

Capítulo 5

Mapeamento Geotécnico Preliminar do Município de Santo Amaro da Imperatriz/SC

DOI: <http://dx.doi.org/10.18616/geop05>

Fabiane Andressa Tasca

Roberto Fabris Goerl

Rafael Augusto dos Reis Higashi

Jakcemara Caprario

Aline Schuck Rech

Alexandra Rodrigues Finotti

VOLTAR AO SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades no Brasil tem se intensificado nas últimas décadas, e o País já concentra 84,4% da sua população nas áreas urbanas (IBGE, 2011). São mais de 160 milhões de pessoas que compartilham os sistemas de serviços públicos urbanos e geram pressão e sobrecarga no ambiente, com efeito mais intenso nas modificações do uso e da ocupação do solo. Os impactos decorrentes dessa intensa urbanização contribuem para o aumento da vulnerabilidade das comunidades quanto à ocorrência de desastres, o que demanda medidas corretivas e de planejamento territorial na gestão das áreas urbanas como um todo.

Para ordenar e controlar o uso do solo e garantir o direito a cidades sustentáveis, o Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257/2001) exige que municípios com mais de 20 mil habitantes elaborem o seu plano diretor. Contudo, muitas das experiências de elaboração desse instrumento têm desconsiderado os aspectos do meio físico, em particular os de natureza geotécnica (RODRIGUES; OSWALDO FILHO, 2009). A maioria desses planos aborda apenas aspectos arquitetônicos, sem considerar os efeitos ambientais (CRUZ; TUCCI, 2008), tais como a redução de áreas verdes, a redução da infiltração pluvial, a poluição do ar, a poluição sonora, entre outros, reduzindo, assim, a capacidade de resiliência do meio ambiente. Dessa forma, é comum que os municípios se desenvolvam de forma desordenada, sem nenhuma estratégia de crescimento e planejamento urbanístico, até alcançar o número de habitantes exigido legalmente para então elaborar seu plano diretor (SALGUEIRO *et al.*, 2012). Assim, a gestão da qualidade do ambiente em áreas urbanas, que é dependente da intervenção da administração em nível local, é prejudicada.

Rolnik e Pinheiro (2004) observam que os pequenos municípios, isto é, aqueles que possuem até 20 mil habitantes, embora possam não sofrer na mesma escala os problemas urbanos dos grandes centros e não sejam obrigados por força de lei a elaborar seus planos diretores, também sofrem com a falta de definição de diretrizes e instrumentos para orientação de seu desenvolvimento. Assim, esses municípios não devem abrir mão de construir um

referencial elaborado pela sociedade civil e entidades públicas para que possam exercer o controle sobre o uso e a ocupação do solo. Dentre os instrumentos existentes, o mapeamento geotécnico pode fornecer informações essenciais ao planejamento urbano e à implantação de políticas públicas para a conscientização da população sobre a ocupação da terra. Esse instrumento constitui um importante subsídio às mais variadas aplicações, tais como o planejamento do uso e da ocupação do solo urbano, estudos ambientais (destinação de resíduos e escolha de áreas de preservação), projetos de prospecção do subsolo, soluções técnicas em anteprojetos de obras civis (escolha do tipo de estrutura de fundações, viabilidade de cortes e escavações, condições de drenagem dos terrenos), prospecção de jazidas de material para a construção civil e infraestrutura viária, contribuindo para a obtenção de um plano urbano e regional de forma econômica (BURKERT BASTOS; DIAS; VALENTE, 1998; MENDES, 2001).

O uso de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) associado ao mapeamento geotécnico é crescente e permite várias aplicações na elaboração de mapas temáticos (SBROGLIA; HIGASHI, 2013). Também permite determinar para cada tipo de unidade geotécnica os indicativos de erodibilidade, permeabilidade, índices de consistência, características físicas, etc., os quais, devidamente sintetizados e interpretados, fornecem possíveis respostas às ações antrópicas sobre o meio físico (BUENO, 2000; CARAMEZ; HIGASHI, 2011). A união de informações de SIG e mapeamento geotécnico se torna um trabalho multi e interdisciplinar, envolvendo geologia, pedologia, engenharia civil, arquitetura e urbanismo, climatologia e outros (MAFRA JÚNIOR, 2007), com grande importância na ordenação do território e no planejamento urbano, possibilitando a interpretação e avaliação de suas potencialidades e fragilidades. Com base nessas informações, os gestores podem ser mais precisos ao direcionarem a expansão urbana para áreas adequadas e seguras.

No Brasil, o mapeamento geotécnico teve início em 1907, com o primeiro documento de geologia aplicada às obras de engenharia. Desde então, novas metodologias nacionais foram desenvolvidas na tentativa de mapear, compreender e mensurar o comportamento geomecânico dos solos (HIGASHI, 2002). Dentre elas, destacam-se as metodologias do Instituto de Geologia

da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) de Rio Claro, bem como a metodologia proposta por Zuquette (EESC-USP) e a desenvolvida por Davison Dias (UFRGS).

A proposta deste trabalho é fornecer informações integradas de SIG e mapeamento geotécnico para o desenvolvimento de diretrizes ao planejamento urbano em um município de pequeno porte, o qual possui demanda por instrumentos de planejamento territorial e urbano. O município selecionado para este estudo de caso é Santo Amaro da Imperatriz, localizado no estado de Santa Catarina. Foi realizada a avaliação das aptidões para a ocupação de cada unidade geotécnica, bem como uma análise da expansão urbana em um período de dez anos. Todos os *softwares* e imagens utilizados nesta pesquisa durante a análise são gratuitos, o que possibilita que essa metodologia possa ser aplicada por outros municípios os quais enfrentam a mesma problemática, direcionando a ocupação urbana de forma correta e mais segura.

