



MEIO AMBIENTE

JULHO DE 2013

RELATÓRIO FINAL AMB-F Projeto n°604470 – Adaptação Curitiba

AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL E SOCIOECONÔMICA PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA

Relatório Final AMB-F Revisão 02

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS - ANTP São Paulo, São Paulo

N/Ref.: 604470 - Adaptação Curitiba

V/Ref.: GEF n° 007

Julho de 2013

Preparado por: Wanda Batista

Wanda Batista de Amorim, Ph.D.

Especialista Ambiental

Data: 05/07/2013

Verificado por:

Myrzah Bello, M. Sc., M. Env. Diretora, Mudanças Climáticas

Data: 05/07/2013



AVISO

Este documento exprime a opinião profissional de SNC-Lavalin Projetos Ltda. ("SLPL") no que diz respeito aos assuntos que nele são abordados. A opinião foi fundamentada considerando as competências profissionais e tomandas as precauções que se impõem. O documento deve ser interpretado no contexto do Contrato datado de 21 de novembro de 2011 celebrado entre a SLPL e a ANTP, levando em em conta a metodologia, os procedimentos e as técnicas utilizadas, e as hipóteses da SLPL, bem como as circunstâncias e as limitações que prevaleceram durante a execução deste mandato. O único objetivo deste documento é o que está definido no contrato, destinando-se exclusivamente ao uso do Cliente e sendo os recursos limitados aos que estão previstos no contrato. Deve ser lido como um todo, não podendo uma parte ou um extrato isolado serem lidos fora do seu contexto.

Ao preparar as estimativas, a SLPL seguiu o método e os procedimentos requeridos, bem como se precaveu do grau de exatidão visado, com base nas expertises de seus profissionais e tomou as precauções que se impunham. Sabendo-se que há uma forte probabilidade de que os valores reais sejam compatíveis com as estimativas, lembramos que a exatidão das mesmas não pode ser garantidas. Salvo indicação contrária expressa, a SLPL não contra-verificou as hipóteses, os dados e as informações provenientes de outras fontes (incluindo o Cliente, os outros consultores, os laboratórios de ensaio, os fornecedores de equipamentos, etc.) e sobre as quais a sua opinião é fundada. A SLPL não assume de modo algum a sua exatidão e declina de qualquer responsabilidade a esse respeito.

Tanto quanto o permitem as leis aplicáveis, a SLPL declina além disso de qualquer responsabilidade para com o Cliente e para com terceiros no que diz respeito à utilização (publicação, reenvio, referência, citação ou divulgação) da totalidade ou de parte do presente documento, bem como de qualquer decisão tomada ou ação empreendida baseando-se no presente documento.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO				
2.	O QUE SIGNIFICA O TERMO MUDANÇA CLIMÁTICA?				
	2.1	Variabilidade natural do clima	3		
		2.1.1 Fatores externos			
		2.1.2 Fatores Internos			
	2.2	Causas antropogênicas das alterações climáticas	5		
3.	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA ATUAL E FUTURA				
	3.1	Modelos climáticos	6		
		3.1.1 Descrição dos cenários de GEE	6		
		3.1.2 Modelos climáticos e dados observacionais			
	3.2	Caracterização do clima atual			
		3.2.1 Temperatura			
		3.2.2 Precipitação			
	3.3	Caracterização do clima futuro			
		3.3.1 Temperatura			
4.	ΑΝΙΆΙ Ι	SE DAS VULNERABILIDADES AMBIENTAIS	20		
4.	4.1				
	4.1	Descrição da região de estudo			
	4.2	4.2.1 Ciclo Hidrológico Anual			
		4.2.1 Vazão Média de Estiagem			
	4.3	Suscetibilidade a inundações			
	4.4	Suscetibilidade a erosão	0 <u>2</u>		
	7.7	4.4.1 Estimativa da erodibilidade dos solos na Bacia do Alto Iguaçu	JC		
		4.4.2 Curvatura das rampas			
		4.4.3 Potencial natural a erosão dos solos - PNE	45		
		4.4.4 Potencial de erosão dos solos			
		4.4.5 Medidas ambientais para a redução de perdas de solo			
	4.5	Evolução de áreas impermeáveis			
		4.5.1 Evolução do Escoamento Superficial	53		
	4.6	Vulnerabilidade global			
		4.6.1 As infraestruturas	57		
		4.6.2 Vulnerabilidade territorial			
	4.7	Discussão geral	63		
	4.8	Áreas prioritárias a ocupação e áreas prioritárias a desocupação			
5.	CONCL	.USÕES	68		
6.	DEEED	ÊNCIAS	70		
0.	KEFEK	ENCIAS	/ (
LISTA I					
Figura 3		Grid do modelo global do CGCM	7		
Figura 3	3.2:	Grid do modelo regional HadRM3P	7		
Figura 3		Grid dos dados do CRU	8		
Figura 3	3.4:	Médias mensais de temperatura (1961-1990) a partir dos dados do CRU, do CGCM3 e do HadRM3P	9		
Figura 3	3.5:	Evolução das temperaturas médias anuais para o período de 1961 a 2009			
Figura 3		Evolução das temperaturas sazonais de 1961 a 2009, a partir de dados do			
Figura 3	3 7.	CRU	10		
i iguia s	J. 1 .	CGCM3 e do HadRM3P	11		
Figura 3	3.8:	Evolução da soma das precipitações anuais para o período de 1961 a 2009, a	1 1		
-		partir de dados do CRU	11		
Figura 3	3.9:	Evolução das precipitações sazonais de 1961 a 2009, a partir de dados do	40		
		CRU	12		

Figura 3.10:	Anomalias mensais das temperaturas simuladas pelo modelo CGCM3	13
Figura 3.11:	Anomalias sazonais das temperaturas modeladas para as cinco execuções do modelo global CGCM3	
Figura 3.12:	Anomalias mensais das temperaturas simuladas pelo modelo regional HadRM3P	
Figura 3.13:	Anomalias sazonais das temperaturas simulados pelo modelo regional	
E'	HadRM3P	
Figura 3.14:	Perfil de temperatura para a cidade de Curitiba	
Figura 3.15:	Delta das precipitações mensais simuladas pelo modelo global CGCM3	
Figura 3.16:	Variações das precipitações sazonais simuladas pelo CGCM3	
Figura 3.17:	Delta das precipitações mensais modeladas pelo modelo regional HadRM3P	
Figura 3.18:	Variações das precipitações sazonais simuladas pelo HadRM3P	
Figura 4.1:	Região de Estudo (Fonte: Instituto das Águas do Paraná, 2012)	22
Figura 4.2:	Mapa hipsométrico indicando o sentido preferencial do escoamento superficial para Curitiba e Região Metropolitana	23
Figura 4.3:	Mapa de declividade para fins ambientais e de dinâmica de escoamento superficial para Curitiba e Região Metropolitana	24
Figura 4.4:	Mapa de formas de rampas para Curitiba e Região Metropolitana	
Figura 4.5:	Mapa de orientação de vertentes para Curitiba e Região Metropolitana	
Figura 4.6:	Vazões médias mensais simuladas pelo modelo hidrológico – Estação	
9	hidrométrica de Guajuvira (código DNAEE 65025000)	28
Figura 4.7:	Curvas de permanência de vazões diárias simuladas pelo modelo hidrológico – Estação hidrométrica de Guajuvira (código DNAEE 65025000)	
Figura 4.8:	Áreas com risco de inundação da Bacia Alto Iguaçu – Cenário de Referência 1961-1990 – Recorrência 50 anos	
Figura 4.9:	Áreas com risco de inundação da Bacia Alto Iguaçu – Cenário CGCM3 – Recorrência 50 anos	
Figura 4.10:	Áreas com risco de inundação da Bacia Alto Iguaçu – Cenário HADA2 – Recorrência 50 anos	
Figura 4.11:	Mapa isoerodente para a Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu	
Figura 4.11:	Solos que compõem a Bacia do Alto Iguaçu	
Figura 4.13:	Abaco para a determinação do Fator topográfico LS (Wischmeier et al., 1978)	⊿1
Figura 4.14:	Mapa de Fatores LS para a região de estudo	42
Figura 4.15:	Mapa de ocupação do solo na Bacia do Alto Iguaçu	
Figura 4.16:	Curvaturas típicas de rampas	
Figura 4.17:	Mapa do potencial natural de erosão dos solos	
Figura 4.18:	Mapa do potencial de erosão dos solos	
Figura 4.19:	Mapa de indicação de áreas impermeáveis para Curitiba e Região Metropolitana de Curitiba do ano de 2010	
Figura 4.20:	Mapa de indicação de áreas impermeáveis em 2010 e estimativa da evolução	50
1 Igura 4.20.	das áreas impermeáveis para o ano de 2040 para Curitiba e Região	
	Metropolitana	51
Figura 4.21:	Mapa de indicação de áreas impermeáveis em 2010 e estimativa da evolução	
F' 1.00	das áreas impermeáveis para o ano de 2040 para Curitiba	52
Figura 4.22:	Evolução das áreas impermeáveis nas sub-bacias hidrográficas modeladas,	
=:	valores estimados para o ano de 2040 versus 2010	56
Figura 4.23:	Evolução dos escoamentos superficiais em decorrência do aumento da	
	impermeabilização do solo nas sub-bacias hidrográficas modeladas, valores	
Figura 4.24:	estimados para o ano de 2040 versus 2010Vulnerabilidade/fragilidade ambiental face às inundações (Cota enchente 100	57
	anos)	60
Figura 4.25:	Vulnerabilidade/fragilidade ambiental face às inundações (50 anos 1961-1990)	61
Figura 4.26:	Vulnerabilidade/fragilidade ambiental face às inundações (Cenário HADA2 – Recorrência 50 anos)	62
Figura 4.27:	Mapa do índice de vulnerabilidade relacionado à variável erosão	
Figura 4.28:	Índice de vulnerabilidade das áreas com alta taxa de urbanização	
Figura 4.29:	Mapa do índice de vulnerabilidade territorial das áreas com risco de inundações	
Figura 4.30:	Índice de vulnerabilidade territorial	
ga.a 7.00.	maio do tamorabilidado tornoria.	01

LISTA DE TABELAS Tabela 3.1: Tabela 4.1: Vazões médias mensais simuladas para os cenários climáticos (Período 2071-Tabela 4.2: 2100) - Estação hidrométrica de Guajuvira (código DNAEE 65025000)......29 Tabela 4.3: Valores extremos anuais médios segundo os cenários climáticos simulados pelo modelo hidrológico - Estação hidrométrica de Guajuvira (código DNAEE 65025000)......31 Tabela 4.4: Vazões características Q_{7,10}......32 Extensão das áreas com risco de inundação para a Bacia do Alto Iguaçu......32 Tabela 4.5: Tabela 4.6: Fator R para localidades próximas e inseridas na Bacia do Alto Iguaçu Tabela 4.7: Valores de K para os solos que compõem a Bacia do Alto Iguaçu......40 Tabela 4.8: Valores C para os diversos tipos de ocupações do solo na Bacia do Alto Tabela 4.9: Áreas ocupadas pelas categorias de potencial natural à erosão dos solos......45 Tabela 4.10: Áreas ocupadas pelas categorias de potencial a erosão dos solos.......47 Evolução das áreas impermeáveis e escoamentos superficiais nas sub-bacias Tabela 4.11: hidrográficas modeladas54 Tabela 4.12: Evolução das áreas impermeáveis e escoamentos superficiais nas sub-bacias hidrográficas modeladas55 Infraestruturas presentes nas áreas com risco de inundação em Curitiba59 Tabela 4.13:

