



# SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO “UNIDADES HOMOGÊNEAS DE COBERTURA DA TERRA E DO USO E PADRÃO DA OCUPAÇÃO URBANA” - (UHCT) E MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE DE ÁREAS URBANAS DE USO RESIDENCIAL, COMERCIAL E SERVIÇOS A EVENTOS GEODINÂMICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

## 1. Introdução

A cartografia do meio físico no Estado de São Paulo apresenta grande heterogeneidade em termos de escala, abrangência e métodos, própria de cada ramo do conhecimento e época de geração, o que dificulta a elaboração de produtos integrados.

A análise espacial do território por meio de unidades territoriais com atributos associados, favorece a integração entre os sistemas ambiental, cultural e socioeconômico (FERREIRA et al., 2013). Essa abordagem permite identificar, para uma determinada área, as suas potencialidades de uso, além de limitações, vulnerabilidades e fragilidades naturais, bem como os riscos, informações fundamentais para a gestão dos recursos hídricos e do meio ambiente. Além disso, a estruturação de uma base temática de dados agregada em unidades territoriais apresenta vantagens em relação a métodos que utilizam o cruzamento de diversos planos de informação para a elaboração de mapas temáticos, pois adota limites fixos e facilmente reconhecíveis por usuários não especialistas, permitindo a comparação entre avaliações ambientais e socioeconômicas diversas, simplificando a organização e o processamento de dados.

A Unidade Homogênea de Cobertura da Terra, Uso e Padrão da Ocupação Urbana – UHCT – compreende um sistema de classificação multinível e hierarquizado do uso das terras e revestimento do solo que abrange todo o território do Estado de São Paulo. Estas unidades territoriais, associadas a um banco de dados relacional, permitem a geração de diversos subprodutos ou mapas temáticos que podem incluir informações, desde a mais abrangente até a mais detalhada, de acordo como o nível de abordagem.

A UHCT estabelece um ambiente de informação homogêneo e padronizado de classificação da cobertura terra, uso e padrão da ocupação urbana, dispondo de uma legenda única e hierarquizada que permite comparações e análises diversas em nível regional e urbano. Por meio de operações de consulta à base de dados é possível obter, de forma direta, os limites, as características e a distribuição geográfica dos diferentes tipos de uso do solo e padrões de ocupação homogêneos do Estado de São Paulo.

Este sistema pode ser aplicado em diversas análises espaciais que utilizam atributos relacionados à cobertura da terra, uso do solo urbano, dados socioeconômicos e de infraestrutura urbana, fornecendo subsídios aos estudos sobre processos urbanos, análises de mudanças do uso do solo, elaboração de cenários, estudos de impacto ambiental, análises de vulnerabilidades e riscos geoambientais. Por ser flexível, permite atualizações periódicas, bem como a inclusão de níveis de informação mais detalhados que ampliam as possibilidades de análise de informações.

Devido às suas características, o produto é especialmente útil ao planejamento e ordenamento territorial regional e urbano, podendo ser aplicado em diversos



instrumentos de políticas públicas, fornecendo subsídios à tomada de decisão relacionada a gestão ambiental e do uso e ocupação do solo.

Como exemplo da potencialidade do sistema, no âmbito deste projeto foram gerados dois subprodutos temáticos: 1) Mapa de Cobertura da Terra e do Uso do Solo Urbano; e 2) Mapa da Vulnerabilidade de Áreas Urbanas de Uso “Residencial/comercial/serviços” a Eventos Geodinâmicos do Estado de São Paulo.

A vulnerabilidade destaca-se como um dos fatores fundamentais nas análises de risco. Expressa o grau de suscetibilidade e predisposição ao dano de um elemento ou grupo de elementos expostos à manifestação de um fenômeno perigoso e é definida como o conjunto de condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto dos perigos (ONU, 2004). Os elementos expostos incluem tanto o contexto social e material, representado pelas pessoas e por seus recursos e serviços (atividades humanas), como os sistemas realizados pelo homem, como edifícios, infraestrutura, centros de produção e utilidades (CARDONA, 2001).

O mapa de vulnerabilidade das áreas urbanas de uso “Residencial/comercial/serviços” do Estado de São Paulo atende aos pressupostos da Política Estadual de Mudanças Climáticas (Lei Estadual nº 13.798/2009) que, em seu inciso IX, artigo 10º, recomenda a identificação e mapeamento das vulnerabilidades existentes nos territórios municipais, como base para políticas locais de adaptação aos impactos decorrentes das mudanças climáticas; e também da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (Lei Federal 12.608/2012) que destaca a necessidade de identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir suas ocorrências.