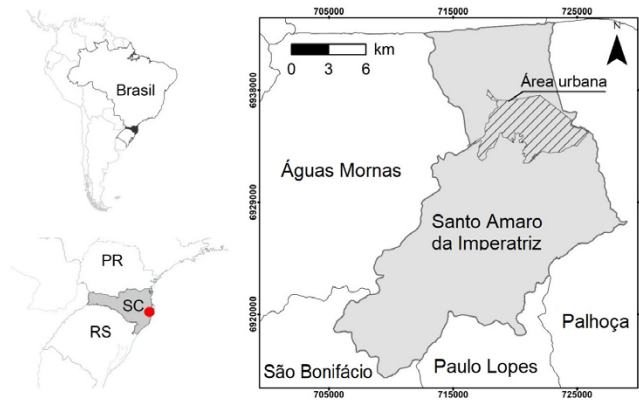
Área de Estudo

A cidade de Santo Amaro da Imperatriz (Figura 1) está situada na mesorregião da Grande Florianópolis, no estado de Santa Catarina, na região sul do Brasil. Sua população era de aproximadamente 19.823 habitantes em 2010, e sua área total é de 344,05km². Tem como municípios limítrofes Paulo Lopes, Palhoça, Águas Mornas, São Pedro de Alcântara, São Bonifácio e São José.

Mais da metade (63%) do território de Santo Amaro da Imperatriz constitui área de preservação integral, formada pelo Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, uma das maiores unidades de conservação do estado catarinense. Grande parte de sua cobertura vegetal agrega toda a diversidade biológica correspondente à Mata Atlântica, apresentando cinco dos 11 principais tipos de *habitat* florísticos apontados para a América Latina e Caribe, além de abrigar um número expressivo de espécies raras e endêmicas (OLIVEIRA, 2005). Oliveira (2005) destaca que os principais conflitos ambientais na gestão do parque se referem à especulação imobiliária, às atividades econômicas, às atribuições e

competências institucionais e às restrições ao uso de propriedade, atividades essas que poderiam ser regidas por um Plano Diretor.

Figura 1 - Localização do município de Santo Amaro da Imperatriz



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Santo Amaro da Imperatriz não possui oficialmente um plano diretor, sendo a matéria da ocupação urbana regulamentada pelas Leis Municipais nº 890/91 (Lei Ordinária) e nº 891/91 (Código de Obras), legislações já ultrapassadas e que deveriam ser revistas a cada dez anos. Embora no ano de 2010 o município ainda não possuísse 20 mil habitantes, ele já se enquadrava nas demais exigências para a elaboração desse instrumento (Municípios integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas e integrantes de áreas de especial interesse turístico). A estimativa é que o município tenha alcançado 22.609 habitantes no ano de 2017.

Em 2011, foi firmado um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) entre o Ministério Público do Estado de Santa Catarina e os gestores do município, o qual impôs a obrigação de elaboração e conclusão do Plano Diretor até janeiro de 2012, atendendo às diretrizes do Estatuto das Cidades (FORTKAMP; PASSIG, 2013). O projeto do Plano Diretor, o qual foi muito criticado pela população, foi encaminhado pelo Prefeito à Câmara de Vereadores, que o rejeitou

por unanimidade. Em fevereiro de 2014, a Prefeitura retomou a sua elaboração, sendo o documento enviado para nova votação em dezembro do mesmo ano (BROERING; PINHEIRO, 2015). No entanto, até o momento da realização e conclusão deste estudo, referido projeto ainda não tinha sido votado.

É possível notar que a população de Santo Amaro da Imperatriz vem crescendo e que inexistente um instrumento atualizado para ordenar e planejar seu crescimento urbano. Essa problemática é preocupante, haja vista a sua proximidade com o Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, aliada ao fato de que a cidade abriga o principal manancial de água, o qual abastece a população urbana dos municípios de Santo Amaro da Imperatriz, Palhoça, São José, Biguaçu e Florianópolis (aproximadamente 700.000 habitantes).

Mapeamento Geotécnico Preliminar

Para o mapeamento geotécnico preliminar, foi utilizada a metodologia de Davison Dias (1995, 2001), cujas pesquisas permitiram o desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento geotécnico para os solos tropicais denominada Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas. É o método usualmente empregado no sul do Brasil, o qual se destina ao mapeamento de grandes áreas em regiões tropicais e subtropicais, permitindo prever o comportamento do solo, relacionando-o com a sua gênese.

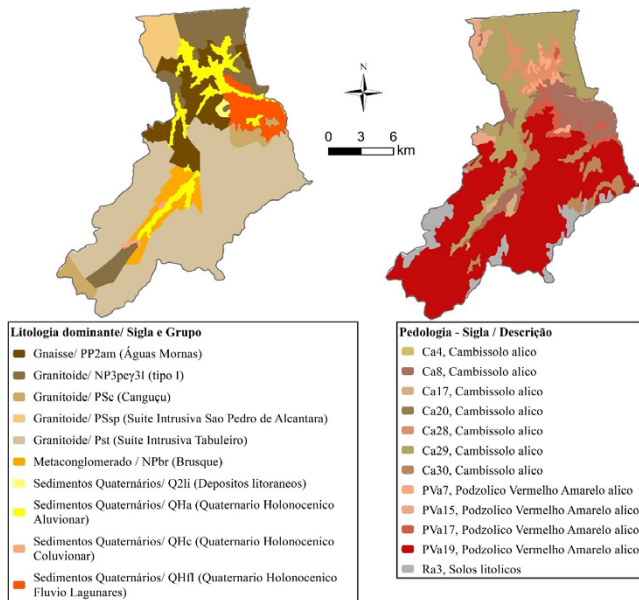
A metodologia se baseou na formulação de um mapa temático geotécnico originado do cruzamento de mapas litológico e pedológico, resultando na construção de unidades geotécnicas (polígonos) com estimativas de comportamentos geomecânicos semelhantes (HIGASHI, 2006). O mapa litológico foi elaborado a partir de interpretações do mapa geológico, representando o tipo de rocha predominante. As unidades geotécnicas são as zonas de ocorrência de solo com perfis de origem e características físicas e morfológicas semelhantes, as quais apresentam um comportamento geotécnico similar ante o uso e a ocupação do solo (XAVIER, 2010).

Cada unidade geotécnica foi então identificada pela simbologia “ABCxyz”, em que as letras maiúsculas correspondem à classificação pedológica

do horizonte superficial (horizontes A e B), e as letras minúsculas representam a geologia da rocha dominante, caracterizada pelos horizontes C (Saprolítico), RA (rocha alterada) e R (rocha sã) (DAVISON DIAS, 1995). Nas características obtidas pelos levantamentos pedológicos, foram ignoradas as características de fertilidade húmico (h), álico (a), eutrófico (e) ou distrófico (d) pertencentes ao horizonte A.