ABREVIATURAS

AMB Relatório Técnico relativo à etapa de Avaliação das Vulnerabilidades e

Potencialidades Ambientais

AMB-F Relatório de Avaliação Final relativo à etapa de Avaliação das

Vulnerabilidades e Potencialidades Ambientais

ANTP Associação Nacional de Transportes Públicos

AR4 Fourth Assessment Report: Climate Change 2007

CCCM Canadian Center for Climate Modeling

CCCma Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis

CGCM Coupled Global Climate Model

CGCM3 Coupled Global Climate Model version 3

COMEC Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba

CRU Climatic Research Unit

DJF Dezembro, Janeiro e Fevereiro

DNAEE Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

GEE Gases de Efeito Estufa

GEF Global Environment Fund

HADA2 Cenário A2 do modelo regional do Hadley Centre Regional

HadRM3P Hadley Centre Regional Model version 3

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change

IPPUC Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba

JJA Junho, Julho e Agosto

MAM Março, Abril e Maio

N/Ref Nossa Referência

ONU Organização das Nações Unidas

RMC Região Metropolitana de Curitiba

SIG Sistema de Informação Geográfico

SLPL SNC-Lavalin Projetos Ltda.

SOC Relatório Técnico relativo à etapa de Avaliação das Vulnerabilidades e

Potencialidades Socioeconômicas

SON Setembro, Outubro e Novembro

SRES Special Report on Emissions Scenarios

SSA Sul da América do Sul

SUDERHSA Superintendência de Desenvolvimento e Recursos Hídricos

V/Ref Vossa Referência

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm apresentado um impacto significativo sobre os ciclos hidrológicos, consequentemente afetando os mananciais de abastecimento de água, intensidade das cheias e escoamentos superficiais em períodos de estiagem. Projeções para o clima futuro com base em modelos climáticos são relativamente unânimes no que diz respeito às tendências das mudanças climáticas. As temperaturas mais elevadas podem levar a um acréscimo de umidade e a processos mais dinâmicos na atmosfera, de modo que fenômenos atmosféricos extremos podem ocorrer com maior frequência e intensidade. No sul do Brasil, prognósticos de clima futuro indicam que após 2010 a frequência e intensidade das precipitações extremas tendem a aumentar (IPCC, 2007).

O município de Curitiba, ciente da necessidade de antever problemas de ordem ambiental e social decorrentes das consequências das mudanças climáticas elaborou, em parceria com o Fórum Curitiba sobre Mudanças Climáticas, um plano de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, conforme plano de ação apresentado no Anexo do Decreto No. 1.186/2009 da Prefeitura Municipal de Curitiba. Uma das etapas deste plano de ação diz respeito à execução do presente Estudo de Vulnerabilidade Ambiental (financiado pelo Banco Mundial) que permitirá, entre outros objetivos, a identificação de pontos críticos de enchentes e inundações na região de estudo, Região Metropolitana de Curitiba inserida na bacia do Alto Iguaçu, a serem afetados pelas consequências das mudanças climáticas, assim como avaliar o impacto nas estiagens.

Através do financiamento deste estudo de avaliação de vulnerabilidade às mudanças climáticas na região metropolitana de Curitiba, o Banco Mundial mostra interesse em compreender e divulgar questões relacionadas às mudanças climáticas não só globalmente, mas também em esferas locais e regionais no sul do Brasil. A redução de escala para avaliação dos impactos das mudanças climáticas é uma questão complexa, mas enfrentar o problema de forma global, regional e local é certamente parte da solução para lidar com os impactos, uma vez que:

- (1) é a nível local e regional que os seres humanos enfrentam as realidades causadas pelas mudanças globais, particularmente através de eventos extremos e,
- (2) é a nível local e regional que agindo para corrigir situações indesejáveis, bem como tirando proveito de qualquer situação positiva que possa ocorrer, que os impactos parecem gerenciáveis (IPCC, 2012).

Na véspera da publicação do próximo relatório científico do IPCC (previsto para 2013), este estudo será oportuno. Sem dúvida, ele ajudará no posicionamento de Curitiba em seu processo de adaptação, além de permitir uma compreensão local dos impactos das alterações climáticas.

O presente documento se refere ao Relatório de Avaliação Final referente às vulnerabilidades e potencialidades ambientais, o qual apresenta os seguintes tópicos:

- Síntese dos resultados apresentados nos três relatórios técnicos ambientais;
- Análise do cruzamento entre as informações de declividade e formas de rampa realizada com o objetivo de identificar as áreas com maior suscetibilidade à erosão;
- Avaliação da evolução ou regressão de áreas permeáveis e impermeáveis e sua relação com o escorrimento superficial.

Este relatório (Relatório AMB-F) é composto por 4 capítulos principais:

- O primeiro capítulo intitulado "O que significa o termo mudança climática?" apresenta o conceito científico que embasa a noção das mudanças climáticas.
- O segundo capítulo, intitulado "Caracterização climática atual e futura" descreve o clima atual e futuro da região de Curitiba.
- O terceiro capítulo, intitulado "Análise das vulnerabilidades ambientais" fornece uma visão geral sobre as vulnerabilidades da área de estudo relacionadas com as mudanças climáticas, e
- O último capítulo apresenta as conclusões do relatório.

2. O QUE SIGNIFICA O TERMO MUDANÇA CLIMÁTICA?

Conforme apresentado no relatório AMB-2, o termo Mudança Climática refere-se a uma alteração significativa e gradual nos padrões climáticos. Estas alterações climáticas se refletem nas modificações das variáveis representativas do clima, como temperatura, precipitação, nebulosidade e outros fenômenos climáticos em relação às médias históricas, podendo ser causadas por processos naturais ou por atividades humanas.

Recentemente, foram observadas mudanças climáticas globais e a comunidade internacional reconhece agora evidências muito fortes de que essas significativas alterações não podem ser explicadas apenas por causas naturais. Na verdade nos últimos 100 anos, a Terra aqueceu 0,75 graus Celsius, IPCC 2007.

O nível global do mar subiu, geleiras e gelo marinho derreteram e eventos climáticos extremos, como inundações e secas, ocorrem com maior frequência. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que é um órgão científico criado em 1988 pela Organização das Nações Unidas (ONU) para examinar a mudança climática, reconhece que a atividade humana é a causa principal das alterações observadas no clima nas últimas décadas.

2.1 Variabilidade natural do clima

A Terra recebe energia do sol em forma de luz visível e perde energia na forma de radiação térmica (calor) invisível para o espaço. Os gases de efeito estufa contidos naturalmente na atmosfera da Terra impedem que algumas das radiações infravermelhas escapem para o espaço, assim aquecendo a atmosfera e a superfície da Terra. Isso mantém o planeta quente o suficiente para permitir a prosperidade da vida.

2.1.1 Fatores externos

O clima global do planeta Terra varia naturalmente como resultado das alterações na energia recebida do sol. Existem muitos processos naturais externos que explicam a variação da energia solar recebida fazendo com que figue frio ou quente:

o Sol

Embora haja registros de observações de manchas solares que remontam a centenas de anos, só foi possível gravar instrumentalmente as alterações da emissão solar a partir da década de 1970. Com base nesses dados que foram obtidos até agora, foi observado que há um ciclo de aumentos e diminuições nas ocorrências das emissões solares, mas seu efeito sobre o aquecimento global é muito menor do que o efeito que pode ser atribuído aos gases de efeito de estufa.

Ciclos Milankovitch

Os padrões de movimento da Terra estão sempre mudando. Esta variação segue padrões cíclicos que levam milhares de anos para se repetir. O ponto que a Terra está no ciclo altera a distribuição da radiação solar e, portanto, o resfriamento ou aquecimento em diferentes partes do mundo. Os ciclos de Milankovitch relacionam o movimento da Terra ao efeito que este movimento tem sobre o clima da Terra. Existem 3 três ciclos de Milankovitch:

o Excentricidade (órbita)

A excentricidade é a mudança na órbita da Terra em torno do Sol. O caminho que a Terra leva ao redor do Sol varia em sua "circularidade": O caminho da Terra em torno do Sol é às vezes quase circular e às vezes mais elíptico. A excentricidade é a razão entre a distância máxima e a mínima da Terra em relação ao Sol. Uma maior excentricidade é indicativa de um caminho mais elíptico em torno do Sol.

Obliquidade (inclinação)

A obliquidade é a mudança na inclinação do eixo da Terra. A inclinação varia de pouco mais de 2°, com valores que variam entre 22° e 24°. Essa alteração afeta a quantidade de radiação solar recebida pelas latitudes mais altas. Maior inclinação resulta em mais radiação solar, sendo recebida em latitudes mais altas durante o verão, enquanto menor inclinação resulta em menos radiação solar, sendo recebida em latitudes mais altas durante o verão.

o Precessão (oscilação)

A precessão refere-se às mudanças na posição da Terra em sua órbita em torno do Sol no momento de equinócios e solstícios. Isto afeta a quantidade de radiação solar recebida naquela parte do planeta e afeta o clima da região.

2.1.2 Fatores Internos

• A interação oceano-atmosfera

A forma que o oceano e a atmosfera interagem um com o outro também é outro fator importante que influencia o clima da terra. El Niño e La Niña são bons exemplos.

Os fenômenos "El Niño" e "La Niña" são mudanças na temperatura da água de partes do Oceano Pacífico. A mudança da temperatura das águas influencia a intensidade dos Ventos Alísios, que pode fazer com que massas de água quente e massas de ar também se desloquem no Pacífico de forma diferente dos registros das médias históricas.

Vulcanismo

Vulcões podem afetar as mudanças climáticas. Durante grandes explosivas erupções, enormes quantidades de gás vulcânico, gotículas de aerossol e cinzas são injetadas na estratosfera. As cinzas ejetadas caem rapidamente da estratosfera (a maior parte é removida em dias ou semanas) e têm pouco impacto nas alterações climáticas. Mas gases vulcânicos, como o dióxido de enxofre podem causar arrefecimento global, enquanto o dióxido de carbono proveniente das atividades vulcânicas, um gás de efeito estufa, tem potencial para promover o aquecimento global.

Sobre o aquecimento global, não há dúvida entre os cientistas de gás vulcânico que as emissões antropogênicas de CO₂ são superiores às emissões globais de CO₂ vulcânicas (Gerlach, 2011).