O produto UHCT do Estado de São Paulo foi obtido a partir de uma parceria firmada entre o IG - Instituto Geológico e a CPLA - Coordenadoria Estadual de Planejamento Ambiental, da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, com apoio técnico da FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais, realizado através de contratação de serviços, financiados pelo FEHIDRO - Fundo Estadual de Recursos Hídricos, por meio do projeto “Delimitação de sub-bacias, estruturação de base de dados do meio físico e delimitação de unidades homogêneas do uso e ocupação do solo urbano” (Contrato Nº 169/2011).

## **2. Delimitação e Caracterização das Unidades Homogêneas de Cobertura da Terra e do Uso e Padrão da Ocupação Urbana (UHCT)**

As Unidades Homogêneas de Cobertura da Terra e do Uso e Padrão da Ocupação Urbana (UHCT) constitui um sistema de classificação hierarquizado, multinível e multiresolução, elaborado com base na metodologia proposta por Rossini-Penteado et al. (2007), Ferreira e Rossini-Penteado (2011), Ferreira et al. (2013), IG-SMA (2014). Por sua especificidade, o sistema UHCT apresenta a compartimentação do território em 3 níveis de informação, desde o mais genérico até o mais detalhado (Tabela 1).

A classificação segue uma ordem hierárquica, sendo o Nível I composto por 6 classes temáticas de cobertura da terra e o Nível II composto por 5 classes relativas à tipologia de uso do solo urbano. O Nível III é composto por 3 critérios de setorização relativos ao padrão da ocupação urbana, apresentando 5 classes do padrão densidade de ocupação; 3 classes do padrão estágio da ocupação e 5 classes do padrão ordenamento urbano. A partir do nível III o sistema está aberto, comportando níveis



de informação mais detalhados, bem como a inserção de dados secundários obtidos de outras fontes. Conforme o nível de abordagem considerado, o sistema permite a elaboração de mapeamentos em escalas que variam entre 1:100.000 e 1:5.000.

A associação ou combinação de diferentes elementos da paisagem definem padrões espaciais específicos nos diferentes níveis hierárquicos. As unidades homogêneas são definidas a partir da setorização ou parcelamento do território em áreas com características semelhantes quanto a determinados aspectos físicos, forma e textura intrínsecos da ocupação (KURKDJIAN 1986, MANSO et al. 1978), sendo obtidas por processos de classificação semiautomática e interpretação visual de produtos de sensoriamento remoto de diferentes resoluções espaciais.

As unidades homogêneas representam as menores unidades geográficas delimitadas em determinada escala de abordagem, correspondendo ao módulo físico básico de coleta, armazenamento e análise de informações de cobertura da terra e do padrão de ocupação urbana.

A cartografia foi realizada para a totalidade do território do Estado de São Paulo com base em produtos de sensoriamento remoto que incluem imagens do satélite Landsat 5 do sensor TM; imagens ortorretificadas do satélite SPOT (resolução espacial de 2,5m), imagens Rapideye (resolução espacial de 5m), e ortofotos (resolução espacial de 1m ou menor), fornecidas pela CPLA (Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo), utilizadas conforme a disponibilidade dos produtos por área, além de consulta de outras bases de imagens disponíveis na internet, tendo como referência o ano de 2010.

Tabela 1: Níveis hierárquicos do sistema de classificação UHCT e seus atributos.



NÍVEIS DE COMPARTIMENTAÇÃO (Atributos físicos)					DADOS SECUNDÁRIOS (Atributos socioeconômicos)
NÍVEL I	NÍVEL II	NÍVEL III			PADRÃO SOCIOECONÔMICO E DA INFRAESTRUTURA SANITÁRIA
COBERTURA DA TERRA (COBTERRA)	TIPOLOGIA DE USO URBANO (USOOCUP)	PADRÃO FÍSICO DA OCUPAÇÃO URBANA			
		Densidade de Ocupação (DEN_OCUP)	Estágio de Ocupação (EST_OCUP)	Ordenamento Urbano (ORD_URB)	
Área Urbana ou Edificada	Residencial/ Comercial/ Serviços	Muito Alta	Consolidação	Muito Alto	Esgotamento Sanitário; (ESG_M); Abastecimento de Água (ÁGUA_M); Destinação do Lixo (LIXO_M); Instrução (EDUC_M); Renda (RENDA_M); Média de Pessoas/domicílio (M_POP_M); Densidade de População (D_POP_M).
		Alta		Alto	
		Média	Em Consolidação	Médio	
		Baixa	Rarefeito	Baixo	
		Muito Baixa		Muito Baixo	
	Grande Equipamento				
	Loteamento				
	Área Desocupada				
	Espaço Verde Urbano				
	Vegetação Arbórea				
Vegetação Herbáceo-Arbustiva					
Solo Exposto					
Área Úmida					
Corpos d'Água					
Fonte: Imagem de média resolução (15m a 30m)	Fonte: Imagem de alta resolução (1 a 5m)	Fonte: Imagem de alta resolução (1m ou maior)			Fonte: Setores Censitários (IBGE)