Em ambiente SIG, foram inseridos os mapas pedológico e geológico, ambos preexistentes e em escala 1:100.000, que é a melhor escala disponível para a área de estudo. Foram utilizados os dados pedológicos e geológicos do Projeto Gerenciamento Costeiro (GERCO), terceira fase em 2003, obtido na sede do IBGE, em Florianópolis, SC. O mapa se encontra em meio digital, em forma de arquivo de desenho *Microstation* (*.dgn) para uso restritamente acadêmico. Em seguida, foi elaborado um mapa litológico a partir das interpretações do mapa geológico (Figura 2).

Figura 2 - Representação da litologia e da pedologia de Santo Amaro da Imperatriz



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Na área geológica, observou-se a predominância da Suíte Intrusiva do Tabuleiro, caracterizada pela presença natural de granitos e granitoides do tamanho de “stocks” (pequenos corpos intrusivos), originando os maciços graníticos (IBGE, 2003). Quanto à pedologia, as treze unidades presentes pertencem a três classes distintas, sendo uma classificada como Cambissolo diferenciado em Álico (Ca4, Ca8, Ca17, Ca20, Ca28, Ca29 e Ca30), Podzólico Vermelho Amarelo Álico (PV7, 15, PV17, PV19) e Solos Litólicos (Ra). As classes de solos seguem a nomenclatura antiga do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1998), pois a metodologia de Davison Dias se aplica melhor a essa classificação. Nas siglas, a letra maiúscula representa os tipos de solo, enquanto a letra minúscula representa as características de fertilidade; o número representa as informações referentes à textura e ao relevo.

A superposição dos mapas de litologia e pedologia foi realizada no Quantum GIS (QGIS), um *software* de uso gratuito. Em seguida, nomearam-se as feições geradas conforme a classificação de Davison Dias (2001), apresentada nos quadros 1 e 2.

Quadro 1- Simbologia simplificada das classes pedológicas

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
A	Aluviais	P	Podzóis indiscriminados
AQ	Areias Quartzosa	PB	Podzólico Bruno-Acinzentado
B	Brunizem	PE	Podzólico Vermelho-Escuro
BV	Brunizem Vértico	PL	Planossolo
C	Cambissolo	PLV	Planossolo Vértico
CB	Cambissolo Bruno	PLP	Planossolo Plíntico
GH	Glei	PT	Plintossolo
HO	Solo Orgânico	PV	Podzólico Vermelho-Amarelo
LA	Latossolo Amarelo	R	Litólico
LB	Latossolo Bruno	TR	Terra Roxa Estruturada
LBC	Latossolo Bruno Câmbico	TB	Terra Bruna-Estruturada
LBR	Latossolo Bruno-Roxo	TBR	Terra Bruna-Roxa
LE	Latossolo Vermelho-Escuro	TBV	Terra Bruna Podzólica
LR	Latossolo Roxo	V	Vertissolo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo		

Fonte: Davison Dias (2001, p. 19).

Quadro 2 - Simbologia simplificada das classes litológicas

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
a	Arenito	g	Granito
ag	Argilito	gl	Granulito
na	Andesito	gn	Gnaisse
ar	Ardósia	gd	Granitoide
b	Basalto	ma	Mármore
br	Brecha	p	Pelito
c	Conglomerado	q	Quartzito
ca	Calcáreo	r	Riolito
cm	Complexo metamórfico*	si	Sienito
cr	Carvão	s	Siltito
d	Diorito	sq	Sedimentos quaternários
da	Dacito	st	Sedimentos terciários
f	Folhelho	x	Xisto

Nota: *Complexo formado por várias rochas metamórficas de difícil individualização.
Fonte: Davison Dias (2001, p. 19).

Após essas etapas, realizou-se o processo de generalização espacial, o qual visa a retirada de tortuosidades, ou seja, as reentrâncias de uma unidade em outra (ORVEDAL; EDWARDS, 1942). As pequenas unidades devem ser absorvidas pelas maiores e para orientar esse processo foi utilizado um mapa de declividade. O método de Davison Dias (1995) preconiza que nas unidades geotécnicas situadas em relevo ondulado devem ser separados os locais onde o relevo é fortemente ondulado (20-45°), ondulado (8-20°) e suavemente ondulado (3-8°). As variações do relevo e da geologia servem como indicadores das unidades geotécnicas, auxiliando, assim, na definição dos limites entre elas.

Para gerar a declividade, foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (DEM) com resolução de 12,5 m, disponibilizado pelo *Alaska Satellite Facility*, obtido pelo sensor *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR), a bordo do *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS). Para a área de estudo, foram utilizados os dados constantes na Tabela 1.

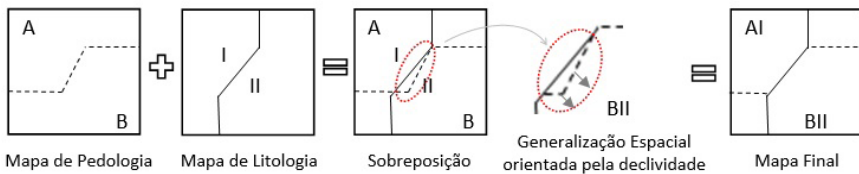
Tabela 1 - Dados utilizados no mapeamento

Mapa/Informação	Escala/Resolução	Fonte
Pedologia	1:100.000	IBGE (2003)
Geologia	1:100.000	IBGE (2003)
DEM	12,5m	ASF (2018)

Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Esses procedimentos compõem os estudos preliminares do mapeamento geotécnico, sem a realização de uma análise aprofundada da área de estudo, tais como sondagens e tradagens do solo. Isso é especialmente importante, considerando-se a realidade brasileira, na qual 50% dos municípios não possuem Plano Diretor e muitos, em especial os de pequeno porte, enfrentam dificuldades técnicas e financeiras para a gestão e o planejamento territorial (TASCA, 2016). A Figura 3 representa todas as etapas realizadas para a estimativa das unidades geotécnicas.

