre as diversas minas de areia e também da interação com as outras atividades devidamente apontadas.

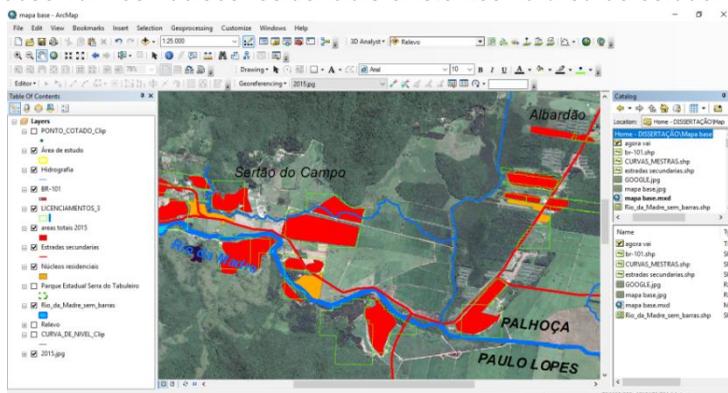
**Quadro 04:** Intervenções causadoras de impactos ambientais decorrentes da atividade de lavra de areia e de outras atividades desenvolvidas na área de estudo.

MINERAÇÃO DE AREIA		OUTRAS ATIVIDADES
FASE DE OPERAÇÃO - ATIVIDADES	FASE DE DESATIVAÇÃO - ATIVIDADES	
Desenvolvimento de cavas	Encerramento da lavra	Lançamento de efluentes residenciais
Operação de maquinário (manutenção/acidentes)	Abandono de cavas	Rizicultura
Movimentação de estoques	Circulação de veículos e máquinas (recuperação ambiental)	Áreas cultivadas
Decapeamento		Avicultura
Circulação de veículos e máquinas		

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Após as etapas de campo, os dados foram analisados de forma conjunta, auxiliando no refinamento do SIG previamente desenvolvido (Figura 18). Todas as informações foram então inseridas em matrizes de correlação de impactos conforme modelos propostos por Sánchez (2013), sendo confeccionada uma matriz para cada fase de desenvolvimento das minas. Nas matrizes foram apontados os componentes ambientais passíveis de serem afetados em cada fase, sendo então apontados os impactos decorrentes. A identificação de impactos decorrentes das atividades na fase de instalação dos empreendimentos não pôde ser realizada, uma vez que tanto nas imagens analisadas quanto em campo não se observaram atividades relacionadas a esta fase inicial, sendo identificadas somente ações decorrentes das fases de operação e desativação.

**Figura 18:** Análise das imagens do satélite LANDSAT-8 para a identificação de impactos ambientais após coleta de dados em campo. Em vermelho se observam as delimitações das áreas totais impactadas dentro de cada poligonal dos processos DNPM (polígonos delimitados por linhas verdes). Em alaranjado se observam os núcleos residenciais existentes na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 GEOLOGIA

No presente item da dissertação são apresentados os resultados obtidos com os trabalhos de mapeamento geológico desenvolvidos de forma integrada com a análise estratigráfica dos depósitos sedimentares portadores de jazidas de areia. No Apêndice 01 se observa o mapa geológico da área de estudo em escala 1:50.000, sendo que no Quadro 05 pode ser visualizada a coluna estratigráfica proposta.

O arcabouço geológico é formado por duas unidades Proterozóicas associadas ao Embasamento Cristalino, devidamente individualizadas, e por outras treze unidades representadas por depósitos Quaternários associados aos sistemas deposicionais continental, transicional e antropogênico. Alguns destes depósitos também foram segmentados em fácies distintas, devidamente mapeáveis e identificáveis, uma vez observadas feições topográficas, aspectos estratigráficos e sedimentológicos inerentes a cada tipo de depósito identificado.

#### 6.1.1 Embasamento Cristalino

As unidades representativas do Embasamento Cristalino foram mapeadas ao longo das vertentes da Serra do Tabuleiro, sendo observadas em afloramentos nos sopés das maiores elevações topográficas. Ambas unidades são associadas à Suíte Intrusiva Pedras Grandes conforme descrito por Zanini *et al.* (1997), representadas pelas rochas do Granito Serra do Tabuleiro e Riolito Cambirela. A definição destas duas unidades foi feita com base em comparações com dados bibliográficos (ZANINI *et al.*, 1997; SANTA CATARINA, 2010), através da

**Quadro 05:** Coluna estratigráfica proposta para a área de estudo.

Sistema		Idade	Unidades geológicas	Fácies	Descrição/interpretação
Depositional	Antropogênico	Holoceno	Depósito tecnogênico		Depósito artificial de sedimentos para utilização como aterro e lastro de rodovia (BR-101).
			Depósito tipo sambaqui		Depósito formado por acumulações antrópicas de conchas de moluscos bivalves (Sambaqui da Pinheira).
	Transicional		Depósito eólico		Areias de coloração bege acinzentada muito bem selecionadas e com granulometria fina a muito fina, na forma de dunas fixas Holocênicas.
			Depósito marinho praiial		Areias de coloração bege bem selecionadas e com granulometria fina, na forma de cordões regressivos praiiais Holocênicos.
			Depósito lagunar		Sedimentos argilo arenosos com matéria orgânica e camadas turfáceas, depositados ao longo de paleo lagunas Holocênicas.
			Depósito flúvio-lagunar		Sedimentos argilo arenosos com bioclastos (conchas de moluscos bivalves e restos vegetais) em intercalações decorrentes de sedimentação em ambiente lagunar e fluvial durante o Holoceno.
	Continental	Quaternário indiferenciado	Depósitos fluviais		Sedimentos mal selecionados variando de blocos a argila associados aos processos fluviais ocorridos de forma indiferenciada ao longo do Quaternário, associados a depósitos de canal, depósitos de barras laterais, depósitos de dique marginal, depósitos de rompimento de dique marginal ( <i>splay crevasse</i> ) e depósitos de inundação
			Depósitos de leque aluvial	Fácies de planície de inundação	Argila, silte e matéria orgânica depositados por decantação como depósitos de planície de inundação de leque aluvial (litofácies <i>Fsm</i> ).
				Fácies de fluxo não confinado	Areias mal selecionadas associadas a frações argilo siltosas e cascalho fino, na forma de depósitos tabulares formados por fluxos gravitacionais não canalizados ( <i>sheetfloods</i> ). Associação de litofácies <i>Sm</i> , <i>Fr</i> e <i>Fl</i> .
				Fácies de fluxo confinado	Areias mal selecionadas variando de fina a muito grossa, com presença de cascalho fino até seixos, formados por fluxos gravitacionais (fluxos de detritos) e fluxos canalizados de origem fluvial (associação de litofácies <i>Sm</i> , <i>Sh</i> , <i>St</i> e <i>Gt</i> ).
Fácies de fluxo de detritos	Sedimentos mal selecionados variando de argila até blocos, formados por fluxos gravitacionais de detritos ( <i>debris flow</i> ) em pelo menos três eventos distintos (associação com as litofácies <i>Sm</i> , <i>Gcm</i> e <i>Gmm</i> ).				
Depósitos coluviais		Argilas, areias e cascalho fino, com estrutura maciça, ocorrendo ao longo de encostas próximo aos contatos com as rochas graníticas do Embasamento.			
Embasamento Cristalino		Proterozóico	Riolito Cambirela		Riolitos isotropos de coloração cinza escura, com texturas porfíricas, sendo os fenocristais de quartzo e feldspatos alcalinos sub centimétricos e euédricos em matriz afanítica acinzentada.
			Granito Serra do Tabuleiro		Granitos isotropos de coloração cinza rósea, textura equigranular média a grossa, com teor de máficos < 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor.



associação de aspectos composicionais e texturais. A individualização espacial das mesmas também foi auxiliada por fotointerpretação. Trabalhos mais detalhados de caracterização das unidades do Embasamento Cristalino não foram desenvolvidos, haja vista os objetivos da presente dissertação.

#### 6.1.1.1 Granito Serra do Tabuleiro

As rochas associadas ao Granito Serra do Tabuleiro ocorrem nas porções oeste e centro-norte da área de estudo, associadas ao relevo montanhoso da Serra do Tabuleiro. Possuem coloração bege, associadas a capas de alteração areno argilosas, onde se observam cristais de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino predominando em arranjo equigranular médio a grosso. Minerais máficos são pouco expressivos, nunca excedendo 5% em volume da mineralogia destas rochas, sendo formados por aglomerados de biotitas de granulação essencialmente fina. Quando são a rocha apresenta coloração cinza clara, sendo visível textura isótropa e equigranular, com feldspatos alcalinos de coloração rósea acinzentada. Os contatos com as unidades sedimentares Quaternárias geralmente são caracterizados pela presença dos depósitos coluviais, sendo também observados afloramentos ao longo de cortes de estradas secundárias ou na forma de matações aflorantes em meio ao solo residual argilo arenoso.

Estas rochas podem ser classificadas como leucosienogranitos, conforme apontado por Zanini *et al.* (1997), que diferenciam duas fácies de rochas associadas ao Granito Serra do Tabuleiro, sendo estas individualizadas pelos menores teores de minerais máficos. Os mesmos autores também apontam sua origem anorogênica, relacionadas a processos de soergimento epirogenético da crosta, possivelmente associados à

formação de *riffts* em seus estágios finais durante o final do Neoproterozóico (aproximadamente 516 milhões de anos atrás).

#### 6.1.1.2 Riolito Cambirela

As rochas associadas ao Riolito Cambirela foram mapeadas na porção central e nordeste da área de estudo, e de forma similar ao Granito Serra do Tabuleiro, ocorrem ao longo das encostas da Serra do Tabuleiro. Localmente as rochas riolíticas ocorrem na forma de substrato de depósitos sedimentares aluviais na porção oeste da área (ponto de descrição nº 59 da Figura 11), sendo que a maioria dos afloramentos observados são formados por cortes de estradas secundárias ao longo de taludes. Possuem coloração bege acinzentada, uma vez instalada capa de alteração argilosa (Figura 19). No entanto, quando são apresentam coloração cinza escura predominante, facilmente sendo diferenciadas das rochas graníticas encaixantes. Os riolitos apresentam textura porfirítica, com fenocristais de quartzo ou feldspato alcalino euédricos e de granulação média a grossa, imersos em matriz afanítica ou de granulação fina a muito fina, com estruturas isotropas, sem nenhum indício de fluxo ou lineamento mineral. Geralmente os contatos com os depósitos Quaternários são abruptos ou através da presença de colúvios argilo arenosos.

No presente trabalho adotou-se a denominação Riolito Cambirela conforme definido por Zanini *et al.* (1997), de forma a abranger corpos vulcânicos na forma de derrames, tufos ou diques que ocorrem nos flancos da Serra do Tabuleiro, correlacionáveis aos granitos alcalinos da Suíte Intrusiva Pedras Grandes. Ainda segundo os mesmos autores, os riolitos seriam associados aos estágios finais do magmatismo alcalino (formador do Granito Serra do Tabuleiro), principalmente na forma de

diques subvulcânicos nas rochas graníticas, em ambiente com relativa estabilidade crustal (pós-orogênicos), há cerca de 507 milhões de anos (Neoproterozóico).

**Figura 19:** Aspecto das rochas riolíticas quando parcialmente alteradas.



**Fonte:** Do autor, em 06/07/2016.

### 6.1.2 Sistema Depositional Continental

O Sistema Depositional Continental é representado, por três unidades litoestratigráficas representativas da sedimentação atuante ao longo das vertentes orientais da Serra do Tabuleiro, e com continuidade ao longo da Planície Costeira (Figura 20). Os processos genéticos destes depósitos são associados à ação tanto de intemperismo e mobilização gravitacional de porções do Embasamento Cristalino, quanto de transporte e sedimentação fluvial atuando ao longo do Quaternário, sendo reflexo de variações climáticas e consequentes

alterações dos regimes de circulação de águas superficiais ao longo da Bacia do Rio da Madre.

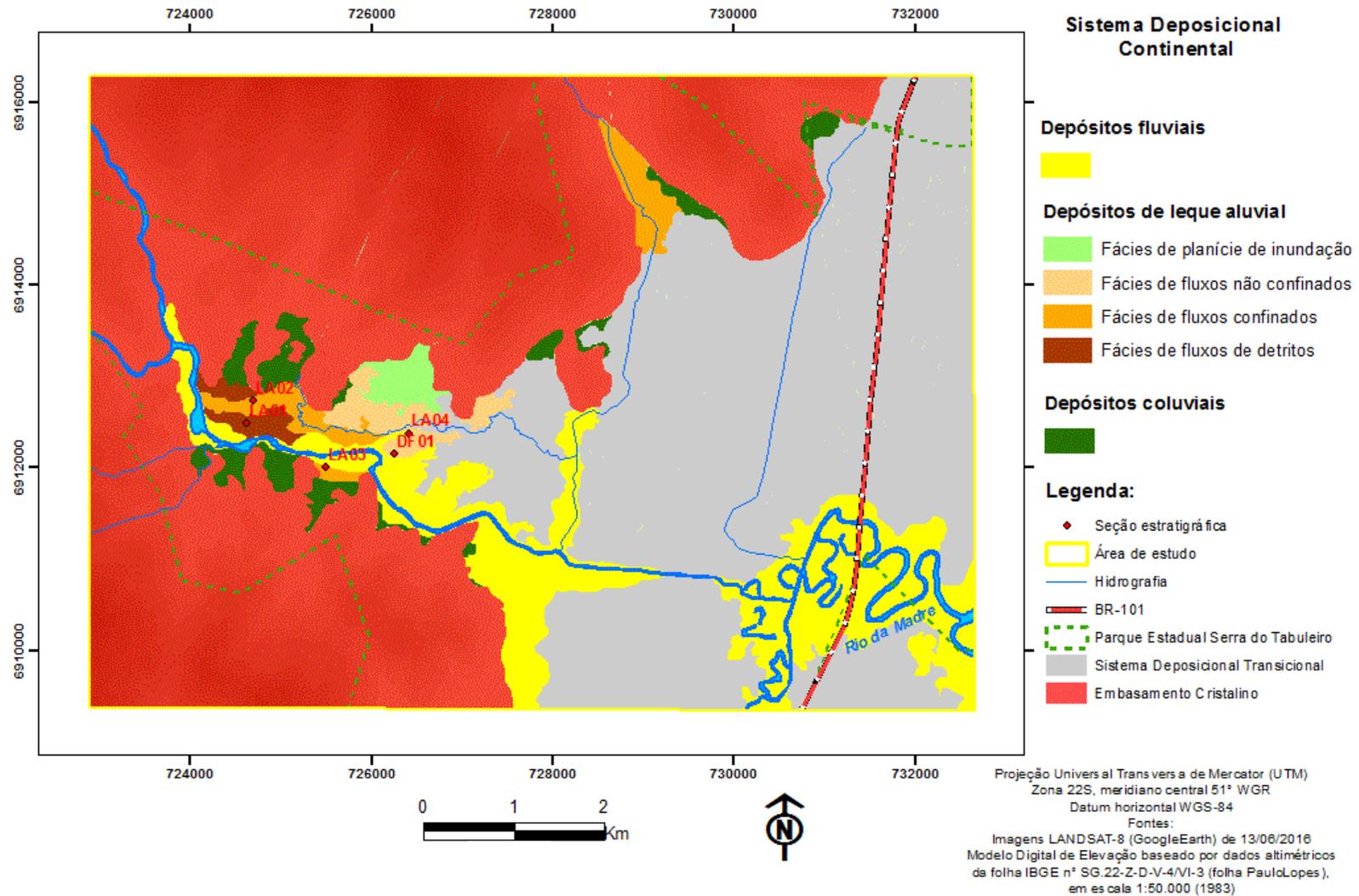
Dentre as unidades individualizadas estão os depósitos coluviais, depósitos de leque aluvial e depósito fluvial, sendo que no depósito de leque aluvial ainda foram individualizadas fácies distintas, uma vez observadas extensões mapeáveis. Para ambas as unidades foi associada idade Quaternária indiferenciada, uma vez observadas características estratigráficas específicas (posteriormente detalhadas), e também considerando que os fenômenos responsáveis pela formação destes depósitos continuam a atuar no presente.

#### 6.1.2.1 Depósitos Coluviais

Os depósitos coluviais foram mapeados ao longo de várias porções da área de estudo, sendo encontrados principalmente nos sopés das elevações associadas às rochas do Embasamento Cristalino, delimitando o contato entre estas e os depósitos Quaternários. Tais depósitos são marcados por apresentarem relevos associados a rampas e pequenos platôs, adjacentes às rochas cristalinas. Ocorrem também na forma de anfiteatros em pequenos vales situados na porção oeste da área de estudo.

Nos locais onde os depósitos coluviais foram observados *in situ* ocorrem com estrutura maciça, geralmente associados a rampas suavizadas (Figura 21). A composição é essencialmente argilosa, gerando coloração castanha alaranjada aos sedimentos, com ocorrência restrita de areias mal selecionadas com grãos angulosos e pouco cascalho fino de origem granítica, com formas irregulares e parcialmente alterados. Nestes locais não se observam feições associadas a depósitos de tálus, haja vista a ausência das frações granulométricas blocos e matacões, eventualmente movimentados por gravidade. No

Figura 20: Mapa geológico com indicação das unidades do Sistema Depositional Continental.



Fonte: Do autor.



entanto não se descarta a ocorrência de tálus ao longo de algumas vertentes onde foram individualizados depósitos coluviais, uma vez que estes também foram delimitados por trabalhos de fotointerpretação, notadamente nos locais de difícil acesso ou sem pontos de descrição de campo.

Na coluna estratigráfica proposta (Quadro 06), os depósitos coluviais foram posicionados na base do Quaternário, uma vez que estes são reflexo direto do intemperismo atuando sobre as rochas do Embasamento Cristalino, servindo como áreas fonte do material detrítico que é remobilizado e posteriormente depositado sob a forma de outros sedimentos localizados à jusante. Ressalta-se, no entanto, que tais depósitos continuam a se formar através de processos intempéricos e gravitacionais atuando ao longo das vertentes da Serra do Tabuleiro, retrabalhando os depósitos coluviais mais antigos, e também promovendo a remobilização de material detrítico do maciço granítico em direção à base das elevações.

Na área de estudo não se observam frentes de lavra desenvolvidas ao longo dos depósitos coluviais, uma vez observada suas composições predominantemente argilosas, assim como pela localização destes depósitos.

#### 6.1.2.2 Depósito de leque aluvial

Na área de estudo o depósito de leque aluvial foi definido através da individualização de quatro fácies distintas, uma vez consideradas suas distribuições em área (mapeáveis na escala de trabalho), e também considerando aspectos morfológicos e sedimentológicos.

**Figura 21:** Depósito coluvial observado na porção oeste da área de estudo (ponto de descrição nº 56).



**Fonte:** Do autor, em 12/05/2016.

A individualização de cada unidade foi feita com base na definição de associações de fácies características de cada processo deposicional formador, sendo considerados os tipos de fluxos responsáveis pela formação dos depósitos. Neste contexto fica evidente a atuação de fluxos gravitacionais responsáveis pela formação de depósitos típicos de leque aluvial, com atuação conjunta de processos fluviais, relacionados a fluxos confinados e não confinados, sendo comum, neste ambiente, a intercalação entre os diferentes tipos de depósitos resultantes.

#### *6.1.2.2.1 Fácies de fluxos de detritos*

Depósitos formados por fluxos de detritos foram identificados na porção oeste da área de estudo, na forma de dois pequenos platôs dissecados que ocorrem próximo ao encontro das drenagens que formam o Rio da Madre.

Os depósitos possuem superfície com mergulhos suavizados em direção leste, sendo limitados por escarpas erosivas variando de 2,5 a 5,0 metros de altura, localmente escalonados na forma de terraços, facilmente identificáveis tanto em campo como por fotointerpretação.

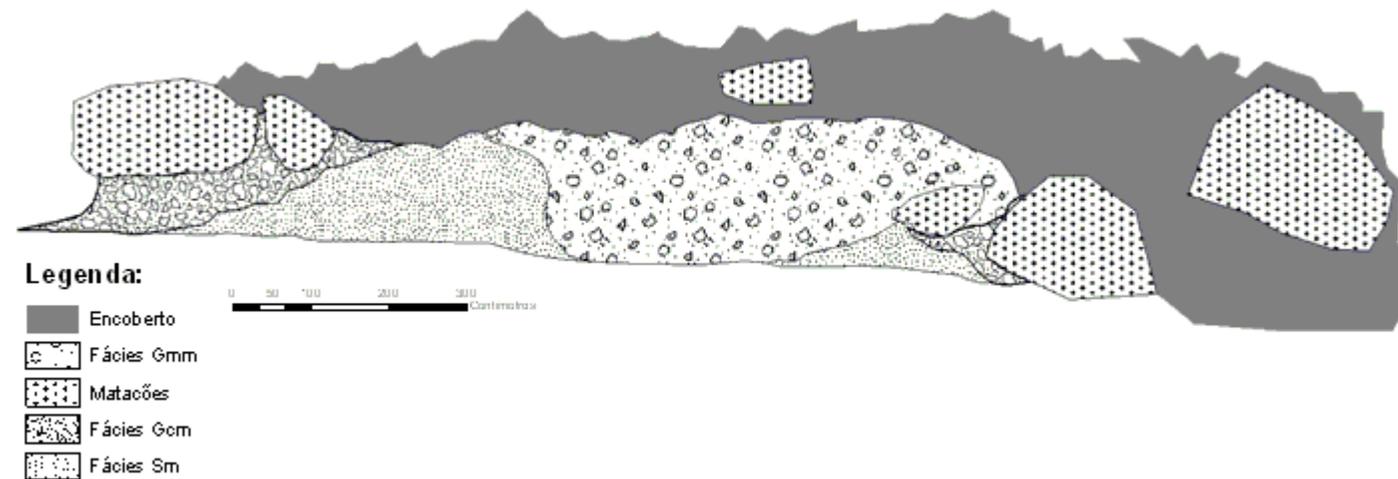
A fácies de fluxos de detritos foi identificada principalmente com base na análise da seção estratigráfica localizada no ponto de descrição nº 36, onde se observa uma das escarpas que limitam estes depósitos. No local, a direção da seção obtida (Seção LA01) coincide com o perfil transversal do depósito de leque aluvial, sendo de grande valia na obtenção de dados estratigráficos. O afloramento apresenta aproximadamente 12 metros de extensão lateral, com espessuras variando de 2,0 a 3,5 metros (Figura 22). A Seção LA01 é composta por pelo menos três litofácies distintas, individualizadas de acordo com a escala de fácies proposta por Miall (1985), definindo desta forma uma associação de fácies relacionada à atuação de fluxos gravitacionais. A base da seção é formada pela litofácies *Sm*, composta por areias de granulometria variando de fina a muito grossa, com grãos apresentados índices de arredondamento x esfericidade variando de 0,1 a 0,5 x 0,3 a 0,7, localmente com cascalho fino a médio de granito alterado, apresentando estrutura maciça e coloração acinzentada. Acima ocorre a litofácies *Gcm*, formada por sedimentos cascalhosos clasto suportados, com granulometria variando de areia grossa a blocos e matacões de até 4,0 metros de diâmetro médio, com estrutura maciça e sem imbricação. A fração dominante formada pela matriz é composta de seixos com índices de arredondamento x esfericidade variando de 0,3 a 0,7 x 0,5 a 0,9, sendo observadas porções com presença de oxidação de coloração alaranjada.

Os contatos com a fácies *Sm* são abruptos, sendo que aparentemente a fácies *Gcm* se dispõe na forma de lentes. Notória é a presença de blocos e matacões de rochas graníticas em meio à matriz cascalhosa. Tais

macroclastos apresentam formas moderadamente angulosas, estando totalmente imersos na matriz. Capeando a associação de fácies de fluxos de detritos ocorre ainda a fácies *Gmm*, formada por sedimentos variando de argila até blocos de rocha graníticas, com presença de estrutura maciça, matriz suportado. A matriz é formada por fração areno argilosa de coloração avermelhada, com clastos apresentando índices de arredondamento x esfericidade variando de 0,1 a 0,5 x 0,3 a 0,7. Os contatos com as fácies *Sm* e *Gcm* são abruptos, com disposição na forma aparente de preenchimento de escavação.

De acordo com a classificação de Miall (1985), ambas as litofácies individualizadas são associadas ao elemento arquitetural SG, formado por depósitos de fluxos gravitacionais de detritos (*debris flow*), com ocorrência de variações dos processos formadores, uma vez consideradas as diferenças composicionais de ambas as litofácies. Na litofácies *Sm* se observa a ausência de fração mais grossa na forma de macroclastos, indicando assim um ambiente de menor energia em comparação às fácies posteriores. A litofácies *Gcm* provavelmente se associa a eventos de maior energia (fluxo de detritos turbulento), podendo indicar a ocorrência de chuvas intensas e de curta duração em ambiente semiárido, onde as encostas se encontravam bastante suscetíveis a movimentações gravitacionais (dada a escassez ou ausência de vegetação), favorecendo assim o transporte de partes do maciço ao longo das vertentes, com formação de depósitos associados à fração cascalhosa predominante. A litofácies *Gmm* seria então associada a fluxos de detritos com maior contribuição argilosa, podendo indicar ambientes já diferenciados em relação ao ambiente formador da litofácies *Gcm*.

