



METODOLOGIA PARA EMPREGO DO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO COMO INSTRUMENTO DE AUXÍLIO AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM CIDADES COSTEIRAS

Sinval C. Xavier (1); Cezar Burkert Bastos (2)

(1) Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande.
Av. Itália km 8, Carreiros, Rio Grande/RN, CEP 96201-900. Fone (53) 3233-6759.
e-mail: sinval.xavier@pelotas.com.br

(2) Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande.
Av. Itália km 8, Carreiros, Rio Grande/RN, CEP 96201-900. Fone (53) 3233-6759.
e-mail: sinval.xavier@pelotas.com.br

RESUMO

As cidades costeiras brasileiras cresceram de forma rápida e não planejada nos últimos 70 anos, causando o desequilíbrio dos sistemas ambientais, impondo riscos às populações, e um pesado ônus ao poder público. Neste contexto, o planejamento urbano subsidiado em um diagnóstico que identifique e defina o melhor uso possível dos recursos do meio planejado desempenha um papel fundamental no estabelecimento e implementação das políticas urbanas. Entre os instrumentos técnicos aplicáveis ao planejamento territorial urbano, o mapeamento geotécnico é de grande importância na aquisição e representação de aspectos do meio físico, possibilitando a interpretação e avaliação de suas potencialidades e fragilidades.

O presente artigo apresenta uma metodologia para emprego do mapeamento geotécnico como instrumento de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação do solo em cidades costeiras. A referida metodologia emprega técnicas e recursos de geoprocessamento para modelagem, integração, visualização e análise dos dados referentes ao meio físico. O mapeamento geotécnico apresentado é direcionado à análise do uso e ocupação do solo decorrente do crescimento urbano.

O estudo foi conduzido na zona urbana da cidade de Pelotas (RS). Como resultado da análise da sua evolução morfológica em contraposição as condições atuais de ocupação do território e aos condicionantes físicos e legais do crescimento, foram mapeadas e caracterizadas em suas propriedades geológicas/geomorfológicas, pedológicas e geotécnicas, 26 áreas passíveis de ocupação futura. A delimitação dessas áreas se mostrou eficaz como etapa prévia ao mapeamento geotécnico, otimizando esforços e evitando análises desnecessárias sobre áreas com baixo potencial de ocupação.

Os mapas, análises e caracterizações físicas e geotécnicas produzidas com a aplicação da metodologia constituem uma ferramenta de grande utilidade para os processos de planejamento e uso do solo urbano no município de Pelotas, podendo ser utilizados tanto na gestão urbana quanto para estudos geotécnicos prévios a implantação de obras civis e infra-estrutura.

Palavras-chave: mapeamento geotécnico; crescimento urbano; geoprocessamento

1 INTRODUÇÃO

O presente artigo apresenta e demonstra a aplicação de uma metodologia para emprego do mapeamento geotécnico como instrumento de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação do solo em cidades costeiras. A referida metodologia, que emprega técnicas e recursos de geoprocessamento para modelagem, integração, visualização e análise dos dados referentes ao meio físico, faz parte de um estudo mais amplo, publicado por Xavier (2010).

O estudo foi conduzido na zona urbana da cidade de Pelotas (RS), onde, como resultado da análise da sua evolução em contraposição as condições atuais de ocupação do território e aos condicionantes físicos e legais do crescimento, foram mapeadas 26 áreas passíveis de ocupação de pequeno a médio prazo, denominadas de “vazios urbanos” (Xavier, 2010). Para exemplificação do desenvolvimento e aplicação da metodologia foram escolhidos dois desses vazios, de onde são descritas as unidades geológicas/geomorfológicas, pedológicas e geotécnicas a eles relacionadas, assim como as principais características físico-ambientais, legais e geotécnicas dessas áreas. A partir destes elementos, é apresentada uma análise do uso e ocupação de ambos os vazios.

2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

Pelotas, o terceiro município mais populoso do estado do Rio Grande do Sul, situa-se na zona sul do estado, sendo a cidade mais populosa desta região. Com 343.167 habitantes possui, conforme o IBGE (2008), uma densidade demográfica urbana de 10.576,13 hab/km² e rural de 13,46 hab/km².

Segundo Rosa (1985), sob vários aspectos Pelotas pode ser considerado um município litorâneo. Primeiro por estar, em parte, inserido na Planície Costeira, em segundo lugar por sofrer as influências dos ventos marinhos em seu clima, e por último por fazer parte de “um verdadeiro litoral interno lacustre” do Rio Grande do Sul, formado pela Laguna dos Patos, cujas águas banham o município numa extensão de 40 km. Logo, o Oceano Atlântico e a Laguna dos Patos têm importante influência nos aspectos físicos e humanos do município. Pelotas está expressamente arrolada no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II como um dos municípios estuarinos-lagunares abrangidos pela faixa terrestre da zona costeira

Apesar de estar em seu 3º Plano Diretor, o município não possui nenhum tipo de mapeamento que forneça informações geotécnicas que possam ser utilizadas como ferramenta de auxílio ao planejamento e controle do uso e ocupação do solo. Desta forma, as normas e diretrizes de uso e ocupação do solo que compõem a lei do Plano Diretor foram elaboradas com base em critérios que não levaram em conta as características geotécnicas dos solos. Notadamente, este cenário se repete em inúmeros outros municípios brasileiros, que por força da Lei 10.257/2001 – Estatuto da Cidade – estavam obrigados a aprovar seus Planos Diretores até o dia 10 de outubro de 2006.