2.2 Causas antropogênicas das alterações climáticas

À medida que as sociedades humanas se desenvolvem elas produzem mais Gases de Efeito Estufa (GEE) os quais serão liberados na atmosfera, o efeito estufa vai se tornando mais forte. Mais calor é acumulado e o clima da Terra começa a se alterar de forma anormal.

Os GEE incluem o vapor de água, dióxido de carbono e outros gases como o metano e o óxido nitroso. O dióxido de carbono (CO_2) é o gás de efeito estufa mais importante depois do vapor de água e contribui fortemente para o efeito estufa. Desde a Revolução Industrial, que começou no século XVIII, a quantidade de CO_2 na atmosfera aumentou em cerca de 40 por cento. A concentração de CO_2 na atmosfera da Terra é maior agora do que em qualquer outro momento nos últimos 800.000 anos e deve continuar aumentando, segundo o IPCC (2007).

As alterações do clima global observadas nos últimos anos e aquelas previstas para o próximo século, são principalmente consideradas como o resultado do comportamento humano, desde a revolução industrial que se iniciou no final do século XIX.

A atividade humana está alterando a quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera de três maneiras importantes:

- Queima de combustíveis fósseis;
- Desmatamento:
- Indiretamente através do crescimento da população mundial e a crescente necessidade de alimento, gado e energia.

3. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA ATUAL E FUTURA

3.1 Modelos climáticos

3.1.1 Descrição dos cenários de GEE

Os cenários de emissões de GEE geralmente denominados SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) foram publicados em 2001 no terceiro relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) e foram igualmente a base dos trabalhos do quarto relatório de avaliação do IPCC de 2007. Eles equivalem a quatro evoluções futuras possíveis de emissões de gases de efeito estufa. Dois dos cenários dão mais ênfase às riquezas materiais (letra A) e os outros dois são mais voltados para a sustentabilidade e a equidade (letra B). Além disso, dois cenários enfatizam a globalização (número 1) e os outros dois o nível regional (número 2). Desta forma, os cenários possíveis são os seguintes:

- A1: mundo globalizado homogêneo (tendência do mercado); o qual possui três cenários:
 A1B (cenário de estabilização), A1F (máximo uso de combustível fóssil), A1T utilização predominante de combustíveis não-fósseis;
- A2: mundo regionalizado heterogêneo (incompatibilidade das civilizações) e forte atividade econômica:
- B1: mundo globalizado marcado por políticas voltadas para a sustentabilidade e a equidade (desenvolvimento sustentável);
- B2: mundo regionalizado marcado por políticas voltadas para a sustentabilidade e a equidade (mistura da zona verde).

Os cenários do IPCC considerados no presente estudo foram o A1B e o A2 para as narrativas do modelo global, e o A2 e B2 para as narrativas do modelo regional.

3.1.2 Modelos climáticos e dados observacionais

Neste estudo foram utilizados dois modelos climáticos: um global e outro regional, o primeiro determina os efeitos em grande escala de evolução das concentrações de GEE, das erupções vulcânicas, etc. sobre o clima mundial. O segundo permite aumentar a resolução horizontal e vertical do modelo global para uma área de interesse menor, ou seja, as simulações regionais reproduzem de maneira mais refinada as grandes tendências das simulações geradas a partir dos modelos globais.

Além dos dois modelos climáticos também foram considerados dados meteorológicos observacionais da região para que fosse possível fazer a caracterização do clima atual.

Conforme descrito no AMB-1, o modelo climático global usado neste estudo é o CGCM3 proveniente do *Canadian Center for Climate Modeling and Analysis* e o regional é HadRM3P do *Hadley Centre*. Os dados observacionais foram obtidos do *Climatic Research Unit (CRU)*.

As Figuras 3.1, 3.2 e 3.3 apresentam o domínio dos dados extraídos dos modelos global e regional e dos dados do CRU, respectivamente.

O domínio dos dados extraídos do modelo global do CGCM está apresentado em azul e o ponto do grid localizado mais próximo da região de Curitiba está em destaque na Figura 3.1.

Vale salientar que neste estudo foram extraídos e avaliados os dados das cinco execuções (Runs) do modelo Global para o ponto de grid identificado.

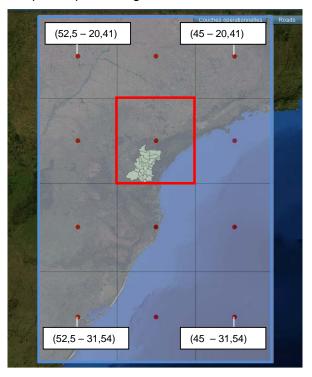


Figura 3.1: Grid do modelo global do CGCM

O domínio dos dados extraídos do modelo regional HadRM3P está apresentado em azul na Figura 3.2 e os pontos de *grids* localizados na região de Curitiba cujos dados foram extraídos estão em destaque. As longitudes e as latitudes (valores negativos) dos grids das extremidades do domínio extraído também estão apresentadas nesta Figura. Para avaliar as previsões do modelo para a região foi feita a média dos valores extraídos para os 16 pontos identificados.

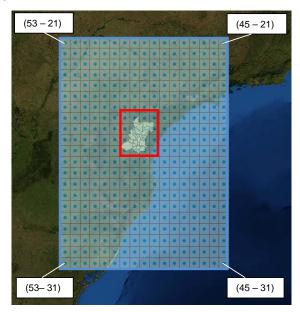


Figura 3.2: Grid do modelo regional HadRM3P

Os dois grids em destaque na Figura 3.3 são os que foram considerados para extrair os dados observacionais do CRU referentes à cidade de Curitiba. As longitudes e as latitudes (valores negativos) dos grids das extremidades do domínio extraído também estão apresentadas nesta Figura. Foi feita a média dos dados extraídos para avaliar os dados observacionais da região.

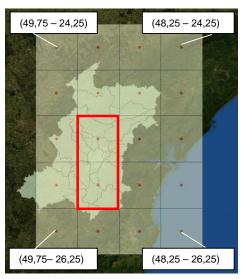


Figura 3.3: Grid dos dados do CRU

A Tabela 3.1 apresenta as séries de dados avaliadas para os modelos global e regional assim como dos dados observacionais. Verifica-se que o período futuro de 2071 a 2100 é comum aos dois modelos climáticos, período para o qual o modelo regional foi rodado na região pela equipe do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Tabela 3.1: Séries de dados avaliadas

Modelo/Dados	Período		
	Atual (referência)	Futuro	
Global	1961 – 2000	2010 - 2100	
Regional	1961 – 1990	2071 - 2100	
Observacionais	1961 - 2009	-	

3.2 Caracterização do clima atual

O estudo das variações climáticas passadas e atuais ajuda a melhor compreender as eventuais modificações futuras. As análises das temperaturas e precipitações durante o século XX mostram que o clima sofreu grandes mudanças.

A seguir são realizadas comparações entre os dados dos modelos climáticos e os dados observacionais para as variáveis temperatura e precipitação.

3.2.1 Temperatura

A Figura 3.4 apresenta as médias mensais de temperatura para o período atual (1961 a 1990) usando os dados extraídos dos modelos global CGCM3, das cinco diferentes execuções (*Runs*), e regional (HadRM3P) e do CRU. A avaliação dos dados apresentados permite afirmar que os dados do modelo regional representam melhor o clima atual que o modelo global, isto é, os dados de temperatura do modelo regional em relação aos dados observacionais apresentam grau adequado de concordância.

Ciclo anual das temperaturas (Clima atual 1961-1990) 25 CRU 20 Temperatura (°C) R1 15 R2 R3 10 R4 5 **-R**5 0 Rmécio Fev Abr ادر Mar Mai Jun Ago Set. Out Nov Dez Jan HacRM3P Mês

Figura 3.4: Médias mensais de temperatura (1961-1990) a partir dos dados do CRU, do CGCM3 e do HadRM3P

A Figura 3.5 apresenta a evolução das temperaturas médias anuais para o período de 1961 a 2009, observa-se nitidamente que as temperaturas médias vêm aumentando ano a ano, corroborando com as observações feitas no relatório do IPCC (2007). A temperatura média anual em 1961 foi de 18,28 °C e a de 2009 foi de 19,41 °C, ou seja, houve um aumento de mais de 1 grau Celsius no período.

De acordo com o IPCC (2007), as alterações da temperatura da superfície no Brasil variaram entre 0 a 2 °C para o período de 1901 a 2005 e de 0 a 0,7 °C para o período de 1979 a 2005 com aquecimento mais significativo no sudeste do Brasil.

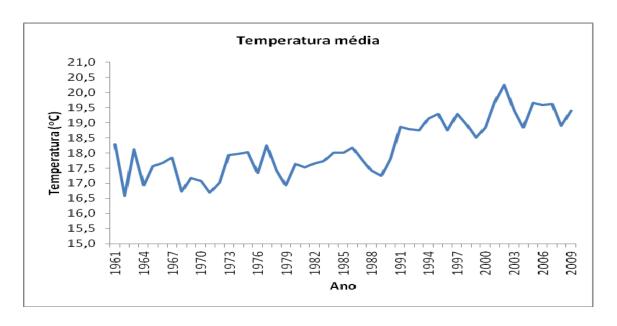


Figura 3.5: Evolução das temperaturas médias anuais para o período de 1961 a 2009

A Figura 3.6 apresenta a evolução das temperaturas sazonais para o período de 1961 a 2009 assim como as respectivas curvas de tendência, elaborada a partir dos dados observacionais dos dois pontos de grid situados na região de Curitiba. Verifica-se um aumento significativo das médias sazonais de temperatura a partir dos anos 90 para todas as estações do ano. Vale salientar que por convenção, os meses adotados para o verão são: dezembro, janeiro e fevereiro (DJF); para o outono: março, abril e maio (MAM); para o inverno: junho, julho e agosto (JJA) e para a primavera: setembro, outubro e novembro (SON).

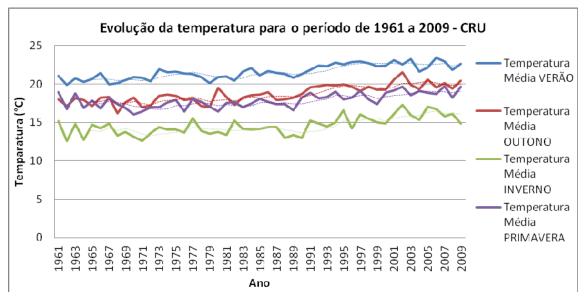


Figura 3.6: Evolução das temperaturas sazonais de 1961 a 2009, a partir de dados do CRU

3.2.2 Precipitação

A Figura 3.7 apresenta as normais de precipitação para o período de 1961 a 1990 a partir dos dados do CRU, das diferentes execuções (*Runs*) para o clima atual do modelo global (CGCM3) assim como as simulações obtidas a partir do modelo regional (HadRM3). Verifica-se que o ciclo anual é bem representado pelos modelos climáticos e os dados do CRU. No entanto, contrariamente ao observado para a variável temperatura, não se observa um grau adequado de concordância entre os dados avaliados.