Figura 3 - Representação das etapas envolvidas para gerar um mapa geotécnico preliminar



Fonte: Adaptada de Zuquette e Gandolfi (2004).

Em uma segunda etapa, o mapeamento geotécnico preliminar foi comparado à ocupação atual da terra. Essa etapa teve por objetivo avaliar se a ocupação atual está em conformidade com as potencialidades de cada unidade geotécnica. O mapa de uso da Terra foi elaborado por meio da plataforma *on-line Google Earth Engine (GEE)*, utilizando o sensor OLI, resolução de 30m do satélite *Landsat 8* coletada em 28/04/2017. Foi realizada a composição colorida (bandas 4-3-2) e posteriormente a classificação supervisionada da imagem por meio do algoritmo *Random Forest*. Nesse tipo de classificação, o usuário dispõe de informações que permitem a identificação de uma classe de interesse, ou seja, o usuário identifica uma área representativa de cada classe (amostras de treinamento) e orienta a classificação a ser feita pelo algoritmo.

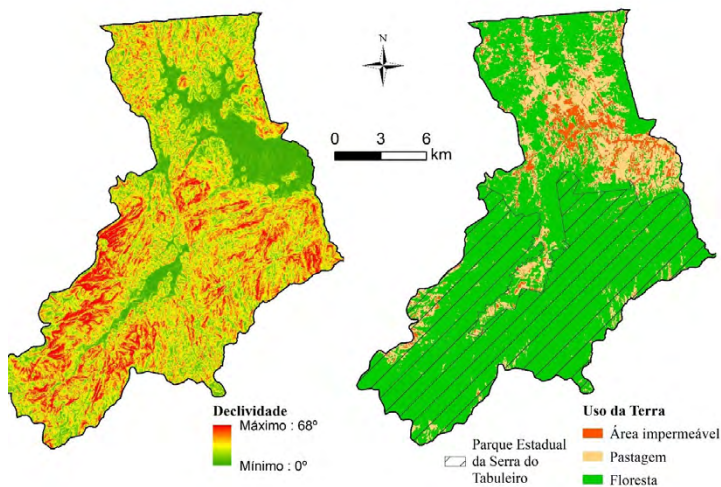
Foram informados 31 pontos para cada classe de uso de interesse (floresta, pastagem e área urbana). Optou-se por coletar essas amostras de

treinamento dentro do limite de Santo Amaro da Imperatriz e nos municípios adjacentes, apesar de a cena abranger uma área consideravelmente maior. Ressalta-se que as imagens disponibilizadas no GEE já estavam ortorretificadas e com os valores de refletância referentes ao Topo da Atmosfera (TOA).

A declividade da área de estudo varia de 0 a 64°, demonstrando a presença de um relevo plano (principalmente na área urbana) a montanhoso. De modo geral, observam-se áreas urbanizadas nos locais em que a declividade é menor e, com o aumento dela, observa-se a maior presença de florestas, com destaque para o Parque Estadual da Serra do Tabuleiro (Figura 4). A área impermeável corresponde a somente 4,4% da área territorial, enquanto pastagem e florestas representam 16,9% e 78,7%, respectivamente.

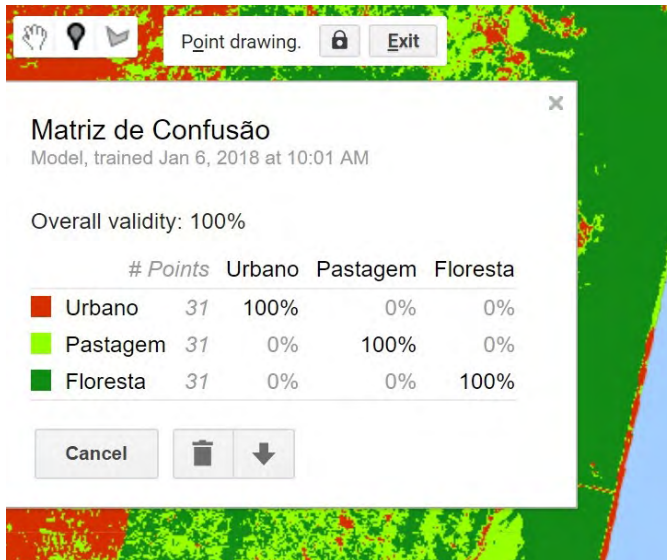
A qualidade da classificação foi analisada por meio de uma matriz de confusão do próprio GEE, possibilitando avaliar o desempenho do algoritmo supervisionado. Essa classificação obteve média de 100% de acurácia (Figura 5), ou seja, não apresentou erros na classificação quando comparadas as amostras de treinamento.

Figura 4 - Declividade e Uso da Terra de Santo Amaro da Imperatriz



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Figura 5 - Matriz de Confusão gerada para a classificação supervisionada



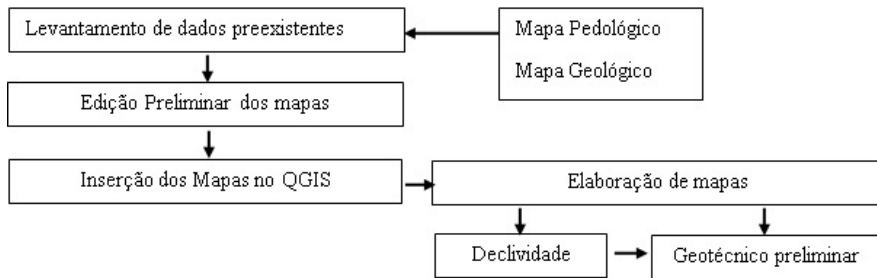
Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

Estimativa de Expansão Urbana

A estimativa da expansão urbana foi realizada por meio da interpretação de imagens de satélite de diferentes épocas: 2000 e 2010. A escolha desse período levou em consideração os anos em que foram realizadas as pesquisas de Censo Populacional, possibilitando comparar a mancha urbana com o crescimento da população. Os mapas de uso da Terra foram elaborados de forma análoga à anterior por meio da plataforma *on-line Google Earth Engine*. Foram utilizadas duas imagens *Landsat 5*, datadas de 31 de maio de 2000 e 27 de maio de 2010. Em ambas as imagens, foi realizada uma composição colorida com as bandas 3-2-1 e mapeadas as seguintes classes: área urbana (impermeável), pastagem, floresta e corpos d'água, utilizando, por sua vez, o classificador *Random Forest*. A análise das áreas incrementais impermeáveis para o último ano foi realizada por meio do geoprocessamento das imagens de 2010 e 2000, mediante a diferença dessas áreas entre os dois mapas.