3 METODOLOGIA APLICADA

A metodologia subdivide-se em oito etapas. Na Etapa 1 foi efetuado um inventário dos dados primários (originais) disponíveis, a serem utilizados no desenvolvimento do trabalho. Nas Etapas 2 e 3 foram estruturados, respectivamente: o Sistema de Informações Geográficas (SIG), através do seu modelo conceitual de dados, e o Banco de Dados de Sondagens SPT. A Etapa 4 envolve o estudo do crescimento urbano de Pelotas, a determinação dos vetores de crescimento, e a delimitação das áreas de expansão urbana, considerando diversos fatores que determinam a disponibilidade e potencialidade de ocupação dessas áreas. Na Etapa 5 foram gerados dados derivados, tais como o Modelo Digital de

Terreno, Mapa de Relevo, e Mapa de Zonas Sujeitas Alagamentos, através do processamento, em ambientes SIG e CAD (*Computer Aided Design*), dos dados primários.

A Etapa 6 envolve a edição e formatação dos dados referentes à pedologia e a geologia/geomorfologia da área de estudo, com vistas à etapa subsequente. Na Etapa 7, foi gerado o Mapa de Estimativas de Unidades Geotécnicas, através da aplicação da Metodologia LAMGEO-UFRGS/UFSC.

Todas essas etapas tiveram como objetivo a preparação dos dados e a estruturação dos meios (sistemas e recursos) a serem utilizados na etapa final do trabalho (Etapa 8), na qual foi feita a descrição geotécnica das unidades estimadas, e caracterizadas as áreas de expansão urbana delimitadas na quarta etapa. As etapas de 1 a 5 não são descritas no presente artigo, e as etapas 7 e 8, como supracitado, são apresentadas tendo como exemplo os vazios urbanos de números 18 e 24.

3.1 Edição e Formatação de Dados

Na aplicação da Metodologia LAMGEO-UFRGS/UFSC, os mapas pedológico e geológico/geomorfológico empregados na estimativa de unidades geotécnicas em ambiente SIG, devem apresentar características coincidentes, entre outras: formato, escala, sistema projetivo e limites das classes definidas por uma mesma característica fisiográfica.

Os mapas também devem ser analisados quanto ao seu conteúdo e seu fim. Em determinados casos, visando criação de mapas geotécnicos, pode ser aconselhável, ou até mesmo necessário, algumas operações preliminares. Desta forma, os mapas pedológico e geológico/geomorfológico passaram pelas seguintes principais etapas de edição e formatação: (i) retificação e refinamento de limites; (ii) redefinição de limites; e (ii) generalização taxonômica.

O estudo e o mapeamento da pedologia tiveram por base o trabalho realizado por Cunha e Silveira (1996). Já a geologia e geomorfologia foram analisadas e mapeadas a partir do trabalho de Marth *et al.* (2008), intitulado Mapa Geológico-Geomorfológico do município de Pelotas e do trabalho de Tagliani (2002), este ultimo baseado no mapa original do CECO-UFRGS (CALDASSO *et al.*, 2000; RODRIGUES *et al.*, 2000 *apud* TAGLIANI, 2002).

3.1.1 Retificação e refinamento de limites

As feições geológicas, assim como os solos, têm estreita relação com o relevo. Através de um Modelo Numérico de Terreno (MNT) e de mapas derivados (tal como o mapa altimétrico), é possível refinar em muito os dados cartográficos da geologia e dos solos. Além disto, a associação com imagens de satélite e/ou fotografias aéreas possibilitam comparar e analisar os dados altimétricos, ressaltando os aspectos texturais e ambientais.

Para auxiliar a interpretação dos dados referentes ao relevo (analisados através do MNT e mapas derivados), permitindo um melhor ajuste e refinamento dos limites entre as classes, foi utilizada composição RGB (*Red, Green, Blue*) de imagem do satélite QuickBird e imagens aerofotogramétricas. O ajuste e refinamento cartográfico dos limites das classes geológicas/geomorfológicas e pedológicas foi realizado no *software* AutoCad Raster Design e posteriormente importado no ArcGis.

3.1.2 Generalizações Taxonômicas

A interpretação dos dados pedológicos, tomando como referência a geologia e a geomorfologia, permitiu que fossem realizadas generalizações no mapa pedológico, através do agrupamento de unidades cuja diferenciação taxonômica não apresenta relevante significado geotécnico. Tem-se como exemplo, a formação da seguinte associação de solos: HGe1 (Glei Húmico com Solo Orgânico e Solo Aluvial) + HGe2 (Glei Húmico).