Ciclo anual das precipitações (Clima atual 1961-1990) 250 CRU 200 Precipitação (mm) R1 150 R2 R3 100 R4 50 **R**5 0 R médio Jan Fev Mar Abr Mai Jun Jul Ago Set Out Nov HadRM3P Mês

Figura 3.7: Médias mensais de precipitação (1961-1990) a partir dos dados do CRU, do CGCM3 e do HadRM3P

A Figura 3.8 apresenta a evolução da soma das precipitações para o período de 1961 a 2009. Os dados mostram um acréscimo nas precipitações totais ao longo dos anos o que corrobora com as conclusões do relatório do IPCC (2007) para o sul do Brasil e também com os estudos realizados por Groisman et al. (2005) e Marengo et al. (2009).

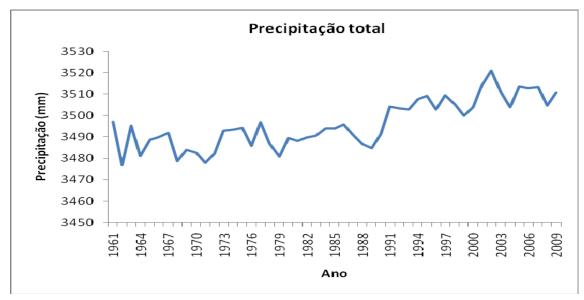


Figura 3.8: Evolução da soma das precipitações anuais para o período de 1961 a 2009, a partir de dados do CRU

A Figura 3.9 apresenta a evolução das precipitações sazonais para o período de 1961 a 2009, assim como as respectivas curvas de tendência. Os dados apresentados nesta Figura corroboram com o estudo realizado por Bombardi (2008) que cita que a intensa atividade convectiva e circulação de grande escala durante o verão austral sobre a América do Sul Tropical estão associadas ao regime de monções da América do Sul. A monção causa fortes chuvas durante o verão, conforme evidenciado nesta Figura. A partir dos anos 90 observa-se a presença de forte El Niño.

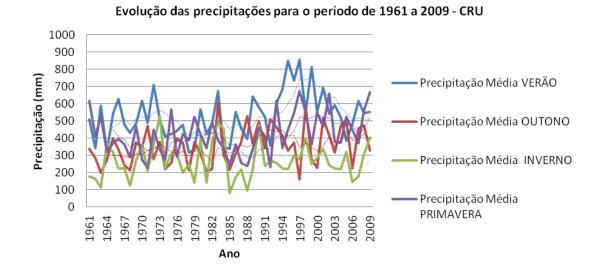


Figura 3.9: Evolução das precipitações sazonais de 1961 a 2009, a partir de dados do CRU

3.3 Caracterização do clima futuro

Seguindo a mesma metodologia utilizada para avaliar o clima atual, a seguir serão avaliados os dados de temperatura e precipitação gerados pelos modelos global e regional.

3.3.1 Temperatura

3.3.1.1 Modelo global CGCM3

A Figura 3.10 apresenta os deltas de temperatura obtidos a partir dos dados do modelo global CGCM3 para a RMC e mostram a previsão de aquecimento para a região. Conforme antecipado, o aquecimento é mais significativo para o cenário A2 (linhas em vermelho) que para o cenário A1B (linhas em azul) visto que o cenário A2 prevê maiores emissões de GEE. Os resultados das cinco execuções (*Runs*) do modelo são menos robustos para os meses de setembro e outubro.

Anomalias de temperatura 1961-1990 vs 2071-2100 para o ponto do CGCM sobre Curitiba

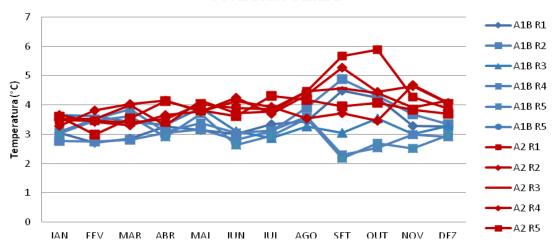


Figura 3.10: Anomalias mensais das temperaturas simuladas pelo modelo CGCM3

A Figura 3.11 apresenta as anomalias sazonais das temperaturas para os dados do CGCM3. De maneira geral, os aumentos de temperatura previstos pelas 5 execuções são da ordem de 3 e 4 graus Celsius para os cenários A1B e A2, respectivamente, para as estações verão, outono e inverno. O modelo também prevê um aquecimento para a primavera, mas as variações não apresentam um padrão definido no período de 2071 a 2100.

Projeções de temperatura para o cenário A1B usando 21 modelos globais para a América do Sul preveem aumentos de temperatura que são coerentes aos previstos neste estudo (Christiansen *et al.*, 2007). Metade dos modelos utilizados prevê aumentos de temperatura que variam entre 2,3 e 3,11°C para o fim do século XXI.

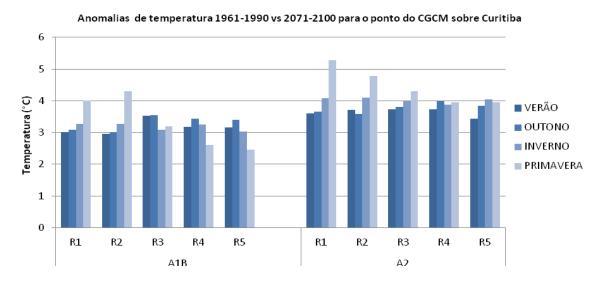


Figura 3.11: Anomalias sazonais das temperaturas modeladas para as cinco execuções do modelo global CGCM3

3.3.1.1 Modelo regional HadRM3P

A Figura 3.12 apresenta os deltas de temperatura obtidos a partir dos dados de 1961-1990 versus 2071-2100. Verifica-se que exceto para o mês de outubro, o cenário A2 prevê um aquecimento mais significativo do que o cenário B2.

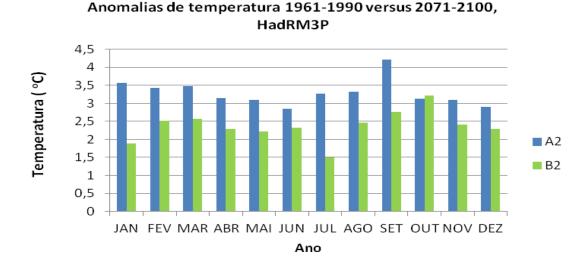


Figura 3.12: Anomalias mensais das temperaturas simuladas pelo modelo regional HadRM3P

A Figura 3.13 apresenta as anomalias entre as temperaturas sazonais do clima atual (1961-1990) em relação às médias sazonais das projeções de clima futuro (2071-2100). As tendências ao aquecimento no final do século variam entre 2 e 4 graus, em concordância com os resultados obtidos por Marengo *et al.*, 2009a, o cenário A2 prevê um aquecimento mais significativo do que o B2.

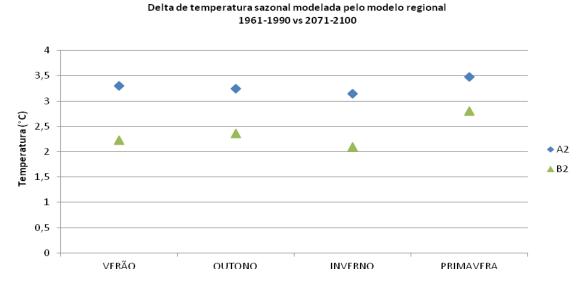


Figura 3.13: Anomalias sazonais das temperaturas simulados pelo modelo regional HadRM3P

Estes resultados são coerentes com outros estudos realizados na América do Sul usando modelos regionais (Nuñez *et al.*, 2008; Marengo *et al.*, 2009a) que prevêem um aquecimento para o verão que varia entre 2 e 4 °C e para o inverno entre 3 e 5 °C.

A Figura 3.14 apresenta o perfil de temperatura para a cidade de Curitiba para o período de referência e também para o cenário futuro A2.

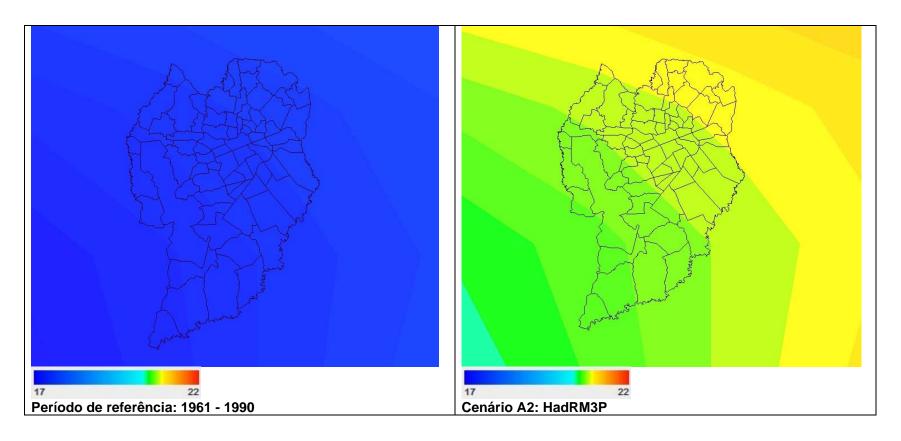


Figura 3.14: Perfil de temperatura para a cidade de Curitiba

3.3.2 Precipitação

3.3.2.1 Modelo global CGCM3

As incertezas relacionadas às projeções usando modelos climáticos para a variável precipitação são mais significativas do que as relacionadas à variável temperatura.

A Figura 3.15 mostra o alto nível de incerteza das simulações para a variável precipitação para o final do século XXI, segundo o modelo CGCM3. As 5 execuções (*Runs*) cobrem um grande espectro de tendências possíveis. Contudo, o inverno parece ser mais afetado por uma redução das precipitações. De maneira geral, segundo as simulações do CGCM3 sobre Curitiba, a região não parece ser afetada por uma ausência de precipitação. Isto não quer dizer que não poderá ocorrer períodos de escassez. Os estudos climatológicos regionais sobre os extremos climáticos (Nobre *et al.*, 2010) indicam que as mudanças nos extremos são compatíveis com o aquecimento global: as tendências são particularmente positivas para as noites quentes e são negativas para o surgimento de noites frias. O estudo mostra também uma tendência positiva para a ocorrência de fortes precipitações e de dias secos consecutivos.