## 2.1. Nível I – Compartimentação e Classificação da Cobertura da Terra

O nível hierárquico I representa a delimitação e classificação da cobertura da terra obtida por processos de classificação automática de imagens do satélite Landsat 5 do sensor TM, do ano de 2010, compatível com a escala 1:100.000 (área mínima mapeada de 4ha). Como parte integrante do projeto, este produto foi elaborado pela CPLA, conforme metodologia apresentada em São Paulo (2013). As classes consideradas incluem:



- Área Urbana ou Edificada: Áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nessa categoria áreas urbanas de uso residencial, comercial e de serviço, além de condomínios residenciais e ocupações esparsas, com baixa concentração de edificações como chácaras residenciais e de lazer, pequenos sítios, localizados distantes da mancha urbana principal ou ao longo de rodovias e vias de acesso.

- Cobertura Arbórea: Formação vegetal composta predominantemente por elementos arbóreos. Essa classe inclui as matas ciliares que acompanham os cursos d'água, floresta estacional semidecídua, floresta ombrófila densa e floresta ombrófila mista, além de área de cerrado, mangue e restinga, quando estas apresentam vegetação de maior porte. Inclui ainda formações arbóreas homogêneas plantadas, como pinus, eucalipto, seringueira e citros, entre outras culturas arbóreas em estágio avançado.

- Cobertura herbáceo-arbustiva: Inclui formação herbácea e/ou arbustiva. Áreas cobertas por vegetação de gramíneas ou leguminosas, cuja altura pode variar de alguns decímetros a alguns metros, além de áreas de pasto melhoradas ou cultivadas destinadas ao pastoreio; áreas cultivadas cultura temporárias, semiperenes e perenes); áreas remanescentes de cerrado e restinga.

- Solo Exposto: Inclui áreas de intervenção antrópica que foram terraplanadas ou aradas, constituindo áreas em transição de uso ou uma fase intermediária do mesmo uso ou ainda áreas onde processos erosivos expuseram o solo.

- Áreas Úmidas: Áreas onde o lençol freático se encontra na superfície ou próximo a ela. Nestas áreas geralmente se estabelece uma vegetação aquática. Incluem-se áreas de brejos, pântanos situados às margens de lagos, lagoas, cursos d'água e reservatórios, bem como extensas áreas junto às várzeas inundáveis de rios e áreas de mineração inundáveis.

- Corpos d'água: Incluem-se todas as águas interiores, como cursos d'água e canais (rios, riachos, canais e outros corpos d'água lineares), corpos d'água naturalmente fechados, sem movimento (lagos naturais regulados) e reservatórios artificiais (represamentos artificiais d'água construídos para irrigação, controle de enchentes, fornecimento de água e geração de energia elétrica).

- Sombra e Nuvem: Esta classe inclui áreas cobertas com nuvens e sombras.

## **2.2. Nível II – Compartimentação e Classificação da Tipologia de Uso do solo Urbano**

O nível hierárquico II inclui a delimitação e classificação das áreas de cobertura da terra do tipo "**Área Urbana ou Edificada**", obtida no nível I, quanto a tipologia de uso urbano. Esta classificação foi obtida por processo de interpretação visual de imagens de alta resolução de 2010 (EMPLASA 2010), sendo diferenciadas 7 classes:

a) Residencial/comercial/serviços: incluem áreas de uso residencial, de comércio e de serviços, de ocupação contínua ou descontínua em relação à mancha principal. Esta classe foi setorizada e caracterizada quanto à forma ou padrão específico da ocupação;



b) Grandes equipamentos: incluem áreas ocupadas com edificações de grande porte associadas às indústrias, galpões isolados de comércio e serviços, e equipamentos urbanos como cemitérios, estações de tratamento de água e de esgoto, entre outros;

c) Espaço verde urbano: inclui áreas ocupadas com parques, praças e demais áreas verdes públicas;

d) Área desocupada: inclui áreas terraplenadas situadas dentro da mancha urbana principal, caracterizadas pela ausência de edificações e destinadas à futura ocupação urbana;

e) Loteamento: inclui áreas ocupadas com loteamentos em estágio de implantação, geralmente localizados na área de expansão urbana, caracterizados pela ausência de edificações onde se observa a existência de quadras e arruamentos com traçado definido, com ou sem pavimentação.