3.1.3 Redefinição de Limites

Após a retificação e refinamento dos limites das classes, e das generalizações taxonômicas efetuadas, o mapa pedológico e o mapa geológico/geomorfológico foram sobrepostos no SIG. Esta operação revelou incoerências nos limites de algumas classes de ambos os mapas. Como já foi citado, geomorfologia e pedologia mantém estreita relação, assim como as que ambas mantêm com a geologia. Sendo assim, a falta de correspondência entre pedologia, geomorfologia e geologia, em determinados locais, indicou claras incorreções, havendo necessidade de se redefinir ou corrigir limites de algumas classes.

A definição dos novos limites teve por base o referido cruzamento, a análise de imagem de satélite, o mapa altimétrico, levantamentos de campo, e a análise dos mapas geológico/geomorfológicos citados no item 3.1.

3.2 Criação do Mapa de Estimativas de Unidades Geotécnicas

Para o mapeamento geotécnico foi empregada a metodologia desenvolvida por um grupo de pesquisa criado na UFRGS e posteriormente transferido à UFSC, apresentada em Dias (1995). A metodologia tem como produto final um documento cartográfico com a representação espacial de unidades homogêneas sob o ponto de vista geotécnico (unidades geotécnicas). As unidades são estimadas através da análise da superposição de cartas geológicas, pedológicas e topográficas existentes, e identificadas pela simbologia “XYZxyz”, onde as letras maiúsculas correspondem à classificação pedológica do perfil (considerando os horizontes superficiais A e B), e as letras minúsculas representam a geologia, caracterizada pelos horizontes C, RA, e R.

A aplicação da metodologia do LAMGEO/UFRGS-UFSC está sujeita às peculiaridades do meio físico das áreas de estudo. No caso particular da zona urbana de Pelotas, situada na planície costeira do extremo sul do Brasil, tem-se variações topográficas pequenas e geologia exclusivamente sedimentar, onde as condições para o desenvolvimento de solos mais evoluídos são desfavoráveis, e a relação entre o substrato geológico, solos e morfologia dos terrenos, é muito próxima (BASTOS *et al.*, 2005).

O Mapa de Estimativas de Unidades Geotécnicas foi gerado através do cruzamento no ArcGis de cartas geológica e pedológica da área urbana do município, já devidamente ajustadas conforme as etapas anteriores.

3.2.1 Mapa Geológico Urbano de Pelotas

O Mapa Geológico da zona urbana de Pelotas, editado a partir de Marth *et al.* (2008), apresenta oito classes geológicas/geomorfológicas, conforme Tabela 1. A seguir é feita uma descrição das principais características da três unidades geológicas/geomorfológicas mapeadas que estão presentes nos vazios urbanos selecionados (vazios 18 e 24).

Tabela 1 - Classes geológicas/geomorfológicas do mapa editado desde Marth *et. al* (2008).

SIGLA*	GEOCRONOLOGIA	SISTEMA LAGUNA/BARREIRA	FÁCIES SEDIMENTARES	ÁREA (km ²)	%
cv	QUATERNÁRIO / PLEISTOCENO		DEPÓSITOS COLÚVIO-ALUVIAIS	15,22	7,90
eo2	QUATERNÁRIO / PLEISTOCENO	II	DEPÓSITOS EÓLICOS	1,85	0,95
pl2	QUATERNÁRIO / PLEISTOCENO	II	DEPÓSITO DE PLANÍCIE LAGUNAR 2	93,26	48,40
pl3	QUATERNÁRIO / PLEISTOCENO	III	DEPÓSITO DE PLANÍCIE LAGUNAR 3	7,89	4,10
pl4	QUATERNÁRIO / HOLOCENO	IV	DEPÓSITO DE PLANÍCIE LAGUNAR 4	29,47	15,29
pe4	QUATERNÁRIO / HOLOCENO	IV	DEPÓSITOS PRAIAIS EÓLICOS	7,62	3,95
al4	QUATERNÁRIO / HOLOCENO	IV	DEPÓSITOS ALUVIAIS	34,40	17,85
tf4	QUATERNÁRIO / HOLOCENO	IV	TURFAS	2,94	1,53

* siglas utilizadas na identificação das unidades geotécnicas

O Depósito de Planície Lagunar 2 (pl2) ocupa quase 50% do território urbano de Pelotas. Sua formação se deu a partir dos depósitos sedimentares originários, principalmente, do segundo evento transgressivo-regressivo pleistocênico, que corresponde ao primeiro estágio na evolução do Complexo de Barreiras Múltiplas, cujo desenvolvimento e individualização causaram o isolamento da extensa planície hoje ocupada pelo sistema Lagunar Patos-Mirim (TOMAZELLI e VILLWOCK, 2000). Os sedimentos são compostos, principalmente, por areias finas, silticó-argilosas, pobemente selecionadas e de coloração creme, laminação plano-paralela incipiente, com concreções carbonáticas e ferromanganíferas.