A análise de expansão urbana foi realizada somente para a área urbana do município, haja vista que boa parte do território (63%) constitui área de preservação integral, não sendo permitida a urbanização. A delimitação urbana utilizada foi aquela que o IBGE utiliza nas pesquisas de Censo Populacional. Por fim, a metodologia da pesquisa é apresentada na Figura 6.

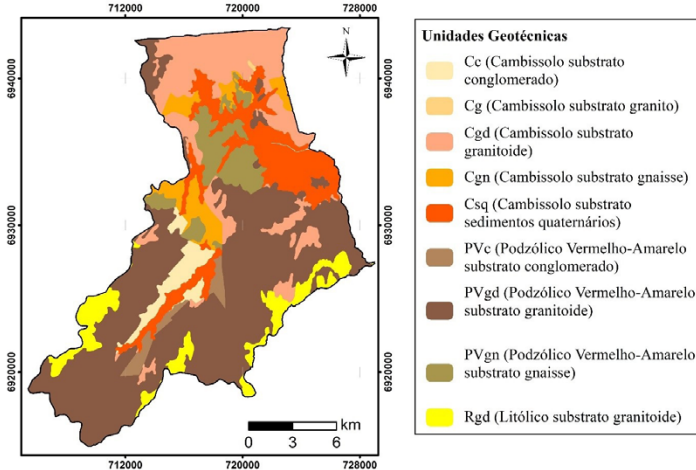
Figura 6 - Metodologia para a elaboração do mapeamento geotécnico preliminar



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

O mapa geotécnico preliminar é apresentado na Figura 7. Inicialmente, o cruzamento dos mapas litológico e pedológico resultou em 105 polígonos, cujas nomenclaturas foram embasadas pelo método citado. O processo de generalização espacial reduziu 29 polígonos, os quais foram absorvidos pelos polígonos maiores, resultando em 76 polígonos referentes a nove unidades geotécnicas. Contudo, a simples sobreposição dos mapas pode gerar inconsistências, como a criação da unidade Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato Sedimentos Quaternários (PVsq). A unidade pedológica, caracterizada como residual e de granulometria mais grosseira, tem sua pedogênese associada às formações graníticas (CARAMEZ, 2011) e nenhum Podzólico se apresenta sobre esse substrato (MAFRA JUNIOR, 2007). Essa unidade foi corrigida juntamente com os demais polígonos menores por meio do processo de generalização espacial, bem como pelo uso da declividade.

Figura 7 - Mapa Geotécnico Preliminar de Santo Amaro da Imperatriz



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

A Tabela 2 apresenta as unidades geotécnicas geradas para a área de estudo e a representatividade dessas unidades dentro da área do município. A unidade PVgd (Podzólico Vermelho-Amarelo substrato granitoide) representa quase a metade (47,2%) do território de Santo Amaro da Imperatriz, ocupando a região que abriga o Parque do Tabuleiro. Dada a representatividade das florestas e das áreas de preservação em todo o território, esse é o uso predominante em todas as unidades geotécnicas.

Tabela 2 - Resultado do mapeamento geotécnico preliminar

Unidade Geotécnica	% da Área	Origem do Solo	Relevo predominante	Uso da terra predominante
Cambissolo substrato conglomerado (Cc)	3,4	Residual	Forte ondulado	Florestas (93,8%)
Cambissolo substrato granito (Cg)	0,1	Residual	Ondulado	Florestas (99,2%)
Cambissolo substrato granitoide (Cgd)	16,2	Residual	Montanhoso	Florestas (80,4%)
Cambissolo substrato gnaisse (Cgn)	4,5	Residual	Forte ondulado	Florestas (81,4%)
Cambissolo substrato sedimentos quaternários (Csq)	13,2	Sedimentar	Plano - Ondulado	Florestas (83,3%)
Podzólico Vermelho-Amarelo Álico substrato conglomerado (PVc)	1,9	Residual	Ondulado	Florestas (95,8%)
Podzólico Vermelho-Amarelo Álico substrato granitoide (PVgd)	47,2	Residual	Montanhoso	Florestas (75,7%)
Podzólico Vermelho-Amarelo Álico substrato gnaisse (PVgn)	6,6	Residual	Ondulado - Forte Ondulado	Florestas (89,6%)
Lítico substrato granitoide (Rgd)	6,9	Residual	Ondulado - escarpado	Florestas (69,0%)

Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

A descrição das unidades geotécnicas foi realizada de acordo com os trabalhos apresentados por Duarte (1999), Mafra Junior (2007), Guesser (2013) e Sbroglia (2015).

Cambissolo substrato conglomerado (Cc)

São solos caracterizados por apresentarem granulometria bem distribuída e alta plasticidade, compostos por seixos de areia grossa agrupados por um agente cimentante químico. Cc são encontrados, em sua maioria, em terrenos onde o relevo varia de ondulado a fortemente ondulado, sendo originados por depósitos fluviais de águas muito agitadas.

Cambissolo substrato granito (Cg)

A presença dominante dos granitos nessa unidade acarreta perfis de solos normalmente menos espessos e com melhor comportamento ante a

muitas propriedades geotécnicas. São solos caracterizados por apresentarem variação de horizontes A-B-C modesta, mas visível a olho nu. Os horizontes A e B apresentam espessuras inferiores a 50 cm, sendo o horizonte B pouco desenvolvido (câmbico). O horizonte C apresenta estrutura de granito, no entanto seu comportamento hidráulico e mecânico é de solo e não de rocha. Devido a camada de solo mais espessa ser a do horizonte C, o comportamento geotécnico da unidade Cg é herdado predominantemente pela rocha de origem, isto é, rochas com elevada quantidade de quartzo, pouco intemperizadas e em matriz areno-siltosa, o que promove a ocorrência frequente de movimentos de massas.