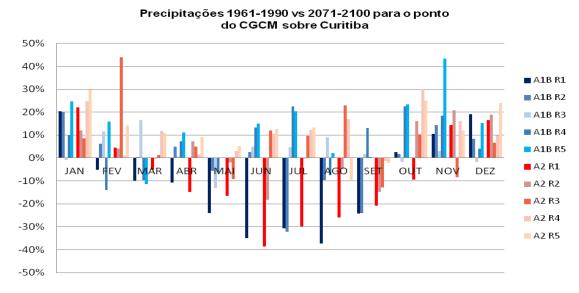


Figura 3.15: Delta das precipitações mensais simuladas pelo modelo global CGCM3

Os dados apresentados na Figura 3.16 que apresenta os deltas das precipitações sazonais confirmam as incertezas relacionadas às projeções de precipitações para o futuro para as cinco execuções do modelo CGCM3. Verifica-se uma concordância nas modelagens apenas para o verão, para as demais estações, as projeções não seguem um padrão bem definido para nenhum dos cenários avaliados.

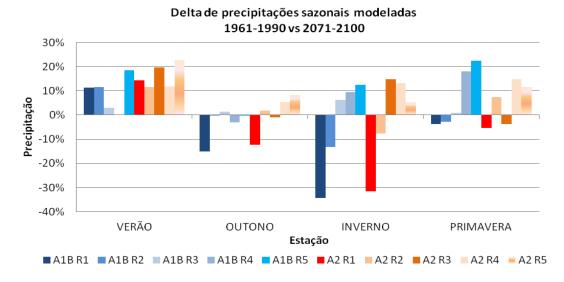


Figura 3.16: Variações das precipitações sazonais simuladas pelo CGCM3

3.3.2.1 Modelo regional HadRM3P

A Figura 3.17 apresenta os deltas das precipitações modeladas pelo modelo regional HadRM3P. De maneira geral, os dois cenários avaliados preveem maiores taxas de precipitação, exceto para os meses de fevereiro (cenário B2), julho e agosto. Verifica-se uma concordância adequada entre os dois cenários avaliados, apesar do cenário A2 prever maiores precipitações que o cenário B2.

Delta das precipitações modeladas pelo modelo regional

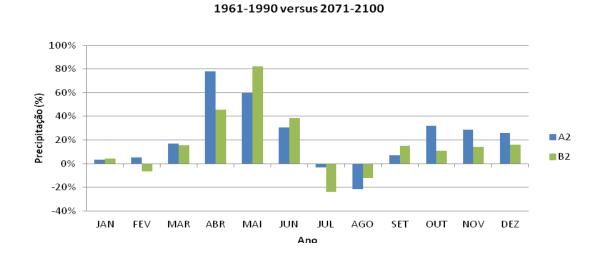


Figura 3.17: Delta das precipitações mensais modeladas pelo modelo regional HadRM3P

Na Figura 3.18 que apresenta os deltas das precipitações sazonais modelados pelo modelo regional, similarmente ao observado por Marengo et al. (2009a), são previstas menores taxas de precipitação para o inverno. Mesmo se as previsões demonstram que as precipitações em julho e agosto serão mais baixas no período futuro em relação ao do período de referência, as maiores precipitações no mês de junho fazem com que o volume total previsto para o inverno no futuro seja superior ao do período de referência.

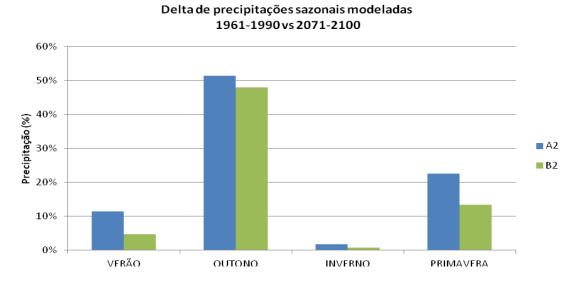


Figura 3.18: Variações das precipitações sazonais simuladas pelo HadRM3P

4.1 Descrição da região de estudo

A região de estudo que motivou a realização do presente trabalho é a bacia do Alto Iguaçu. Esta abrange 15 municípios da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), conforme apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Municípios da RMC que fazem parte da bacia do Alto Iguaçu

Município	População*
Almirante Tamandaré	103.204
Araucária	119.123
Balsa Nova	11.300
Campina Grande do Sul	38.769
Campo Largo	112.377
Campo Magro	24.843
Colombo	212.967
Contenda	15.891
Curitiba	1.751.907
Fazenda Rio Grande	81.675
Mandirituba	22.220
Pinhais	117.008
Piraquara	93.207
Quatro Barras	19.851
São José dos Pinhais	264.210
TOTAL	2.988.552

^{*} Fonte: (IBGE, 2010)

Segundo o censo demográfico do IBGE (2010), a população total destes municípios é de 2.988.552 habitantes, com uma densidade populacional média de aproximadamente 500 hab/km². Curitiba, sendo o município mais populoso, possui uma densidade populacional de 4.052 hab/km².

A Figura 4.1 ilustra a área de abrangência da bacia do Alto Iguaçu, as sub-bacias hidrográficas dos seus principais afluentes, os respectivos municípios abrangidos pela bacia e as manchas de ocupação urbana. Esta Figura foi produzida a partir de dados em formato SIG (Sistema de Informação Geográfico) adquiridos junto ao Instituto de Águas do Paraná (2012). A Figura 4.2 apresenta o mapa hipsiométrico indicando o sentido preferencial do escoamento superficial da bacia estudada enquanto que a Figura 4.3 apresenta o mapa de declividade para fins ambientais de escoamento superficial. As características das rampas/vertentes podem ser visualizadas nas Figuras 4.4 e 4.5.

O mapa hipsométrico apresentado na Figura 4.2 e os mapas sobre as características das rampas/vertentes apresentados nas Figuras 4.4 e 4.5 mostram que a bacia hidrográfica do Alto Iguaçu assim como a região Curitiba possui um relevo acidentado.

Os municípios que estão completamente inseridos na bacia do Alto Iguaçu são os municípios de Pinhais, Curitiba, Araucária e Fazenda Rio Grande. Segundo a Figura 4.1, as sub-bacias mais urbanizadas da Bacia do Alto Iguaçu são as dos rios Belém, Atuba, Palmital, Padilhas, Passaúna e Barigui. O município com a maior mancha urbana na região de estudo é o de Curitiba.

Segundo o Relatório de Diagnóstico do Plano da Bacia do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira (SUDERHSA, 2007) a precipitação média anual na região de estudo é em torno de 1.400 mm. As precipitações pluviométricas ocorrem em todos os meses do ano, sendo os meses de dezembro e janeiro geralmente os mais chuvosos (com precipitação média entre 150 mm/mês a 190 mm/mês), e o mês de agosto o menos chuvoso (com precipitação média em torno de 80 mm/mês). A região de estudo apresenta uma rede de estações hidrométricas e pluviométricas relativamente densas.

A RMC apresenta uma ocupação desordenada do solo, segundo Garcias e Sanches (2009), direcionada principalmente para as regiões planas e várzeas de inundação dos rios da bacia do Alto Iguaçu, levando um número considerável de áreas urbanas a estarem sujeitas aos riscos das inundações.