### 2.3. Nível III – Compartimentação e Classificação do Padrão da Ocupação Urbana

O nível hierárquico III inclui a delimitação e classificação das áreas de uso urbano do tipo “**Residencial/comercial/serviços**” quanto ao padrão físico da ocupação urbana. Esta etapa foi realizada a partir da interpretação visual de imagens de alta resolução de 2010 (EMPLASA 2010).

O padrão da ocupação é determinado pelo arranjo espacial dos elementos urbanos. Foram considerados três critérios básicos para compartimentar e caracterizar as unidades homogêneas neste nível hierárquico (FERREIRA e ROSSINI-PENTEADO 2011; FERREIRA et al. 2013; IG-SMA 2014):

1) Densidade de Ocupação: atributo diretamente relacionado com a intensidade do uso do solo, representando a relação entre o tamanho ou número de lotes por unidade de área. Este é um atributo constante, não variável no tempo. A Tabela 2 apresenta a descrição e classes de atributo consideradas.

Tabela 2. Classificação e descrição do atributo Densidade de Ocupação.

Densidade de Ocupação	Descrição do atributo
Muito alta densidade	Áreas com predominância de edificações verticalizadas e ocupações em lotes de até 150m <sup>2</sup>
Alta densidade	Predomínio de lotes de até 250m <sup>2</sup>
Média densidade	Predomínio de lotes de 250m <sup>2</sup> a 450m <sup>2</sup>
Baixa densidade	Predomínio de lotes maiores que 450m <sup>2</sup>
Muito baixa densidade	Ocupações com chácaras e sítios



2) Estágio de Ocupação: revela o estágio ou fase atual da ocupação. Corresponde à relação entre o número de lotes construídos e de lotes vazios no setor, sendo diferenciado em três classes de atributo, conforme Tabela 3:

Tabela 3. Classificação e descrição do atributo Estágio de Ocupação.

Estágio da Ocupação	Descrição do atributo
Consolidado	Áreas com mais de 80% de área ou lotes ocupados com edificações
Em consolidação	Áreas em fase de consolidação, apresentando entre 30% e 80% de área ou lotes construídos
Rarefeito	Áreas com ocupação incipiente (em estágio inicial), apresentando menos de 30% de área ou lotes edificadas

3) Ordenamento Urbano: atributo definido a partir da combinação de 3 elementos básicos que compõem a estrutura urbana: 1) arborização urbana; 2) pavimentação e 3) traçado do sistema viário. As unidades homogêneas foram delimitadas e classificadas quanto à existência ou não destes componentes urbanos, sendo diferenciadas em cinco classes de atributo, conforme Tabela 4:

Tabela 4. Classificação e descrição do atributo Ordenamento Urbano

Ordenamento Urbano	Traçado do Sistema Viário	Existência de Pavimentação	Arborização Urbana
Muito Alto ordenamento	Sim	Sim	Sim
Alto ordenamento	Sim	Sim	Não
Médio ordenamento	Sim	Não	Sim ou Não
Baixo ordenamento	Não	Não	Sim
Muito Baixo ordenamento	Não	Não	Não

Com base em procedimentos de interpretação visual os setores homogêneos, correspondentes aos níveis II e III, foram definidos e delimitados em escala de tela variando entre 1:8.000 e 1:2.500. Foi adotado como área mínima de mapeamento 10.000 m<sup>2</sup>.

O produto final UHCT, contendo os diferentes níveis hierárquicos, é disponibilizado em um arquivo do tipo *shapefile*, composto de unidades gráficas (polígonos) associadas à uma tabela contendo os atributos descritivos, que integram os diferentes níveis de informação hierarquizados (Tabela 1). Produto preliminar, incluindo apenas as unidades classificadas como áreas urbanas ou edificadas, foi disponibilizado por SÃO PAULO (2014).



Como um dos produtos derivados do sistema UHCT, foi produzido o Mapa de Cobertura da Terra e do Uso do Solo Urbano do Estado de São Paulo, disponibilizado no formato pdf.

### 3. Atributos Socioeconômicos e de Infraestrutura Urbana

As unidades homogêneas de uso urbano do tipo **“Comercial/Residencial/Serviços”** foram caracterizadas quanto ao padrão socioeconômico da população residente e padrão da infraestrutura urbana a partir do levantamento de dados dos setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2011).