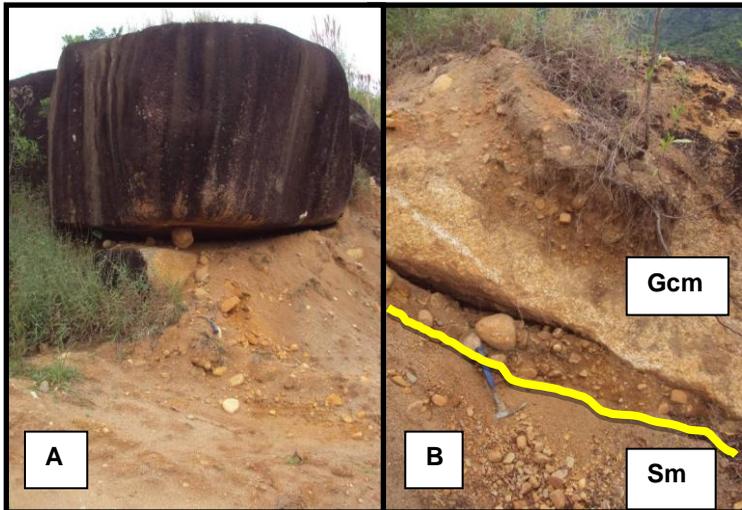
**Figura 22:** Seção LA01. Na parte superior, fotografia panorâmica do afloramento, com indicação dos detalhes inclusos na Figura 23 (círculos vermelhos). Na parte inferior, interpretação e indicação das litofácies definidas de acordo com a escala de Miall (1985).



Fonte: Do autor



**Figura 23:** Fotografias ilustrando detalhes da Seção LA01. A: Litofácies Gcm com matriz cascalhosa e matacões de granito imersos. B: Aspecto da variação granulométrica encontrada na litofácies Gcm em contato com a litofácies Sm. Contato abrupto marcado pela linha amarela



**Fonte:** Do autor, em 12/05/2016.

Na Bacia do Rio da Madre, a atividade de mineração vem sendo desenvolvida dentro dos limites da *fácies de fluxos de detritos*, principalmente em decorrência da composição da litofácies Sm, essencialmente arenosa. No entanto, em muitos destes locais também se observa que a irregularidade da forma e ocorrência destes depósitos é responsável pela geração de grande volume de material estéril, associado às frações argilosa e cascalhosa das litofácies Gcm e Gmm. Desta forma, os mineradores acabam desenvolvendo e ampliando as cavas de extração (em extensão areal e profundidade) em busca da continuidade da litofácies Sm, gerando uma paisagem formada por cavas muitas vezes pouco produtivas,

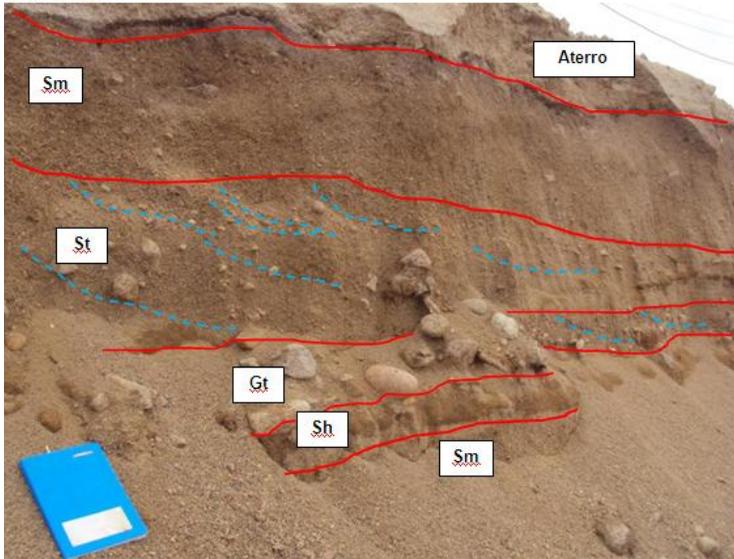
principalmente nas porções localizadas mais a montante da Bacia do Rio da Madre.

#### 6.1.2.2.2 *Fácies de fluxos confinados*

Nos depósitos de leque aluvial, a ocorrência de fácies relacionadas à presença de fluxos confinados é indicativa da atuação de canais que se formam ao longo da superfície do leque, muitas vezes em decorrência da segmentação do canal principal, promovendo assim a erosão e segmentação das superfícies mais antigas do leque (BOGGS, 1995). Nestes locais também são atuantes os processos gravitacionais representados pelos fluxos de detritos, que muitas vezes se aproveitam da presença do canal previamente escavado para escoar ao longo da superfície do leque, conforme apontado por Blair e McPherson (2009) e Hooke (1967 apud PONTELLI, 1998).

Ao longo da porção proximal do depósito de leque aluvial foi individualizada a unidade fácies de fluxos confinados, formada essencialmente por uma associação de litofácies representativa da intercalação de fluxos gravitacionais e fluxos canalizados de processos fluviais (Figura 20). Esta unidade abrange uma associação de fácies de composição essencialmente arenosa, segmentando a unidade fácies de fluxos de detritos através de escarpas erosivas, e apresentando morfologia de paleocanal. Em campo foram observados afloramentos de depósitos arenosos mal selecionadas com granulometrias variando de areia fina a seixos, geralmente expondo intercalações de sedimentos com estrutura maciça (associados a fluxos gravitacionais), e horizontes com laminações e estratificações de pequeno porte associadas a fluxos canalizados. No ponto de descrição n° 03 foi feita análise de seção localizada em talude de cava de extração de areia (Seção LA02), onde foi possível individualizar as litofácies formadoras da unidade (Figura 24).

**Figura 24:** Seção LA02. As linhas em vermelho indicam os contatos entre litofácies. As linhas tracejadas em azul indicam os planos de estratificação dos depósitos. Seção com direção aproximada leste – oeste.



**Fonte:** Do autor, em 25/11/2015

Na base da seção se observa a litofácies *Sm* formada por areias finas a grossas mal selecionadas e maciças, com grãos apresentando índices de arredondamento x esfericidade variando de 0,1 a 0,5 x 0,3 a 0,7, localmente com grânulos dispersos de granito alterado. Logo acima se observa a litofácies *Sh*, formada por areias mal selecionadas e com granulometrias variando de fina a grossa, com laminação horizontalizada e gradação normal. Os índices de arredondamento x esfericidade dos grãos de areia variam de 0,3 a 0,5 x 0,5 a 0,7, com presença de grãos de quartzo, feldspatos parcialmente alterados e restos vegetais milimétricos. Subindo na seção, apresenta-se depósito tabular formado

pela litofácies *Gt*, formada essencialmente por cascalhos finos a grossos associados a areias grossas, com estratificação cruzada acanalada de pequeno porte. Os cascalhos são de granitos parcialmente alterados, com índices de arredondamento x esfericidade variando de 0,7 a 0,9 x 0,7 a 0,9. Os contatos com a litofácies *Sh* são abruptos (erosivos), assim como também com a outra litofácies sotoposta. Através de contato gradacional (gradação normal), acima se passa para a litofácies *St*, formada por areias de granulação fina a muito grossa, localmente com cascalho fino a médio, com estratificação cruzada acanalada de pequeno porte e índices de arredondamento x esfericidade de grãos variando de 0,3 a 0,5 x 0,5 a 0,7. A seção é então capeada pela litofácies *Sm*, idêntica à da base do depósito.

Utilizando a classificação de Miall (1985), as litofácies *Sh*, *St* e *Gt* e respectivas estruturas sedimentares indicam a ocorrência de elemento arquitetural *SB*, representativo de formas de leito arenosas. Tal característica parece apontar para a instalação de um canal sobreposto a sedimentos provindos de evento associado a fluxo gravitacional (litofácies *Sm* basal), com aumento de velocidade de escoamento a partir da litofácies *Sh*. A associação de fácies é então capeada por novo evento gravitacional, representado pela litofácies *Sm* de topo, indicando assim a alternância entre processos essencialmente gravitacionais e fluviais, atuantes ao longo da porção proximal do leque aluvial, promovendo desta forma a progradação dos limites do depósito de leque aluvial em direção à planície (HOOK, 1967 apud PONTELLI, 1998).

Perfil muito semelhante também é encontrado no ponto de descrição nº 07 (Figura 25), com associação de fácies representativas da alternância de fluxos gravitacionais e fluxos confinados, em afloramento localizado nas margens de cava de extração de areia. A associação de fácies de fluxos confinados é amplamente

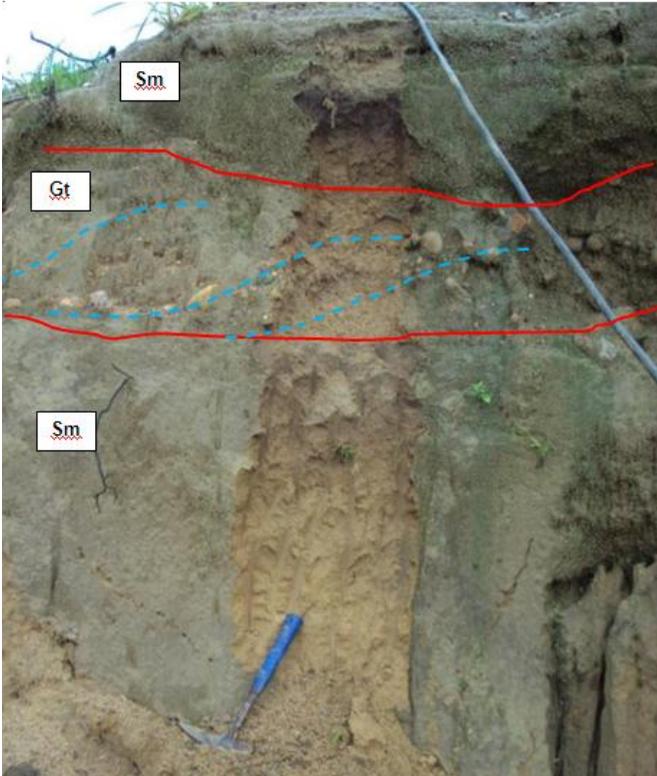
minerada na Bacia do Rio da Madre, uma vez considerada sua composição predominantemente arenosa, sendo a produção limitada pela presença de níveis cascalhosos da litofácies *Gt*. De forma semelhante à fácies de fluxo de detritos, em alguns locais a atividade de mineração torna-se extremamente degradante através da busca pelas areias das litofácies da presente unidade nas escavações realizadas.

#### 6.1.2.2.3 *Fácies de fluxos não confinados*

De acordo com Hooke (1967, apud PONTELLI, 1998) e Boggs (1995), nas porções medianas de depósitos de leques aluviais são comuns as ocorrências de inundações em lençol (*sheetfloods*), observáveis em áreas de interseção, onde o fluxo deixa o canal e se espalha na forma de lençol sobre a superfície do leque. Os depósitos sedimentares resultantes são barras que ocorrem lateralmente aos canais, podendo ser seccionados e dissecados posteriormente, durante a diminuição do estágio de fluxo do sistema (PONTELLI, 1998). Neste contexto os processos sedimentares atuantes seriam relacionados a fluxos não confinados, sem uma direção preferencial de escoamento da carga de sedimentos, atuando no desenvolvimento da superfície do leque aluvial.

Na área de estudo foi individualizada associação de fácies representativa da ocorrência de inundações em lençol, localizada ao longo da porção central da Bacia do Rio da Madre, com distribuição adjacente à unidade fácies de fluxos canalizados. Tendo em vista o panorama da ocorrência de depósitos assim formados, foram aqui individualizados na forma de unidade denominada fácies de fluxos não confinados. A definição desta unidade foi baseada por aspectos morfológicos observáveis através de fotointerpretação e também através da descrição de

**Figura 25:** Seção LA03. As linhas em vermelho indicam os contatos entre litofácies. As linhas tracejadas em azul indicam os planos de estratificação dos depósitos. Seção com direção aproximada leste – oeste.



**Fonte:** Do autor, em 25/11/2015.

afloramentos, notadamente nos taludes de cavas de extração de areia.

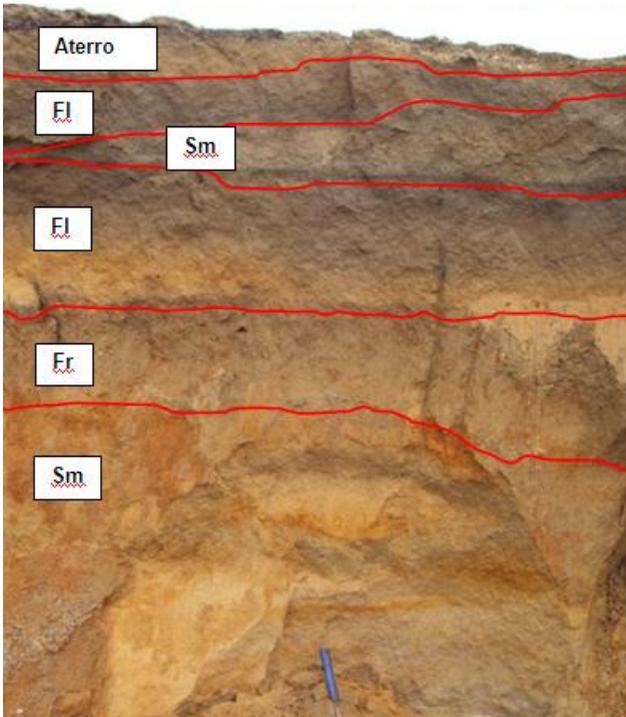
Como característica morfológica principal, o depósito apresenta formas de pequenos terraços dissecados que se dispõem ao longo da direção principal de fluxo da Bacia do

Rio da Madre, sendo limitados por escarpas de pouco mais de 0,5 metros de altura.

São formados por corpos tabulares de areias mal selecionadas associadas a fração lamosa (silte e argila) em proporções variáveis, com presença esparsa de cascalho fino a médio, e geralmente capeados por depósitos lamosos. As estruturas resultantes são predominantemente maciças, localmente finamente laminadas, sendo representativos de processos de fluxos gravitacionais (fluxos de detritos) que extravasaram os canais de escoamento. No ponto de descrição n° 13, localizado em talude de cava de extração de areia, foi elaborada seção estratigráfica da unidade (Seção LA04), em afloramento com aproximadamente 2,5 metros de espessura (Figura 26).

A base da seção é formada pela litofácies *Sm*, com areias mal selecionadas variando de finas a grossas e com índices de arredondamento x esfericidade de grãos variando de 0,1 a 0,5 x 0,3 a 0,7, com baixo percentual de finos associados, essencialmente maciça e localmente finamente laminada. No topo ocorre gradação normal, até a ocorrência da litofácies *Fr*. A litofácies *Fr* é formada por corpo tabular de areia argilosa de coloração acinzentada, com grãos de areia de granulometria fina predominantes. São notadas estruturas na forma de bioturbações, formadas por nódulos milimétricos de formas irregulares e alongadas na direção vertical, compostos por material argiloso alaranjado. A sequência da seção é formada por intercalações entre as litofácies *Fl* e *Sm*. A litofácies *Fl* é formada por corpos tabulares de areias argilo siltosas maciças a finamente laminadas horizontalmente, com colorações acinzentadas, com grãos de areia essencialmente finos. O estrato intercalado formado pela

**Figura 26:** Seção LA04. As linhas em vermelho indicam os contatos entre as litofácies.



**Fonte:** Do autor, em 25/11/2015.

litofácies *Sm* ocorre na forma de lente centimétrica, apresentando gradação normal no topo.

De acordo com a aplicação da escala faciológica de Miall (1985), a associação de fácies seria representativa de fluxos gravitacionais (fluxo de detritos) representados pela litofácies *Sm*, sendo intercalados a depósitos de transbordo ou de fluxo decrescente, através da ocorrência da litofácies *Fl*. A gradação basal da seção, formada pela litofácies *Sm* gradando para a *Fr* poderia ser representativa da diminuição de velocidade de fluxo quando do

encerramento de uma inundação em lençol responsável pelo transporte de sedimentos (fluxo de detritos) para além dos limites do canal principal de escoamento. Desta forma, a litofácies *Fr* seria representativa da deposição final, através de decantação parcial da fração lamosa, e posterior formação de solo residual, uma vez observadas as bioturbações. Posteriormente ocorreriam novas inundações semelhantes, representadas pela sequência de litofácies *Fl-Sm-Fl*.

A atividade de extração de areia ocorre disseminada dentro dos limites da unidade *fácies de fluxos não canalizados*, sendo aproveitado principalmente o conteúdo arenoso da litofácies *Sm*. No entanto, em várias bordas de cavas nota-se a intercalação irregular de fácies arenosas e lamosas, o que acarreta em quedas de produção e consequente aumento de profundidade e extensão das cavas de extração.

#### 6.1.2.2.4 *Fácies de planície de inundação*

Na porção central da área de estudo ocorre relevo plano rebaixado, formado por terreno alagadiço, onde foi individualizada unidade referente à *fácies de planície de inundação do sistema deposicional aluvial*. Topograficamente o local é mais alto do que as baixadas adjacentes integrantes da Planície Costeira (onde se observam os depósitos do sistema deposicional transicional), mas é a área com menores cotas em relação aos depósitos de leque aluvial. Nestes locais são encontrados sedimentos essencialmente lamosos associados à presença de matéria orgânica.

A unidade foi individualizada através de fotointerpretação, onde a morfologia é dominada por terrenos planos e alagadiços, e também através da observação de afloramentos ao longo de canais de drenagem existentes. Os perfis levantados são pouco

espessos, uma vez observada a pouca profundidade do lençol freático, nunca ultrapassando 0,5m. Nestes locais ocorrem argilas plásticas e maciças de coloração acinzentada associadas a lentes com lamas orgânicas de cor preta, típicas de ambientes redutores.

Segundo a classificação de Miall (1985), a litofácies C seria associada a depósitos de brejos, assim como as litofácies *Fsm* e *Fl* seriam associadas a depósitos de canais abandonados e áreas de brejos. Considerando a ausência de afloramentos com maiores espessuras a fim de se observar variações laterais de fácies, no presente estudo adotou-se a litofácies *Fsm* como representativa destes depósitos (argilas e silte maciço associado a depósitos de brejo).

Nenhuma atividade de extração mineral foi identificada atuando dentro dos limites desta unidade.

### 6.1.2.3 Depósitos fluviais

Como depósitos fluviais foram individualizadas as acumulações formadas pela ação fluvial atuante ao longo da Bacia do Rio da Madre durante o Quaternário. Nesta unidade foram incluídos os depósitos relacionados aos diversos ambientes associados tanto ao Rio da Madre quanto de seus afluentes inseridos na área de estudo, sendo abrangidos depósitos de canal, depósitos de barras laterais, depósitos de diques marginais, depósitos de rompimento de diques marginais e depósitos de inundação. Não foi realizada individualização destes diferentes tipos de depósitos, uma vez observada a grande variação em área da ocorrência dos mesmos, assim como pela ausência de afloramentos representativos de todos eles.

A morfologia do canal fluvial é o principal agente controlador da geometria dos depósitos fluviais (RICCOMINI E COIMBRA, 1993). Desta forma, ao longo do trecho do Rio da Madre e afluentes abrangido pela área de

estudo, se observam padrões variando de entrelaçado a retilíneo nas porções proximais, com predomínio de meandros à jusante.

No trecho mais a montante do Rio da Madre o canal se encontra bem entalhado, sendo comuns desníveis de até 6,0 metros de altura entre o nível d'água médio e o topo dos terraços fluviais. Aqui são comuns os depósitos de canal, representados por ilhas de sedimentos rudáceos depositados principalmente ao longo da porção central do leito ativo (barras longitudinais), com aspecto característico de padrão de drenagem entrelaçada. Nos fundos do canal e nas margens também se observam acumulações de seixos graníticos, algumas vezes associados a bancos de areias mal selecionadas com granulometrias variando de média a grossa e restos vegetais (troncos de árvores). Neste trecho do rio também se observam depósitos de acreção lateral na forma de terraços fluviais arenosos, formados por areias de granulometria fina a grossa. Nos terraços também se observam vestígios da presença antiga do canal ativo do rio, dada a ocorrência de depósitos cascalhosos com imbricamento de clastos (Figura 27).

A porção mediana do Rio da Madre é marcada pelas formas mais retilíneas (onde a drenagem se encontra bem encaixada em lineamentos estruturais do Embasamento Cristalino) variando para formas meandranter. Nos trechos de padrão retilíneo são mais comuns os depósitos arenosos de canal, na forma de barras longitudinais e laterais, formadas por areias mal selecionadas de granulometria variando de média a grossa, localmente com acumulações lamosas. Os depósitos de acreção lateral formam terraços menos desenvolvidos dos que os da porção proximal. Neste trecho do rio começam a ser observados depósitos de diques marginais, com formas alongadas adjacentes ao canal. Aqui ocorrem areias de granulometria variando de fina a grossa e com restos vegetais. Mais a jusante é notória a presença de depósitos

de rompimento de diques (*crevasse splay*), formando lobos de deposição de areia em direção transversal ao canal do rio, indicando o extravasamento de fluxo sedimentar em decorrência de inundações. Tais feições aparentemente são as responsáveis por altas taxas de deposição de areias ao longo da Bacia do Rio da Madre, uma vez que através da observação de imagens de satélite são notados depósitos semelhantes em pleno desenvolvimento (Figura 28).

**Figura 27:** Margem direita da porção proximal do Rio da Madre. Em primeiro plano, depósitos de canal atualmente localizado nas margens (com seixos imbricados). Ao fundo, depósito arenoso de canal.



**Fonte:** Do autor, em 16/03/2016.

De acordo com Millard (2013), os depósitos de rompimento de diques marginais são formados em locais onde ocorre a ruptura do dique ou das barras laterais dos rios, expondo à planície os sedimentos que são selecionados de acordo com a diminuição da competência do fluxo ao se distanciar do canal principal. Desta forma, os depósitos de rompimento de dique têm composição segmentada, ocorrendo frações mais arenosas em locais proximais, e mais argilosos em direção à planície. No ponto de descrição nº 48 foi observado afloramento localizado em

talude de cava de extração de areia com exposição destes depósitos (Figura 29).

**Figura 28:** Imagem de satélite LANDSAT-8 datada de 10/08/2009 da porção mediana do Rio da Madre na área de estudo. As setas indicam depósitos de rompimento de dique marginal (*crevasse splay*), após extravasamento do canal do rio.



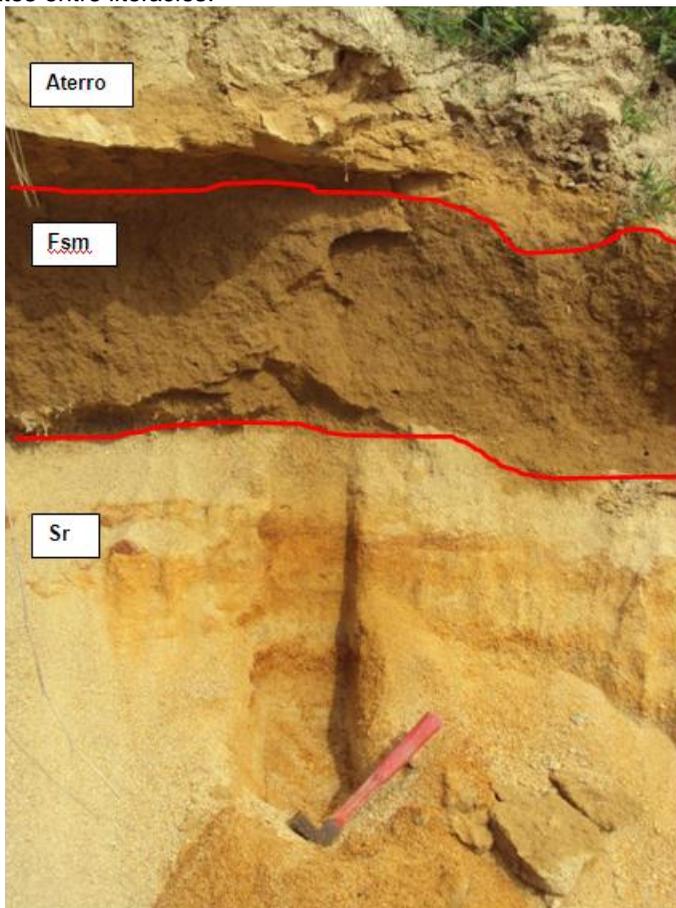
Fonte: GoogleEarth (2016).

Na Figura 30, a seção analisada (Seção DF01) aponta a presença de duas litofácies que podem indicar a ocorrência de deposição associada a rompimento de dique marginal. Na base da seção ocorre a litofácies Sr, formada por areias de granulação fina a grossa, mal selecionadas, apresentando marcas onduladas de pequeno porte (*ripples*). Acima, e através de contato gradacional (gradação normal), ocorre camada tabular de composição areno lamosa e maciça, associada à litofácies Fsm.

De acordo com a classificação de fácies apresentada por Miall (1985), esta sequência de fácies pode ser representativa de fluxos decrescentes, associados a depósitos de areia formados por fluxos do regime inferior (baixa energia), conforme indicado pela litofácies Sr, seguido de camada associada a deposição lamosa brusca, através da litofácies Fsm. Este contexto indica de forma clara a diminuição brusca das velocidades de fluxo

atuantes, podendo ser representativa de evento de rompimento de dique marginal e posterior decantação de sedimentos finos, após o encerramento do evento de enchente associado.

**Figura 29:** Seção DF01. As linhas em vermelho indicam os contatos entre litofácies.



**Fonte:** Do autor, em 25/11/2015.

No trecho mais distal do Rio da Madre se observam formas de canal essencialmente meandranes, ocorrendo depósitos arenosos de barras em pontal (areias de granulometria fina a média), e depósitos de inundação, representados por sedimentos areno lamosos depositados ao longo da planície quando da ocorrência de enchentes.

Os depósitos de inundação são observados em todos os trechos do Rio da Madre, ocorrendo de forma intercalada a outros tipos de depósitos fluviais, assim como também com os do sistema deposicional transicional.

Na área de estudo, algumas cavas de extração de areia estão localizadas dentro dos limites dos depósitos fluviais, sendo aproveitados principalmente os horizontes arenosos da litofácies *Sr*. Algumas das cavas ainda geram grande volume de material estéril, haja vista a necessidade de retirada das camadas superficiais de composição areno argilosa (litofácies *Fsm*).