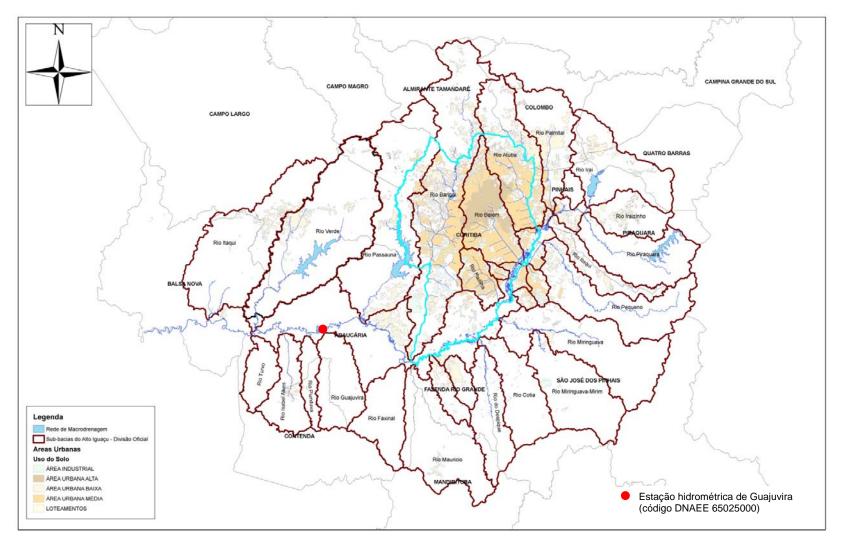
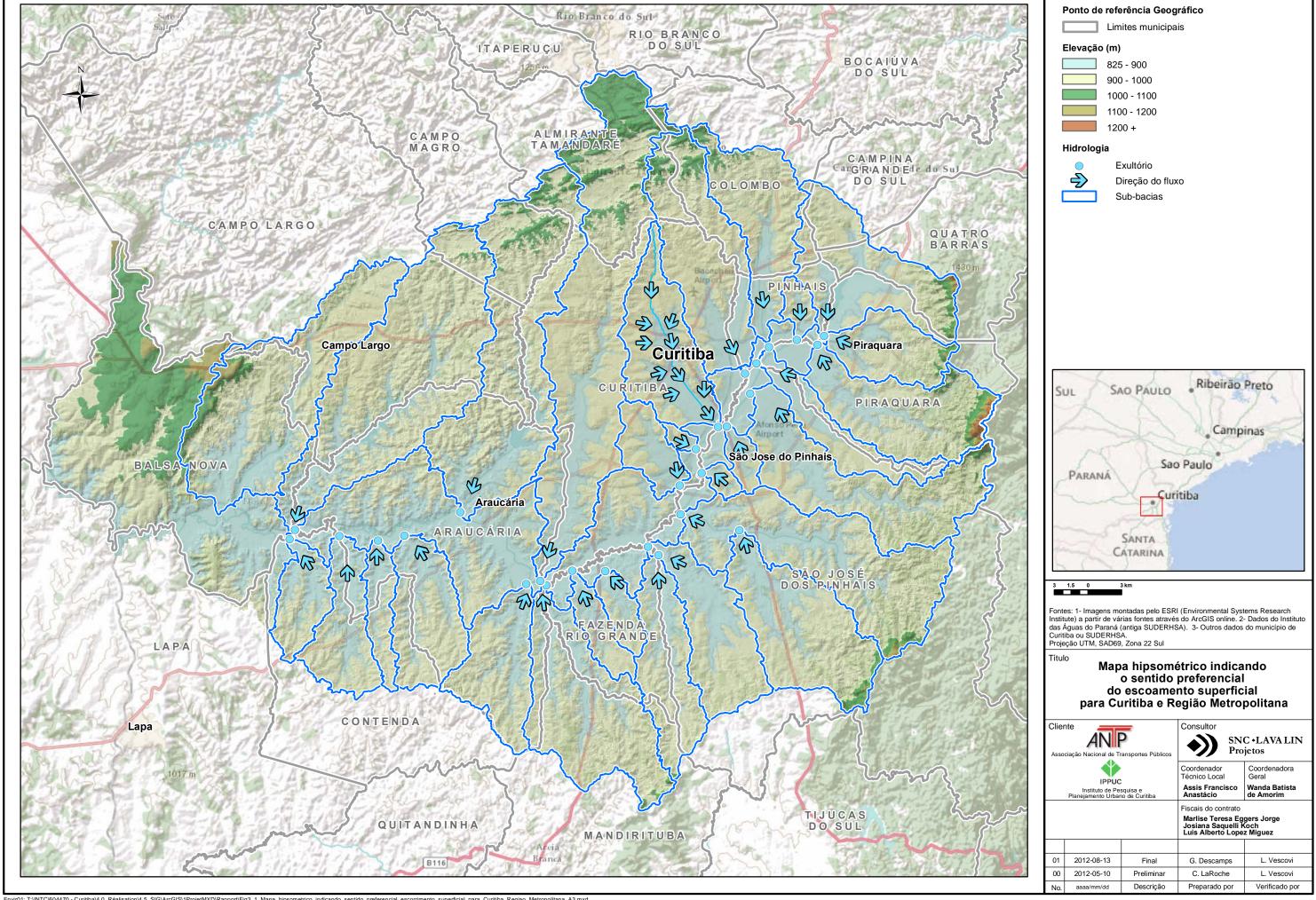
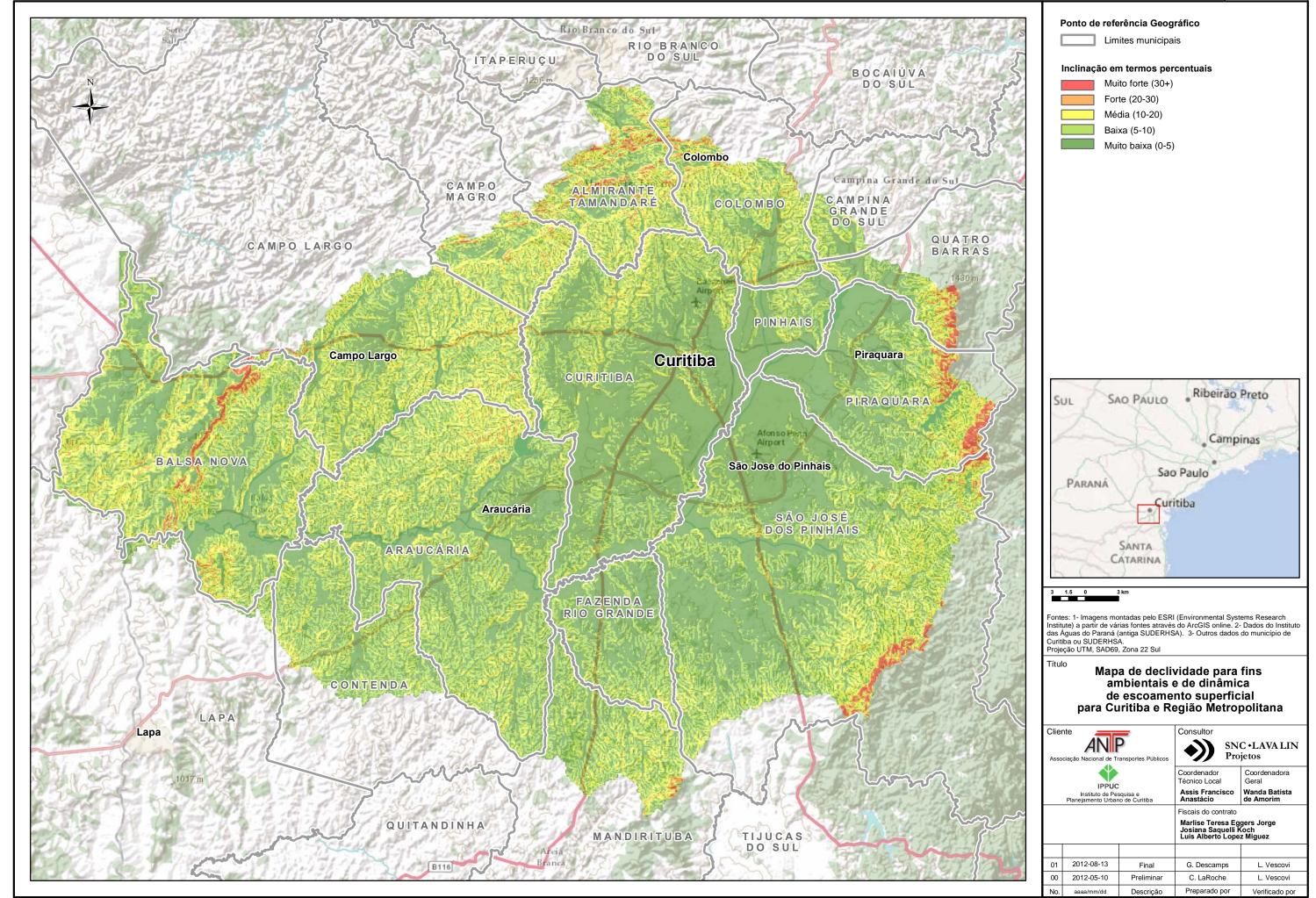
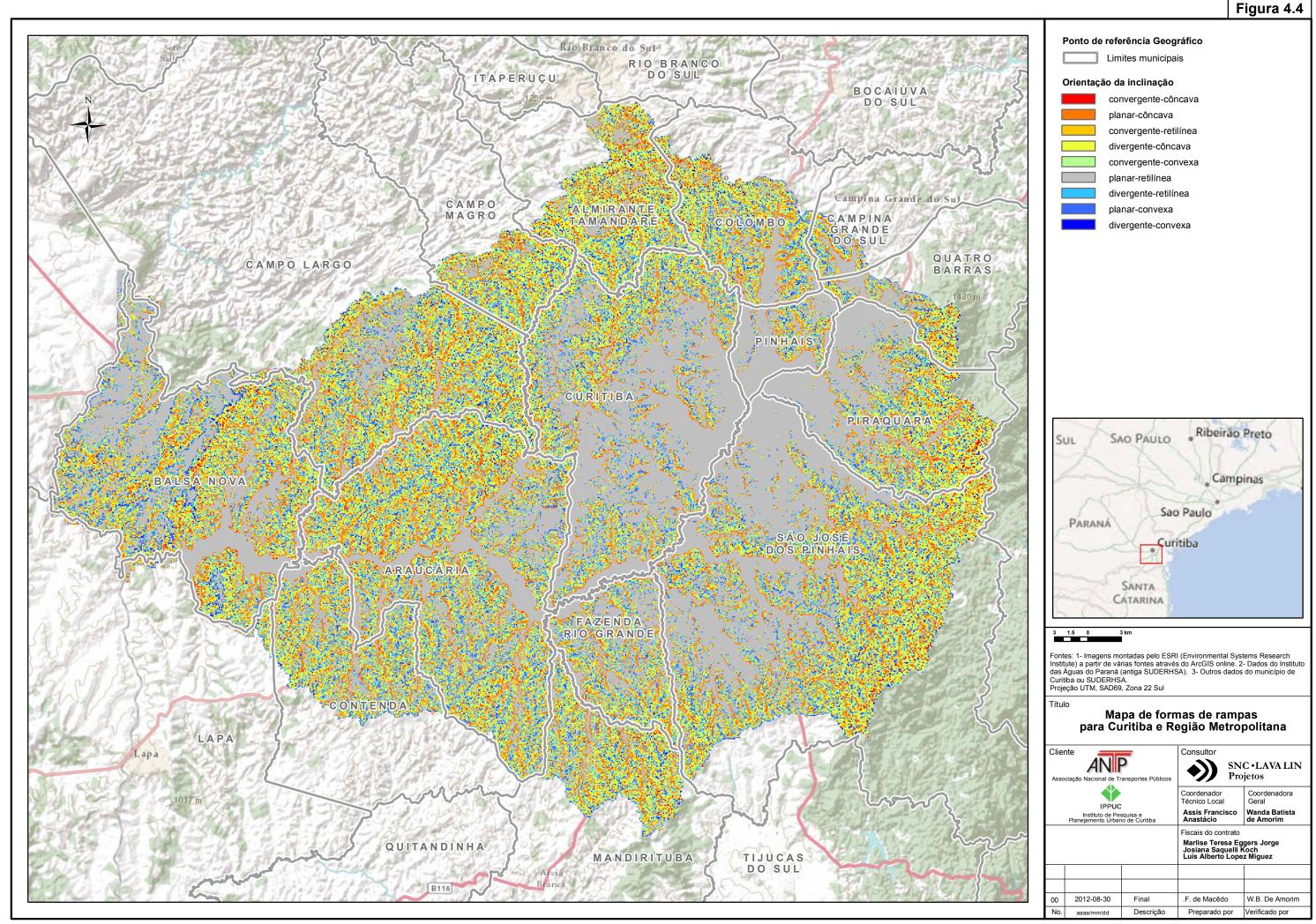


Figura 4.1: Região de Estudo (Fonte: Instituto das Águas do Paraná, 2012)







Plana(-1°)