O Depósito de Planície Lagunar 3 (pl3) está correlacionado ao Sistema Deposicional Laguna-Barreira III, que se formou a partir do terceiro evento transgressivo-regressivo pleistocênico. As fáceis nele acumuladas possuem as mesmas características dos sedimentos do Depósito de Planície Lagunar 2.

Os Depósitos Aluviais (al4) compõem os aluviões do Canal São Gonçalo, Arroio Pelotas, Arroio Fragata e Arroio Santa Bárbara. De idade holocênica, estes depósitos consistem em áreas planas, com declividades inferiores a 2%, e com sedimentos decorrentes da erosão e deposição fluvial, constituído por areias e material mais grossos, intercalados com lentes sílico-argilosas com vestígios de material orgânico.

3.2.2 Mapa Pedológico Urbano de Pelotas

O mapa pedológico, após as generalizações taxonômicas e as redefinições de limites cartográficos, apresenta nove classes de solos (Tabela 2). Foram desconsiderados atributos relativos ao caráter geoquímico dos solos, como eutrófico, distrófico e solódico, por possuírem significância menor sobre o ponto de vista geotécnico (DIAS e MILITITSKY, 1994).

As classes de solos seguem a nomenclatura definida pelo sistema de classificação pedológica vigente à época do supracitado levantamento (CAMARGO *et al.*, 1987). Nas descrições que seguem são feitas referências às classes mapeadas por Brasil (1973) no conhecido Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul, revitalizado a partir da publicação de Streck *et al* (2008), onde são tecidas correlações ao novo SiBCS (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos), segundo Embrapa (2006). A seguir são descritas a principais características das classes taxonômicas dos solos presentes nos vazios 18 e 24.

Tabela 2 - Unidades de solos da zona urbana do município de Pelotas

SIGLA	SOLO DOMINANTE	OCORRÊNCIAS SUBDOMINANTES	ÁREA (km ²)	%
A	SOLO ALUVIAL	GLEI POUCO HÚMICO	0,56	0,29
AQ	AREIAS QUARTZOSAS		1,82	0,95
HG	GLEI HÚMICO	SOLO ORGÂNICO e SOLO ALUVIAL INDISCRIMINADOS	24,73	12,84
HO	SOLO ORGÂNICO SALINO e GLEI HÚMICO (complexo de solos)	GLEI INDISCRIMINADO	5,53	2,87
HP	PODZOL HIDROMÓRFICO	GLEI HÚMICO INDISCRIMINADO	8,94	4,64
PL	PLANOSOLO	SOLONETZ e GLEI POUCO HÚMICO INDISCRIMINADO	113,92	59,13
PV	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO	GLEI HÚMICO INDISCRIMINADO	5,04	2,61
SK	SOLONCHAK	SOLOS HIDROMÓRFICOS INDISCRIMINADOS	0,57	0,30
HG-PL	GLEI HÚMICO e GLEI POUCO HÚMICO (complexo de solos)	SOLONETZ e SOLONCHAK INDISCRIMINADOS	31,52	16,53
	PLANOSOLO	PODZOL VERMELHO-AMARELO INDISCRIMINADO		

Os Planossolos (PL) são solos hidromórficos, com horizonte B textural, caracterizados pela mudança textural abrupta entre o horizonte A superficial, mais arenoso, e o B subsuperficial, mais argiloso e com feições associadas ao excesso de umidade (cor cinzenta e mosquedados). Devido ao alto grau de argila de atividade alta dispersa, o horizonte B apresenta elevado grau de adensamento, baixa permeabilidade e estrutura com aspecto maciço, determinando em geral má drenagem ao perfil.

São encontrados em 62,5% da zona urbana de Pelotas, em várzeas planas em condições de excesso d'água das regiões administrativas do Centro, Fragata, Areal, Três Vendas e Barragem. Quando formado sobre os Depósitos Colúvio-Aluviais, aparecem associados ao Podzólico Vermelho-Amarelo Planossólico, que é um solo de moderadamente a mal drenado e profundo. E quando sobre Depósitos Aluviais ou Depósitos de Planície Lagunar, se associam ao Solonetz e ao Glei Pouco Húmico indiscriminado, que aparece nas depressões do mesorrelevo.

O SiBCS mantém como Planossolos o nome da classe de solo. A classe Pelotas, mapeada em Brasil (1973), é classificada taxonomicamente como Planossolo Háplico Eutrófico solódico pelo SiBCS.

O Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) constitui solos não hidromórficos, com acentuada diferença de cor e textura entre os horizontes A e B, moderadamente profundos a profundos com cores vermelha a

amarelas no horizonte B. Na zona urbana de Pelotas, são encontrados na Região Administrativa do Laranjal. Associados ao Podzólico Vermelho-Amararelado, são encontrados, nas depressões e pequenas lagoas (olhos d'água), solos Glei Húmico Planossólico indiscriminados.

Pelo SiBCS são correlacionados aos Argissolos Vermelho-Amarelos.