### **6.1.3 Sistema Depositional Transicional**

Na área de estudo foram individualizadas cinco unidades litoestratigráficas associadas a processos sedimentares controlados pela variação do nível relativo do mar ocorrida durante o Quaternário, assim como também pelo retrabalhamento posterior por agentes de transporte e erosão. Dentre as unidades individualizadas tem-se o depósito eólico Pleistocênico, depósito flúvio-lagunar, depósito lagunar, depósito marinho praiado e depósito eólico Holocênico (Figura 30).

#### **6.1.3.1 Depósito eólico Pleistocênico**

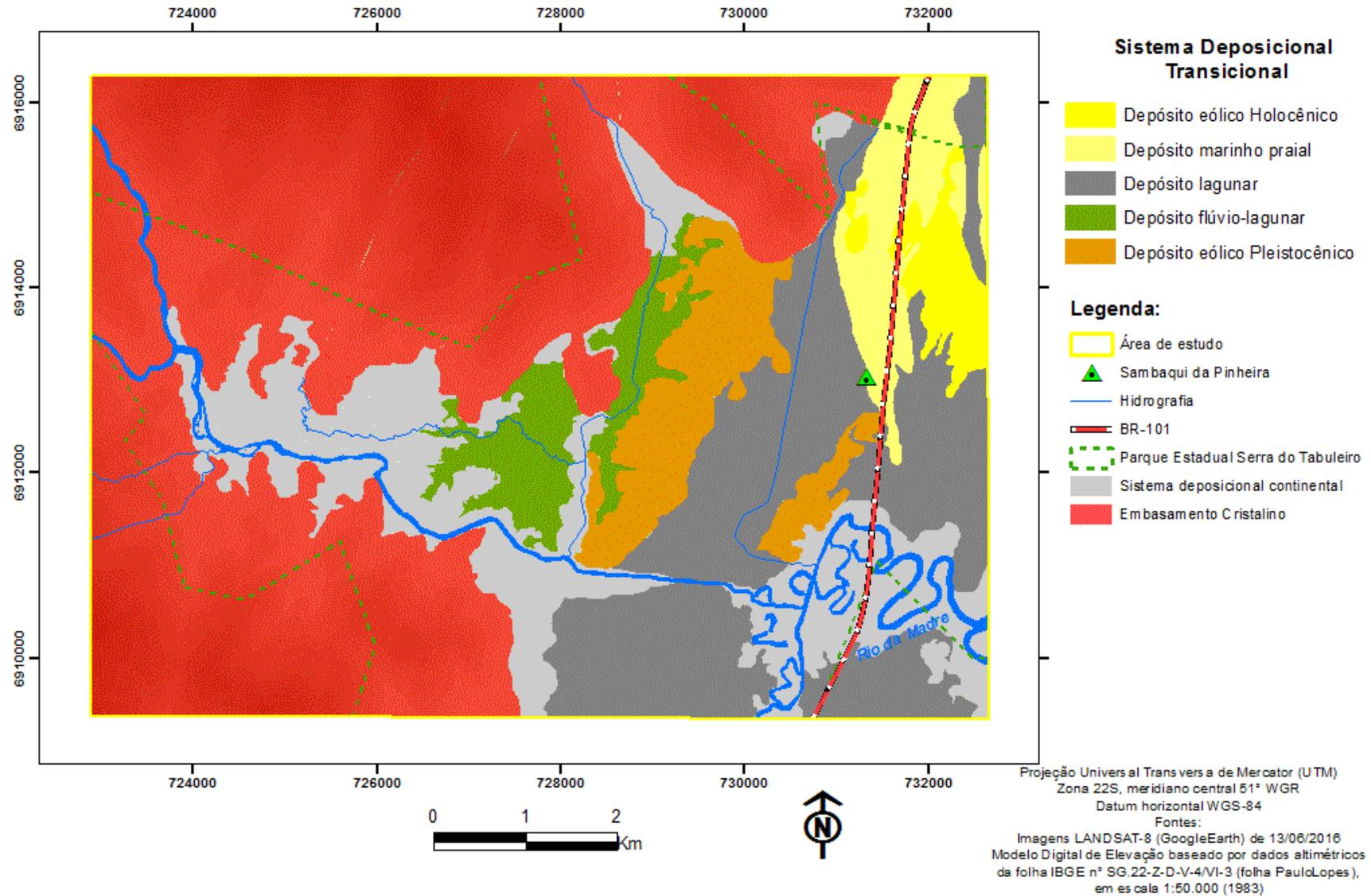
Foram encontrados dois terraços associados à sedimentação eólica Pleistocênica, localizados ao longo das comunidades de Albardão e Três Barras. Estes

terraços são limitados por escarpas erosivas dissecadas, gerando desníveis com 4,0 a 6,0m em relação às unidades adjacentes, apresentando formas alongadas na direção NNE-SSW. A unidade foi definida com base em aspectos morfológicos facilmente identificáveis através de fotointerpretação, assim como por descrição de afloramentos, notadamente aqueles localizados nas diversas cavas de extração de areia existentes.

Estes depósitos são caracterizados por apresentarem dois horizontes arenosos de colorações distintas, sendo a base formada por areias esbranquiçadas, capeadas por camada tabular de areias acastanhadas, ambas com sedimentos essencialmente arenosos de granulometria fina a muito fina. Os locais onde estes depósitos afloram são os taludes das cavas de extração de areia existentes na comunidade de Albardão, sendo que a base do depósito é apenas parcialmente aflorante, haja vista a presença do lençol freático (Figura 31). Desta forma, a base do depósito eólico é de difícil acesso para a realização de trabalhos de análise detalhada, ainda mais considerando a situação de precariedade da estabilidade dos taludes.

Apesar das dificuldades naturais impostas, em uma das cavas (ponto de descrição nº 26) pôde ser realizada observação de perfil com exposição das duas camadas de areias, sendo coletadas algumas informações para a caracterização da estratigrafia da área de estudo. As areias esbranquiçadas da base do depósito apresentam seleção muito boa, sendo essencialmente quartzosas, com granulometrias finas dominantes e índices de arredondamento x esfericidade variando de 0,7 a 0,9 – 0,5 a 0,9. O contato superior é marcado pela presença de crosta sub centimétrica de limonita e óxidos de ferro, apresentando coloração castanha escura. As camadas superiores do depósito são formadas por areias de coloração acastanhada a alaranjada, muito bem selecionadas, apresentando granulometrias finas a muito

**Figura 30:** Mapa geológico com indicação das unidades do Sistema Depositional Transicional.



Fonte: Do autor.



finas predominantes, com índices de arredondamento x esfericidade de 0,9 – 0,7 a 0,9, sendo os grãos recobertos por película de óxido de ferro, motivo este da coloração acastanhada destes sedimentos (Figura 32). Em todos os afloramentos visitados não foi observada presença de estruturas sedimentares.

**Figura 31:** Afloramento de areias eólicas Pleistocênicas em cava de extração de areia na localidade de Albardão. A linha vermelha indica o contato entre as areias esbranquiçadas e as areias acastanhadas.



**Fonte:** Do autor, em 10/06/2015.

As características levantadas são muito similares aos dados apontados por Caruso Jr (1995), que associou a parte basal do depósito a ambiente marinho praiado, uma vez que este autor localizou icnofósseis de *Callichirus Major*. No presente estudo tais dados não foram levantados, impossibilitando assim a associação com ambientes praiados, ainda mais considerando a falta de locais com exposição adequada de estruturas

sedimentares que pudessem indicar tal ambientação. Desta forma, as areias da parte basal do depósito foram incorporadas ao depósito eólico sobreposto, uma vez que este apresenta características sedimentológicas próprias de ambientes eólicos.

**Figura 32:** Afloramento de areias eólicas pleistocênicas em cava de extração de areia na localidade de Albardão.



**Fonte:** Do autor, em 12/05/2016.

Tais depósitos também foram associados à sedimentação eólica Pleistocênica através da comparação com dados muito similares apontados por vários estudos realizados na região (MARTIN *et al.*, 1988; CARUSO Jr, 1995; DUARTE, 1995; HORN FILHO *et al.*, 2014), onde é feita associação ao Sistema Laguna-Barreira III de Villwock e Tomazzelli (1995), formado através de eventos relacionados à última transgressão marinha ocorrida no Pleistoceno, por volta de 120Ka AP.

Diversas cavas de extração de areia se encontram localizadas dentro dos limites da unidade depósito eólico Pleistocênico, uma vez observadas composições

essencialmente arenosas, assim como também pela ausência de camada de material estéril capeador. Problemas ambientais são observados no que concerne à estabilidade e erosão dos locais adjacentes, uma vez que alguns mineradores aprofundam em demasia as cavas, atividade induzida pela grande espessura destes depósitos e pela sua homogeneidade composicional.

#### 6.1.3.2 Depósito flúvio-lagunar

No contexto de formação do Sistema Laguna-Barreira IV como definido por Villwock e Tomazzelli (1995), durante a última fase transgressiva pós-glacial ocorrida há cerca de 5.150 anos atrás, a instalação de barreira arenosa e consequente ingressão marinha por vales entalhados na Planície Costeira permitiu o estabelecimento de lagunas ao longo da costa catarinense (CARUSO Jr, 1995). No entanto, a continuidade da sedimentação de origem aluvial através dos rios desaguardo ao longo destes corpos lagunares (com acúmulo de sedimentos em suas margens), e com posterior retrabalhamento por meio da circulação de águas do interior das lagunas, acabou por facilitar a progradação dos depósitos de origem continental sobre os sedimentos lagunares, gerando alternância de depósitos lagunares e fluviais (CARUSO Jr, 1995; HORN FILHO *et al.*, 2014).

Na área de estudo, a identificação destes depósitos foi feita com base na observação do conteúdo do material retirado das cavas de extração de areia, principalmente ao longo da porção central da Bacia do Rio da Madre, descrição de afloramentos em taludes das mesmas cavas e através da comparação com dados bibliográficos e fotointerpretação.

Em superfície, os depósitos flúvio-lagunares são capeados por corpos tabulares de areias argilosas e argilas arenosas, localmente com presença de cascalho fino

disseminado, apresentando estruturas maciças a finamente laminadas horizontalmente, conforme observado em alguns dos taludes de cavas visitadas. O contato inferior destes depósitos não pôde ser observado, dada a presença do lençol freático exposto no interior das cavas. Durante as operações de lavra foi observada a retirada de grande quantidade de conchas de moluscos pelas balsas de extração atuando no fundo de algumas cavas, sendo as mesmas devidamente separadas das areias por peneiramento e estocadas em pilhas (Figura 33). No entanto, as informações obtidas com os operadores das balsas divergem muito no que se refere às profundidades de obtenção dos níveis conchíferos, fator este que limitou uma melhor caracterização dos depósitos no registro estratigráfico local. Tal fato também foi dificultado pela ausência de afloramentos com presença de biodetritos.

As conchas variam de muito bem preservadas a parcialmente fragmentadas (podendo indicar pouco transporte e retrabalhamento), sendo formadas por espécies de moluscos bivalves (*Anomalocardia brasiliiana* e *Ostrea equestris*) associados a restos vegetais e areias de granulometria grossa a média (Figura 34). Dentro das conchas se observa presença de argilas de coloração cinza esverdeada, indicando o tipo de sedimento formador dos depósitos lagunares soterrados. Segundo informações dos operadores das balsas, abaixo dos bancos conchíferos ocorrem níveis arenosos, com presença de areias de granulometrias grossas, sem a presença de argilas ou biodetritos.

A presença de estrato sedimentar argiloso com presença de biodetritos típicos de ambientes lagunares, em alternância com horizontes arenosos mal selecionados, sendo ambos capeados por sedimentos argilo arenosos, aparentemente aponta para a alternância dos processos deposicionais atuantes, ora com predominância da sedimentação fluvial (representada pelos horizontes arenosos), ora pela sedimentação lagunar (representada

pela presença de conchas em meio lamoso). A cobertura argilo arenosa seria associada então ao término da influência lagunar no ambiente, sendo representativa de depósitos de inundação das drenagens locais.

**Figura 33:** Pilhas de estocagem de biodetritos retirados do interior das cavas de extração de areia localizadas dentro dos limites do depósito flúvio-lagunar.



**Fonte:** Do autor, em 16/03/2016.

#### 6.1.3.3 Depósito lagunar

Ao longo de boa parte da porção leste da área de estudo foi individualizado depósito lagunar, através de dados morfológicos obtidos por fotointerpretação, de dados obtidos de poucos afloramentos existentes, e principalmente através de comparação com dados bibliográficos. O depósito se localiza nas porções mais rebaixadas do terreno da área de estudo, frequentemente apresentando pontos de acúmulo de água (alagados) e baixa profundidade do lençol freático, sendo os locais aproveitados para a instalação de canchas de rizicultura.

Nestas baixadas foram escavadas valas de drenagem, onde se observaram alguns afloramentos.

**Figura 34:** Conchas de moluscos bivalves (*Anomalocardia brasiliiana* e *Ostrea equestris*) lavradas das cavas de extração de areia na área de estudo.



**Fonte:** Do autor, em 16/03/2016.

Em superfície ocorrem camadas de material argiloso associado a matéria orgânica e horizontes turfáceos maciços, de coloração cinza escura, geralmente com espessuras variando de 0,4 a 0,7m. Abaixo ocorrem níveis arenosos a areno argilosos, sendo a areia de granulometria fina predominante. Em alguns afloramentos se observa também a presença de lentes argilosas de coloração cinza com presença de conchas de moluscos bivalves parcialmente fragmentados.

Uma melhor caracterização estratigráfica não pôde ser realizada devido à ausência de bons afloramentos com espessuras de exposição maiores do que 0,5m. Os aspectos levantados se assemelham muito à caracterização de depósitos lagunares conforme apontado

por Caruso Jr. (1995), assim como por Horn Filho *et al.* (2014), que associam os mesmos a eventos transgressivos decorridos ao longo dos últimos 5Ka, dentro do Sistema Laguna – Barreira IV de Villwock e Tomazzelli (1995).

Não se observam frentes de lavra de areia instaladas nos domínios do depósito lagunar.

#### 6.1.3.4 Depósito marinho praiial

Na porção nordeste da área de estudo foi identificado depósito marinho praiial Holocênico através de trabalhos de fotointerpretação, descrição de afloramento e comparação com dados bibliográficos. Como fator crucial na identificação do mesmo cita-se o aspecto morfológicos, formado por cristas alongadas em direção aproximada N-S e de forma concêntrica, paralelamente aos cordões regressivos da Praia da Pinheira.

De acordo com Caruso Jr. (1995), os depósitos marinhos praiiais Holocênicos são integrantes da fácies da Barreira IV do Sistema Laguna – Barreira IV de Villwock e Tomazzelli (1995), sendo formados pelos eventos transgressivos e regressivos ocorridos há aproximadamente 5,15Ka AP, responsáveis pela formação de praias e ambientes de sedimentação marinhos rasos e eólicos. Com o início do rebaixamento relativo do nível do mar, a dinâmica costeira associada à ação das marés forneceu os meios para a formação de cordões praiiais regressivos, formados por cristas e depressões, com direções paralelas à linha de costa atual.

Durante a etapa de campo foi observado afloramento localizado no ponto de descrição n° 24, onde se observam os limites do depósito marinho praiial em direção ao continente (paleo linha de costa). No local existe relevo na forma de cristas com altura não superior a 3,0m, parcialmente dissecadas e erodidas, sendo comum a sobreposição de depósitos eólicos posteriores (dunas). Em

superfície é de difícil distinção o direcionamento e aspecto cíclico da morfologia destes cordões regressivos, sendo mais facilmente identificáveis através de fotointerpretação. Ao longo de cortes existentes em estrada secundária se observam afloramentos formados essencialmente por areias de coloração bege, com granulometria fina e índices de arredondamento x esfericidade de 0,9 x 0,9 (grãos muito bem arredondados e esféricos), com estrutura laminada horizontalmente, por vezes levemente inclinada em direção leste. Nos planos das laminações se observam acúmulos milimétricos de minerais pesados de cor escura.

Na área de estudo não se observa o desenvolvimento da atividade de lavra dentro dos limites da unidade.

#### 6.1.3.5 Depósito eólico Holocênico

Sobre os sedimentos do depósito marinho praiial foram individualizados depósitos eólicos recentes (Holocênicos) localizados na porção nordeste da área de estudo. De acordo com Horn Filho *et al.* (2014), os depósitos eólicos do Holoceno são formados pelo retrabalhamento dos depósitos dos cordões regressivos e das praias atuais, sendo observados ao longo de todo o litoral Catarinense.

A definição da unidade foi feita com base em fotointerpretação, dados de campo e comparação com estudos anteriores. Morfologicamente os depósitos são representados por dunas fixas e vegetadas por gramíneas e arbustivas, dispostas em formas alongadas com direção NE. São compostos por areias de granulometria fina a muito fina com fração siltosa em menor proporção, apresentando coloração bege acinzentada e grãos polidos. Não se observou a presença de estruturas sedimentares no local visitado (ponto de descrição nº 24), assim como

também não se observa o desenvolvimento de extração mineral.

#### **6.1.4 Sistema Depositional Antropogênico**

O sistema deposicional antropogênico é representado por depósitos do tipo sambaqui e tecnogênicos. Na área de estudo existe um depósito do tipo sambaqui, denominado Sambaqui da Pinheira, localizado nas margens da rodovia BR-101 e devidamente protegido e identificado, com localização dada pelo mapa da Figura 30. O referido depósito é formado por acumulações de conchas de moluscos bivalves formados por tribos coletoras ancestrais.

Os depósitos tecnogênicos são representados pelos aterros para a implantação da rodovia BR-101, ocorrendo ao longo do mesmo trajeto desta, formados por blocos de rocha, e camadas de areias e argila compactadas.

### **6.2 A ATIVIDADE DE LAVRA DE AREIA NA BACIA DO RIO DA MADRE**

A caracterização da atividade de lavra de areia desenvolvida na Bacia do Rio da Madre foi feita com base nos aspectos relacionados às normas vigentes do setor mineral, e também da situação legal dos empreendimentos mineiros, do mercado e produção de areia em nível local, da metodologia de lavra desenvolvida e de aspectos referentes às características físicas do minério lavrado.

#### **6.2.1 Normas e aspectos legais para a atividade mineral**

No Brasil a atividade de mineração é regulamentada por normas e dispositivos legais da Constituição Federal de

1988 (BRASIL, 1988), que estabelece que os bens minerais são de propriedade da União, sendo esta a responsável pela administração, autorização e concessão de direitos à exploração, assim como pela competência de legislar sobre o tema. Também estabelece competências comuns entre União, Estados e Municípios no que se refere ao registro, acompanhamento e fiscalização de concessões de direitos à pesquisa e aproveitamento de recursos minerais nos respectivos territórios.

O Código de Mineração, instituído pelo Decreto-Lei nº 227/1967 (BRASIL, 1967), disciplina a administração dos recursos minerais pela União, assim como a indústria de produção mineral, a distribuição, o comércio e o consumo de produtos minerais no Brasil. Em seu Artigo 2º, estabelece quais são os Regimes de Aproveitamento dos recursos minerais, levando em conta fatores como diversidade das substâncias, dificuldades de aproveitamento e destino da produção. Através da Lei nº 6.567 de 24 de setembro de 1978 (BRASIL, 1978), foi instituído o Regime de Licenciamento, com atualização dada pela Consolidação Normativa constante na Portaria do Diretor Geral do DNPM nº 155 de 12 de maio de 2016 (BRASIL, 2016c).

#### 6.2.1.1 Regime de licenciamento

O regime de licenciamento é estabelecido para a lavra de substâncias minerais direcionadas ao aproveitamento como insumos para a construção civil, assim como argilas para olarias e calcários para uso como corretivo de solos. Este regime estabelece um tamanho máximo de 50,0 hectares das áreas, existindo a necessidade de o minerador ser o proprietário do solo a ser explorado, ou possuir autorização do mesmo. Ainda são exigidas licenças municipais de autorização para a atividade, assim como licença ambiental do órgão

Estadual, para então ser emitido o Registro de Licença pelo DNPM, com validade balizada pelas licenças ambiental e municipal.

Dentre as características do regime de licenciamento, nota-se a ausência da necessidade de desenvolvimento de trabalhos técnicos direcionados ao conhecimento prévio das jazidas a serem exploradas, sendo a lavra iniciada assim que cumpridos apenas os requisitos legais. O Registro de Licença emitido pelo DNPM também não estabelece volumes máximos de minério a serem lavrados, sendo que eventuais limitações deverão ser apontadas na licença ambiental do empreendimento. No entanto, muitas vezes tais limitações indicadas na licença ambiental desconsideram o conhecimento das jazidas a nível local, uma vez que trabalhos de pesquisa não são desenvolvidos no âmbito do Regime de Licenciamento.

#### 6.2.1.2 Regime de autorização de pesquisa e concessão de lavra

Direcionado à concessão de áreas máximas de até 2.000 hectares, o regime de autorização de pesquisa e concessão de lavra permite o aproveitamento de todas as substâncias minerais (inclusive as do regime de licenciamento), com exceção dos monopólios do petróleo e urânio, e das substâncias associadas à permissão de lavra garimpeira. Inicialmente é feito requerimento de pesquisa, com indicação da substância e área a ser pesquisada. Após a análise do DNPM é emitido Alvará de Pesquisa pelo prazo máximo de 03 anos (prorrogável, se for o caso), onde devem então ser realizados trabalhos técnicos objetivando o entendimento da disposição espacial, controles geológicos, qualidade e abrangência das jazidas, dentre outros aspectos, trabalhos estes sintetizados na forma de relatório de pesquisa. Após a análise e aprovação

do mesmo pelo DNPM, é estipulado prazo de até um ano para apresentação de requerimento para obtenção da concessão de lavra, devendo incluir um Plano de Aproveitamento Econômico, com a indicação dos aspectos relacionados ao tipo de lavra a ser desenvolvido, equipamentos, dimensionamento das instalações, controle ambiental, dentre outros aspectos relacionados ao empreendimento minerário a ser instalado, incluindo aí a licença ambiental. Caso o Plano de Aproveitamento Econômico possua os requisitos técnico-econômicos necessários, após a análise do DNPM, é outorgada a concessão de lavra, onde a atividade poderá ser desenvolvida de forma permanente. Ainda no mesmo regime, e antes da outorga da concessão de lavra, a legislação mineral estabelece a possibilidade de emissão de um título provisório de lavra, denominado de Guia de Utilização, onde o DNPM autoriza a lavra por curtos períodos de tempo, sendo também estipulados os volumes de minério a serem lavrados. Como condicionantes se incluem a licença ambiental específica para a lavra com Guia de Utilização, assim como projeto de lavra e demais elementos técnicos, conforme estabelecido pelo conteúdo da Portaria do Diretor Geral do DNPM n° 155/2016 (BRASIL, 2016c).

Percebe-se que no regime de autorização de pesquisa e concessão de lavra é exigido certo grau de detalhamento dos trabalhos técnicos a serem desenvolvidos para o dimensionamento adequado da jazida. Apesar de mais oneroso e demorado para o minerador obter a concessão de lavra, tais trabalhos são de fundamental importância para o conhecimento das formas como a mineração poderá efetivamente ser desenvolvida nos locais pesquisados. A pesquisa também fornece subsídios para a análise e posterior emissão da licença ambiental pelo órgão competente, uma vez que podem ser realizadas projeções e estimativas de eventuais impactos ambientais da atividade.

### 6.2.1.3 Regime de registro de extração

O regime de registro de extração tem por finalidade a emissão de permissão de lavra a órgãos da administração direta ou autárquica da União, dos Estados e dos Municípios, de substâncias minerais de uso imediato na construção civil, em áreas máximas de cinco hectares, onde a comercialização é expressamente proibida, devendo o minério ser utilizado somente em obras públicas conforme especificado pelo Decreto nº 3.358 de 02 de fevereiro de 2000 (BRASIL,2000).

Dentre as condicionantes para a emissão do registro de extração estão a licença ambiental específica para a atividade, plantas com localização da área de lavra e elementos comprobatórios da necessidade de fornecimento de minério, tipo da obra e qualificação da entidade responsável. Não se observam condicionantes relacionadas à caracterização geológica ou ambiental da jazida a ser explorada.

### **6.2.2 Situação legal dos empreendimentos minerários na área de estudo**

Na área de estudo existem um total de 76 processos minerários (BRASIL, 2016a), sendo 21 no regime de licenciamento, 50 no regime de autorização de pesquisa e concessão de lavra, e mais 5 processos atualmente em fase de disponibilidade (Tabela 01 e Figura 35). A fase de disponibilidade é referente aos processos com títulos anteriores cancelados, e que aguardam definição do DNPM para a continuidade dos trâmites legais visando a obtenção de novos títulos autorizativos de pesquisa ou lavra. Deste total, 54 processos são direcionados para o aproveitamento da substância areia.

Dentre todos os processos em regime de licenciamento, atualmente dois deles se encontram com

**Tabela 01:** Situação legal dos processos minerários abrangidos pela área de estudo até a data de 20/10/2016.

Regime de aproveitamento/istatus da atividade	Licenciamentos	Aut. de Pesquisa/concessão de lavra		Disponibilidade	Registro de extração
		<i>Fase de pesquisa</i>	<i>Fase de requerimento de lavra</i>		
Lavra não iniciada	1	42	4	5	-
Lavra suspensa	2	-	-	-	-
Lavra em atividade	15	4	-	-	-
Lavra encerrada	3	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>21</b>	<b>50</b>		<b>5</b>	<b>0</b>

**Fonte:** Do autor, baseado em dados do DNPM (2016).

lavra suspensa temporariamente, três com lavra já encerrada, um com lavra ainda não iniciada, e nos processos restantes a atividade é desenvolvida normalmente (outros 15 processos). Sob o regime de autorização de pesquisa, 4 processos encontram-se com lavra ativa, justamente aqueles cuja tramitação engloba de forma conjunta os regimes de licenciamento e autorização de pesquisa, devidamente amparados pelo teor da Portaria nº 155 de 12 de maio de 2016 (BRASIL, 2016c). Em dois destes processos a lavra é desenvolvida com Guia de Utilização (fase de autorização de pesquisa), e nos outros dois a lavra é amparada pelos respectivos Registros de Licença, até a emissão da concessão de lavra permanente.