SANTA CATARINA

IPPUC

Preliminar

Descrição

Fiscais do contrato

C. LaRoche

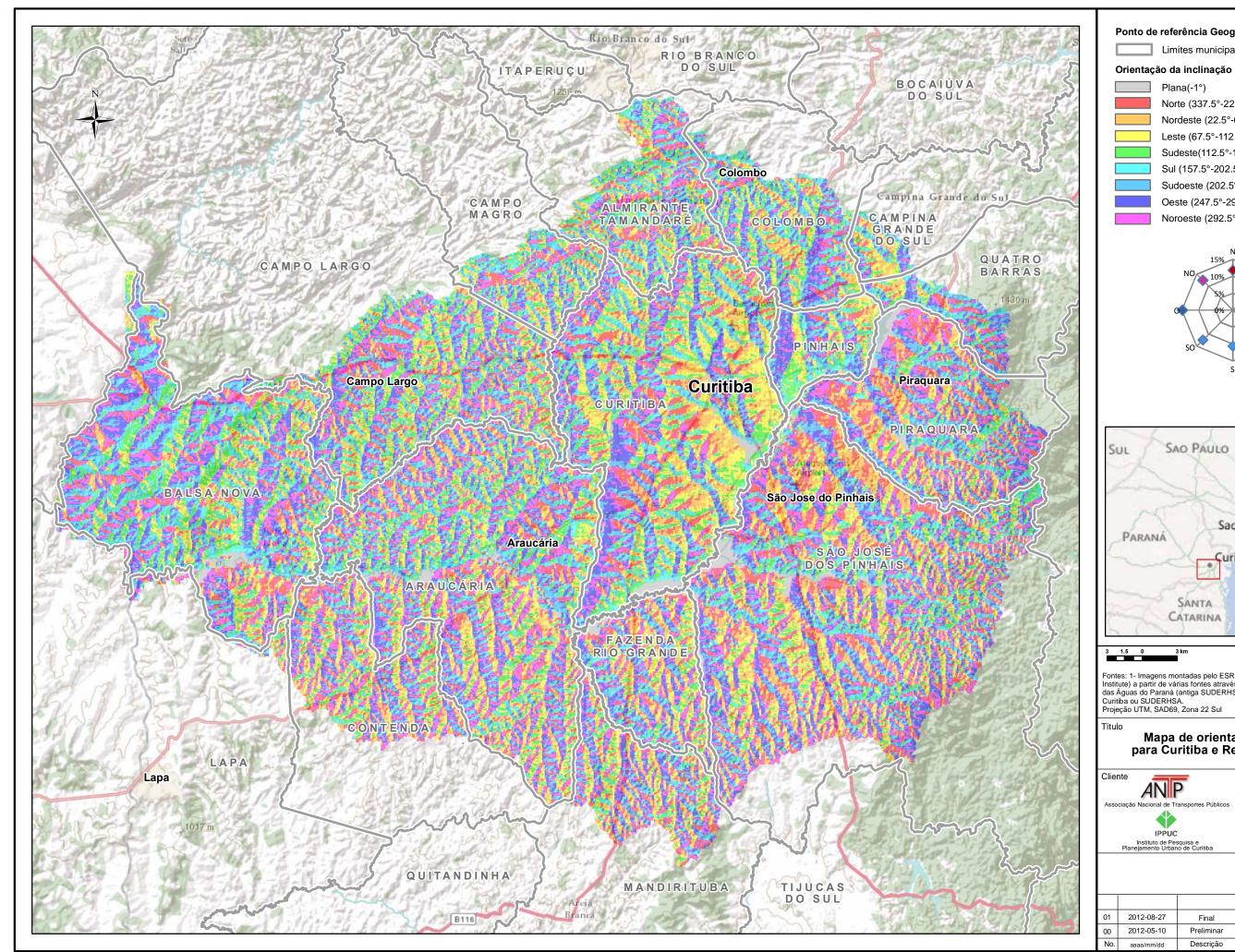
Preparado por

Marlise Teresa Eggers Jorge Josiana Saquelli Koch Luis Alberto Lopez Miguez

L. Vescovi

L. Vescovi

Verificado por



4.2 Disponibilidade de Recursos Hídricos

4.2.1 Ciclo Hidrológico Anual

A evolução na disponibilidade de recursos hídricos é avaliada com base no estudo hidrológico realizado para a Bacia do Alto Iguaçu, apresentado no relatório Ambiental 2 (AMB-2).

A projeção das séries pluviométricas dentro do contexto das mudanças climáticas foi feita utilizando o método dos deltas. Esta metodologia permite a utilização dos dados dos modelos climáticos (CGCM3 e Had3MP) extraídos para realizar os relatórios ambientais 1 e 2 (AMB-1 & 2) e consiste na utilização da diferença entre a média mensal de uma variável simulada por um modelo climático para um período de 30 anos no futuro e a média mensal da variável simulada pelo mesmo, durante o período histórico de referência (1961-1990) também de 30 anos.

Deve-se ter em mente dois pontos importantes: (1) que a tendência dos modelos climáticos (CGM3 e Had3MP) calculada durante o período de referência é mantida no futuro, o que pode não ser o caso uma vez que podem ocorrer variações na tendência e (2) que para a realização das séries climáticas futuras, a variabilidade e a distribuição dos extremos climáticos das precipitações se baseiam inteiramente nas observações do período de referência, mas pode ser que as características das precipitações sejam alteradas no clima futuro e que as mesmas impactem a hidrologia. Os valores médios mensais de precipitação para os cenários de mudanças climáticas estudados são apresentados no AMB-2.

Uma vez calculadas as séries de precipitação e chuvas intensas para as narrativas dos cenários climáticos aqui estudados, procedeu-se as simulações com o modelo hidrológico calibrado para a geração das respectivas séries de vazões e hidrogramas de cheias.

No presente estudo utilizou-se o modelo hidrológico HEC-HMS versão 3.5 (HEC, 2010) para simular os processos hidrológicos intervenientes a geração de escoamento superficial na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu.

A Figura 4.6 apresenta curvas de vazões médias mensais, derivadas das simulações com o modelo hidrológico para o cenário de referência e os cenários climáticos, ao nível da estação hidrométrica de Guajuvira (código DNAEE 65025000). Vale salientar que, conforme apresentado no Relatório AMB-2, esta estação é a mais representativa do regime hidrológico da região de estudo, uma vez que esta estação hidrométrica está mais a jusante na região de estudo, e, portanto representa um conjunto maior de áreas de drenagem. Os valores de vazões médias mensais são apresentados na Tabela 4.2. Ambos os cenários climáticos (período de 2071-2100) e o cenário de referência compreendem um período de 30 anos de simulação.

Segundo os resultados ilustrados na Figura 4.6, os cenários climáticos derivados do modelo climático global indicam uma redução média de até 8,7% nas vazões médias mensais entre os meses de abril e setembro, enquanto que os cenários climáticos derivados do modelo regional indicam um acréscimo de vazões médias mensais em todas as estações do ano. Para os seis meses mais chuvosos, aproximadamente entre os meses de outubro a março, os cenários do modelo global indicam um acréscimo de precipitações de até 19,2%, enquanto que os cenários derivados do modelo regional indicam um acréscimo de até 37,0% nas vazões médias mensais. Esses resultados evidenciam as incertezas relacionadas às mudanças climáticas.

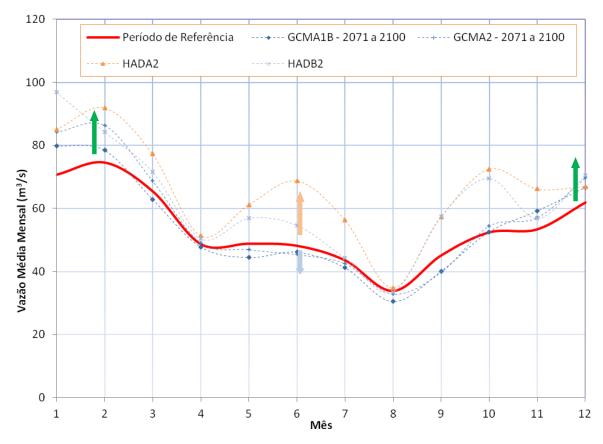


Figura 4.6: Vazões médias mensais simuladas pelo modelo hidrológico – Estação hidrométrica de Guajuvira (código DNAEE 65025000)

Tabela 4.2: Vazões médias mensais simuladas para os cenários climáticos (Período 2071-2100) – Estação hidrométrica de Guajuvira (código DNAEE 65025000)

Cenário Climático		Vazão Média Mensal (m³/s)								Vazão Média Anual				
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	(m ³ /s)
Período de Referência	Vazão	70,6	74,5	65,3	48,7	48,8	48,1	43,5	33,9	45,1	52,4	53,4	61,8	53,8
Modelo Global CCCma_cgcm3														
A4D	Vazão	79,9	78,5	62,9	47,8	44,4	46,2	41,3	30,5	40,1	52,6	59,2	66,7	54,2
A1B	Var. (*)	13,1%	5,3%	-3,7%	-1,7%	-8,9%	-4,1%	-5,2%	-10,0%	-11,2%	0,4%	11,0%	7,8%	-0,6%
A2	Vazão	84,2	86,4	68,7	49,1	46,9	45,3	42,5	32,9	39,7	54,4	57,1	69,7	56,4
AZ	Var. (*)	19,2%	16,0%	5,2%	0,9%	-3,9%	-5,8%	-2,3%	-2,9%	-12,0%	3,8%	6,9%	12,6%	3,1%
						Model	o Regiona	al HadRM	13P					
4.0	Vazão	85,1	91,9	77,3	51,3	61,1	68,7	56,4	34,7	57,3	72,5	66,2	66,9	65,8
A2	Var. (*)	20,4%	23,4%	18,3%	5,4%	25,2%	42,7%	29,6%	2,6%	27,0%	38,3%	24,1%	8,2%	22,1%
P2	Vazão	96,8	84,2	71,6	50,4	56,9	54,6	44,2	33,4	57,4	69,5	56,8	70,4	62,2
B2	Var. (*)	37,0%	13,1%	9,6%	3,6%	16,6%	13,5%	1,6%	-1,3%	27,3%	32,7%	6,5%	13,9%	14,5%

^(*) Acréscimo ou decréscimo com relação ao período de referência (1961 a 1990)

A Figura 4.7 apresenta um conjunto de curvas de permanência (representa o percentual do tempo em que um determinado valor é observado ou excedido) para o período de vazões diárias derivadas dos cenários climáticos simulados pelo modelo hidrológico para o período de 2071 a 2100. Os resultados obtidos através de simulação com modelo hidrológico calibrado e entradas dos modelos climáticos, apresentados nesta Figura, mostram que as vazões elevadas (150 a 250 m³/s) que ocorriam em aproximadamente 5% do tempo no período de referência vão ocorrer com frequência de aproximadamente 8% do tempo. Esta situação parece se repetir independentemente do cenário até vazões de 50m³/s. Para as vazões inferiores a 50 m³/s, os sinais se invertem principalmente para as realizações utilizando os dados do CGCM. Uma nítida diferença entre as realizações efetuadas com os dados do CGCM ou do Hadley é observada. Por exemplo, as vazões de 30m³/s aparecem de 60 a 70% do tempo com o CGCM e mais de 70% com o Hadley. Isto confirma as características de previsão de maiores precipitações pelo modelo do Hadley. Verifica-se que as realizações do Hadley sempre mostram vazões superiores, indicando que estas realizações fornecem os piores cenários de inundações.

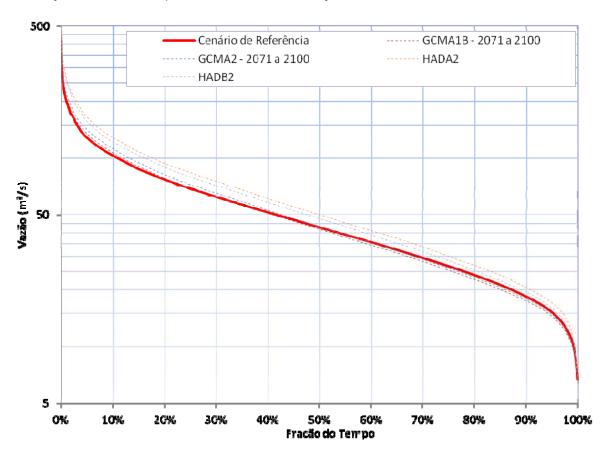


Figura 4.7: Curvas de permanência de vazões diárias simuladas pelo modelo hidrológico – Estação hidrométrica de Guajuvira (código DNAEE 65025000)

A Tabela 4.3 apresenta os prognósticos para cada cenário climático estudado no que diz respeito aos extremos anuais médios de vazões máximas e mínimas diárias. Os cenários climáticos derivados pelo modelo global CCCma_cgcm3 indicam um acréscimo de até 10,9% nas vazões máximas diárias, e um decréscimo de até 5,5% nas vazões mínimas diárias. Os resultados apresentados nesta Tabela são decorrentes das modelagens hidrológicas, cuja metodologia e resultados foram apresentados no AMB-2.