Conforme proposto em Ferreira e Rossini-Penteado (2011) e Rossini-Penteado e Ferreira (2015), os atributos indicadores de infraestrutura urbana que compõem a tabela de atributos da UHCT são: a) Esgotamento Sanitário (ESG\_M); b) Abastecimento de Água (AGUA\_M); c) Destinação do Lixo (LIXO\_M) e d) Sistema de Energia Elétrica (ENER\_M). Os indicadores socioeconômicos e de população selecionados foram: e) Instrução da População Residente (EDUC\_M); f) Renda da População Residente (RENDA\_M) e g) Média de População Residente em cada setor (M\_POP\_M) e Densidade de População (D\_POP\_M).

Para a utilização e inclusão dos dados do IBGE de 2010 no sistema de classificação UHCT, inicialmente foi realizado o agrupamento dos dados dos setores censitários em classes de atributos. A cada classe de atributo considerada foram atribuídas notas ponderadas (peso) com valores entre 0 (zero) e 1 (um), indicando relações diretamente proporcionais, ou seja quanto maior a nota, mais desfavoráveis são as condições socioeconômicas e de infraestrutura.

Os índices de cada atributo foram obtidos a partir do cálculo de média ponderada do número de domicílios particulares permanentes em cada classe pelas respectivas notas das classes, conforme detalhado abaixo.

a) Índice Esgotamento Sanitário (ESG\_M): indicador de infraestrutura urbana que expressa as condições do esgotamento sanitário em cada unidade homogênea. A Tabela 5 apresenta a descrição das classes, notas e fórmula de obtenção do índice.

Tabela 5. Obtenção do Índice Esgotamento Sanitário

ATRIBUTO	CLASSE	NOTA	ÍNDICE
COLETA DE ESGOTO (ESG_M)	Rede Geral (RGE)	0,125	$ESG\_M = ((RGE*0,125) + (FS*0,375) + (FR*0,625) + (INAD*0,875)) / (RGE + FS + FR + INAD)$
	Fossa Séptica (FS)	0,375	
	Fossa Rudimentar (FR)	0,625	
	Disposição Inadequada (INAD) (vala, rio, lago, mar, outro escoadouro)	0,875	

b) Índice Abastecimento de Água (AGUA\_M): indicador de infraestrutura urbana que expressa as condições de abastecimento de água, obtido conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6. Obtenção do Índice Abastecimento de Água



ATRIBUTO	CLASSE DE ATRIBUTO	NOTA	ÍNDICE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA (ÁGUA_M)	Rede Geral (RGA)	0,165	$AGUA\_M = ((RGA*0,165) + (PN*0,495) + (OF*0,825)) / (RGA + PN + OF)$
	Poço ou Nascente (PN)	0,495	
	Outra Forma (OF) (Cisterna)	0,825	

c) Índice Destinação do Lixo (LIXO\_M): indicador de infraestrutura urbana que expressa as condições de coleta e disposição do lixo, obtido conforme descrito na Tabela 7.

Tabela 7. Obtenção do Índice Destinação do Lixo

ATRIBUTO	CLASSE DE ATRIBUTO	NOTA	ÍNDICE
DESTINAÇÃO DO LIXO (LIXO_M)	Coletado (LC)	0,165	$LIXO\_M = ((LC*0,165) + (LQ*0,495) + (INAD*0,825)) / (IE3\_LC + IE3\_LQ + IE3\_INAD)$
	Queimado (LQ)	0,495	
	Disposição Inadequada (INAD) (enterrado, lançado em terreno baldio, rio, lago, mar, outras formas)	0,825	

d) Índice Energia Elétrica (ENER\_M): indicador de infraestrutura urbana que expressa o sistema de distribuição de energia elétrica, obtido conforme descrito na Tabela 8.

Tabela 8. Obtenção do Índice Energia Elétrica

ATRIBUTO	CLASSE	NOTA	ÍNDICE
ENERGIA (ENER_M)	Rede de Energia Elétrica de CIA distribuidora (REN)	0,165	$ENER\_M = ((REN*0,165) + (OF*0,495) + (SRE*0,825)) / (REN + OF + SRE)$
	Outras Fontes (OF) (Eólica, Solar, Gerador)	0,495	
	Sem Energia Elétrica (SRE)	0,825	

e) Índice Renda da População Residente (RENDA\_M): indicador socioeconômico que expressa as condições de renda da população residente, obtido conforme descrito na Tabela 9.