A associação Glei Húmico-Planossolos (HG-PL) é encontrada em 16,36% da zona urbana de Pelotas, ocorrendo em todas as sete Regiões Administrativas, com grande predominância (75,52%) na Planície do São Gonçalo, onde são encontrados o Glei Húmico e o Glei Pouco Húmico Solódicos. Estes últimos são solos mal drenados com excesso de umidade ao longo de todo ano e ocupam porções mais deprimidas do meso-relevo. Segundo Cunha e Silveira (1996), poucos dados de campo têm sido reunidos nessa planície, entretanto, indicações das texturas sugerem que, ao sul predominam silte e argila e no norte texturas grosseiras. Em ambos os casos, os sedimentos de origem são não consolidados e mostram-se estratificados. Os Planossolos são encontrados em zonas de maior cota altimétrica, a leste, junto ao limite urbano e a norte no centro da chamada Planície Alta. Em ambos locais, podem estar associados ao Podzólico Vermelho-Amarelo.

3.2.3 Cruzamento dos Mapas e Estimativa das Unidades Geotécnicas

Seguindo a metodologia do LAMGEO-UFRGS/UFSC, as camadas representativas da geologia e da pedologia foram cruzados no ArcGis através da ferramenta de análise espacial *intersect* disponível no ArcToolbox, tendo sido gerada uma nova camada contendo as unidades geotécnicas estimadas para a zona urbana de Pelotas. A Figura 1 mostra o mapa com a representação das 23 unidades geotécnicas estimadas.

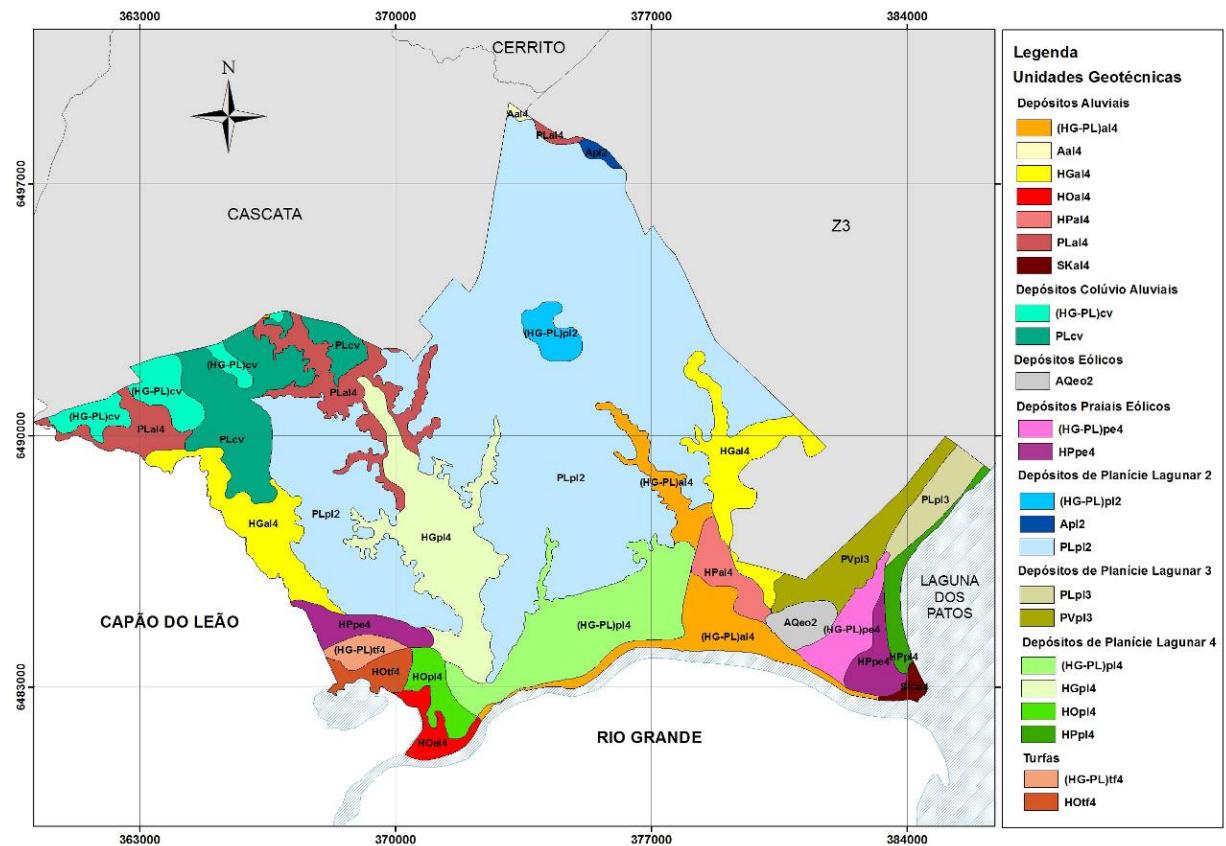


Figura 1 - Mapa de Unidades Geotécnicas Estimadas para a zona urbana de Pelotas

4 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE GEOTÉCNICA DAS ÁREAS DE EXPANSÃO

Conforme a metodologia proposta por Xavier (2010), com o objetivo de otimizar esforços de mapeamento e análises geotécnicas, foi realizado um mapeamento prévio das áreas disponíveis e propícias à expansão urbana. Desta forma, foram identificados e mapeados 26 vazios urbanos. Alguns

desses vazios formam áreas contíguas, mas que foram subdivididas de forma a facilitar suas caracterizações. Sendo assim, a caracterização geotécnica das unidades estimadas foi limitada às áreas dos vazios urbanos.