Cambissolo substrato granitoide (Cgd)

São solos caracterizados por apresentarem uma sequência composta pelos horizontes A, B incipiente e C, sendo o horizonte B constituído por rochas pouco intemperizadas. Os Cgd representam a transição entre os solos Litólicos e Podzólicos, sendo encontrados próximo a topos de morros e relevo acidentado, o que impede a formação de camadas espessas.

Cambissolo substrato gnaisse (Cgn)

São solos considerados espessos devido à presença de um substrato muito fraturado. Constituído por solo residual, o perfil apresenta horizonte C profundo, horizonte B incipiente e horizonte A com no máximo 30 cm, sem lençol freático próximo à superfície. Os Cgn apresentam saturação de bases variável com argila de baixa atividade e textura variando entre argilosa e muito argilosa. Geralmente, são encontrados em áreas de relevo fortemente ondulado, característica que, associada à constituição da rocha, muito erodível e facilmente intemperizável, favorece a movimentação de massa.

Cambissolo substrato sedimentos quaternários (Csq)

São solos com características geotécnicas variáveis e dependentes da constituição mineralógica e textural do material de origem. Os Csq são

formados a partir de solos coluvionares, podendo apresentar mudanças abruptas de resistência e instabilidade devido à presença e matações. Para os solos desse grupo em análise, situados em zonas de baixa declividade, em muitos casos, em pés de morros, a possibilidade mais sensata é de eles terem sido fruto de escorregamentos antigos de solos residuais sobre solos sedimentares. Grande parte da mancha urbana situa-se sobre solos dessa unidade, já que ocupa predominantemente zonas baixas.

Podzólico Vermelho-Amarelo Álico substrato conglomerado (PVC)

São solos com horizonte A moderado, textura média/argilosa e relevo ondulado. Apresentam horizonte B textural, e a espessura total dos horizontes A e B pode ser considerada pequena. Em específico para a localidade em estudo, o horizonte C se apresenta bastante desenvolvido, atingindo espessuras superiores a 20m, seguido de horizonte RA.

No que tange ao uso e à ocupação dos solos, algumas encostas constituídas por essa unidade podem ser consideradas instáveis e de erodibilidade de alta a moderada, uma vez que os parâmetros de resistência, tanto a coesão quanto o ângulo de atrito, apresentam valores baixos quando comparados aos demais solos residuais da localidade.

Caso essa unidade seja ocupada, os taludes de corte devem ser avaliados pontualmente (caso a caso) de forma global e local e deve ser analisada a melhor intervenção a ser implantada (estrutura de contenção) caso seja necessário o corte dos taludes. Além disso, com a ocupação, deve-se prever a redução dos processos erosivos por intermédio de técnicas de proteção superficial dos solos ou a simples conservação da cobertura vegetal (horizonte A).

Podzólico Vermelho-Amarelo Álico substrato granitoide (PVgd)

São solos com grande variação de características, formados em sua maioria pelos horizontes A, B, BC, C, RA (rocha alterada) e R (rocha). Os horizontes A e B são pouco espessos, apresentando um gradiente textural, sendo o horizonte A rico em matéria orgânica, que lhe confere coloração escura, e o horizonte B argiloso, com coloração variando de vermelho a amarelo. O horizonte BC é mais claro e apresenta menor plasticidade e coesão do que o horizonte B. Já o horizonte C apresenta composição mineral e textura do granito, guardando a estrutura da rocha mãe e conferindo maior resistência ao solo. Devido ao comportamento geotécnico variável, os PVgd são considerados muito erodíveis e de fácil escavação, sendo geralmente encontrados a meia encosta.

Podzólico Vermelho-Amarelo Álico substrato gnaisse (PVgn)

São solos espessos que apresentam substrato rochoso muito fraturado. Contudo, o horizonte B é pouco desenvolvido, sendo sobreposto por um horizonte A com aproximadamente 30 cm de espessura. O gnaisse consiste em uma rocha muito erodível e de fácil intemperização, havendo formação de espessos mantos de alteração, os quais estão associados às elevadas declividades das encostas, uma vez que essa unidade geotécnica apresenta relevo forte ondulado a escarpado, tornando-a suscetível a movimentos de massa.

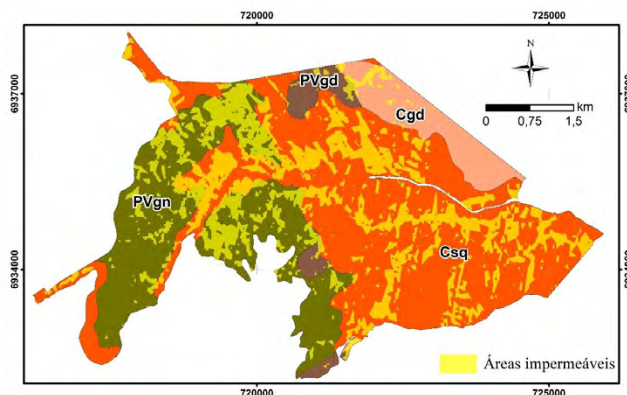
Litólico substrato granitoide (Rgd)

São solos jovens, pouco evoluídos e caracterizados por não apresentarem horizonte B. Os solos Rgd são formados pelos horizontes A, C e R, sendo algumas vezes encontrado apenas o horizonte A diretamente sobre a rocha, atingindo no máximo 50 cm de espessura. São encontrados em topos de morros e encostas, desenvolvendo-se em relevo ondulado até escarpado.

Ocorrem, em geral, associados a afloramentos rochosos, indicando possíveis locais de exploração de pedreiras. Os materiais rochosos explorados desses solos são comumente empregados na construção civil.