Tabela 9. Obtenção do Índice Renda da População Residente

ATRIBUTO	CLASSE	NOTA	ÍNDICE
RENDA (RENDA_M)	0 – 02 Salário Mín. (S2)	2	$RENDA\_M = ((S2*2) + (S5*5) + (S10*10) + (S20*20)) / (S2 + S5 + S10 + S20)$
	02 – 05 Salário Mín. (S5)	5	
	05 – 10 Salário Mín. (S10)	10	
	> 10 Salário Mín. (S20)	20	



f) Índice Instrução da População Residente (EDUC\_M): indicador socioeconômico relacionado à taxa de alfabetização. Expressa o número de pessoas não alfabetizadas com 5 anos ou mais em relação ao total de pessoas residentes com mais de 5 anos (alfabetizadas e não alfabetizadas) em cada setor, obtido conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10. Obtenção do Índice Instrução da População Residente

ATRIBUTO	CLASSE	ÍNDICE
INSTRUÇÃO (EDUC_M)	Número total de pessoas residentes com 5 anos de idade ou mais (NTOT5)	EDUC_M = NP_NA / NTOT5
	Número de pessoas residentes não alfabetizadas com 5 anos de idade ou mais (NP_NA)	

g) Indicadores de população, expressos pelos atributos: Média de Residentes por domicílio (M\_POP\_M) e Densidade de População (D\_POP\_M) em cada setor censitário.

Os setores censitários correspondem às unidades de análise do IBGE definidas com base em critérios operacionais. Para viabilizar a inserção dos índices socioeconômicos e de infraestrutura urbana (obtidos dos setores censitários do IBGE) na UHCT (setores obtidos por critérios técnicos), cada atributo foi especializado em uma grade numérica (formato raster) gerada pela aplicação de operações de análise espacial em Sistemas de Informação Geográfica. Com base nestas grades numéricas foram realizados os cálculos de média zonal dos valores dos índices, tendo como restrição os polígonos das UHCT, conforme descrito em Ferreira et al. (2013) Rossini-Penteado e Ferreira (2015).

#### 4. Vulnerabilidade das Áreas Urbanas de Uso “Residencial/Comercial/Serviços”

A vulnerabilidade é um fator fundamental nas análises de risco. A partir da sua interação com o evento perigoso, permite a definição das consequências ou danos causados pelos desastres. Expressa o grau de suscetibilidade e predisposição ao dano de um elemento ou grupo de elementos expostos à manifestação de um fenômeno perigoso. Os elementos expostos incluem tanto o contexto social e material, representado pelas pessoas e por seus recursos e serviços (atividades humanas), como os sistemas realizados pelo homem, como edifícios, infraestrutura, centros de produção e utilidades (CARDONA 2001). Segundo ONU (2004), a vulnerabilidade é definida como o conjunto de condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais, que aumentam a suscetibilidade de uma comunidade ao impacto dos perigos.

O mapeamento da vulnerabilidade compreende um dos subprodutos obtidos a partir do sistema de classificação UHCT. O índice de vulnerabilidade foi calculado apenas para as áreas de uso urbano do tipo “Residencial/comercial/serviços”,



conforme proposto em Rossini-Penteado e Ferreira (2015) e INSTITUTO GEOLÓGICO (2014).

Inicialmente foram selecionados os atributos físicos da ocupação urbana e os atributos socioeconômicos e de infraestrutura urbana que atuam como fatores de análise de vulnerabilidade no contexto de avaliações de riscos geoambientais em escala de abordagem regional (Tabela 11).

Para o cálculo do índice de vulnerabilidade, os atributos foram ponderados ou normalizados para o intervalo de 0 (zero) a 1 (um), onde 0 indica nenhuma influência e 1 indica máxima influência no desencadeamento de uma situação de vulnerabilidade. A normalização dos atributos numéricos foi realizada a partir da aplicação da Equação 1:

$$V_n = (V_x - V_{min}) / (V_{max} - V_{min})$$

[Equação 1],

onde:  $V_n$  = valor normalizado;  $V_x$  = valor a ser normalizado;  $V_{min}$  = valor mínimo da amostragem;  $V_{max}$  = valor máximo da amostragem.

O Índice de Vulnerabilidade para as unidades homogêneas urbanas do tipo “Residencial/comercial/serviços”, foi obtido a partir da aplicação da Equação 2:

$$V = (((ESG\_N + AGUA\_N + LIXO\_N + ORD\_NOTA) / 4) + (EDUC\_N + (1 - RENDA\_N)) / 2) / 2$$

[Equação 2],

onde:  $V$  = vulnerabilidade;  $ESG\_N$  = índice esgotamento sanitário;  $AGUA\_N$  = índice abastecimento de água;  $LIXO\_N$  = índice destinação do lixo;  $ORD\_URB$  = nota do ordenamento urbano;  $EDUC\_N$  = índice instrução;  $RENDA\_N$  = índice renda.