4.1 Caracterização das Unidades Geotécnicas

Em Xavier (2010) todas as unidades geotécnicas presentes nos vazios identificados na zona urbana de Pelotas foram caracterizadas. Para tanto, foi utilizado como subsídio a análise de perfis de sondagens típicos e de descrições geológicas, geomorfológicas e pedológicas das unidades. Neste artigo são apresentadas as caracterizações das unidades geotécnicas presentes nos vazios urbanos utilizados como exemplos da aplicação da metodologia em questão. Ressalta-se ainda que as propriedades geotécnicas inferidas para as unidades possuem um caráter indicativo, não dispensando a investigação geotécnica local previamente a implantação de obras civis.

Para análise e escolha dos perfis de sondagem típicos de cada unidade, como citado no item 3, foi estruturado um banco de sondagens SPT no *software Microsoft Access*. De um total de 188 boletins de sondagens levantados, foram selecionados 38 boletins para cadastro completo.

4.1.1 Unidade PLpl2

- a) Definição: Planossolos com substrato depósitos de planície lagunar 2
- b) Perfil de Sondagem Típico: no perfil típico da unidade predominam estratos argilosos a argilo-arenosos cinza, marrom e/ou amarelados de consistência média a dura, com valores de N_{SPT} que podem superar 20 golpes. Lentes arenosas incluindo material granular grosseiro são freqüentes. Em maior profundidade, predomina estratos de areia média a grossa compacta e a presença de pedregulhos é comum.
- c) Propriedades Geotécnicas Inferidas: O subsolo da unidade, constituído por alternância de estratos de argila rija a dura e de areia média a grossa compacta, confere razoável capacidade de suporte por fundações superficiais (sapatas corridas de concreto ou por alvenaria de pedras) a obras de 1 ou 2 pavimentos. Edificações de maior porte demandam estacas (pré-moldadas cravadas, escavadas tipo Strauss ou ainda estacas-broca) de comprimento variável, mas geralmente até 15 m.

Os terrenos ocupam cotas relativamente elevadas, ficando livres de inundações, entretanto, a presença dos estratos argilosos restringe a capacidade de drenagem subsuperficial dos terrenos. Tal característica deve ser levada em conta em projetos de drenagem pluvial e de esgotamento sanitário. A capacidade de infiltração de efluentes de esgotos domésticos a partir de sistemas por fossa e sumidouro pode ser comprometida nesses terrenos.

Outro aspecto a considerar, a partir da origem geológica dos solos da unidade, é a dispersividade do solo argiloso, isto é, a facilidade do mesmo em dispersar em água e propiciar processos erosivos superficiais e subsuperficiais. Logo, deve ser evitada a exposição dos terrenos subsuperficiais, sem a devida cobertura por solos do horizonte A e vegetação.

4.1.2 Unidade PVpl3

- a) Definição: Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato Depósitos de Planície Lagunar 3
- b) Perfil Típico: o perfil típico de solo da unidade é formado por argila arenosa marrom claro de consistência mole a rija em subsuperfície (horizonte B), com N_{SPT} crescente de 5 a 15 golpes até cerca de 3 m, passando a argila com areia média marrom a amarelada, de consistência rija a dura, com valores de N_{SPT} igual ou maiores a 15 golpes. Em maior profundidade verifica-se a presença de pedregulhos. A Figura 2 apresenta o perfil de sondagem 133.



Figura 2 - Perfil típico da unidade PVpl3, sondagem 133

c) Propriedades Geotécnicas Inferidas: Os terrenos desta unidade são formados por perfis evoluídos, bem drenados e não inundados. A capacidade de suporte crescente com a profundidade viabiliza fundações superficiais para edificações de 1 a 2 pavimentos e estacas de pequena a média profundidade para obras maiores. Os solos, menos coesivos, são sujeitos a erosão superficial, sendo este aspecto a ser considerado em projetos de drenagem pluvial, assim como deve ser prevista a rápida recomposição vegetal dos terrenos decapeados por terraplenagens.

4.2 Caracterização dos Vazios Urbanos 18 e 24

A caracterização dos 26 vazios urbanos mapeados parte de uma figura que mostra de forma destacada as unidades geotécnicas a que pertencem os solos dos vazios (com seus percentuais), e que indica a localização e numeração dos pontos de sondagem que porventura existam na área do vazio. Ao lado aparece uma imagem de satélite onde se destaca o vazio analisado, e na qual estão indicados os pontos de tomada das fotografias realizadas nos levantamentos de campo. Cabe destacar que referências geográficas locais são utilizadas visando tornar a informação mais acessível ao público alvo do estudo.