Para a área urbana, foi estimada a presença de quatro unidades geotécnicas (Figura 8), Csq, PVgn, Cgd e PVgd, ocupando 59,5%, 29,3%, 7,4% e 3,8% do território urbano, respectivamente. Observou-se que a maior parte das áreas impermeáveis está situada na unidade Csq, áreas de relevo plano (declividades entre 0 e 3%) e estáveis. Contudo, observam-se vazios urbanos nas demais unidades geotécnicas, os quais constituem áreas disponíveis à expansão urbana. Assim, deve-se atentar para as restrições associadas à estabilidade de encostas. Os solos pertencentes às unidades de solos residuais, tais como os PVgn, Cgd e PVgd, podem romper em episódios de chuvas intensas, sobretudo se o uso e a ocupação forem feitos de maneira inadequada. Cortes muito íngremes, fossas com sumidouro próximas das faces dos taludes, telhados sem calhas, dentre outros fatores, podem fragilizar esses tipos de unidades de solos, fazendo com que fiquem suscetíveis aos movimentos de massa. Além disso, nessas unidades também podem ocorrer erosões, e os sedimentos carreados superficialmente podem alterar gradativamente a geometria dos taludes, provocando rupturas locais, típicas dessas unidades.

Figura 8 - Geotecnia da área urbana x impermeabilização

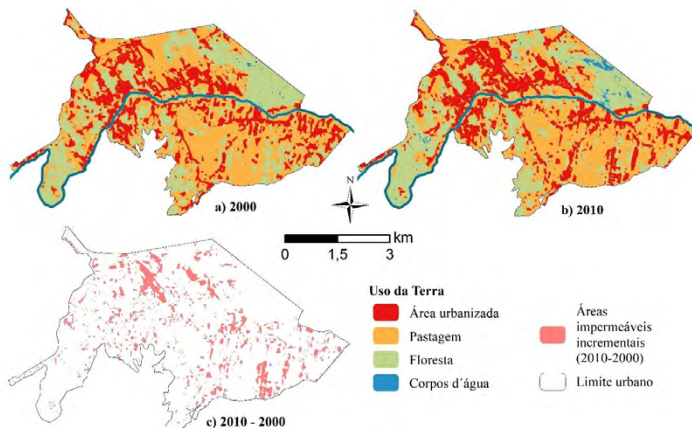


Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

A figura 9 apresenta o uso da terra nos anos 2000 e 2010, bem como a expansão da área urbanizada nesse período. O resultado da interpretação das imagens de satélite mostra que, em 2000, aproximadamente 6,28 km² da área urbana encontrava-se impermeabilizada, ao passo que, no ano de 2010, esse valor subiu para aproximadamente 6,61km², o que equivale a um aumento de apenas 5% (0,33km²). Esse pequeno aumento pode ser justificado pelo fato de, no mesmo período, a população urbana do município de Santo Amaro da Imperatriz ter crescido 19%, conforme dados dos dois últimos censos realizados pelo IBGE (2000 e 2010).

De modo geral, observaram-se pequenos aumentos de área impermeável, sendo que os pequenos polígonos podem se referir ao solo exposto fortemente compactado. Na parte superior da área urbana (Figura 9c), destacam-se loteamentos que foram construídos no período de 2000-2010, os quais estão situados em áreas de relevo plano e estáveis (Csq). Contudo, a análise das figuras 8 e 9c permitem observar um aumento da impermeabilização na unidade geotécnica PVgn, na qual se deve ter precaução em virtude da suscetibilidade à erosão, sobretudo em locais com declividades mais elevadas e onde há a presença de solos granulares, isto é, menos coesivos e menos argilosos.

Figura 9 - Análise do uso da terra em diferentes anos: a) Ano 2000, b) Ano 2010, c) Área impermeável incremental no período 2000-2010



Fonte: Elaborada pelos autores (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, foi realizado o mapeamento geotécnico preliminar do município de Santo Amaro da Imperatriz. Foram estimadas nove unidades geotécnicas, sendo que as maiores são Podzólico Vermelho-Amarelo Álico de substrato granitoide (PVgd), Cambissolo de substrato granitoide (Cgd) e Cambissolo de substrato sedimentos quaternários (Csq), representando juntas 77% do território municipal. O uso da terra predominante em todas as unidades é o florestal, haja vista que 63% da área da cidade constituem área de preservação. A ocupação urbana ocorre nas áreas planas, principalmente na unidade Csq, constituindo locais aptos à urbanização. Contudo, foram observados vazios urbanos nas demais unidades geotécnicas, os quais constituem áreas disponíveis à expansão urbana e que podem apresentar suscetibilidade aos movimentos de massa.

O mapeamento geotécnico do município de Santo Amaro da Imperatriz muito embora tenha sido apresentado de maneira preliminar, demonstrou ser uma excelente ferramenta para a análise geotécnica de grandes áreas a partir dos grupos geotécnicos concebidos. Mesmo sem a existência de um Plano Diretor, é possível observar que esse método pode auxiliar na identificação preliminar das potencialidades de uso e ocupação de todo território. Dessa forma, os gestores municipais podem direcionar a expansão urbana para áreas adequadas e seguras do ponto de vista geotécnico, de forma a minimizar os efeitos negativos da ação antrópica sobre o meio físico natural.

REFERÊNCIAS

ALASKA SATELLITE FACILITY - ASF. **Modelo Digital de Elevação**. Sem data de publicação. Disponível em: <https://www.asf.alaska.edu/>. Acesso em: 06 jan. 2018.

BRASIL. Lei no 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 11 de julho de 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm. Acesso em: 03 jan. 2018.

BROERING, Neide Lara; PINHEIRO, Daniel Moraes. Dinâmica de atuação em rede entre associações de moradores do município de Santo Amaro da Imperatriz. *In*: CONFERENCIA REGIONAL DE LA SOCIEDAD INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN PARA EL TERCER SECTOR (ISTR) PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, 10., 2015, San Juan y Ponce. **Anais...** San Juan y Ponce, Puerto Rico: ISTR, 2015.

BUENO, Liane da Silva. **Estudo em áreas de ocupação urbana com fatores de risco: o caso do Bairro Córrego Grande, Florianópolis, SC.** 2000. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

BURKERT BASTOS, Cezar Augusto; DIAS, Regina Davison.; VALENTE, Antônio Luís Schifino. **Mapa Geotécnico de Solos: Atlas Ambiental de Porto Alegre.** Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1998, p. 45-46.

CARAMEZ, Manolo Lima; HIGASHI, Rafael Augusto dos Reis. Utilização de técnicas de geoprocessamento através de um SIG para a estimativa de características mecânicas dos solos do município de Florianópolis. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Inpe, 2011, p. 1-8.