No restante dos processos em fase de autorização de pesquisa/concessão de lavra, a atividade ainda não foi devidamente autorizada pelo DNPM. Processos em regime de registro de extração não são observados na área de estudo.

Através da análise da situação legal dos processos minerários conforme indicado, e considerando a situação atual das áreas com lavra de areia desativada ou em andamento, nota-se o predomínio absoluto daqueles tramitando em regime de licenciamento. Tal quadro pode ser explicado pela facilidade na obtenção de título autorizativo para lavra em comparação com os outros regimes, assim como também pela maior agilidade dos trâmites necessários junto ao DNPM e menores custos, uma vez que não são exigidos trabalhos de pesquisa para melhor compreensão dos parâmetros técnicos e econômicos da jazida. Isto implica que todos os processos em regime de licenciamento se encontram devidamente autorizados tanto pelo órgão ambiental (FATMA) quanto pelas prefeituras de Palhoça e de Paulo Lopes para a atividade de lavra de areia. Interessante também notar que dentre os processos em regime de autorização de pesquisa/concessão de lavra, nove destes se encontram na fase de requerimento de lavra, ou seja, se encontram em vias de receberem títulos autorizativos definitivos (concessão de lavra), podendo desenvolver de forma acelerada a atividade no contexto da área de estudo.

No mapa da Figura 35 são indicadas as localizações dos processos em regime de licenciamento e também os processos em fase de autorização de pesquisa/concessão de lavra tramitando na fase de requerimento de lavra.

### **6.2.3 Produção e mercado consumidor de areia**

Segundo dados obtidos junto ao DNPM (BRASIL, 2016d), durante o ano de 2013 (último ano com produção

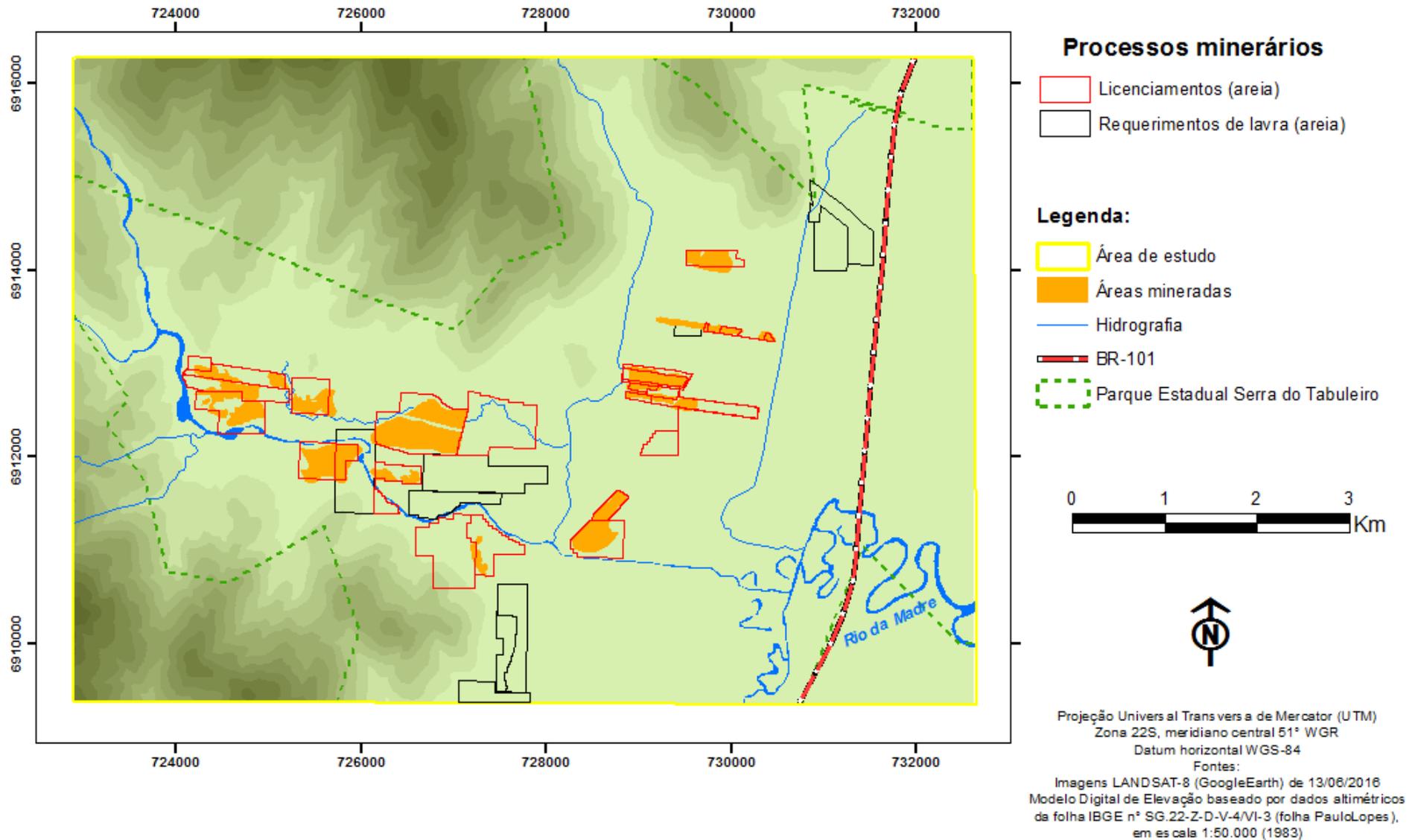
informada pelo DNPM), o estado de Santa Catarina foi responsável pela produção total de 8.299.897 toneladas de areia bruta, não beneficiada, sendo comercializadas 8.105.944 toneladas, referentes ao montante de R\$ 93.705.039,00. Durante o período, o minério bruto de areia foi destinado principalmente à construção civil (com 86,78% do total consumido), seguido do uso como aterro (5,62%), artefatos de cimento (2,06%) e outros usos como pavimentação, cerâmica vermelha, fabricação de argamassas e comércio de materiais de construção. Em relação às areias beneficiadas, o consumo foi direcionado à construção civil (42,42% do consumo total), à fabricação de argamassas para construção (34,08%) e fabricação de artefatos de concreto (23,50%).

O consumo da areia bruta durante 2013 foi principalmente interno, com 96,02% da produção total comercializada dentro do próprio estado de Santa Catarina, com pequena parcela da produção destinada a outros mercados (Paraná com 2,32% e Rio Grande do Sul com 1,65%). No universo do minério beneficiado, parcela de 11,77% foi destinada aos mercados do estado do Rio Grande do Sul, e 3,34% ao mercado do Paraná. O restante da produção beneficiada (84,89%) foi consumido no mercado interno Catarinense.

No contexto da área de estudo, a consulta realizada aos Relatórios Anuais de Lavra referente ao ano-base 2013 (BRASIL, 2013), revelou que um total de 18 processos com lavra ativa durante o período foram responsáveis pela produção de 358.759,31 toneladas de areia bruta, no valor de R\$ 5.832.368,64. O uso do minério informado nos respectivos relatórios é predominantemente direcionado à construção civil, sendo que a grande maioria da produção foi destinada ao consumo dos municípios integrantes da região metropolitana de Florianópolis.

Desta forma, nota-se que a produção mineral dos empreendimentos localizados na área de estudo é

Figura 35: Mapa de processos minerários.



Fonte: Do autor.



responsável por 4,32% da produção estadual total durante o ano de 2013.

#### **6.2.4 Método de lavra**

A atividade de lavra é atualmente desenvolvida dentro dos limites das poligonais de um total de 15 processos DNPM, sendo que em todos eles, o método de lavra utilizado é a escavação a céu aberto e a dragagem.

A lavra é iniciada através do método por escavação a céu aberto, onde é feito o decapeamento inicial (retirada da cobertura vegetal e camada superficial de solo) através do uso de escavadeira hidráulica (Figura 36). O solo retirado geralmente é estocado em pilhas, sendo armazenado para uso posterior na recuperação ambiental dos locais afetados, uma vez que possui importante teor de matéria orgânica, e funcionando como banco de sementes para posteriores trabalhos de revegetação. A areia lavrada da cava é então encaminhada a peneiras instaladas no local, sendo feita a classificação granulométrica para posterior envio ao mercado consumidor por meio de transporte por caminhões basculantes. Nesta fase inicial também são abertos acessos de máquinas à frente de lavra, assim como instaladas benfeitorias das minas (galpões de armazenamento de combustíveis, peças de reposição, escritório, dentre outros).

Com a continuidade da extração das camadas arenosas forma-se uma cava que é logo inundada pelas águas do lençol freático, sendo então utilizado o método por dragagem. A dragagem é realizada por balsas de extração, que retiram a areia do fundo da cava através de sucção, e por bombeamento direcionam o minério formado por areia e água (chamado de polpa) às peneiras instaladas nas margens da cava, sendo então feita a classificação granulométrica e estocagem em pilhas individuais, com posterior carregamento dos caminhões

**Figura 36:** Etapas de desenvolvimento da lava de areia na área de estudo e equipamentos utilizados. A: Retirada da cobertura vegetal e camada de solo superficial durante o decapeamento. B: Lava por dragagem com uso de balsa de extração. C: Peneira instalada na margem de cava de extração. D: Galpão de manutenção de máquinas sem piso impermeabilizante. E: Tanque de armazenamento de combustível sem piso de contenção de vazamentos. F: Resíduos sólidos de embalagens de lubrificantes despejados diretamente sobre o solo.



**Fonte:** Do autor, abrangendo o período de 10/06/2015 a 12/05/2016.

com o minério a ser encaminhado para a venda (Figura 36).

Dentre os elementos considerados como integrantes da frente de lavra, e que foram inseridos dentro das áreas consideradas como afetadas pela atividade de mineração (Figura 35), constam as cavas de extração, os pátios de manobra de máquinas e estoque de minério, as instalações das minas (galpões escritórios, depósitos) e também os acessos instalados, todos de forma individualizada para cada processo minerário.

Dentre as frentes de lavra em atividade, os equipamentos mais utilizados geralmente são representados por escavadeiras, balsas de extração, pás carregadeiras (que movimentam o minério das pilhas e fazem o carregamento), caminhões basculantes, tanques de armazenamento de combustíveis e peneiras. Em cada empreendimento o número de máquinas e equipamentos é variável (Tabela 02), haja vista os diferentes níveis de produção balizados pela absorção do mercado consumidor. Em determinadas frentes de lavra as máquinas são compartilhadas, uma vez observadas mesmas titularidades ou mesmas empresas atuando em áreas contíguas de diferentes processos DNPM. Desta forma a Tabela 02 indica alguns processos sem equipamentos, sendo que os mesmos foram observados em atividade e devidamente inseridos como pertencentes às áreas dos processos onde se encontravam durante as etapas de campo realizadas.

A manutenção de máquinas muitas vezes é realizada nas margens das cavas, geralmente desprovidas de piso impermeabilizante, o que gera impactos referentes à contaminação do solo e das águas do lençol freático, expostas na própria cava de extração. Alguns dos galpões de manutenção e armazenamento de máquinas e insumos também não possuem piso impermeabilizado, sendo frequentes os indícios de vazamentos e infiltrações de óleos lubrificantes (Figura 36).

Em algumas minas se observa a presença de tanques de armazenamento de combustíveis (óleo diesel), com bombas de abastecimento e sistema de contenção de resíduos impermeabilizado; no entanto são frequentes os indícios de vazamentos e infiltrações, uma vez observada a

**Tabela 02:** Listagem dos equipamentos em uso nos empreendimentos minerários localizados nos processos DNPM ativos na área de estudo.

Processos DNPM	Escavadeira hidráulica	Pá carregadeira	Caminhões basculantes	Balsas de extração	Peneiras	Tanque de armazenamento de combustível
01	-	-	-	-	-	-
02	1	-	3	2	3	-
03	-	-	1	1	3	1
04	-	-	-	-	-	-
05	1	1	3	3	6	1
06	2	2	3	4	09	2
07	1	2	2	2	6	1
08	-	-	-	-	-	-
09	1	1	2	2	5	-
10	1	-	1	1	3	1
11	1	1	3	1	3	-
12	-	-	-	-	-	-
13	-	1	2	1	3	1
14	1	1	1	2	4	1
<b>TOTAL</b>	<b>09</b>	<b>09</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>43</b>	<b>8</b>

**Fonte:** Do autor.

presença de manchas presentes na superfície do solo, assim como tanques instalados em local sem qualquer tipo de proteção impermeabilizante (Figura 36). Nas frentes de lavra são muito comuns os despejos de resíduos sólidos, notadamente os recipientes de óleos lubrificantes, que na maioria das vezes se encontram depositadas diretamente sobre o solo, gerando impactos através da percolação de hidrocarbonetos pelo substrato arenoso (e altamente permeável), até atingir o lençol freático (Figura 36).

### **6.2.5 Caracterização do minério**

Na construção civil a areia é utilizada como agregado miúdo na fabricação de concreto e de argamassas de assentamento ou revestimento. Areias também são utilizadas como aterros e lastros de rodovias. Para uso em concreto, as areias devem apresentar características físicas relacionadas principalmente à granulometria e capacidade de reação com outros elementos; para argamassas, as areias devem apresentar granulometria e morfologia de grãos específica (CAVALCANTI; PARAHYBA, 2011).

Para a caracterização do minério de areia lavrado na Bacia do Rio da Madre foram realizados ensaios granulométricos em um total de 12 amostras coletadas nos diferentes depósitos sedimentares onde a atividade de mineração é desenvolvida. O método utilizado considerou apenas a caracterização do minério que é efetivamente direcionado para a comercialização pelos mineradores na área de estudo, e não objetivou o detalhamento de ambientes de sedimentação associados aos depósitos individualizados na caracterização geológica. Desta forma, as análises granulométricas abrangeram apenas as frações mais finas do que  $- 2 \phi$  (cascalho fino a coloide).

Ressalta-se também que as amostras foram coletadas diretamente de afloramentos, de forma a se

obter resultados que ilustrem a condição natural da qualidade das areias, anteriormente a qualquer tipo de pré-beneficiamento como lavagem e peneiramento. Desta forma evitou-se a amostragem de sedimentos provindos de pilhas de estocagem das minas. Tal aspecto objetivou a definição de parâmetros relacionados à efetiva produção de areia pelos empreendimentos em atividade, indicando assim a presença de material estéril nas jazidas mineradas (que muitas vezes acabam favorecendo o avanço e aprofundamento das cavas de extração na busca de camadas mais produtivas). Tal aspecto também foi considerado para a definição de quais os depósitos sedimentares com melhores características produtivas no que concerne aos teores de areia. Dentre as unidades geológicas individualizadas, apenas os depósitos lagunar e marinho praiado não tiveram amostras analisadas.

A análise dos dados obtidos nos ensaios granulométricos abrangeu a definição de parâmetros estatísticos obtidos através da utilização do *software Gradistat v.8.0*, conforme indicado na Tabela 03, baseada pela metodologia de classificação de Folk e Ward (1957). Desta forma, e considerando a localização dos pontos de amostragem, foram analisados os sedimentos dos depósitos de leque aluvial ( fácies de fluxos de detritos, fácies de fluxos confinados e fácies de fluxos não confinados), depósito fluvial, depósito eólico Pleistocênico, depósito flúvio-lagunar e depósito eólico Holocênico.

Nota-se que, no geral, as areias lavradas na Bacia do Rio da Madre produzem considerável teor de material estéril, haja vista a predominância de grupos texturais relacionados a areias lamosas e cascalhosas, assim como pelos graus de seleção sedimentar, com variações predominantes de mal a muito mal selecionado.

**Tabela 03:** Resultados obtidos nas análises granulométricas realizadas, com indicação dos parâmetros utilizados na caracterização do minério lavrado na área de estudo.

<b>Amostra</b>	<b>Ponto de coleta</b>	<b>Unidade geológica</b>	<b>Média (<math>\phi</math>)</b>	<b>Granulometria</b>	<b>Desvio padrão (<math>\phi</math>)</b>	<b>Seleção</b>	<b>Assimetria</b>	<b>Curtose</b>	<b>Grupo textural</b>
AM01	01	Dep. de leque aluvial (fácies de fluxos de detritos)	2,199	Areia fina	2,622	Muito mal selecionado	0,472	2,006	Areia lamosa levemente cascalhosa
AM02	01	Dep. de leque aluvial (fácies de fluxos de detritos)	5,780	Silte grosso	3,930	Muito mal selecionado	0,294	0,917	Lama arenosa levemente cascalhosa
AM03	03	Dep. de leque aluvial (fácies de fluxos confinados)	2,926	Areia fina	2,610	Muito mal selecionado	0,368	1,028	Areia lamosa levemente cascalhosa
AM04	04	Dep. de leque aluvial (fácies de fluxos não confinados)	2,036	Areia fina	1,839	Mal selecionado	0,211	1,107	Areia lamosa levemente cascalhosa
AM05	05	Dep. de leque aluvial (fácies de fluxos não confinados)	3,285	Areia muito fina	3,333	Muito mal selecionado	0,426	0,830	Areia lamosa
AM06	06	Dep. eólico Pleistocênico	2,484	Areia fina	1,019	Mal selecionado	0,391	2,375	Areia lamosa
AM07	07	Dep. fluvial	- 0,208	Areia muito grossa	0,885	Moderadamente selecionado	0,230	1,110	Areia cascalhosa
AM08	08	Dep. de leque aluvial (fácies de fluxos não confinados)	1,112	Areia média	2,292	Muito mal selecionado	0,348	1,261	Areia lamosa cascalhosa
AM09	09	Dep. fluvial	- 0,007	Areia muito grossa	0,762	Moderadamente selecionado	0,075	1,221	Areia cascalhosa
AM10	10	Dep. flúvio-lagunar	1,245	Areia média	1,803	Mal selecionado	0,282	0,979	Areia lamosa levemente cascalhosa
AM11	11	Dep. eólico Pleistocênico	3,030	Areia muito fina	1,329	Mal selecionado	0,533	1,743	Areia lamosa
AM12	12	Dep. eólico Holocênico	2,280	Areia fina	0,449	Bem selecionado	- 0,064	1,058	Areia

**Fonte:** Do autor, com uso do software *Gradistat v.8.0*.

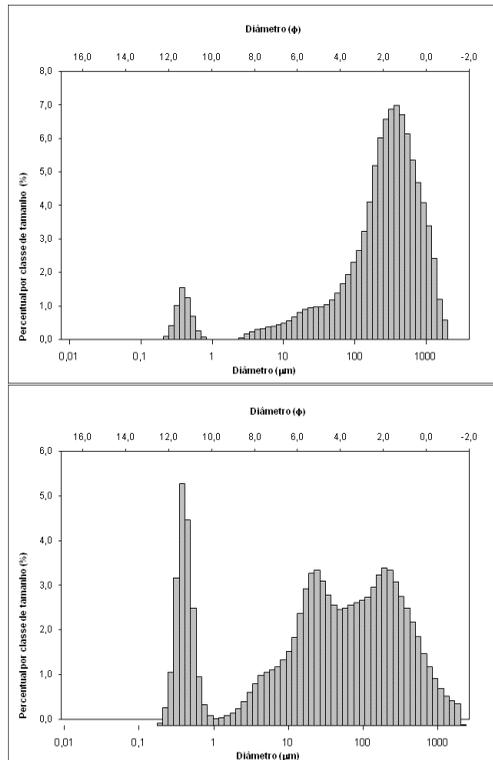


#### 6.2.5.1 Depósito de leque aluvial (fácies de fluxos de detritos):

A fácies de fluxos de detritos do depósito de leque aluvial é indicada pelas amostras Am-01 e Am-02, com média granulométrica variando de areia fina a silte grosso, conforme se observa nos histogramas de distribuição granulométrica da Figura 37. Os sedimentos são essencialmente mal selecionados, haja vista a dinâmica deposicional de alta energia associada aos fluxos gravitacionais de leques aluviais, formando depósitos com grande variação composicional e granulométrica. Tal aspecto é confirmado pela plotagem das amostras da unidade no diagrama de classificação textural de sedimentos grossos de Folk e Ward (1957), conforme se observa na Figura 38, onde as mesmas se localizam abaixo do limite de ocorrência de cascalho, uma vez que a fração cascalhosa destas apresenta dimensões superiores aos limites de detecção do método utilizado (difração de luz). A plotagem das mesmas amostras no diagrama de classificação textural de sedimentos finos de Folk e Ward (1957) define texturas que variam de areia siltosa a silte arenoso (Figura 39), sendo considerada a composição da matriz destes sedimentos. Desta forma, a classificação textural indicada pelo método utilizado aponta a ocorrência de sedimentos que variam de areia lamosa levemente cascalhosa a lama arenosa levemente cascalhosa.

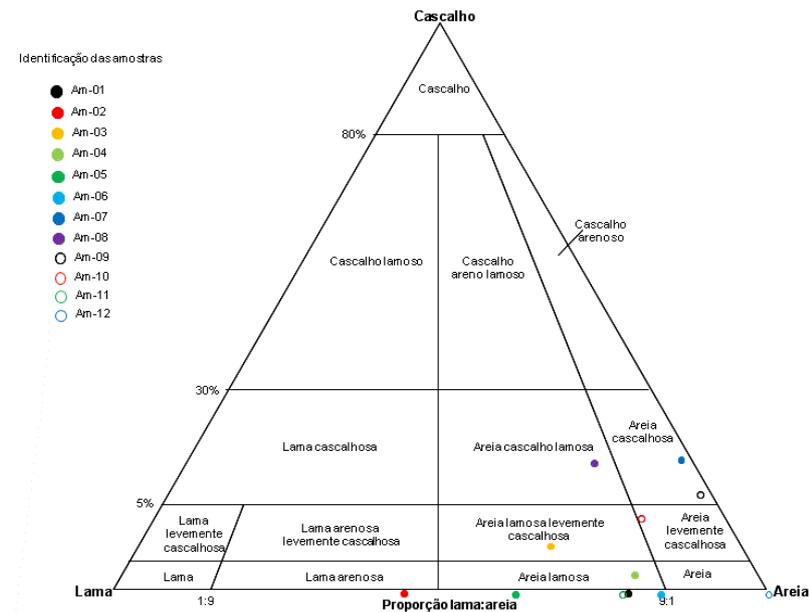
Tais características apontam de forma direta a pouca produtividade da lavra desenvolvida na unidade, uma vez observada a presença de grande volume de material estéril, não aproveitado na lavra das areias associadas, conforme se observa também na microfotografia da amostra Am-01 na Figura 40.

**Figura 37:** Histogramas de distribuição granulométrica das amostras Am-01 (superior) e Am-02 (inferior), referentes à fácies de fluxos de detritos do depósito de leque aluvial.



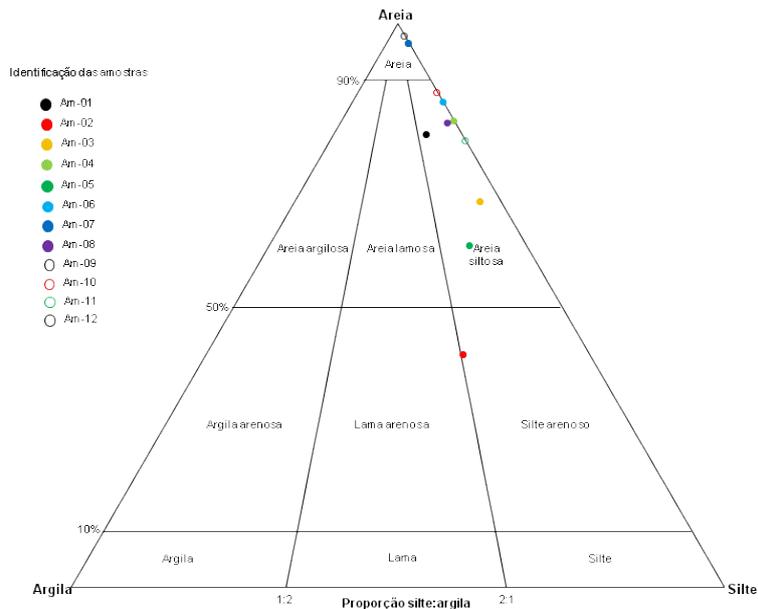
Fonte: Do autor, com uso do software *Gradistat v.8.0.*

**Figura 38:** Diagrama de classificação textural de sedimentos grossos de Folk e Ward (1957), com indicação das amostras coletadas na área de estudo.



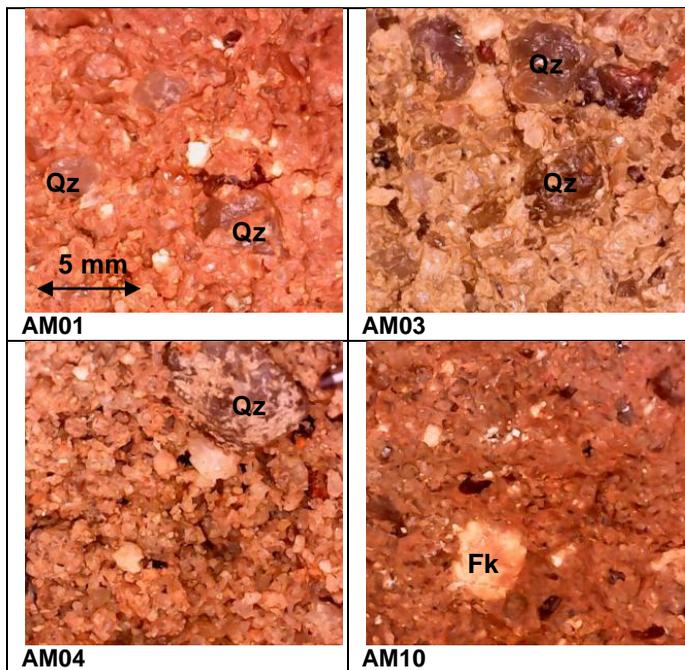
**Fonte:** Do autor, com uso do *software Gradistat v.8.0*.