4.2.1 Vazio 18

Situado no limite noroeste da Região Administrativa Areal, o Vazio Urbano 18 (Figura 3) possui 305,42 ha de área territorial e é formado por solos das unidades PLpl2 (97,59%) e (HG-PL)al4 (2,42%).

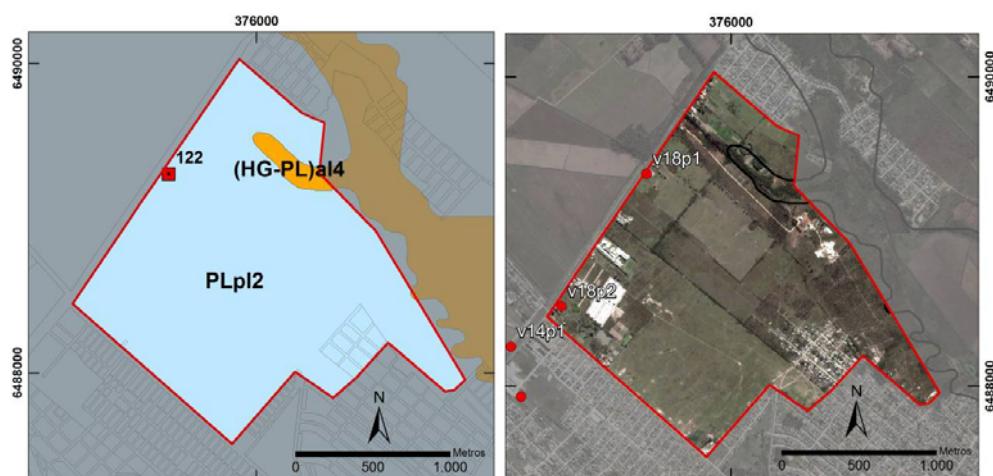


Figura 3 - Vazio Urbano 18: unidades geotécnicas com ponto de sondagem SPT (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita)

O Vazio 18 caracteriza-se por ser uma área de grande extensão contígua a um forte eixo de crescimento urbano: a Avenida Ildefonso Simões Lopes. Por consequência, esse vazio vem sofrendo crescente ocupação periférica a citada avenida, no sentido sudoeste-nordeste, que tende a chegar até o

Loteamento Arco-Iris. A Avenida Ildefonso Simões Lopes possui pavimentação asfáltica até a Avenida Leopoldo Brod, o que garante uma boa acessibilidade a essa área.

Os primeiros 650 m do vazio, junto à Avenida Ildefonso Simões Lopes, foram ocupados por conjuntos habitacionais de casas e apartamentos, loteamentos, e por uma instalação do Serviço Social do Transporte e Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte – SEST SENAT, restando ainda, pelo menos, 1000 m em terrenos livres junto à avenida (Figura 4a). A Figura 4b mostra um perfil da unidade PLpl2, presente em 97,59% do vazio, destacando processos erosivos em solo dispersivo, alertados no item 4.1.1.

Não há nenhuma área de especial interesse estabelecida pelo Plano Diretor para o vazio, seguindo este a regra geral de uso e ocupação do solo e de altura das edificações (7 a 13 m), com exceção dos lotes frontais à Avenida Ildefonso Simões Lopes (até a profundidade de 100 m), onde são permitidas edificações de até 25 m de altura, e por consequência, uma maior densificação dos lotes.

Os solos da unidade PLpl2 apresentam características geotécnicas compatíveis aos usos apontados acima.



Figura 4a - Terrenos do Vazio 18, marginais à Avenida Ildefonso S. Lopes.. Ponto v18p1.



Figura 4b - Perfil da unidade PLpl2, onde se percebe processos erosivos característicos dos solos da unidade, próximo ao ponto v18p1

4.2.2 Vazio 24

Situado na Região Administrativa do Laranjal, o Vazio Urbano 24 (Figura 5) possui 175,35 ha de área territorial, e é formado unicamente por solos da unidade PVpl3.

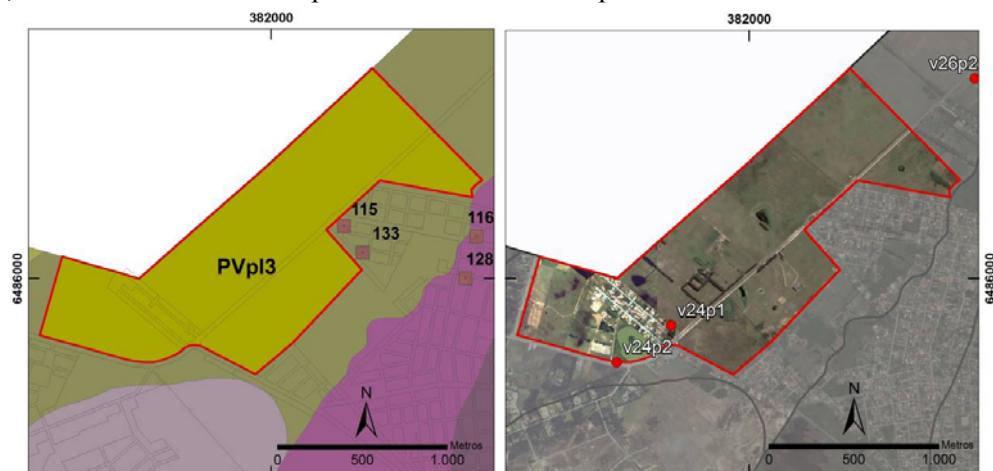


Figura 5 - Vazio Urbano 24: unidades geotécnicas (esquerda) e imagem de satélite com pontos de tomada de fotografias (direita)