Os valores obtidos pela Equação 1, expressos pelo atributo VULNE\_RISC que compõe a tabela de atributos do banco de dados relacional, foram distribuídos em cinco intervalos de classe pelo método de quebras naturais, obtendo-se as classes de vulnerabilidade V1 (Muito Baixa); V2 (Baixa); V3 (Média); V4 (Alta); V5 (Muito Alta), expressas pelo atributo VULN\_CL5, disponível no arquivo *shapefile*.



Tabela 11. Atributos da UHCT utilizados como fatores de análise para a classificação e mapeamento da vulnerabilidade.

ATRIBUTO	DESCRIÇÃO
Ordenamento Urbano Ponderado (ORD_NOTA)	Expressa o padrão da ocupação ou qualidade da infraestrutura urbana. Infraestrutura deficiente aumenta a exposição e agravam as situações de vulnerabilidade e risco. Atribuição de notas ponderadas de acordo com a influência no processo, conforme Tabela 12. Classes: muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo ordenamento.
Índice Abastecimento de Água Normalizado (AGUA_N)	Expressa as condições de abastecimento de água. Infraestrutura deficiente, com vazamentos e rompimentos de tubulações aumentam a exposição e agravam as situações de vulnerabilidade e risco.
Índice Esgotamento Sanitário Normalizado (ESG_N)	Expressa as condições do esgotamento sanitário. Infraestrutura deficiente, marcada pela ausência ou inadequação do sistema aumentam a exposição e agravam as situações de vulnerabilidade e risco.
Índice Destinação do Lixo Normalizado (LIXO_N)	Expressa as condições da coleta e disposição do lixo. Infraestrutura deficiente caracterizada pelo acúmulo de lixo e entulho em propriedades ampliam a exposição e agravam as situações de vulnerabilidade e risco.
Índice Instrução Normalizado (EDUC_N)	Expressa o número de pessoas não alfabetizadas em relação ao total de pessoas (alfabetizadas e não alfabetizadas). Maior índice de pessoas não alfabetizadas aumentam as condições de vulnerabilidade, podendo determinar menor capacidade de enfrentamento de uma situação de risco.
Índice Renda Normalizado (RENDA_N)	Expressa as condições de renda da população. Condições econômicas precárias podem levar à ocupação inadequada de locais impróprios, podendo aumentar as condições de vulnerabilidade e determinar menor capacidade de enfrentamento de uma situação de risco.

Tabela 12. Notas ponderadas para obtenção do índice Ordenamento Urbano (ORD\_NOTA) utilizado no cálculo da vulnerabilidade.

CLASSE DE ORDENAMENTO URBANO	NOTAS Ordenamento Urbano (ORD_NOTA)
Muito Alto	0,1
Alto	0,3
Médio	0,5
Baixo	0,7
Muito Baixo	0,9

## 5. Créditos

SÃO PAULO. Estado. Sistema de classificação Unidades Homogêneas de Cobertura da Terra e do Uso e Padrão da Ocupação Urbana (UHCT) e Mapeamento da



Vulnerabilidade de Áreas Urbanas de Uso Residencial/comercial/serviços a Eventos Geodinâmicos do Estado de São Paulo. INSTITUTO GEOLÓGICO; COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL/SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2016. Ficha Técnica, arquivos digitais formatos pdf e shapefile.

## 6. Equipe Técnica

### IG - Instituto Geológico

Denise Rossini Penteado  
Cláudio José Ferreira

### CPLA - Coordenadoria de Planejamento Ambiental

Arlete Tieko Ohata (Diretora do Departamento de Informações Ambientais)  
Aline Salim (Diretora do Centro de Integração e Gerenciamento de Informações)  
Ana Maria Neves  
Cynthia Lina Yassumoto  
Edgard Joseph Kiriya  
Igor André Cubateli Redivo  
Juliana Amorim da Costa  
Kenzo Matsuzaki  
Renata Sayuri Kawashima

## 7. Referências

BIRKMANN, J. Indicators and criteria for measuring vulnerability: Theoretical bases and requirements. In: \_\_\_\_\_ (ed): Measuring vulnerability to Natural Hazards. Towards Disaster Resilient Societies. New Delhi: TERI Press, United Nations University Press, 2006b. p. 9-56.