**Figura 39:** Diagrama de classificação textural de sedimentos finos de Folk e Ward (1957), com indicação das amostras coletadas na área de estudo.



**Fonte:** Do autor, com uso do *software Gradistat v.8.0*.

**Figura 40:** Microfotografias das amostras coletadas dos depósitos de leque aluvial (AM01, AM03 e AM04) e do depósito flúvio-lagunar (AM10), ilustrando a variação composicional dos sedimentos lavrados na área de estudo. Observa-se grãos de quartzo (Qz) e feldspato (Fk) envolvidos por fração composta por areia fina e argilominerais.



Fonte: Do autor.

#### 6.2.5.2 Depósito de leque aluvial (fácies de fluxos não confinados):

A fácies de fluxos não confinados é indicada pelas amostras Am-04, Am-05 e Am-08, apresentando médias granulométricas variando de areia muito fina a areia média

(Figuras 41 e 42). Os sedimentos variam de muito mal selecionados a mal selecionados (Tabela 03), onde fica nítida a dinâmica pouco seletiva dos processos deposicionais associados ao transbordamento dos canais do leque aluvial. Tal aspecto também é confirmado pela observação dos gráficos de classificação textural de Folk e Ward (1957), onde os sedimentos variam de areias lamosas cascalhosas a areias lamosas pouco cascalhosas (Figuras 38 e 39).

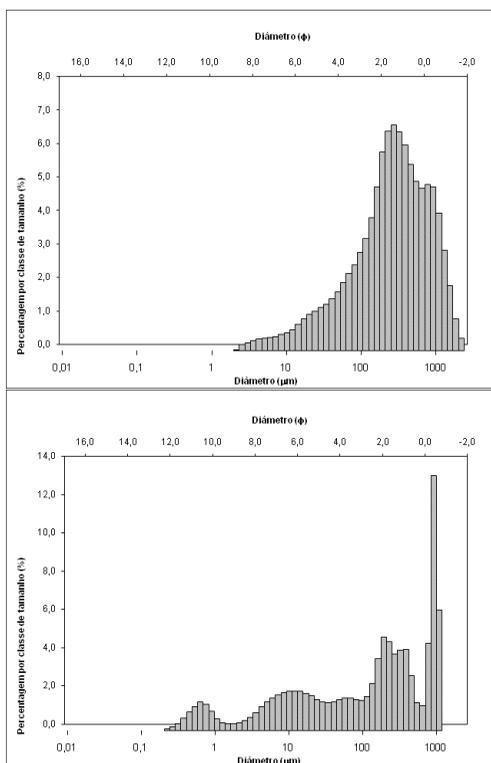
De forma semelhante à fácies de fluxos de detritos, a lavra de areia é pouco produtiva dentro dos limites desta unidade, uma vez indicados altos percentuais de sedimentos cascalho argilosos ocorrendo de forma associada às areias exploradas (Figura 40).

#### 6.2.5.3 Depósito de leque aluvial (fácies de fluxos confinados):

A unidade fácies de fluxos confinados é representada pela amostra Am-03, sendo a mesma formada por sedimentos com granulometria média de areia fina, muito mal selecionados (Figura 43). Considerando a composição destes sedimentos quando inseridos nos gráficos de classificação textural de sedimentos finos e grossos de Folk e Ward (1957), os mesmos são classificados como areias lamosas levemente cascalhosas (Figuras 38 e 39, e Tabela 03).

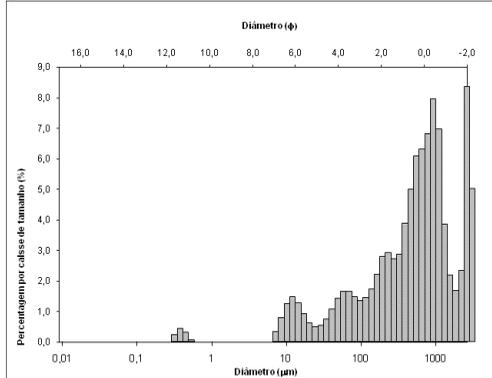
Assim como as outras unidades associadas ao depósito de leque aluvial anteriormente indicadas, a fácies de fluxos confinados não se associa à lavra efetivamente produtiva, uma vez considerados os teores de sedimentos argilo cascalhosos existentes.

**Figura 41:** Histogramas de distribuição granulométrica das amostras Am-04 (superior) e Am-05 (inferior), referentes à fácies de fluxos não confinados do depósito de leque aluvial.



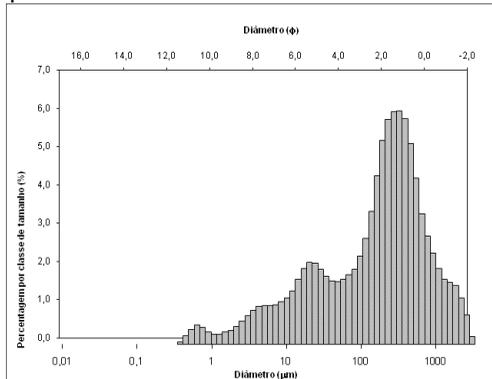
Fonte: Do autor, com uso do *software Gradistat v.8.0.*

**Figura 42:** Histograma de distribuição granulométrica da amostra Am-08, referente à fácies de fluxos não confinados do depósito de leque aluvial.



Fonte: Do autor, com uso do software *Gradistat v.8.0*.

**Figura 43:** Histograma de distribuição granulométrica da amostra Am-03, referente à fácies de fluxos confinados do depósito de leque aluvial.

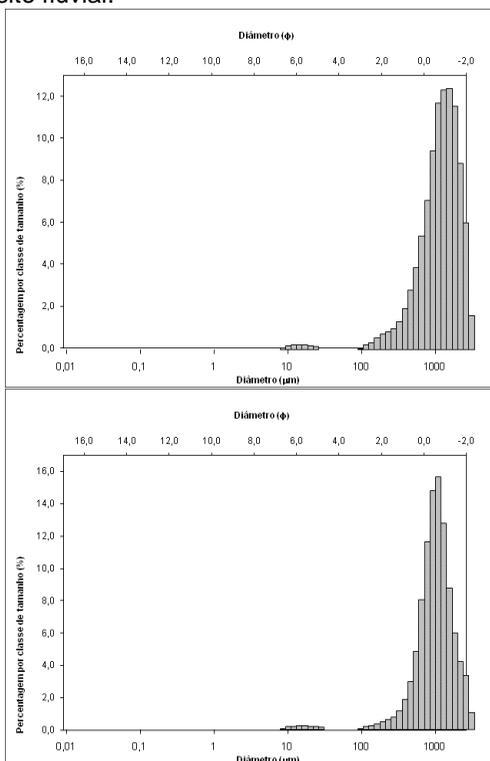


Fonte: Do autor, com uso do software *Gradistat v.8.0*.

#### 6.2.5.4 Depósito fluvial:

Os sedimentos associados aos depósitos fluviais são representados pelas amostras Am-07 e Am-09, onde a média granulométrica é formada pela fração areia muito grossa (Figura 44).

**Figura 44:** Histogramas de distribuição granulométrica das amostras Am-07 (superior) e Am-09 (inferior), referentes à unidade depósito fluvial.

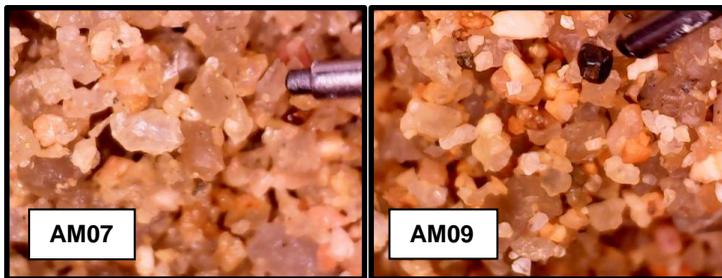


Fonte: Do autor, com uso do software *Gradistat v.8.0*.

Apresentam melhor seleção (moderadamente selecionados – Tabela 03), onde as texturas de ambas amostras se mostram mais homogêneas no que se refere à abrangência da unidade. Desta forma, a classificação utilizada aponta a existência de areias cascalhosas, reflexo direto do processo deposicional formados associados aos fluxos direcionados das drenagens principais da área de estudo, onde a lavra de areia pode ser direcionada a um melhor aproveitamento econômico.

Pelas suas características granulométricas podem ser utilizadas na fabricação de concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), ainda mais considerando os baixos teores de fração fina associados (Figura 45).

**Figura 45:** Microfotografias das amostras coletadas no depósito fluvial que foram analisadas no presente estudo. Notar a ponta da lapiseira utilizada como escala (diâmetro 0,7 mm).

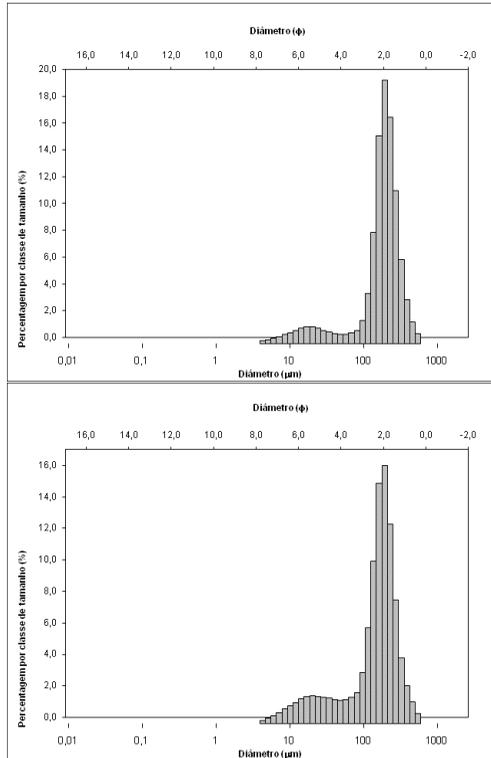


Fonte: Do autor.

#### 6.2.5.5 Depósito eólico Pleistocênico:

As amostras Am-06 e Am-11 são representativas dos sedimentos com média granulométrica areia fina a areia muito fina (Figura 46), mal selecionadas, sendo que a classificação textural de Folk e Ward (1957) aponta para a ocorrência de areias siltosas (Figura 38). No diagrama de classificação textural de sedimentos grossos (Figura 39),

**Figura 46:** Histogramas de distribuição granulométrica das amostras Am-06 (superior) e Am-11 (inferior), referentes à unidade depósito eólico Pleistocênico.



Fonte: Do autor, com uso do software *Gradistat v.8.0*.

as amostras desta unidade não foram enquadradas, uma vez observada ausência da fração cascalhosa.

Tais características apontam para a viabilidade do uso destas areias na fabricação de argamassa (CAVALCANTI; PARAHYBA, 2011), uma vez observada sua reduzida granulometria dominante e também pela morfologia dos grãos constituintes (Figura 47). Tais

aspectos também são responsáveis pelo desenvolvimento expressivo da atividade de mineração de areia dentro dos limites da unidade, principalmente na localidade de Albardão.

**Figura 47:** Microfotografias das amostras coletadas no depósito eólico Pleistocênico (AM11) e depósito eólico Holocênico (AM12), que foram analisadas no presente estudo. Notar a ponta da lapiseira utilizada como escala (diâmetro 0,7 mm).



Fonte: Do autor.

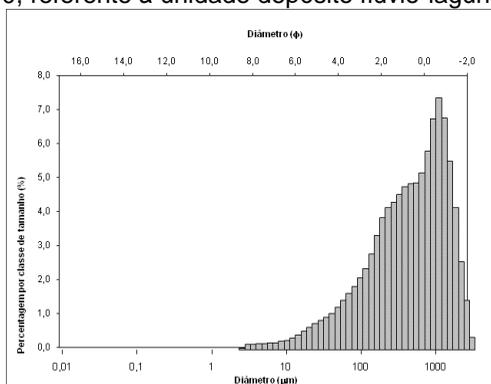
#### 6.2.5.6 Depósito flúvio-lagunar:

Assim como as unidades do depósito de leque aluvial, os sedimentos flúvio-lagunares são associados a depósitos com pouca seleção granulométrica, sendo representado pela amostra Am-10. Como média granulométrica se observa a fração areia média (Figura 48), onde a textura observada e definida pela classificação de Folk e Ward (1957) são as areias lamosas levemente cascalhosas (Figuras 38 e 39).

A grande variação composicional também reflete as baixas produtividades do horizonte sedimentar amostrado, formado pelas camadas de capeamento dos depósitos flúvio-lagunares (Figura 40), formadas por aglomerados areno lamosos com disseminação de cascalho fino. Nesta unidade atualmente se observam algumas cavas de

extração em atividade, que direcionam a lavra às camadas arenosas mais profundas, conforme já apontado.

**Figura 48:** Histograma de distribuição granulométrica da amostra Am-10, referente à unidade depósito flúvio-lagunar.



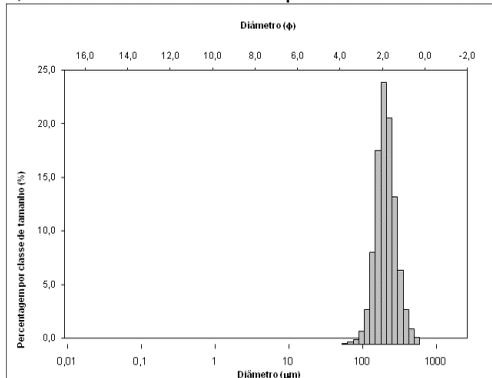
**Fonte:** Do autor, com uso do *software Gradistat v.8.0*.

#### 6.2.5.7 Depósito eólico Holocênico:

A unidade é representada pela amostra Am-12, onde a média granulométrica é formada pela fração areia fina (Figura 49). Estes são os sedimentos com melhor grau de seleção dentre todas as amostras analisadas (areias bem selecionadas), dadas as condições deposicionais associadas à excelente seleção proporcionada pela ação eólica. Texturalmente se enquadram no campo das areias da classificação de Folk e Ward (1957) para sedimentos finos (Figura 39), não sendo notada presença da fração silto argilosa ou cascalhosa nestes sedimentos.

De forma semelhante às areias eólicas Pleistocênicas, as areias desta unidade podem ser utilizadas na fabricação de argamassa, uma vez observada a grande homogeneidade granulométrica, textural e morfológica de seus constituintes (Figura 47).

**Figura 49:** Histograma de distribuição granulométrica da amostra Am-12, referente à unidade depósito eólico Holocênico.



**Fonte:** Do autor, com uso do *software Gradistat v.8.0*.

### 6.3 COBERTURA, USOS E OCUPAÇÃO DO SOLO

A análise da ocupação atual da área de estudo apontou a existência de pelo menos 10 classes distintas de cobertura, uso e ocupação do solo, conforme indicado pela Tabela 04 e pelo mapa da Figura 50. A seguir serão detalhadas as características individuais de cada uma das classes, sendo ressaltados os aspectos relacionados a possíveis interações ambientais com a atividade de mineração de areia.

- **Florestas:** Dentro da classe florestas foram agrupadas as formações vegetais secundárias e primárias da Floresta Ombrófila Densa abrangidas pelo Parque Estadual da Serra do Tabuleiro e adjacências, assim como remanescentes existentes na forma de ilhas dispersas ao longo da área de estudo. Nesta classe também foram incorporadas as formações pioneiras que recobrem dunas fixas e cordões litorâneos, na forma de espécies de pequeno porte, arbustivas e gramíneas. É a classe de cobertura mais representativa em área (61,7%), sendo que tanto nas localidades de Albardão quanto na de Sertão do

Campo se observam áreas de extração de areia que são limitadas pela presença de núcleos isolados ou recobrimento amplo de florestas.

- **Campos antropizados:** Nesta classe foram abrangidas as áreas de pastagens, os campos limpos anteriormente utilizados para cultivos, e as áreas atualmente sem uso, onde já foi feita a retirada da cobertura arbórea, englobando 19,3% da área de estudo.

**Tabela 04:** Classes de cobertura, uso e ocupação do solo da área de estudo e respectiva distribuição em área.

<b>Classes de uso e ocupação do solo</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>% da área de estudo</b>
Florestas	41.780.542	61,7
Campos antropizados	13.115.138	19,3
Rizicultura	6.999.256	10,3
Banhados	2.223.061	3,3
Mineração de areia	1.571.643	2,3
Núcleos residenciais	833.372	1,2
Espécies exóticas	664.380	0,9
Avicultura	514.830	0,7
Mineração de rochas	187.290	0,2
Cultivo de hortaliças	122.001	0,1
<b>TOTAL</b>	<b>67.668.537</b>	<b>100</b>

**Fonte:** Do autor.

- **Rizicultura:** Ao longo das porções mais rebaixadas do terreno, e abrangendo um total de 10,3% da área de estudo, se observam canchas de cultivo de arroz. A atividade é desenvolvida pela formação de canchas irrigadas através do desvio de parte das águas de drenagens e córregos locais, sendo bastante comuns as

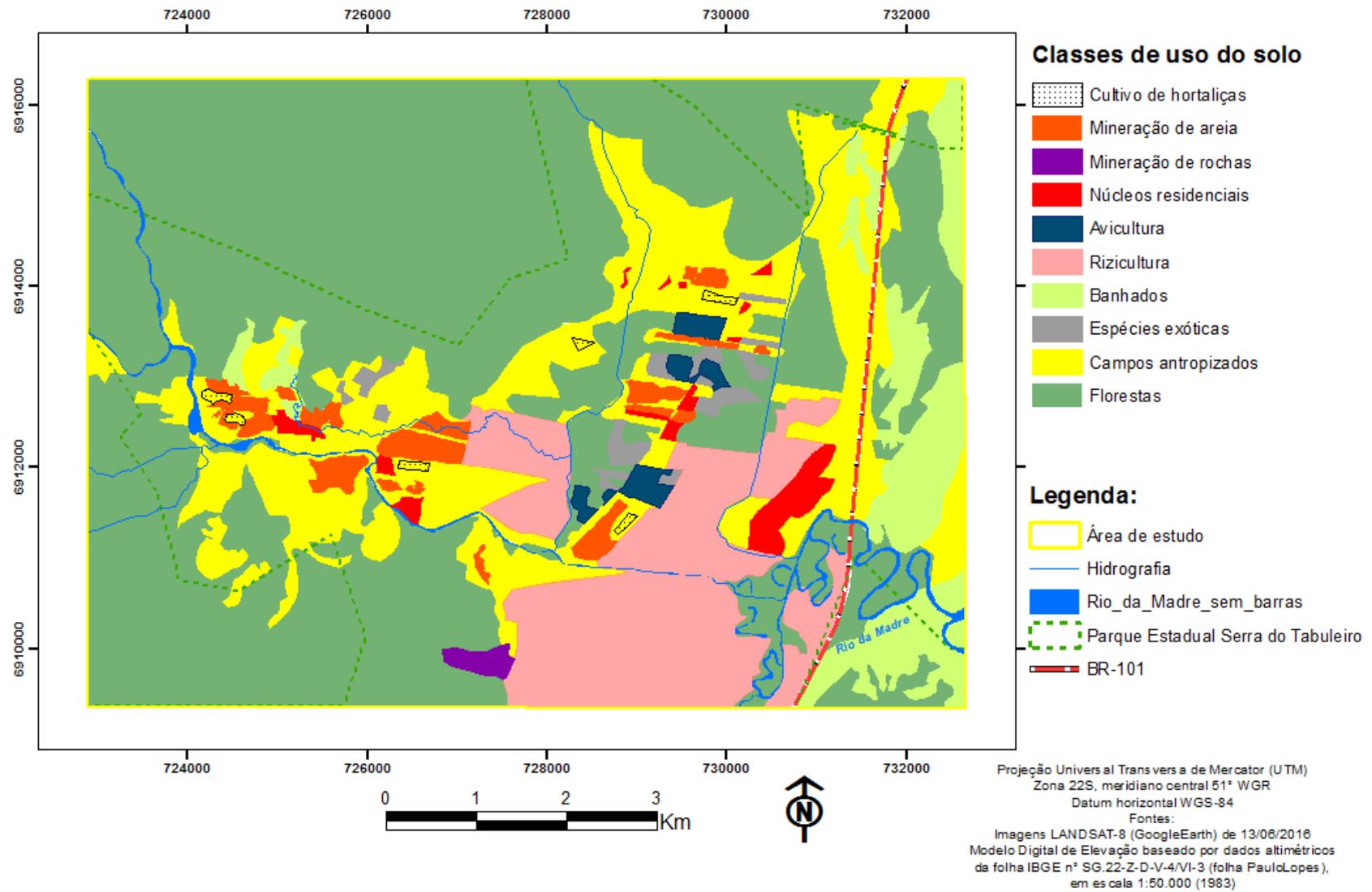
aplicações de pesticidas e fertilizantes químicos. A maioria das áreas de rizicultura se localiza a jusante das áreas de lavra de areia, e na porção central da área de estudo se observa que a lavra vem avançando em direção às canchas. Segundo informações de mineradores e moradores, as atividades de lavra de areia e a rizicultura não são conflituosas, uma vez que os proprietários dos cultivos são os mesmos titulares e superficiários das áreas de lavra de areia.

- **Banhados:** Nesta classe foram agrupadas as áreas alagadiças representadas pelos banhados e pântanos existentes ao longo de baixadas na porção oeste da área, assim como os pântanos formados pelas inundações do Rio da Madre e drenagens afluentes, notadamente ao longo da porção leste da área de estudo. Na localidade de Sertão do Campo algumas frentes de lavra de areia foram desenvolvidas de forma adjacente a banhados, sendo observado o avanço de cavas para dentro destas áreas

- **Mineração de areia:** Ocupando um total de 2,35% da área de estudo, as áreas afetadas pela atividade de lavra de areia são compostas pelas cavas de extração e demais áreas correlatas à mineração (pátios de estocagem, acessos, instalações), conforme já apontado em item anterior da dissertação.

- **Núcleos residenciais:** Observados na forma de aglomerados de residências rurais e pequenos comércios nas localidades de Albardão, Sertão do Campo e Três Barras, geralmente são formados por famílias de moradores locais. Segundo informações obtidas nestes locais quando da realização das etapas de campo, não existe sistema de coleta e tratamento de esgoto provindo destas localidades, sendo mais comum a utilização de fossas sépticas ou despejo direto por canalização nas drenagens e córregos locais. Vários núcleos residenciais se localizam nas margens de cavas de extração, com

Figura 50: Mapa de cobertura, usos e ocupação do solo.



Fonte: Do autor.



exceção daqueles formados pela localidade de Três Barras.

- **Espécies exóticas:** Na localidade de Albardão são comuns pequenas áreas com a instalação de espécies vegetais exóticas utilizadas para corte e reflorestamento, localizadas principalmente de forma adjacente às instalações de avicultura. As espécies observadas são o pinus (*pinus elliot*) e o eucalipto (*eucalyptus*), sendo que na localidade de Sertão do Campo também existe cultivo da espécie melaleuca (*melaleuca alternifolia*), utilizada para produção de produtos destinados à medicina homeopática, através de pequena indústria familiar de beneficiamento localizada ao lado dos cultivos observados.

- **Avicultura:** na localidade de Albardão são observadas diversas instalações de criadouros de aves para produção de ovos e carne, sendo que a maioria deles atualmente (novembro de 2016) se encontra desativada. Poucos ainda funcionam, estando localizados bastante próximos às cavas de extração de areia. Maiores informações acerca da eventual reutilização destas áreas para produção futura não foram obtidas com moradores; no entanto se observa que parte das instalações, mesmo que sem funcionamento, continuam em boas condições de preservação.

- **Mineração de rochas:** Na porção sul da área de pesquisa se observa a presença de mina em atividade, onde ocorre a extração e beneficiamento de rochas utilizadas para produção de brita para construção civil. Pela sua localização, não interfere ou interage com as áreas de lavra de areia.

- **Cultivo de hortaliças:** Ocupam a menor área dentre as classes individualizadas (0,1%), incluindo pequenas culturas de hortaliças como tomate e repolho. De propriedade de moradores, nestas áreas são comuns as aplicações de pesticidas, estando as mesmas geralmente localizadas bastante próximas, quando não nas margens das cavas de extração de areia.

## 6.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA ATIVIDADE DE LAVRA DE AREIA NA BACIA DO RIO DA MADRE

Os impactos ambientais identificados foram individualizados em impactos diretos, potenciais e cumulativos, sendo detectáveis nas fases de operação e desativação de empreendimentos de extração de areia. Os dados obtidos são sintetizados nas matrizes de correlação para a fase de operação (Quadro 06) e desativação (Quadro 07). As matrizes foram elaboradas considerando todas as atividades potencialmente geradoras de impactos em cada fase dos empreendimentos mineiros (linhas da matriz), sendo inclusas as outras atividades potencialmente poluidoras dos meios físico, biótico e antrópico (lançamento de efluentes residenciais, rizicultura, áreas cultivadas e avicultura – Quadro 04). Nas colunas foram inclusos os impactos ambientais decorrentes das atividades listadas, sendo que em cada célula, além de identificada a natureza dos impactos (cores), são também apontados números que indicam as ocorrências do referido impacto dentro do universo analisado das poligonais dos processos DNPM com atividade em andamento ou já encerradas (20 poligonais no total).

### 6.4.1 Fase de operação

Durante a fase de operação dos empreendimentos, os impactos apontados foram relacionados às atividades de desenvolvimento de cavas, operação de maquinário (na forma de manutenção e/ou acidentes envolvendo os equipamentos das minas), movimentação de estoques,

**Quadro 06:** Matriz de correlação de impactos ambientais das atividades na fase de operação dos empreendimentos minerários. As porcentagens representam as ocorrências de cada impacto dentro do universo total de processos minerários onde se desenvolve a mineração de areia.