CRUZ, Marcus; TUCCI, Carlos. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 13, n. 3, p. 59-71, 2008.

DAVISON DIAS, Regina. Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica Básica em Regiões Tropicais e Subtropicais. **Revista do Instituto Geológico**, volume especial, p. 51-55, 1995.

DAVISON DIAS, Regina. Proposta de uma metodologia de estudos geotécnicos para implantação de rodovias, estradas rurais e vicinais em solos brasileiros. *In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO*, 33. 2001, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SC: ABPv, 2001, v. 1, p. 13-25.

DUARTE, Sandra Buzini. **Utilização de Sistema de Informações Geográficas na análise do meio físico e do uso do solo na Lagoa da Conceição, Florianópolis.** 1999. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa, 1998. 396 p.

FORTKAMP, Cristiane; PASSIG, Leonice. Percepções sobre a utilização dos rios e a formulação do plano gestor do município de Santo Amaro da Imperatriz/SC: Entraves sociojurídicos e ambientais na organização do espaço. *In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA*, 14., 2013, Lima. **Anais...** Lima, Peru: CGP/UGI, 2013.

GUESSER, Luiz Henrique. **Elaboração do mapa geotécnico preliminar e mapa de áreas suscetíveis a movimentos de massa do município de Antônio Carlos-SC.** 2013. 142 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

HIGASHI, Rafael Reis. **Utilização de um SIG no desenvolvimento de um banco de dados geotécnicos do norte do estado do Rio Grande do Sul.** 2002. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

HIGASHI, Rafael Reis. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no Comportamento Geotécnico e Ambiental.** 2006. 485 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Divisão de Geociências do Sul. **Projeto Gerenciamento Costeiro (GERCO): 3ª fase.** Rio de Janeiro: IBGE, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Sinopse Censo Demográfico 2010.** Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 261 p.

MAFRA JÚNIOR, Celso da Silva. **Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnico em ambiente de SIG.** 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MENDES, Rodolfo. **Mapeamento geotécnico da área central urbana de São José do Rio Preto (SP) na escala 1:10.000 como subsídio ao planejamento urbano.** 2001. 283 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

OLIVEIRA, Ivone Adelina de. **Gestão de conflitos em parques:** estudo de caso do entorno nordeste do parque estadual da serra do tabuleiro, Praia da Pinheira, SC. 2005. 271 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ORVEDAL, Arnold Clifford; EDWARDS, Max. General Principles of Technical Grouping of Soils 1. **Soil Science Society of America Journal**, [S.l.], v. 6, n. C, p. 386-391, 1942.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTO AMARO DA IMPERATRIZ. Lei nº 890, de 06 de dezembro de 1991, do Município de Santo Amaro da Imperatriz. Redefine objetivos e diretrizes de atuação para o desenvolvimento municipal ditadas pelo plano físico-territorial do município. **Diário Oficial.** Santo Amaro da Imperatriz, 06 de dezembro de 1991. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/s/santo-amaro-da-imperatriz/lei-ordinaria/1991/89/890/lei-ordinaria-n-890-1991-redifine-objetivos-e-diretrizes-de-atuacao-para-o-desenvolvimento-municipal-ditadas-pelo-plano-fisico-territorial-do-municipio>. Acesso em: 03 jan. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTO AMARO DA IMPERATRIZ. Lei nº 891, de 06 de dezembro de 1991, do Município de Santo Amaro da Imperatriz. Dispõe sobre obras e edificações no município de Santo Amaro da Imperatriz. **Diário Oficial**. Santo Amaro da Imperatriz, 06 de dezembro de 1991. Disponível em: [RODRIGUES, Valéria; OSWALDO FILHO, Augusto. Mapeamento Geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental: município de Jaú \(SP\). **Revista Brasileira de Geociências**, \[S.l.\], v. 39, n. 1, p. 1-15, mar. 2009.](https://leismunicipais.com.br/a/sc/s/santo-amaro-da-imperatriz/lei-ordinaria/1991/89/891/lei-ordinaria-n-891-1991-dispoe-sobre-obras-e-edificacoes-no-municipio-de-santo-amaro-da-imperatriz#:~:text=DISP%C3%95E%20SOBRE%20OBRAS%20E%20EDIFICA%C3%87%C3%95ES%20NO%20MUNIC%C3%8DPIO%20DE%20SANTO%20AMARO%20DA%20IMPERATRIZ.&text=Cap%C3%ADtulo%20%C3%9Anico-,Art.,geral%2C%20para%20o%20seu%20territ%C3%B3rio. Acesso em: 03 jan. 2018.</p></div><div data-bbox=)

ROLNIK, Raquel; PINHEIRO, Otilie. **Plano diretor participativo**. Guia para a elaboração pelos municípios e cidadãos. Brasília: CONFEA/Ministério das Cidades, 2004. 158 p.

SALGUEIRO, Marluce; NUNES, Marcia; RODRIGUES, Hermânio; PEREIRA, Sheila. Plano Diretor e suas Vantagens de Implantação nos Municípios com Menos de 20.000 Habitantes. *In*: CONGRESSO VIRTUAL BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO, 9., 2012 [on-line]. **Anais...** [S.l.]: Convibra, 2012. Disponível em: http://www.convibra.com.br/upload/paper/2012/38/2012_38_5254.pdf. Acesso em: 03 jan. 2018.

SBROGLIA, Regiane Mara. **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC**. 2015. 187 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SBROGLIA, Regiane Mara; HIGASHI, Rafael Augusto dos Reis. Mapeamento geotécnico preliminar de áreas suscetíveis a movimentos de massa na

microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Inpe, 2013, p. 9300-9307.

TASCA, Fabiane Andressa. **Simulação de uma taxa de drenagem urbana para municípios de pequeno porte**. 2016. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

XAVIER, Sinval Cantarelli. **O mapeamento geotécnico por meio de geoprocessamento como instrumento de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em cidades costeiras: estudo de caso para Pelotas (RS)**. 2010. 261 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010.

ZUQUETTE, Lázaro Valentim; GANDOLFI, Nilson. **Cartografia geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 190 p.