BRASIL. CENSO DEMOGRÁFICO 2010. Características da População e dos Domicílios: Resultados do Universo; Malha Digital de Setores Censitários. Brasília: IBGE, 2011. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo\_Demografico\_2010/Resultados\_do\_Universo/Agregados\_por\_Setores\_Censitarios/>; <ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas\_digitais/censo\_2010/>. Acesso: 20 mai. 2016.

CARDONA, O.D. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo: una crítica y una revisión necesaria para la gestión. In: INTERNATIONAL WORK-CONFERENCE ON VULNERABILITY IN DISASTER THEORY AND PRACTICE, 2001. Wageningen/Holanda: Disaster Studies of Wageningen University and Research Centre, 2001. 18p. Disponível em: <[www.desenredando.org/public/articulos/2003/rmhcvr/rmhcvr\\_may-08-2003.pdf](http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/rmhcvr/rmhcvr_may-08-2003.pdf)>. Acesso: 29 mai. 2016.

EMPLASA. Arquivos digitais das ortofotos do Projeto de Atualização Cartográfica do Estado de São Paulo - "Projeto Mapeia São Paulo". Produtos de levantamento aerofotogramétrico de 2010-2011. Titularidade: Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A - EMLASA. Contrato de Licença de Uso 038/12, estabelecido entre EMLASA e SMA. 2010.

FERREIRA, C.J.; ROSSINI-PENTEADO, D. Mapeamento de risco a escorregamento e inundação por meio da abordagem quantitativa da paisagem em escala regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 13., 2011. São Paulo. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e



Ambiental, 2011. CD-ROM. Disponível em: <<https://docs.google.com/open?id=0BOJ5AK7clDOaZTU3OTBiNDctZWZjMS00NTE5LTgyNDEtMjQwNDMxM2YzYjUy>>. Acesso: 29 mai. 2016.

FERREIRA, C.J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; GUEDES, A.C.M. O uso de sistemas de informações geográficas na análise e mapeamento de risco a eventos geodinâmicos. In: LOMBARDO, M.A. & FREITAS, M.I.C (org.): Riscos e Vulnerabilidades: Teoria e prática no contexto Luso-Brasileiro. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013. p. 155-188. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/109268>>. Acesso: 29 mai. 2016.

INSTITUTO GEOLÓGICO (IG-SMA). Mapeamento de riscos associados a escorregamentos, inundações, erosão e solapamento de margens - Município de Campos do Jordão, SP. Relatório Técnico, vol 2. São Paulo: Instituto Geológico/Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2014. Disponível em <[http://www.sidec.sp.gov.br/producao/map\\_risco/pesqpdf3.php?id=286](http://www.sidec.sp.gov.br/producao/map_risco/pesqpdf3.php?id=286)>. Acesso: 29 mai. 2016.

KURKDJIAN, M.L.N.O. Um método para a identificação e análise de setores residenciais urbanos homogêneos, através de dados de sensoriamento remoto, com vistas ao planejamento urbano. 1986. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

MANSO, A.P. et al. Determinação de zonas homogêneas através de sensoriamento remoto. São José dos Campos: INPE, 1978. (INPE – 1470-RPE/021).

ONU. *Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives - 2004 version*. New York: United Nations, 2004. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/we/inform/publications/657>>. Acesso: 29 mai. 2016.

ROSSINI-PENTEADO, D.; FERREIRA, C. J.; GIBERTI, P. P. C. Quantificação da vulnerabilidade e dano aplicados ao mapeamento e análise de risco, escala 1:10.000, Ubatuba-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS E TECNOLÓGICOS, 2, Santos-SP. Anais... Santos: ABGE, 2007.

ROSSINI-PENTEADO, D.; FERREIRA, C.J. Mapeamento da vulnerabilidade para análise de riscos associados a processos geodinâmicos. In: FREITAS, M.I. et al. (org): Vulnerabilidades e Riscos: Reflexões e Aplicações na Análise do Território. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2015. p. 77-94.

SÃO PAULO. Estado. Mapa de Cobertura da Terra do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente: Coordenadoria de Planejamento Ambiental – CPLA. 2013. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/mapa-de-cobertura-da-terra-do-estado-de-sao-paulo/>. Acesso: 20 mai. 2016. Arquivos formatos pdf e *shapefile* e Ficha Técnica.

SÃO PAULO. Estado. Unidades Homogêneas de Uso e Ocupação do Solo Urbano (UHCT) Secretaria do Meio Ambiente: Instituto Geológico: Coordenadoria de Planejamento Ambiental – CPLA. 2014. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/cessao-de-dados/unidades-homogeneas-de-uso-e-ocupacao-do-solo-urbano-uhct/>>. Acesso: 20 mai. 2016. Arquivo formato *shapefile* e Ficha Técnica.