		FÍSICO					BIÓTICO		ANTRÓPICO				
		Alteração da qualidade das águas superficiais	Alteração da qualidade das águas subterrâneas	Rebaixamento de aquíferos	Erosão	Perda de qualidade de solos	Supressão vegetal	Afugentamento de espécies	Perda de terras agricultáveis	Emissão de ruídos	Emissão de poeiras	Sobrecarga da malha viária	Alteração da paisagem
<b>IMPACTO DIRETO</b> <span style="color: red;">■</span> <b>IMPACTO POTENCIAL</b> <span style="color: orange;">■</span> <b>IMPACTO CUMULATIVO</b> <span style="color: green;">■</span>													
<b>FASE DE OPERAÇÃO</b> ATIVIDADES	Desenvolvimento de cavas	50%	75%	75%	40%		70%	75%	75%	50%			75%
	Operação de maquinário (manutenção/acidentes)	60%	75%			45%							
	Movimentação de estoques	35%					55%			50%	50%		
	Decapeamento	50%					75%	75%		45%	45%		
	Circulação de veículos e máquinas						75%	75%		75%	75%	75%	
<b>OUTRAS</b> ATIVIDADES	Lançamento de efluentes residenciais	50%	50%										
	Rizicultura	15%	10%										
	Áreas cultivadas	35%	35%										
	Avicultura	25%	25%										

Fonte: Do autor

**Quadro 07:** Matriz de correlação de impactos ambientais das atividades na fase de desativação dos empreendimentos minerários. As porcentagens representam as ocorrências de cada impacto dentro do universo total de processos minerários onde se desenvolve a mineração de areia.

IMPACTO DIRETO <span style="color: red;">■</span> IMPACTO POTENCIAL <span style="color: orange;">■</span> IMPACTO CUMULATIVO <span style="color: green;">■</span>		FÍSICO					BIÓTICO		ANTRÓPICO				
		Alteração da qualidade das águas superficiais	Alteração da qualidade das águas subterrâneas	Rebaixamento de aquíferos	Erosão	Perda de qualidade de solos	Supressão vegetal	Afugentamento de espécies	Perda de terras agricultáveis	Emissão de ruídos	Emissão de poeiras	Sobrecarga da malha viária	Alteração da paisagem
FASE DE DESATIVAÇÃO ATIVIDADES	Abandono de cavas	10%			15%				20%				25%
	Circulação de veículos e máquinas (recuperação)	10%								15%	15%		
OUTRAS ATIVIDADES	Lançamento de efluentes residenciais		10%										
	Rizicultura		15%										
	Áreas cultivadas												
	Avicultura												

Fonte: Do autor.

decapeamento e circulação de veículos e máquinas. Foram também consideradas as atividades de lançamento de efluentes residenciais, rizicultura, áreas com cultivos de hortaliças e avicultura.

#### 6.4.1.1 Impactos diretos

Foram considerados como impactos ambientais diretos todos aqueles detectáveis através de simples comparação com a situação anterior à instalação das minas, uma vez observado o histórico das imagens de satélite da área e também através de dados obtidos em campo.

##### *6.4.1.1.1 Impactos diretos ao meio físico*

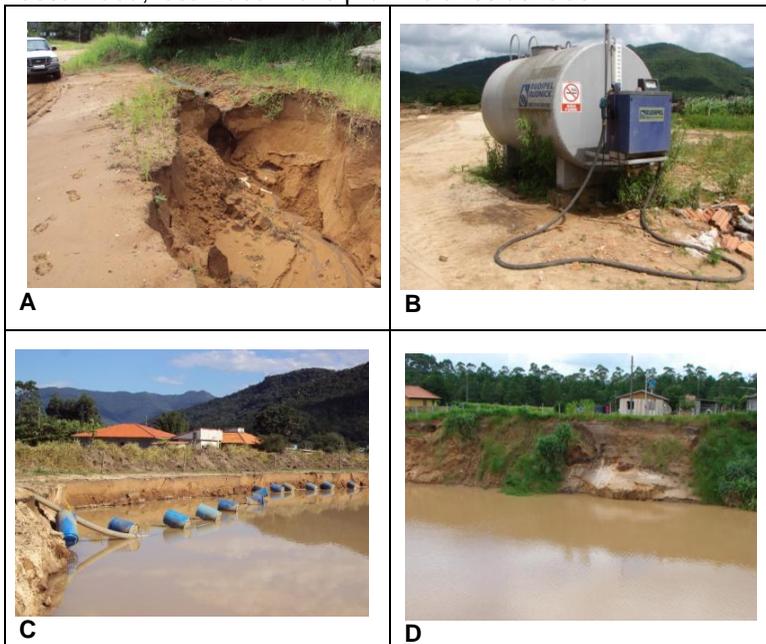
- **Erosão:** o desenvolvimento de feições erosivas decorrentes no desenvolvimento das cavas de extração de areia é observado ao longo das margens das escavações em pelo menos oito áreas de processos minerários com lavra em atividade (Figura 51). Tais feições se desenvolvem principalmente em decorrência da falta de trabalhos de recuperação ambiental (suavização topográfica e instalação de cobertura vegetal de forma concomitante à extração) nos locais onde a lavra já foi realizada, sendo observadas principalmente ao longo das bordas das cavas.

- **Perda da qualidade dos solos:** em pelo menos nove áreas de processos minerários foram observadas feições de vazamentos e infiltrações de óleos combustíveis e lubrificantes sobre o solo, associados à atividade de operação de maquinário e manutenção ou abastecimento.

Tais feições, representadas por manchas escuras e amplas no solo, são decorrentes da realização de manutenção de equipamentos ou pela ocorrência de

pequenos vazamentos em locais sem a proteção de pisos impermeáveis ou sistemas de contenção, proporcionando a infiltração de hidrocarbonetos em profundidade, e com conseqüente contaminação das partículas formadoras do substrato local.

**Figura 51:** Impactos ambientais identificados na área de estudo. A: Feições erosivas observadas em área de lavra de areia durante a fase de operação. B: área de abastecimento de máquinas sem piso impermeável localizada às margens de cava de extração de areia, com indícios de vazamentos (manchas no solo). C: Proximidade das cavas de extração com as residências na localidade de Sertão do Campo, indicando impacto associado à emissão de ruídos. D: Feições erosivas e de instabilização de taludes não recuperados adequadamente em frente de lavra desativada, localizada muito próximo a residências.



**Fonte:** Do autor, em 25/11/2015 e 16/03/2016.

#### *6.4.1.1.2 Impactos diretos ao meio biótico*

- **Supressão vegetal:** as atividades de desenvolvimento de cavas, decapeamento e circulação de veículos e máquinas não somente impedem o desenvolvimento, como também acabam destruindo porções de terras com cobertura vegetal previamente instalada, impossibilitando desta forma a regeneração da cobertura original. Ambas as atividades são diretamente associadas a este tipo de impacto; desta forma a supressão vegetal é observada em quase todas as áreas de extração.

#### *6.4.1.1.3 Impactos diretos ao meio antrópico*

- **Emissão de ruídos:** As atividades de desenvolvimento de cavas e movimentação de estoques foram associadas à emissão de ruídos, uma vez considerados os tipos de equipamentos utilizados em cada operação (balsas de extração e pás carregadeiras/escavadeiras hidráulicas). Tais atividades afetam a qualidade de vida dos moradores das localidades de Albardão e Sertão do Campo, justamente onde estão instaladas as minas em atividade e também os núcleos residenciais passíveis de serem afetados. Este tipo de impacto foi indicado com base em observação direta de campo, e também pela consideração da proximidade de determinadas áreas de extração em relação aos núcleos residenciais (Figura 51).

- **Emissão de poeiras:** associado às atividades de movimentação de estoques e circulação de veículos e máquinas, a emissão de poeiras é decorrência tanto da proximidade de determinadas áreas de extração em relação aos núcleos residenciais, quanto também da utilização das vias públicas pelos caminhões que transportam o minério lavrado. Neste sentido, a falta de

pavimentação impermeável das estradas existentes é fator fundamental, assim como pela presença dos núcleos residenciais, que se desenvolveram justamente ao longo das margens destes acessos.

#### 6.4.1.2 Impactos potenciais

Foram considerados como potenciais os impactos que eventualmente podem ser gerados aos componentes ambientais pelas respectivas atividades desenvolvidas na fase de operação das minas, uma vez observadas condições propícias para tal. Para a identificação destes impactos foram consideradas as condições originais dos locais afetados, sendo que para uma eventual recategorização para impactos diretos se fazem necessários trabalhos adicionais de coleta e tratamento de dados (análises químicas/físicas, leituras diretas específicas, medições e ensaios, etc).

##### 6.4.1.2.1 Impactos potenciais ao meio físico

**- Alteração da qualidade das águas superficiais:** para a identificação da alteração da qualidade das águas superficiais, foram consideradas as distâncias reduzidas entre as áreas de extração e os corpos hídricos locais, uma vez que a presença de estoques ou áreas decapeadas pode fornecer sedimentos a serem transportados por agentes naturais (vento e chuva). A presença de resíduos nas áreas de lavra, assim como a ocorrência de vazamentos de óleos também podem gerar contaminação de corpos hídricos receptores próximos.

**- Alteração da qualidade das águas subterrâneas:** este tipo de impacto pode ser gerado pelas ocorrências de vazamentos de óleos do maquinário quando das operações executadas nas cavas de extração, e também pela descarga de resíduos provindos do abastecimento de

máquinas (Figura 51). Ressalta-se que durante as etapas de campo foi observada película iridescente na superfície da água de diversas cavas de extração, indicativa da presença de hidrocarbonetos em suspensão que eventualmente podem contaminar o aquífero freático.

- **Rebaixamento de aquíferos:** o rebaixamento de aquíferos se dá em decorrência da própria formação das cavas de extração, que altera a configuração normal do aquífero freático (aquífero intergranular livre) pela geração de cone de rebaixamento (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2004), podendo interferir em eventuais poços de abastecimento residencial localizados em áreas próximas (Figura 52).

#### *6.4.1.2.2 Impactos potenciais ao meio biótico*

- **Supressão vegetal:** a supressão da cobertura vegetal poderá ser observada na fase de operação através da movimentação de estoques de minério, através do deslocamento de pilhas de areia encobrendo porções vegetadas da área de lavra.

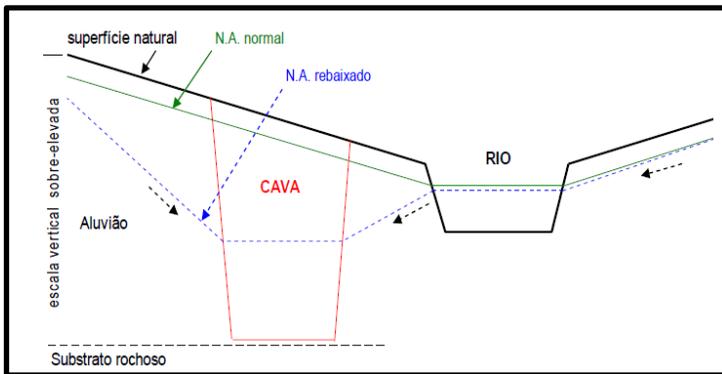
- **Afugentamento de espécies:** as atividades de desenvolvimento das cavas, decapeamento e circulação de veículos e máquinas eventualmente poderá afugentar espécies em decorrência da operação de equipamentos como balsas de extração, escavadeiras e caminhões. Desta forma, e considerando a rotina de trabalho comum a todas as minas em atividade, este impacto poderá ser observado em todas as frentes de lavra.

#### *6.4.1.2.3 Impactos potenciais ao meio antrópico*

- **Emissão de ruídos/emissão de poeiras:** durante o decapeamento, e através da atuação de maquinário próprio da atividade, os níveis de ruído poderão se elevar e

proporcionar desconforto aos moradores dos núcleos residenciais próximos às frentes de lavra. Da mesma forma poderão ocorrer deslocamentos de poeira decorrentes tanto da movimentação de maquinário quanto da retirada das camadas de solo superficiais, notadamente em períodos de estiagem. Estes impactos foram classificados como potenciais tendo em vista que nas etapas de campo realizadas não foram observadas de forma direta as atividades referentes ao decapeamento das jazidas.

**Figura 52:** Esquema indicativo do comportamento esperado do aquífero freático em decorrência da instalação de cone de rebaixamento através do desenvolvimento das cavas de extração de areia.



**Fonte:** Agência Nacional de Águas (2004).

#### 6.4.1.3 Impactos cumulativos

No presente estudo foi adotado o conceito apontado por Oliveira (2008) para impactos ambientais cumulativos, conforme já mencionado (item 4.3.1). Neste contexto foram consideradas as atividades impactantes não só decorrentes dos diversos empreendimentos minerários atuando de forma conjunta na área de estudo, como da interação entre os efeitos destas e os efeitos decorrentes

de atividades produtivas diversas e dos aspectos de ocupação do solo observados, devidamente representadas pelos lançamentos de efluentes residenciais (sem o tratamento adequado), a rizicultura, as áreas com cultivos de hortaliças e a avicultura.

#### *6.4.1.3.1 Impactos cumulativos ao meio físico*

**- Alteração da qualidade das águas superficiais:** as atividades de desenvolvimento de cavas, operações de maquinário, movimentação de estoques e decapeamento eventualmente poderão gerar alterações da qualidade das águas superficiais de forma conjunta com os efeitos das atividades de lançamento de efluentes residenciais de forma direta nos córregos existentes na área de estudo. Desta forma, o aumento dos índices de turbidez e teores de hidrocarbonetos presentes nas águas superficiais (decorrentes das atividades de mineração) poderão impactar de forma aditiva as águas das drenagens, já afetadas pela presença de poluentes orgânicos provindos dos despejos residenciais. Tal cenário também pode ser esperado pela interação e adição (acumulação) de poluentes provindos das atividades de rizicultura, cultivos de hortaliças e avicultura.

**- Alteração da qualidade das águas subterrâneas:** a migração vertical e lateral dos vazamentos acidentais decorrentes das atividades de operação e manutenção de máquinas das diversas minas em atividade, aliada à ausência de locais com piso impermeável e sistema de coleta e direcionamento de efluentes são os fatores principais de contaminação das águas do aquífero freático em decorrência da atividade de mineração. Aliam-se os vazamentos de óleos das balsas de extração atuando diretamente sobre as águas das cavas (águas do aquífero freático), sendo constantemente observadas películas iridescentes indicativas da presença de contaminantes.

Desta forma, e considerando que em todos os empreendimentos minerários foram observadas tais características, estima-se a geração de impacto cumulativo, formado pela adição dos impactos gerados pelas diversas minas em atividade. As atividades de lançamentos de efluentes residenciais, rizicultura, cultivo de hortaliças e avicultura igualmente interagem com as alterações decorrentes da mineração, podendo piorar ainda mais a qualidade das águas subterrâneas, com acumulação de contaminantes tanto no espaço definido pela área de estudo (e até eventualmente além destes limites), quanto ao longo do tempo em que atuam nos sistemas ambientais.

No caso dos efluentes residenciais, a presença de fossas sépticas localizadas muito próximas às cavas de extração, assim como a composição física do substrato predominantemente arenoso (e com alta permeabilidade e condutividade hidráulica), são fatores cruciais para a geração de impacto do tipo cumulativo nas águas subterrâneas. Da mesma forma adicionam-se as alterações provindas dos despejos de efluentes das granjas de avicultura, assim como dos pesticidas e fertilizantes químicos das plantações de hortaliças e arroz.

#### *6.4.1.3.2 Impactos cumulativos ao meio antrópico*

- **Perda de terras agricultáveis:** Através da observação de imagens de satélite e de fotos aéreas, nota-se que anteriormente à instalação das minas as principais atividades desenvolvidas na área de estudo eram representadas pela agricultura e a pecuária em pequena escala. Percebe-se assim que as famílias residentes sempre estiveram atreladas e dependentes da produção essencialmente rural, seja para a subsistência ou para a complementação de renda através da comercialização destes produtos. Com a instalação das minas de areia, boa

parcela dos espaços agricultáveis vem sendo perdida de forma definitiva, uma vez que nos locais lavrados são formadas cavas de extração inundadas, impossibilitando o desenvolvimento de atividade tradicional das comunidades residentes.

- **Emissão de ruídos:** o funcionamento constante de considerável contingente de maquinário (conforme indicado anteriormente) durante as operações rotineiras de lavra e transporte de minério das diversas minas ativas é fator fundamental para a elevação dos níveis de ruídos de forma cumulativa, e que interferem no cotidiano dos residentes das comunidades de Albardão e Sertão do Campo. Durante as incursões de campo realizadas tal impacto foi rapidamente notado, uma vez observados os níveis de ruídos não somente nas estradas (gerados pelo intenso fluxo de caminhões provindos de diversas minas), mas também próximo à comunidade de Sertão do Campo, localizada em porção da área de estudo onde o vale do Rio da Madre é mais confinado, concentrando ainda mais os ruídos.

- **Sobrecarga da malha viária:** as atividades de circulação de veículos e máquinas, sobretudo os caminhões que realizam o transporte do minério lavrado, são responsáveis pela intensificação dos fluxos ao longo das estradas secundárias que cruzam as localidades de Sertão do Campo e Albardão. A continuidade das operações das diversas minas em atividade, assim como a ausência de vias alternativas para o escoamento do minério são associadas à acumulação do tráfego de veículos nestes locais, gerando a sobrecarga da malha viária.

- **Alteração da paisagem:** as cavas de extração de areia quando observadas de forma conjunta ao longo de toda a área de estudo, também acabam proporcionando alterações irreparáveis na paisagem local, que anteriormente era formada por pastagens, campos cultivados ou áreas com desenvolvimento secundário de

vegetação natural. Após a instalação das atividades minerárias, os padrões paisagísticos são direcionados pela presença de lagos artificiais formados pela mineração. Neste contexto também é considerada a ausência de implementação de projetos direcionados ao uso produtivo ou recreativo de cavas com lavra já encerrada.

## 6.4.2 Fase de desativação

Durante a fase de desativação dos empreendimentos, os impactos apontados foram relacionados às atividades de circulação de veículos e máquinas (durante a eventual implementação de ações de recuperação ambiental das áreas lavradas) e também ao próprio abandono das cavas. Foram também consideradas as atividades de lançamento de efluentes residenciais e de rizicultura na interferência com as áreas com lavra já encerrada.

### 6.4.2.1 Impactos diretos

#### 6.4.2.1.1 Impactos diretos ao meio físico

- **Erosão:** fenômenos erosivos são observados principalmente ao longo dos taludes das cavas com lavra encerrada e sem a adoção de projetos adequados de recuperação ambiental. Como consequência direta da ausência de trabalhos de suavização topográfica e recobrimento vegetal, observa-se a geração de feições erosivas na forma de sulcos e instabilidades geotécnicas (principalmente relacionadas ao substrato arenoso bastante suscetível a movimentações), que proporcionam não somente o transporte de sedimentos para as drenagens locais, mas também aumentam os riscos relacionados à segurança de algumas residências (Quadro

07). Na localidade de Albardão a ausência de recuperação ambiental adequada, associada ao aprofundamento excessivo de uma das cavas de extração de areia, proporcionou a instabilização dos taludes arenosos, que frequentemente são deslocados por gravidade ao interior da própria cava. Os limites da cava estão muito próximos a uma rua ocupada por residências, que eventualmente poderão ser afetadas pela perda de terreno.

#### 6.4.2.2 Impactos potenciais

##### *6.4.2.2.1 Impactos potenciais ao meio físico*

**- Alteração da qualidade das águas superficiais:** nas áreas com lavra encerrada localizadas no trecho mais proximal da Bacia do Rio da Madre se observa a presença de drenagens localizadas muito próximas às cavas de extração, sendo que estas não foram adequadamente recuperadas (presença de feições erosivas e sem recobrimento vegetal). Desta forma, o deslocamento de sedimentos em direção aos corpos hídricos receptores e consequente aumento dos níveis de turbidez é iminente quando da incidência de chuvas, diminuindo consideravelmente a qualidade das águas. As movimentações de máquinas eventualmente operando em novas obras de recuperação ambiental também é fator de carreamento de sedimentos às drenagens, uma vez observada a situação topográfica destes locais, assim com o pela proximidade dos acessos em relação às drenagens.

##### *6.4.2.2.2 Impactos potenciais ao meio antrópico*

**- Emissão de ruídos/emissão de poeiras:** durante a implantação de ações de recuperação ambiental que poderão ser implementadas em pelo menos 3 áreas de

extração, nota-se a probabilidade de geração de ruídos e emissão de poeiras decorrentes das operações das máquinas, sendo considerada também a localização destas áreas em relação aos núcleos residenciais das localidades de Albardão e Sertão do Campo. Ressalta-se que tais impactos poderão ser observados de forma temporária, apenas quando da realização das ações de recuperação ambiental.

#### 6.4.2.3 Impactos cumulativos

##### *6.4.2.3.1 Impactos cumulativos ao meio físico*

- **Alteração da qualidade das águas subterrâneas:** durante a fase de operação, as áreas de lavra invariavelmente geram impactos de forma cumulativa às águas do aquífero freático, conforme já apontado em itens anteriores. Após o encerramento da atividade, e considerando também a interação com as alterações proporcionadas pela carga de pesticidas e fertilizantes aplicados nas canchas de rizicultura, a qualidade das águas subterrâneas pode ser afetada através da interação e somatória dos impactos das atividades de lavra (mesmo que já encerradas), e das atividades de rizicultura. Neste contexto também deve ser considerado o despejo de efluentes residenciais, que através da movimentação e percolação no subsolo arenoso acabam atingindo as águas do aquífero freático, interagindo e somando-se aos poluentes advindos da mineração e da rizicultura.

##### *6.4.2.3.2 Impactos cumulativos ao meio antrópico*

- **Perda de terras agricultáveis:** após o encerramento da lavra, e de forma semelhante à fase de operação, os locais minerados ficam inevitavelmente

marcados pela presença das cavas inundadas, inviabilizando o aproveitamento posterior pelo uso do solo. Tais alterações somadas pela presença de diversas cavas designam uma acumulação de impactos, ainda mais se considerando o contexto total da área de estudo.

- **Alteração da paisagem:** após o encerramento da lavra e consequente abandono das cavas, e considerando que até o momento não se observam ações eficazes de recuperação ambiental ou aproveitamento das áreas lavradas no âmbito da área de estudo, fica evidente a geração de acumulação de impactos relacionados à alteração visual da paisagem abrangendo a Bacia do Rio da Madre (Figuras 53 e 54). Desta forma espera-se a formação de paisagem pela presença de um aglomerado de cavas inundadas, onde anteriormente existia cobertura vegetal e aproveitamento pelo uso do solo.

**Figura 53:** Aspecto da paisagem formada por cavas de extração de areia com lavra encerrada sem a devida recuperação ambiental na localidade de Sertão do Campo.



**Fonte:** Do autor, em 10/06/2015.

**Figura 54:** Aspecto da paisagem formada por cavas de extração de areia com lavra encerrada na localidade de Sertão do Campo.



**Fonte:** Do autor, em 10/06/2015.

## **7 FATORES RESTRITIVOS À ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA**

No presente capítulo serão apontados os fatores que podem restringir a continuidade da atividade de mineração de areia na Bacia do Rio da Madre na forma como vem sendo atualmente desenvolvida. Neste sentido, a integração dos dados levantados e a síntese dos aspectos técnicos e legais que atualmente condicionam a atividade forneceram meios para a proposição de medidas corretivas e de readequação dos procedimentos vigentes que regulam a mineração de areia, sendo expressas na forma de restrições ambientais e legais, a seguir detalhadas.

### **7.1 RESTRIÇÕES AMBIENTAIS**

Para a definição das restrições ambientais foram considerados os aspectos relacionados à geologia da área de estudo que limitam a continuidade da lavra de areia, assim como a ocorrência e abrangência dos impactos ambientais identificados, sendo ambos os aspectos condicionadores ao desenvolvimento de novas áreas de extração. Neste sentido, foram consideradas as presenças e formas de ocorrência dos jazimentos de areia em cada unidade geológica identificada de forma integrada ao cenário ambiental local, afetado pelos impactos anteriormente apontados.

Dentro do Sistema Depositional Continental, a unidade depósitos coluviais não apresenta viabilidade para a lavra de areia, uma vez observada sua composição essencialmente argilosa. A unidade fácies de fluxos de detritos, pertencente ao depósito de leque aluvial, já foi amplamente minerada de forma desordenada, atualmente apresentando pouca distribuição espacial aproveitável. Nestes locais, a continuidade da lavra fica limitada pela presença das residências da localidade de Sertão do

Campo, e também pelo espesso capeamento estéril representado pelas litofácies *Gcm* e *Gmm* (MIALL, 1985), ambas formadas por sedimentos muito mal selecionados, onde a presença da fração argilosa e cascalhosa acaba gerando baixos índices de produção de areia. Nesta unidade, a lavra da litofácies *Sm* (rica em areia) fica condicionada à sua distribuição bastante irregular, podendo propiciar o aumento do aglomerado de cavas já existentes, muitas vezes desenvolvidas de forma desnecessária (pouco produtivas), podendo agravar o desenvolvimento de impactos cumulativos relacionados à alteração da qualidade das águas subterrâneas e à alteração da paisagem.

Dentre as outras unidades do depósito de leque aluvial, a fácies de fluxos não confinados e a fácies de planície de inundação também não apresentam viabilidade para a lavra de areia, uma vez observada a grande contribuição argilosa destes depósitos (o que invariavelmente propicia baixos níveis de produção e expressivos impactos ambientais, através do desenvolvimento e ampliação de cavas de extração e geração de depósitos de minério estéril). A fácies de fluxos confinados, pela sua composição predominantemente arenosa, é a unidade (pertencente aos depósitos de leque aluvial) que ainda possui jazimentos aproveitáveis. No entanto, a mesma já foi lavrada em períodos anteriores, e de maneira análoga à unidade fácies de fluxos de detritos, apresenta pouca expressão areal. Ressalta-se também que a proximidade de núcleos residenciais limitaria o desenvolvimento de novas frentes de lavra dentro dos limites desta unidade, podendo agravar a geração de impactos cumulativos decorrentes da interação entre as atividades de lavra e os despejos de efluentes residenciais sem tratamento.