O Vazio 24 situa-se junto a um dos eixos de crescimento urbano, a Avenida Adolfo Fetter. Formado por terrenos planos da planície lagunar pleistocênica, o vazio possui cota altimétrica em torno de 13 m (cerca de 11 m acima dos depósitos holocênicos vizinhos). A área apresenta algum micro relevo sobre a forma de cristas e depressões com acúmulo sazonal de água, entretanto, pela característica arenosa, os terrenos são considerados bem drenados.

A acessibilidade do vazio pela Avenida Adolfo Fetter é boa, assim como a infra-estrutura presente (embora não exista rede de esgoto no local). Apesar de distar cerca de 8 km da área central da cidade, o vazio situa-se muito próximo aos balneários Santo Antônio e Valverde e de suas estruturas de comércio e serviços. Compõem o vazio dois loteamentos residenciais de médio padrão, os quais possuem pavimentação interna (por unistein) e edificações com fundações superficiais ou por estacas broca, soluções condizentes com a boa capacidade de suporte do subsolo.

O crescimento urbano na direção do vazio, através da implantação de loteamentos residenciais, tem se intensificado nas duas últimas décadas, constituindo-se em uma área propícia a novos parcelamentos. Excetuando o fato de somente ser possível edificar até 7 m de altura, não existe nenhum outro regramento urbanístico específico para a área do vazio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento urbano desempenha um papel fundamental na ordenação do território municipal, sendo sua tarefa vocacionar as diferentes áreas do território, dando-lhes destinação adequada conforme suas características físicas e ambientais. Para tanto, é necessário o uso de instrumentos que auxiliem na identificação das potencialidades, vocações e fragilidades do meio planejado. Entre as diversas ferramentas para aquisição, representação e interpretação de aspectos do meio físico, o mapeamento geotécnico é sem dúvida uma das mais importantes. O uso de geotecnologias constitui um poderoso recurso para a manipulação de dados espaciais, tendo servido tanto para a elaboração e representação dos mapas, como para inúmeras análises sobre esses, e sobre os dados que lhes deram origem.

A delimitação das áreas sujeitas à ocupação e uso devido ao crescimento da cidade se mostrou eficaz como etapa prévia ao mapeamento geotécnico, otimizando esforços e evitando análises desnecessárias sobre áreas com baixo potencial de ocupação. Os mapas, análises e caracterizações físicas e geotécnicas produzidas com a aplicação da metodologia constituem uma ferramenta de grande utilidade para os processos de planejamento e uso do solo urbano no município de Pelotas, podendo ser utilizados tanto na gestão urbana quanto para estudos geotécnicos prévios a implantação de obras civis.

6 REFERÊNCIAS

BASTOS, C. A. B. et al. Mapeamento de Unidade Geotécnica como Subsídio a Formação de um Banco de Dados Geotécnico Georreferenciado para o Município de Rio Grande/RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 11., 2005, Florianópolis. *Anais do...* Florianópolis: ABGE, 2005.BRASIL.

CAMARGO, M.N.; Klamt,E.; KAUFFMAN,J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. *Boletim Informativo da SBCS*, Campinas, v.12, 1987. p.11-33.

CUNHA, N. G. e SILVEIRA, R. J. C. *Estudo dos solos do município de Pelotas*: EMBRAPA/CPACT. Pelotas: UFPel, 1996. 54p.

DIAS, R.; MILITITSKY J. Metodologia de Classificação de Unidades e Perfis Geotécnicos Desenvolvida na UFRGS. *Revista Solos e Rochas*. Vol 17, n. 2, 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos Rio de Janeiro. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006, 306p.

IBGE. *Estimativas das populações residentes, em 1º de julho de 2008, segundo os municípios*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 02 fev. 2009.

MARTH, J. D., KOESTER, E., ARNDT. A. L. Mapa Geológico-Geomofológico do Município de Pelotas, RS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2008, Pelotas. *Anais do...* Pelotas: UFPel, 2008. p. 1-4.

ROSA, M. *Geografia de Pelotas*. Pelotas: UFPel, 1985. 333p.

STRECK, E. V.; N. KAMPF; R. S. D. DALMOLIN, ET AL. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS, UFRGS, 2008. 222p.

TAGLIANI, C. R. A. **A mineração na porção média da Planície Costeira do RS: Estratégia para gestão sob um enfoque de Gerenciamento Costeiro Integrado**. 2002. Tese (Doutorado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 248p e anexos.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: HOLZ, M.; DE ROS, L. F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000. p.375-406.

XAVIER, S. C. **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. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Oceânica). Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande. 256p. e anexos.