Relacionado ao Sistema Depositional Continental, apenas a unidade Depósitos Fluviais apresenta alguma viabilidade para o aproveitamento econômico de suas

jazidas arenosas, uma vez observada sua maior abrangência espacial (notadamente na porção sul da área de estudo), e ausência de frentes de lavra desenvolvidas. Ressalta-se que os depósitos relacionados a rompimentos de dique marginal (*crevasse splays*), por apresentarem topografia um pouco mais elevada em relação aos depósitos nas baixadas, podem propiciar o desenvolvimento de cavas secas, uma vez observadas as espessuras das camadas arenosas sem a influência do lençol freático, podendo amenizar o desenvolvimento de impactos associados à perda de terras agricultáveis e alteração da paisagem, assim como pela pouca influência junto às águas do aquífero freático. Os depósitos localizados ao longo do trecho meandrante do Rio da Madre não devem ser lavrados, uma vez observada a presença de núcleos de vegetação higrófila ao longo destes locais (SANTA CATARINA, 2015).

Dentro do Sistema Depositional Transicional, as unidades Depósito Flúvio-lagunar e Depósito Lagunar apresentam restrições em relação ao aproveitamento do conteúdo arenoso existente, uma vez observada a existência de intercalações de níveis argilosos e arenosos. Outro fator agravante é a presença de horizontes biodetríticos, assim como eventualmente turfáceos, sempre com presença de argilas orgânicas superficiais com espessuras variáveis. Apesar destas características, na porção central da área de estudo a unidade Depósito flúvio-lagunar vem sendo lavrada, dada a existência de camadas arenosas a maiores profundidades. Tal aspecto indica de forma clara a metodologia atualmente utilizada pelos mineradores locais, que propiciam o aprofundamento das cavas de extração em busca de horizontes arenosos a maiores profundidades, gerando assim grande volume de material estéril (camadas argilosas e biodetríticas), e propiciando a geração de aglomerados de cavas inundadas que na maioria das vezes são pouco produtivas (considerando que apenas as camadas de sedimentos

mais profundas são lavradas). Desta forma são agravados os impactos ambientais cumulativos relacionados à alteração da paisagem, perda de terras agricultáveis e perda de qualidade das águas superficiais e subterrâneas, considerando a interação com a atividade de rizicultura.

A unidade Depósito Eólico Pleistocênico é a mais afetada pela atividade de mineração de areia, uma vez que abrange a maioria das minas em atividade atualmente. Observada sua composição essencialmente arenosa e sem a presença de camadas de capeamento estéril, as cavas geralmente são desenvolvidas até maiores profundidades, sendo altamente produtivas. No entanto, o avanço da lavra em profundidade, aliado à relativa instabilidade geotécnica dos sedimentos arenosos, é responsável pela formação de feições erosivas, principalmente ao longo das margens das cavas, o que muitas vezes causa prejuízos materiais e ambientais. Neste contexto também é importante considerar a localização dos núcleos residenciais, uma vez constatada a emissão de rejeitos sem tratamento adequado em subsolo bastante permeável formado pelas areias eólicas. Desta forma, e observando-se a disposição espacial do depósito eólico Pleistocênico, nota-se que a lavra ainda pode ser desenvolvida dentro da unidade, havendo no entanto a necessidade de definição de parâmetros hidrogeológicos específicos (velocidade de percolação, direção de fluxo subterrâneo, condutividade hidráulica, dentre outros) para a eventual locação de novas frentes de lavra devidamente afastadas dos pontos de emissão de efluentes domésticos. Tal fato vem ao encontro da necessidade de se evitar um maior desenvolvimento dos impactos cumulativos associados à perda de qualidade das águas subterrâneas.

Em relação à viabilidade da lavra nas unidades representadas pelos depósitos marinho praiado e eólico Holocênico, nota-se a ausência de camadas de capeamento estéril, e também homogeneidade composicional dominada pela fração arenosa praticamente

ausente de impurezas (frações finas), o que teoricamente viabilizaria o desenvolvimento de novas frentes de lavra. No entanto, nota-se que até o momento não são observadas minas abertas nestes locais, apesar de apresentarem sedimentos com melhores características para o seu aproveitamento econômico. Tal fato se associa à cobertura vegetal e disposição dos depósitos, representados por dunas e cordões litorâneos recobertos com vegetação de restinga, devidamente inseridos no contexto de Áreas de Preservação Permanente (APP's), conforme estabelecido pela Lei Federal nº 12.651/2002 (BRASIL, 2012a), não sendo (até o momento) emitidas Licenças Ambientais de Operação para empreendimentos minerários nestes locais.

## 7.2 RESTRIÇÕES LEGAIS

As restrições legais à lavra de areia foram definidas com base na análise dos dispositivos que regulam a atividade de mineração, sendo abrangidos tanto os aspectos técnicos que norteiam o setor, quanto a questão legal/ambiental envolvida. Desta forma, no presente item serão apresentadas condicionantes definidas através da indicação de aspectos que muitas vezes não são abrangidos ou considerados pela legislação minerária, ambiental ou municipal, uma vez observado o quadro representado pelos resultados obtidos na pesquisa realizada.

### **7.2.1 Condicionantes relacionadas à legislação mineraria**

Conforme visto anteriormente, todas as frentes de lavra de areia (ativas ou não) inseridas na área de estudo atuam no regime de licenciamento junto ao DNPM, sendo

este o regime onde não são exigidos trabalhos direcionados à obtenção de conhecimento detalhado dos jazimentos. Desta forma, e considerando-se os aspectos referentes à lavra realizada e respectivos impactos ambientais gerados, a atividade é desenvolvida através de tentativas de acerto e erro, uma vez que tanto os mineradores quanto o DNPM não possuem dados que indiquem de forma precisa a disposição espacial e a qualidade do minério em profundidade, nem tampouco os volumes das reservas existentes ou a efetiva viabilidade técnica, econômica ou ambiental para a atividade. Sob esta ótica, estima-se que muitas das cavas abertas na área de estudo na verdade somente ilustram tais tentativas de encontrar os depósitos arenosos com melhores características econômicas (principalmente naqueles com maior heterogeneidade composicional), gerando assim diversos impactos ambientais que poderiam ser previstos e evitados por uma pesquisa preliminar.

Evidentemente que os processos minerários sob o regime de Autorização de Pesquisa/Concessão de Lavra acabam sendo muito mais onerosos em termos financeiros ao minerador, que acabam esperando muito mais para obter autorização definitiva para a lavra junto ao DNPM. No entanto, tais dispêndios proporcionam meios para a compreensão de diversos aspectos relacionados à natureza e abrangência dos jazimentos, podendo assim otimizar os trabalhos de modo a se direcionar a lavra aos locais efetivamente produtivos e tecnicamente/economicamente viáveis.

Isto posto, percebe-se que a legislação minerária referente ao regime de licenciamento, e expressa pelo conteúdo da Lei nº 6.567 de 24 de setembro de 1978 (BRASIL, 1978), devidamente atualizada através da consolidação normativa constante na Portaria do Diretor Geral do DNPM nº 155 de 12 de maio de 2016 (BRASIL, 2016c), foi desenvolvida com objetivo de agilizar a lavra das substâncias minerais direcionadas ao aproveitamento

direto na construção civil, uma vez observada grande demanda por estes insumos, sendo a lavra de areia abrangida pela situação especificada pelo item “f” do inciso IX do Artigo 3º da Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012a), incluindo a lavra de areia como atividade de interesse social.

No entanto, percebe-se também que tais dispositivos, claramente elaborados e direcionados ao atendimento de demanda por insumos minerais (uma vez observada expansão acelerada da construção civil), não consideram os efeitos ambientais decorrentes da falta de conhecimento do território a ser lavrado, propiciando assim a geração de impactos marcantes e desconsiderando eventuais alternativas locacionais à instalação de empreendimentos minerários. A estes fatos, alia-se ainda a pouca capacidade fiscalizatória por parte do DNPM, uma vez que a efetiva aplicação do teor da Lei nº 6.567 de 24 de setembro de 1978 (BRASIL, 1978) não é observada na área de estudo, notadamente em relação ao teor do Artigo 8º (que autoriza o DNPM a exigir dos mineradores um plano de aproveitamento econômico da jazida), e também ao Artigo 10º (que estabelece a motivação para o cancelamento ou suspensão dos Registros de Licença). Neste contexto, fica claro que a ausência de conhecimento da natureza dos jazimentos também influencia de forma direta o próprio licenciamento ambiental da atividade, uma vez que eventuais dados obtidos através de pesquisa dos depósitos poderiam fornecer meios para o seu condicionamento ambiental mais adequado.

### **7.2.2 Condicionantes relacionadas à legislação ambiental**

Em relação ao condicionamento da atividade de lavra de areia através dos dispositivos da legislação ambiental vigente, nota-se que as principais limitações são

encontradas na Resolução CONSEMA n° 01/2006 (SANTA CATARINA, 2006), que estabelece os procedimentos para o processo de licenciamento ambiental das atividades poluidoras, dentre estas, a mineração.

No referido dispositivo é indicada a possibilidade de realização de Estudo Ambiental Simplificado (EAS) para os empreendimentos minerários de pequeno e médio porte, isentando os mesmos da obrigatoriedade de realização de EIA RIMA, desde que a produção anual varie entre 12.000 a 80.000 m<sup>3</sup> de minério. Tais procedimentos são devidamente detalhados através da Instrução Normativa FATMA n° 07, direcionada para o licenciamento específico da atividade de mineração, incluindo o termo de referência para elaboração do EAS. O ponto crucial da análise reside justamente no fato de que o referido termo apenas exige a identificação e avaliação dos impactos decorrentes de um único projeto individual, não sendo exigida caracterização de eventuais impactos decorrentes da interação com outras atividades de uso do solo, nem tampouco impactos cumulativos advindos de outros projetos semelhantes localizados em áreas próximas. Como visto anteriormente, na área de estudo se observam diversos impactos ambientais que ocorrem de forma cumulativa em decorrência da existência de vários empreendimentos semelhantes atuando, o que acaba por limitar a eficácia da utilização do método (EAS) na identificação efetiva dos impactos decorrentes.

Neste contexto também pode ser aventada a necessidade de realização de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) através de EIA RIMA próprio para a atividade de mineração em recortes territoriais específicos, como a Bacia do Rio da Madre, anteriormente à emissão ou renovação de licenças ambientais dos empreendimentos minerários. Tal metodologia já foi utilizada em outras áreas do Estado de Santa Catarina (Bacia do Rio Cubatão do Norte, Bacia do Rio Itapocú e Bacia do Rio Itajaí-Açu), sendo apontadas condicionantes

próprias para a mineração nestes locais, considerados os diagnósticos ambientais e tipo de lavra praticada em cada bacia hidrográfica. Desta forma, o método aplicado (AIA) se torna eficiente na definição não somente dos impactos gerados pela atividade, mas também na previsão e estimativa de impactos a serem gerados por novos empreendimentos a serem instalados. A realização de AIA de forma individualizada para a atividade de mineração desenvolvida em determinada bacia hidrográfica também é de grande valia para o conhecimento adequado do território através do diagnóstico ambiental integrado, uma vez que são geradas informações que podem ser utilizadas no planejamento do uso e ocupação do solo local. Para tanto, devem ser abrangidos estudos direcionados à definição dos impactos não somente de cada mina em atividade, mas também dos impactos totais, gerados pela acumulação de vários empreendimentos semelhantes (impactos cumulativos), assim como pela eventual interação com impactos provindos de outras atividades existentes no recorte territorial.

No entanto, uma vez apontados os impactos ambientais totais decorrentes da mineração de areia, certamente deve ser realizada discussão acerca da efetiva necessidade e possibilidade de continuidade da lavra nos locais afetados, ainda mais no que pese a existência de impactos cumulativos, e considerando também as limitações físicas dos jazimentos minerais de forma conjunta com as limitações ambientais dos ecossistemas afetados. De forma complementar, devem também ser discutidas alternativas tanto locais (caso confirmadas limitações à continuidade da atividade) quanto tecnológicas. Neste sentido, a possibilidade de utilização de materiais com propriedades semelhantes à areia natural pode ser considerada, de forma a suplementar a produção atual de agregados, evitando desta forma o desenvolvimento dos impactos decorrentes da mineração. Tais materiais poderiam ser obtidos através da utilização

de rejeitos de minas de rocha britada, sendo que tais materiais, quando devidamente beneficiados, apresentam características próprias para utilização como agregado miúdo em concreto (ALMEIDA; CHAVES; SALES FILHO, 2001; BARBOSA; COURA; MENDES, 2008).

Evidentemente que a mineração de areia é uma atividade já consolidada no que tange ao fornecimento de insumos para a construção civil, e que gera grande volume de arrecadação na forma de impostos e empregos diretos e indiretos. No entanto, o desenvolvimento da atividade e respectivos impactos ao ambiente, relacionados à crescente demanda por minério, inevitavelmente tem demonstrado a necessidade de soluções alternativas, ainda mais considerando-se as limitações físicas das jazidas, muitas em vias de serem exauridas. Neste contexto, é fundamental a inserção de políticas públicas direcionadas tanto ao controle ambiental adequado dos setores produtivos, quanto também do incentivo técnico e financeiro objetivando o desenvolvimento de tecnologias alternativas, sendo de grande importância também ações direcionadas ao adequado uso do território. Desta forma, fica evidente que a realização de uma Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) seria fundamental para a consideração de todos os aspectos envolvidos nesta questão, podendo a mesma ser direcionada ao setor mineral como um todo, dentro de determinado recorte espacial, ou mesmo direcionada por políticas, planos e programas relacionados com o uso e gestão adequada do território (SÁNCHEZ, 2008).

### **7.2.3 Condicionantes relacionadas à legislação municipal**

Em relação aos dispositivos legais nas esferas municipais, nota-se que ambas as leis que regulamentam o zoneamento e uso do solo nos municípios de Palhoça e

Paulo Lopes (Lei Municipal nº 16/1993, e Lei Municipal Complementar nº 31/2010, respectivamente) apontam a viabilidade para o desenvolvimento da atividade de mineração em partes da área de estudo.

No que concerne ao zoneamento do município de Palhoça, a Lei Municipal nº 16/1993 define as Áreas de Alteração do Solo (AA's) como segue:

Art. 145 - Nas áreas de alteração do solo, sob o regime de licença municipal, será permitida a exploração de jazidas de substâncias minerais de emprego imediato na construção civil, desde que tenha autorização do DNPM, e não cause danos ou riscos às propriedades vizinhas, nem mutilação da paisagem natural, requerendo projeto de recomposição paisagística e licenciamento junto ao órgão estadual de meio ambiente.

§1º - As jazidas a que se refere este artigo são as pedreiras, as saibreiras e os depósitos arenosos.

§2º - A continuidade da exploração das jazidas depende da renovação anual do Alvará, após a análise prévia do órgão municipal de planejamento e demais órgãos competentes.

§3º - As áreas de alteração do solo serão definidas em Plano Específico elaborado em conjunto com o DNPM em consonância com as diretrizes dos órgãos Estadual e Federal do meio ambiente.

Percebe-se que o referido dispositivo (devidamente elaborado para setorizar a atividade minerária), ao indicar a necessidade de elaboração de Plano Específico, se submete à necessidade de conhecimento prévio dos

aspectos relacionados ao meio físico onde a lavra deverá ser desenvolvida, assim como se submete às normativas das esferas estadual e federal. No entanto, até o momento o município não elaborou o referido Plano, o que inviabiliza a delimitação das AA's, que ainda não são indicadas no mapa de zoneamento vigente (Figura 09).

Nota-se também que a atividade minerária praticada na área de estudo afronta o teor do Artigo 145, uma vez apontados os impactos ambientais referentes a marcantes alterações paisagísticas, situação esta muitas vezes agravada pela ausência de recuperação ambiental dos locais lavrados. Atualmente, os locais onde a mineração é desenvolvida são abrangidos pelas Áreas de Exploração Rural (AER's), que conforme especifica o Artigo 29 da Lei Municipal nº 16/1993, são aquelas com uso atual ou potencial para a produção agrícola, pecuária, agro-industrial e florestal. Isto posto, fica evidente a desvinculação do zoneamento vigente com a atividade minerária efetivamente praticada, ainda mais considerando que as AER's não possuem especificidades para a mineração (situação agravada mais uma vez pela própria ausência de informações associadas à geologia local e aspectos ambientais).

O zoneamento do município de Palhoça também limita a atividade de mineração nas áreas situadas a leste da BR-101 na área de estudo, uma vez definida Área de Preservação Permanente relacionada à vegetação de restinga.

No município de Paulo Lopes, a Lei Municipal Complementar nº 31/2010 em seu Artigo 9º, define o zoneamento em quatro áreas distintas:

- I. Macrozona Urbana e de Expansão Urbana: engloba os núcleos urbanos e comunitários, as áreas urbanas consolidadas e os territórios destinados a expansão habitacional, ao uso misto e de serviço, ao uso

- industrial e as de interesse social, dentro do perímetro urbano do município;
- II. Macrozona de Uso Sustentável: engloba as áreas de uso sustentável habitacional, turístico e de desenvolvimento econômico contidas na APA do Entorno Costeiro, do Mosaico de Unidades de Conservação da Serra do Tabuleiro e Terras do Massiambu, dentro do perímetro urbano do município;
  - III. Macrozona de Uso Rural: compreende as áreas externas ao perímetro urbano do Município destinadas ao uso agropecuário, florestal, mineração e as áreas prioritárias de compensação ambiental do município; e
  - IV. Macrozona de Valorização Ambiental: compreende as áreas abrangidas pelo novo limite do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, pela Zona de Proteção Especial da APA e o território coberto pela vegetação primária da Mata Atlântica ou secundária em estágio médio e avançado de regeneração protegida pela Lei Federal da Mata Atlântica.

Na área de estudo, a Macrozona Urbana e de Expansão Urbana é associada à Zona de Uso Misto e Serviços, abrangendo as margens da rodovia BR-101, com uso não indicado à mineração. A Macrozona de Valorização Ambiental, representada pela Zona de Proteção Limitada, abrange as áreas ambientalmente protegidas por lei fora do perímetro urbano, cobertas por vegetação primária da Mata Atlântica ou secundária em estágio médio e avançado de regeneração, destinadas a regularização fundiária, a constituição de reservas, servidões e cotas florestais de acordo com o código

ambiental do Estado de Santa Catarina, também proibitivas à lavra de bens minerais.

As áreas de mineração atuais estão localizadas dentro da Macrozona de Uso Rural, sendo que neste contexto a Zona de Uso Agropecuário (ZUA) é destinada às atividades agrícolas, de produção animal, mineração e de extração florestal (Artigo 13, inciso I). No Artigo 15, são definidas áreas de uso para fins de zoneamento secundário e gestão da expansão do município, sendo definida Área Rural de Produção Mineral (áreas públicas ou privadas, localizadas no meio rural, licenciadas pelo DNPM, destinadas à exploração mineral), sendo que as mesmas não são delimitadas em planta, integrando apenas a Zona de Uso Agropecuário.

Apesar de devidamente considerada no zoneamento de Paulo Lopes, assim como também limitada frente a condicionantes ambientais e urbanísticas, a atividade minerária não encontra diretrizes ou especificidades para o seu desenvolvimento na legislação municipal de Paulo Lopes. De forma semelhante ao município de Palhoça, o condicionamento da mineração através de dispositivos legais não é embasado por dados referentes ao conhecimento dos aspectos básicos que norteiam o setor, indicando desta forma a carência de conhecimento territorial para a devida gestão e planejamento de sua ocupação.

## 8 CONCLUSÕES

Em relação à metodologia utilizada, observa-se a grande importância do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na análise e integração dos dados obtidos não somente da caracterização física da área de estudo, mas também da identificação e previsão de impactos ambientais decorrentes da mineração de areia. O uso de SIG também forneceu meios para a compreensão e visualização adequada do modo como a mineração interage com o ambiente local, uma vez que torna possível a observação do desenvolvimento da atividade ao longo do tempo e suas consequências ao ambiente.

Na caracterização geológica da área de estudo, foi de fundamental importância a integração de elementos de fotointerpretação e análise estratigráfica, uma vez observada grande variação litológica dos depósitos sedimentares quaternários. A definição dos processos formadores dos depósitos mapeados foi viabilizada pela utilização do método de análise de elementos arquiteturais de Miall (1985), possibilitando assim a compreensão da disposição espacial, abrangência e qualidade dos jazimentos de areia. Ressalta-se que um maior grau de detalhamento na análise estratigráfica realizada foi limitado pela ausência de bases topográficas de maior precisão, adequadas às sutis mudanças de padrões de relevo que demarcam as diferentes unidades geológicas existentes, assim como pela pouca profundidade do lençol freático nos locais de exposição, o que limita a observação de eventuais variações litológicas e deposicionais em profundidade.

O método de análise granulométrica utilizado (difração de luz) foi útil na determinação da tipologia e qualidade do minério que é comercializado pelos empreendimentos minerários na área de estudo. Os resultados obtidos não puderam ser melhor aproveitados na caracterização geológica de alguns dos depósitos

sedimentares quaternários, uma vez que não possibilitam a determinação de frações granulométricas maiores do que cascalho fino, considerando a baixa seleção de grande parte dos sedimentos dos depósitos identificados.

A geologia da área de estudo abrange unidades associadas ao Embasamento Cristalino (pré-Quaternário) e Depósitos Quaternários, sendo estes últimos formados por sedimentos inconsolidados associados aos sistemas deposicionais continental e transicional, onde são encontrados os jazimentos arenosos atualmente aproveitados economicamente.

No Sistema Depositional Continental foram individualizados os depósitos coluvial, de leque aluvial e fluvial, sendo estes dois últimos portadores de jazidas de areia. O depósito de leque aluvial é formado por quatro fácies distintas de cada processo deposicional atuante, na forma de fluxos gravitacionais, fluxos confinados e fluxos não confinados, assim como uma fácies associada a planície de inundação. A lavra de areia já foi desenvolvida principalmente nas fácies de fluxo de detritos e fluxos confinados, uma vez observada a existência da litofácies *Sm*, rica em areias. Tais depósitos se apresentam pouco produtivos, dada a presença predominante de litofácies formadas por sedimentos essencialmente mal selecionados, gerando grande volume de rejeitos, sendo a lavra direcionada apenas ao aproveitamento da litofácies *Sm*, proporcionando o desenvolvimento muitas vezes desnecessário de cavas, e agravando os impactos relacionados à alteração da paisagem. Nos depósitos fluviais, formados por barras transversais, barras longitudinais, diques marginais e depósitos de rompimento de diques marginais, se observam importantes jazidas arenosas, ainda não mineradas.

No Sistema Depositional Transicional foram individualizados depósitos eólicos Pleistocênicos, e depósitos flúvio-lagunar, lagunar, marinho praiado e eólicos Holocênicos, todos formados por variações do nível relativo

do mar ao longo do Quaternário, e associados, respectivamente, às Barreiras III e IV conforme apontado por Villwock e Tomazelli (1985). No depósito flúvio-lagunar a lavra vem sendo direcionada a horizontes arenosos existentes a maiores profundidades, gerando grande volume de minério estéril (formado por frações argilo/cascalhosas e biodetríticas sotopostas às areias), e gerando importantes impactos ambientais (alteração da paisagem). A lavra de areia também é amplamente disseminada no depósito eólico Pleistocênico, uma vez observadas areias melhor selecionadas e desprovidas de cobertura estéril. Nesta unidade são evidentes os problemas relacionados ao excessivo aprofundamento das cavas, gerando feições erosivas e de instabilidade geotécnica ao longo das margens das escavações. O depósito lagunar, marinho praial e eólico apresentam limitantes tanto econômicos e composicionais quanto ambientais para a instalação de novos empreendimentos minerários, devendo, portanto, ser poupados da atividade de lavra.

Tanto as minas atualmente em atividade, quanto aquelas com lavra já encerrada operam sob o regime de licenciamento junto ao DNPM, não sendo observadas lavras ilegais na área de estudo. Em todos os empreendimentos o método de lavra é semelhante, sendo realizada a lavra por escavação a céu aberto e mecanizada. A produção do minério nestas minas é destinada principalmente aos mercados da região metropolitana de Florianópolis, sendo responsável por quase 5% da produção total estadual de areia (segundo dados referentes ao ano de 2013), onde a utilização principal é associada à construção civil, seja na fabricação de concreto, ou na fabricação de artefatos de concreto e aterros.

Em relação ao uso e ocupação do solo, a área de estudo ainda é dominada por cobertura florestal associada a remanescentes da Floresta Ombrófila Densa,

principalmente ao longo das encostas da Serra do Tabuleiro. De forma secundária se observam campos antropizados e áreas de rizicultura, sendo estas classes de uso do solo as mais propícias para a instalação de novas frentes de lavra, sobretudo na porção centro sul da área de pesquisa, onde se observam jazimentos ainda não explorados. A mineração de areia abrange apenas 2,3% da área total estudada. Os trabalhos de mapeamento do uso do solo também indicam que a mineração atualmente confronta a existência de núcleos residenciais, principalmente nas localidades de Albardão e Sertão do Campo, uma vez observado o avanço das cavas de extração até muito próximo das residências, causando danos decorrentes de instabilidades geotécnicas e erosão. A proximidade das cavas em relação aos núcleos residenciais, de forma associada à ausência de sistema de coleta e tratamento de efluentes residenciais, também possibilita a geração de impactos ambientais cumulativos associados à perda de qualidade das águas subterrâneas.

Os impactos ambientais decorrentes da atividade de mineração de areia foram associados às fases de operação e desativação dos empreendimentos minerários, sendo identificados impactos diretos, potenciais e cumulativos. Os impactos diretos foram identificados através de observações *in loco*, associados a todas as atividades referentes à fase de operação dos empreendimentos. Na fase de desativação se observam impactos diretos relacionados principalmente à ausência de recuperação ambiental adequada dos locais com lavra encerrada, indicando desta forma a inobservância dos mineradores aos aspectos legais e ambientais reguladores. Impactos potenciais foram estimados através da constatação de condições propícias para a ocorrência dos mesmos, decorrentes de todas as atividades da fase de operação dos empreendimentos, e de forma parcial na fase de desativação. Para a recategorização de impactos potenciais em impactos diretos se fazem necessários

trabalhos adicionais de pesquisa, como coleta e análise sistemática de amostras de águas subterrâneas e superficiais, assim como monitoramentos específicos de níveis de ruídos, poeiras e levantamentos taxonômicos. Impactos cumulativos foram indicados através da consideração de impactos diretos e potenciais das minas de areia atuando de forma conjunta no espaço definido pela Bacia do Rio da Madre, uma vez consideradas ações nas fases de operação e desativação dos diversos empreendimentos minerários existentes. Tais impactos também foram associados à interação da atividade de lavra com as outras atividades poluidoras desenvolvidas na área de estudo, sobretudo os despejos de efluentes residenciais sem tratamento adequado, a rizicultura, a avicultura e o cultivo de hortaliças.

A continuidade da atividade de lavra de areia, assim como a instalação de novos empreendimentos minerários na área de estudo, deve contemplar restrições ambientais e legais. Dentre as restrições ambientais destacam-se as características específicas das unidades geológicas individualizadas, incluindo suas respectivas composições, disposições espaciais e localização frente aos núcleos residenciais e eventuais fontes de poluição. Restrições referentes à consideração de impactos paisagísticos também devem ser impostas aos novos empreendimentos, uma vez que até o momento as áreas mineradas desativadas não foram submetidas à recuperação ambiental adequada. A lavra de areia, de acordo com os dados levantados, poderá ser desenvolvida nas unidades deposicionais fluvial (notadamente na porção centro sul da área de estudo) e também no depósito eólico Pleistocênico, desde que realizados estudos de caracterização hidrogeológica para a locação adequada das minas. Nas outras unidades deposicionais não se observam condições adequadas para o desenvolvimento da lavra de areia, uma vez consideradas as limitações

composicionais dos depósitos e as restrições ambientais legais associadas.

Dentre os dispositivos legais que norteiam o setor mineral, observa-se a ineficiência do regime de licenciamento em fornecer meios para a realização da lavra de forma tecnicamente adequada, uma vez que os mineradores não são obrigados a apresentar dados de pesquisa referentes aos jazimentos de areia. Tal aspecto dispensa o conhecimento detalhado das jazidas, dificultando a locação adequada e consideração de extensões em área e profundidade das cavas de extração frente à geologia local. A falta de conhecimento prévio dos jazimentos também dificulta não somente as ações fiscalizatórias do DNPM e órgãos ambientais, mas também das prefeituras envolvidas e respectivas ações direcionadas ao correto manejo e planejamento da ocupação territorial.

Importantes limitações são observadas também na legislação ambiental aplicável ao licenciamento dos empreendimentos minerários no estado de Santa Catarina, uma vez que os dispositivos que regulam o licenciamento ambiental não exigem a caracterização de impactos decorrentes de diversos empreendimentos minerários atuando de forma conjunta, ou as eventuais interações com as outras atividades poluidoras. Neste contexto também fica evidente a ausência de políticas públicas direcionadas ao aproveitamento racional dos recursos minerais em consonância com a preservação ambiental, dado que não se observam incentivos à pesquisa de materiais alternativos que eventualmente possam vir a substituir os agregados naturais no uso para construção civil. Sob este aspecto, e considerando todo o contexto ambiental envolvido, fica claro também o importante papel da regularização da Avaliação Ambiental Estratégica para o setor mineral, uma vez que tal metodologia poderia evitar a geração de novos polos de mineração em locais ambientalmente frágeis ou geologicamente inadequados.

Limitações à lavra devem também ser indicadas nas atualizações dos zoneamentos municipais, devidamente embasadas por estudos de caracterização geológica e ambiental dos territórios a serem ocupados, e considerando o avanço das populações e eventuais consequências correlatas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Cobrança pelo uso de recursos hídricos do setor de mineração de areia em leito da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. Nota técnica n° 305/2004/SOC. [Rio de Janeiro], 2004.

ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de *et al.* Províncias Estruturais Brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE. 8°, Campina Grande. 1977. **Atas...** Campina Grande: SBG. p.363-391.

ALMEIDA, Salvador L. M.; CHAVES Arthur P.; SALLES FILHO, Laurindo. Aproveitamento de rejeitos de pedreiras brasileiras. In: VI SHMMT/XVIII ENTMMME. Rio de Janeiro, 2001. **Anais eletrônicos**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em <http://www.cetem.gov.br/images/congressos/2001/ENTMME2001-15.pdf> >. Acesso em: 12 out. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregado para concreto - especificação. Rio de Janeiro, 2009.

BARBOSA, Maria Teresa Gomes; COURA, Cláudia Valério Gávio; MENDES, Larissa Oliveira. Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, 8 (4): 51-60, dez.2008.

BASEI, M. A. S. **O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina**. 1985. 195 f. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BIGARELLA, João José; BECKER, Rosemari Dora; PASSOS Everton. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2009.

BITENCOURT, Maria de Fátima *et al.* Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na região de Garopaba-Paulo Lopes, SC. **Revista Pesquisas em Geociências**, **35(1)**: 109-136. 2008.

BLAIR, Terence C.; McPHERSON John G. Processes and forms of aluvial fans. In: PARSONS, A. J.; ABRAHAM, A. D. (eds.) **Geomorphology of Desert Environments**. 2ed. London: Springer Science. 2009.

BOGGS, Sam Jr. **Principles of sedimentology and stratigraphy**. 4ed. New Jersey: University of Oregon, Prentice Hall, 1995, 765p.

BRASIL. Decreto-Lei nº 227 de 28 de fevereiro de 1967. **Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940. (Código de Minas)**. Brasília, 1967. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/Del0227.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del0227.htm) >. Acesso em: 22 set. 2016.

**BRASIL. Lei nº 6.567 de 24 de setembro de 1978.** Dispõe sobre regime especial para exploração e o aproveitamento das substâncias minerais que especifica e dá outras providências. **Brasília, 1978. Disponível em <<http://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/103415/lei-6567-78>>. Acesso em: 22 set. 2016.**

BRASIL. Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional de Meio Ambiente**. Brasília, 1981. Disponível em < <http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 02 abr. 2015.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 01 de 23 de janeiro de 1986. **Critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.** Brasília, 1986. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 04 out. 2015.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília, 1988. Disponível em <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 03 set. 2016.

BRASIL. Decreto nº 99.274 de 06 de junho de 1990. **Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências.** Brasília, 1990. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/antigos/d99274.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm). Acesso em: 03 set. 2016.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 237 de 19 de dezembro de 1997. **Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional de Meio Ambiente.** Brasília, 1997. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=237>. Acesso em: 03 set. 2016.

BRASIL. Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1988. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.** Brasília, 1988. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm)>. Acesso em: 03 set. 2016.

BRASIL. Decreto nº 3.358 de 02 de fevereiro de 2000. **Regulamenta o disposto na Lei nº 9.827, de 27 de agosto de 1999, que "acrescenta parágrafo único ao art. 2º do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, com a redação dada pela Lei nº 9.314, de 14 de novembro de 1996"**. Brasília, 2000. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D3358.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3358.htm) >. Acesso em: 11 out. 2016.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Plano diretor de mineração para a região metropolitana de Curitiba**. Curitiba: MINEROPAR, 2004. Convênio DNPM-MINEROPAR. v.1.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual técnico de geomorfologia**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em <<http://www.biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo 2010**. [Brasília], 2010. Disponível em <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em 15 ago. 2015

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências**. Brasília, 2012a. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm) >. Acesso em: 06 set. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.727 de 17 de outubro de 2012. **Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Brasília, 2012b. Disponível em <<http://www.normaslegais.com.br/legislacao/lei-12727-2012.htm>>. Acesso em: 06 set. 2016.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Relatório anual de lavra ano base 2013.** [Florianópolis], 2013. Trabalho não publicado.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Sumário Mineral 2015.** Volume 35. Brasília, 2015. Disponível em <[www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015](http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015)>. Acesso em 21 set. 2015

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Sistemas de informação geográfica da mineração (SIGMine).** [Brasília], 2016a. Disponível em <<http://www.sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>>. Acesso em 11 out. 2016

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados meteorológicos – estações convencionais:** dados gráficos – estação Florianópolis. Brasília, 2016b. Disponível em <[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_conv\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_conv_graf)>. Acesso em: 25 set. 2016.

BRASIL. Portaria do Diretor Geral do DNPM nº 155 de 12 de maio de 2016. **Aprova a Consolidação Normativa do DNPM e revoga os atos normativos consolidados.** Brasília, 2016c. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/acesso-a-informacao/legislacao/portarias-do-diretor-geral-do-dnpm/portarias-do-diretor-geral/portaria-dnpm-no-155-de-2016>>. Acesso em: 12 out. 2016.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Anuário mineral estadual – Santa Catarina ano base 2010 – 2013.** Brasília, 2016d. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br>>. Acesso em: 23 de out. 2016.

CARUSO JR., Francisco. **Mapa geológico e de recursos minerais do Sudeste de Santa Catarina – Escala=1.100.000, Texto explicativo e mapa.** Brasília: Programa Cartas de Síntese e Estudos de Integração Geológica. N°1. DNPM. P.1-52. 1995.

CARUSO Jr. ESTUDOS AMBIENTAIS LTDA. **Estudo de impacto ambiental da atividade de mineração de areia, argila e saibro na Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas – Santa Catarina (municípios de Tijucas, Canelinha, São João Batista, Nova Trento e Major Gercino).** [Florianópolis], 2003. Disponível no acervo técnico da Superintendência do DNPM de Florianópolis, Santa Catarina.

CAVALCANTI, Vanessa Maria Mamede; PARAHYBA, Ricardo Eudes Ribeiro. **A indústria de agregados para construção civil na Região Metropolitana de Fortaleza.** Fortaleza: DNPM, 2011. 110p.

CREMONEZ, Filipe Eliazar *et al.* Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no Brasil. **Revista Monografias Ambientais - REMOA** v.13, n.5, dez. 2014, p.3821-3830. Disponível em <[https://www.google.com.br/?gws\\_rd=ssl#>](https://www.google.com.br/?gws_rd=ssl#>). Acesso em 12 jul. 2016.

DIAS, Elvira Gabriela Ciacco da Silva. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no estado de São Paulo: a etapa de acompanhamento.** 2001. 283f. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas, São Paulo.

DIAS, Alveirinho. J. **Glossary.** [s.l.], 2007. Journal of Integrated Coastal Management. Disponível em <<http://www.aprh.pt/rgci/glossario/escala.html> >. Acesso em: 25 out. 2016.

DUARTE, Gerusa Maria. **Depósitos cenozoicos costeiros e a morfologia do extremo sul de Santa Catarina.** 1995. 305f. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em geologia sedimentar. Universidade de São Paulo, São Paulo.

EGLER, Paulo César Gonçalves. Perspectivas de uso no Brasil do processo de avaliação ambiental estratégica. **Parcerias Estratégicas.** 11:175-190. 2001. Disponível em < <http://www.cgEE.org.br/parcerias/>>. Acesso em 17 jun. 2016.

ETCHEBEHERE, Mário Lincoln de Carlos. Aloestratigrafia – revisão de conceitos e exemplos de aplicação, com ênfase nos depósitos neoquaternários de terraço da Bacia do Rio do Peixe, SP. **Revista Universidade Guarulhos – Geociências.** Guarulhos, VII (6), dez. 2002.

FOLK, Robert. L.; WARD, Willian C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27, 3-26. 1957. Disponível em <[http://www.aqqua.uqam.ca/articles/Folk\\_Ward\\_27\(1\)-3.pdf](http://www.aqqua.uqam.ca/articles/Folk_Ward_27(1)-3.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2016.

HORN FILHO, Norberto Olmiro. Setorização da província costeira catarinense em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. **Geosul**, 18(35): 71-98. 2003.

HORN FILHO, Norberto Olmiro *et al.* Estudo geológico dos depósitos clásticos quaternários superficiais da província costeira de Santa Catarina, Brasil. **Gravel**, v. 12, n. 01: 41-107, Porto Alegre, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informações sobre a economia mineral brasileira 2015**. Brasília, 2015. Disponível em <<http://www.ibram.org.br/>>. Acesso em 21 set. 2015

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informações e análise da economia mineral brasileira**. 7. ed. Brasília, 2012. Disponível em <<http://www.ibram.org.br/>>. Acesso em 21 set. 2015

KREBS, Antonio Silvio Jornada. **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC**. 2004. 375f. Tese de doutorado em geografia. Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

LUZ, Adão Benvindo da; LINS, Fernando Antônio Freitas (org.). **Rochas e minerais industriais: usos e especificações**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005. Disponível em <<http://www.cetem.gov.br/>>. Acesso em: 20 set.2015

MARTIN, Louis *et al.* **Mapa geológico do quaternário costeiro dos estados do Paraná e Santa Catarina**. Brasília: DNPM. 40p. Série Geologia, 28; Série Geológica Básica, 18. Texto explicativo.1988.

MELLO, Claudio Limeira. Aloestratigrafia e análise de fácies: “revoluções” na geologia sedimentar e o estudo do quaternário. **Anuário IGEO/UFRJ**, v. 17. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em <[http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario\\_1994/vol\\_17\\_93%20\\_108.pdf](http://www.anuario.igeo.ufrj.br/anuario_1994/vol_17_93%20_108.pdf)>. Acesso em 15 jun. 2016.

MENDONÇA, Magaly. **Origem e evolução da planície do Campo de Araçatuba – Palhoça/SC**. 1991. 293f. Dissertação de mestrado em geografia. Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MIALL, Andrew D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. **Earth Science Reviews**, 22(4): 261-300. 1985

MIALL, Andrew D. **The geology of fluvial deposits: sedimentar facies, basin analysis, and petroleum geology**. New York: Springer Verlag, 1996. 582p

MILANI, Edison José. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do Gondwana sul-ocidental.** 1997. 255f. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MILLARD, Craig L. **Evaluating controls on crevasse – splay growth in modern and ancient fluvial systems.** 2013. 174f. Dissertação de mestrado em geociências. College of Earth and Mineral Sciences. The Pennsylvania State University, [s.l.]. Disponível em <<https://etda.libraries.psu.edu/catalog/16417> >. Acesso em 12 set. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Avaliação ambiental estratégica.** Brasília, 92p. 2002. Disponível em <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_pnla/arquivos/aae.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/arquivos/aae.pdf)>. Acesso em 21 jul. 2016.

MOURA, Josilda R. S.; PEIXOTO, Maria N. O.; SILVA, Telma M. Geometria do relevo e estratigrafia do quaternário como base à tipologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatro – médio vale do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Geociências.** V.21(3): 255-265, setembro de 1991.

OLIVEIRA, Valéria Regina Salla de. **Impactos cumulativos na avaliação de impactos ambientais: fundamentação, metodologia, legislação, análise de experiências e forma de abordagem.** 2008. 160f. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em engenharia urbana, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.

PONTELLI, Marga Eliz. **Cartografia das alterações em leques aluviais como base para uma estratigrafia relativa**. Bacias dos rios Amola Faca e Rocinha, Timbé do Sul, SC. 1998. 127f. Dissertação de mestrado em geografia. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

PONTELLI, Marga Eliz; PAISANI, Julio Cesar. Identificação de áreas de risco à inundações de diferentes magnitudes em ambientes de leques aluviais: o caso do sul do estado de Santa Catarina. **Geografia Revista do Departamento de Geociências** – Universidade Estadual de Londrina. v14(1): jan./jun. 2005. Disponível em <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia>>. Acesso em 05 set. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PALHOÇA. Lei Municipal nº 15 de 07 de abril de 1993. **Fixa os objetivos, as diretrizes e as estratégias do plano diretor do município de Palhoça, estado de Santa Catarina, e dá outras providências**. Palhoça, 1993a. Disponível em <<https://leismunicipais.com.br/legislacao-municipal/4371/leis-de-palhoca>>. Acesso em: 01 set. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PALHOÇA. Lei Municipal nº 15 de 07 de abril de 1993.. **Dispõe sobre o zoneamento e uso e ocupação do território do município de Palhoça, estado de Santa Catarina**. Palhoça, 1993b. Disponível em <<https://leismunicipais.com.br/legislacao-municipal/4371/leis-de-palhoca>>. Acesso em: 01 set. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PAULO LOPES. Lei complementar nº 29 de 10 de setembro de 2010. **Institui o plano diretor participativo do município de Paulo Lopes.** Paulo Lopes, 2010a. Disponível em <<http://www.paulolopes.sc.gov.br/legislacao/index/detalhes/codMapaltem/33880/codNorma/196644>>. Acesso em: 05 set. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PAULO LOPES. Lei complementar nº 31 de 10 de setembro de 2010. **Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo municipal do município de Paulo Lopes, e dá outras providências.** Paulo Lopes, 2010b. Disponível em <http://www.paulolopes.sc.gov.br/legislacao/index/detalhes/codMapaltem/33880/codNorma/196645>>. Acesso em: 05 set. 2016.

RICCOMINI, Cláudio; COIMBRA, Armando Márcio. Sedimentação em rios entrelaçados e anastomosados. **Boletim IG-USP.** Série didática: (6), 1993. Disponível em <<http://www.revistas.usp.br/bigsd/article/view/45350>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. O processo de avaliação de impacto ambiental, seus papéis e funções. In: LIMA, A.L.B.R.; TEIXEIRA, H.R.; SÁNCHEZ, L.E. (orgs.) **A efetividade da avaliação de impacto ambiental no estado de São Paulo: uma análise a partir de estudos de caso.** São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, 1995. p.13-19. Disponível em <http://ambiental.adv.br/ufvjm/aiaetapas.pdf>>. Acesso em 22 jul. 2016.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. Avaliação ambiental estratégica e sua aplicação no Brasil. In: **Rumos da avaliação ambiental estratégica no Brasil**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em <http://www.iea.usp.br/publicacoes/textos/aaeartigo.pdf>>. Acesso em 12 jul. 2016.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de impacto ambiental**: conceitos e métodos. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTA CATARINA. Decreto nº 1.260 de 01 de novembro de 1975. **Cria o Parque Estadual da Serra do Tabuleiro**. Florianópolis, 1975. Disponível em <<http://server03.pge.sc.gov.br/LegislacaoEstadual/1975/001260-005-0-1975-000.htm>>. Acesso em: 06 set. 2016.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (SDM) – Fundação do Meio Ambiente (FATMA). **Zoneamento do Parques Estadual da Serra do Tabuleiro – cartografia temática**. [Florianópolis], 2000. Disponível em <[http://www.fatma.sc.gov.br/pautas/rimas\\_site/serra\\_tabuleiro/Zoneamento\\_PE\\_da%20S\\_do\\_Tabuleiro.rar](http://www.fatma.sc.gov.br/pautas/rimas_site/serra_tabuleiro/Zoneamento_PE_da%20S_do_Tabuleiro.rar)>. Acesso em 02 abr. 2015.

SANTA CATARINA. Resolução CONSEMA nº 01 de 24 de agosto de 2004. **Define as atividades potencialmente poluidoras, por meio de listagem, e os critérios para o exercício da competência do Licenciamento Ambiental Municipal**. Florianópolis, 2004. Disponível em <[http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2004/res\\_consema\\_01\\_2004\\_atividadespotencialmentepoluidoras.pdf](http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2004/res_consema_01_2004_atividadespotencialmentepoluidoras.pdf)>. Acesso em: 03 set. 2016.

SANTA CATARINA. Resolução CONSEMA n° 01 de 14 de dezembro de 2006. **Aprova a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental passíveis de licenciamento ambiental pela Fundação do Meio Ambiente – FATMA e a indicação do competente estudo ambiental para fins de licenciamento.** Florianópolis, 2006. Disponível em <[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&sqi=2&ved=0ahUKEwicn5W02bLQAhVGIZAKHUSMAAUQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fatma.sc.gov.br%2Fckfinder%2Fuserfiles%2FArquivos%2Fresolucaoconsema\\_n\\_01\\_2006semlistagem.doc&usg=AFQjCNGN2Wvu7HhAygKYw09I57-fSswj6g&sig2=Pdgine181QEOoWJBYX5SaQ](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&sqi=2&ved=0ahUKEwicn5W02bLQAhVGIZAKHUSMAAUQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fatma.sc.gov.br%2Fckfinder%2Fuserfiles%2FArquivos%2Fresolucaoconsema_n_01_2006semlistagem.doc&usg=AFQjCNGN2Wvu7HhAygKYw09I57-fSswj6g&sig2=Pdgine181QEOoWJBYX5SaQ)>. Acesso em: 03 set. 2016.

SANTA CATARINA. Lei Estadual n° 14.661 de 26 de março de 2009. **Reavalía e define os atuais limites do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, criado pelo Decreto nº 1.260, de 1º de novembro de 1975, e retificado pelo Decreto nº 17.720, de 25 de agosto de 1982, institui o Mosaico de Unidades de Conservação da Serra do Tabuleiro e Terras de Massiambu, cria o Fundo Especial de Regularização, Implementação e Manutenção do Mosaico - FEUC, e adota outras providências.** Florianópolis, 2009a. Disponível em <<http://server03.pge.sc.gov.br/legislacaoestadual/2009/014661-011-0-2009-001.htm>>. Acesso em: 06 set. 2016.

SANTA CATARINA. Lei nº 14.675 de 13 de abril de 2009. **Institui o Código Estadual de Meio Ambiente e dá outras providências.** Florianópolis, 2009b. Disponível em <[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjI7qmk2LLQAhUFj5AKHWmrCvMQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fagenciaal.alesc.sc.gov.br%2Fimages%2Fuploads%2Ffotonoticia%2F14675\\_2009\\_lei.docx&usg=AFQjCNHTjQwTQ2KxPCXMR1PE\\_RCI9PSZLQ&sig2=PUG8DhjixWzM-029FfwcWQ](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjI7qmk2LLQAhUFj5AKHWmrCvMQFggbMAA&url=http%3A%2F%2Fagenciaal.alesc.sc.gov.br%2Fimages%2Fuploads%2Ffotonoticia%2F14675_2009_lei.docx&usg=AFQjCNHTjQwTQ2KxPCXMR1PE_RCI9PSZLQ&sig2=PUG8DhjixWzM-029FfwcWQ)>. Acesso em: 03 set. 2016.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Planejamento. **Implantação do plano estadual de gerenciamento costeiro** - Fase 1: diagnóstico sócio ambiental, setor litoral central. [Florianópolis], 2010. Disponível em <<http://www.spg.sc.gov.br/index.php/acoes/20-gerco>>. Acesso em: 16 jan. 2015.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável. **Sistema de informações de recursos hídricos do estado de Santa Catarina:** Comitê de gerenciamento hidrográfico Bacia do Rio Tijucas. [Florianópolis], 2014. Disponível em <<http://www.aguas.sc.gov.br/o-sirhesc/apresentacao>>. Acesso em 23 jun. 2015.

SANTA CATARINA. Fundação do Meio Ambiente (FATMA). **Instrução normativa nº 07.** Florianópolis, 2015. Disponível em <<http://www.fatma.sc.gov.br/ckfinder/userfiles/arquivos/ins/07/IN%2007%20Atividades%20de%20Minera%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2016.

SANTA CATARINA. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI)/Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM). **Mapas digitais de Santa Catarina**. [Florianópolis], 2016. Disponível em <<http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>>. Acesso em: 10 de out. 2016.

SORDI, Michael Vinícius de. **Parâmetros granulométricos e relações morfoestratigráficas dos depósitos sedimentares de vertente: o caso da Serra de São Pedro – Faxinal – PR**. 2014. 104f. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em geografia. Universidade Estadual de Maringá. Maringá.

SOUZA, Cristiane Mansur de Moraes. Avaliação ambiental estratégica (AAE): limitações dos estudos de impacto ambiental (EIA). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17. São Paulo, 2007. **Anais eletrônicos...**São Paulo, 2007. Disponível em <<http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=3&ID=19&PUBLICACAO=SIMPOSIOS>>. Acesso em 02 jul. 2016.

SUGUIO, Kenitiro. **Rochas sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica**. São Paulo: Edgar Blucher – ed. da Universidade de São Paulo, 1980.

VIEIRA, Celso Voos. **Mapeamento geológico costeiro e evolução paleogeográfica do setor oriental da folha Garuva, nordeste de Santa Catarina, Brasil**. 2008. 171f. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

VIEIRA, Eriton Geraldo; REZENDE, Elcio Nacur. Exploração mineral de areia e um meio ambiente ecologicamente equilibrado: é possível conciliar? **Sustentabilidade em Debate**. Brasília, v.6, n. 2, p. 171-192, mai/ago., 2015.

VILLWOCK, Jorge Alberto *et al.* Geology of the Rio Grande do Sul coastal province. In: RABASSA, J. (ed.). INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SEA LEVEL CHANGES AND QUATERNARY SHORELINES. 1986. **Proceedings...Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**. Rotterdam: Balkema, v.4, pp. 79-97.

VILLWOCK, Jorge Alberto; TOMAZELLI, Luis Jose. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**. v.8, p.1-45, 1995.

WALKER, Roger G.; JAMES, Noel P. **Facies models: response to sea level changes**. Ontario: Geological Association of Canadá, 1992.

ZANINI, Luiz Fernando Pardi *et al.* (org.). **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Florianópolis (Folha SH.22-Z-D-V) e Lagoa (Folha SH.22-Z-D-VI)**. CPRM, Brasília, 252p. mapas. Escala 1:100.000. 1997.

**Apêndice: Mapa geológico da área de mineração de areia da Bacia do Rio da Madre – elaborado pelo autor**