Os cenários climáticos derivados pelo modelo regional HadRM3P indicam um acréscimo nas vazões máximas e mínimas diárias de até 37,6% e 11,1%, respectivamente. Percebese que os prognósticos derivados do modelo regional tendem a apresentar uma distorção mais acentuada no regime hidrológico. Conforme discutido no relatório Ambiental I (AMB-1), o modelo regional prevê mais precipitações do que o global para a região.

Tabela 4.3: Valores extremos anuais médios segundo os cenários climáticos simulados pelo modelo hidrológico – Estação hidrométrica de Guajuvira (código DNAEE 65025000)

Cenário	Valores Extremos Anuais médios								
Climático	Vazão Máx	kima Diária	Vazão Mínima Diária						
Cilillatico	(m³/s)	Variação (*)	(m³/s)	Variação (*)					
Período de Referência	238,9	-	13,9	-					
	Modelo Global CCCma_cgcm3								
A1B	254,5	+6,5%	13,2	-5,5%					
A2	265,0	+10,9%	13,4	-3,6%					
Modelo Regional HadRM3P									
A2	328,9	+37,6%	15,5	11,1%					
B2	306,3	+28,2%	14,5	+4,0%					

^(*) Acréscimo ou decréscimo com relação ao período de referência (1961 a 1990)

4.2.2 Vazão Média de Estiagem

Uma análise das vazões características $Q_{7,10}$ foi efetuada para cada série de vazões simulada ao nível da estação hidrométrica de Guajuvira (código DNAEE 65025000). O parâmetro $Q_{7,10}$ representa a vazão mínima com média móvel de 7 dias e período de recorrência de 10 anos. Este parâmetro é normalmente utilizado para a caracterização da vazão média em períodos de estiagem.

As análises estatísticas para a determinação das vazões mínimas com recorrência de 10 anos foram efetuadas segundo a mesma metodologia apresentada no item 4.1.4 do relatório AMB-2. Na Tabela 4.4 são apresentadas as vazões $Q_{7,10}$ para cada cenário climático estudado assim como para o período de referência 1961-1990 (5,7 m³/s).

Dos resultados apresentados na Tabela 4.4, conclui-se que as mudanças climáticas, como representadas pelos modelos climáticos aqui estudados, terão um efeito relativamente pequeno sobre as vazões médias durante os períodos secos, comparativamente aos valores médios históricos. Constata-se que dentro do contexto das mudanças climáticas para o período de 2071 a 2100, o pior cenário de estiagem é o A1B, proveniente do modelo global, mas a ordem de grandeza independe do cenário considerado.

Tabela 4.4: Vazões características Q_{7.10}

Período de referência	1961-1990	Q _{7,10}	
T erroud de referencia	1901-1990	5,7 m ³ /s	
Modelo	Cenário Climático	Q _{7,10}	
Modelo Global	A1B	5,4 m ³ /s	
CCCma_cgcm3	A2	5,8 m ³ /s	
Modelo Regional	A2	6,7 m ³ /s	
HadRM3P	B2	5,6 m ³ /s	

^(*) Acréscimo ou decréscimo com relação ao período de referência (1961 a 1990)

4.3 Suscetibilidade a inundações

As áreas de risco de inundação apresentadas neste capítulo são as que foram geradas no AMB-2, onde todos os detalhes metodológicos são apresentados.

Com o objetivo de avaliar o impacto das mudanças climáticas, foram usados o modelo global canadense e modelo regional britânico para estabelecer os cenários futuros.

Para a região de Curitiba, o modelo regional prevê mais precipitações que o modelo global canadense. Consequentemente, em termos de delimitação de zonas de inundação, o cenário do modelo regional é o que representa a pior situação para a região. A Figura 4.8 apresenta os limites das áreas de risco de inundação (considerando recorrência de 50 anos) para o período de referência (1961-1990) e as Figuras 4.9 e 4.10 apresentam os limites para o período de 2071-2100 considerando o cenário A2 do CGCM e do Had3MP, respectivamente.

Visto que a visualização gráfica é prejudicada devido ao fato das diferenças entre os cenários serem sutis, a Tabela 4.5 apresenta um comparativo da extensão das áreas de inundação entre o cenário de referência e os cenários climáticos futuros, calculadas com o auxílio do programa ArcVIEW, para a bacia do Alto Iguaçu. Verifica-se que o modelo regional prevê um aumento mais significativo na extensão das áreas com risco de inundação do que o modelo regional. Além disso, o cenário A2 do modelo regional prevê uma maior extensão das áreas com risco de inundação.

Tabela 4.5: Extensão das áreas com risco de inundação para a Bacia do Alto Iguaçu.

Cenário	Recorrência	de 25 Anos	Recorrência de 50 Anos						
Climático	Área (km²)	Variação (*)	Área (km²)	Variação (*)					
Cenário de Referência	203,19	-	206,97	-					
	Modelo Global CCCma cgcm3								
A2	204,64	+0,7%	207,92	+0,5%					
A1B	207,01	+1,8%	210,41	+1,7%					
Modelo Regional HadRM3P									
A2	213,74	+5,2%	218,50	+5,6%					
B2	210,28	+3,5%	214,14	+3,5%					

^(*) Acréscimo ou decréscimo com relação ao período de referência (1961 a 1990)

As variações previstas para os dois períodos de recorrência avaliados são similares para cada um dos modelos avaliados, variando apenas em função do cenário considerado.

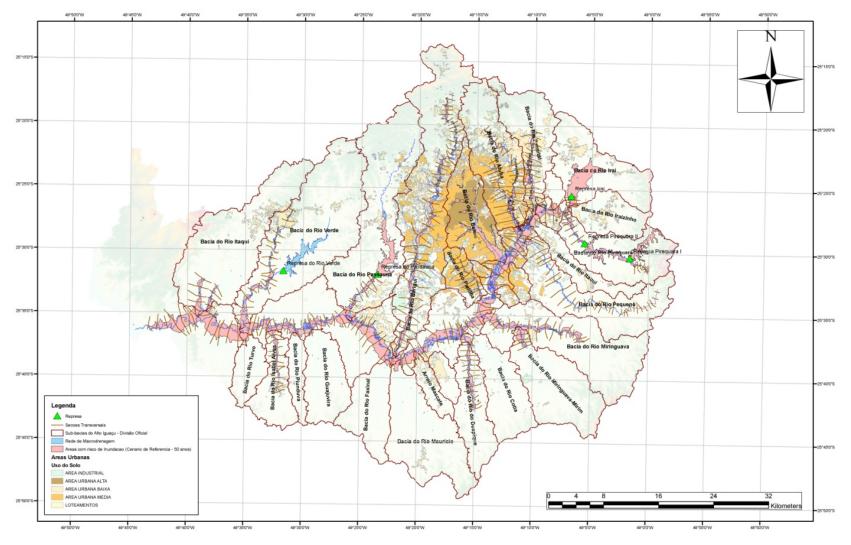


Figura 4.8: Áreas com risco de inundação da Bacia Alto Iguaçu – Cenário de Referência 1961-1990 – Recorrência 50 anos

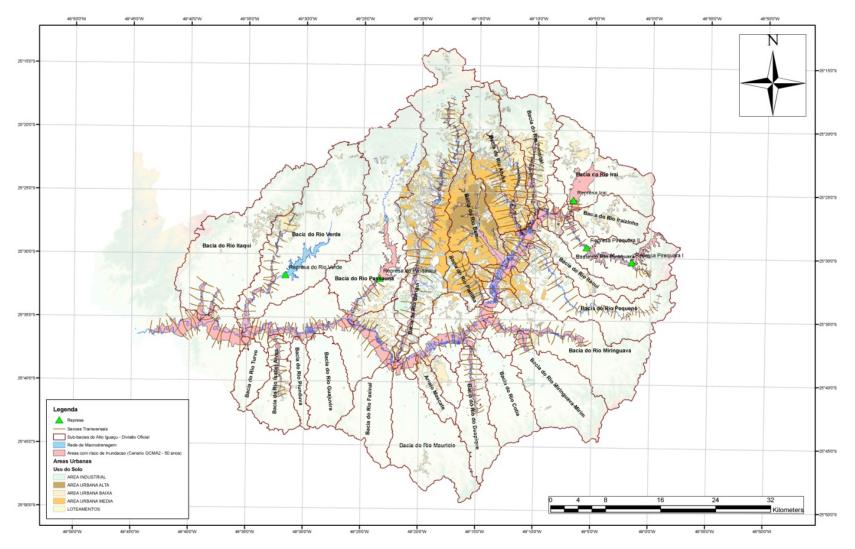


Figura 4.9: Áreas com risco de inundação da Bacia Alto Iguaçu – Cenário CGCM3 – Recorrência 50 anos

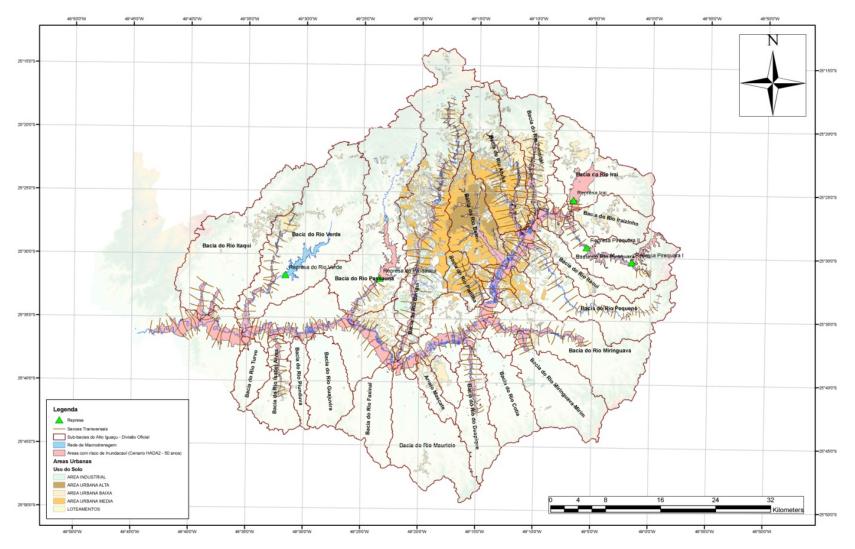


Figura 4.10: Áreas com risco de inundação da Bacia Alto Iguaçu – Cenário HADA2 – Recorrência 50 anos

4.4 Suscetibilidade a erosão

No Relatório AMB-3, a suscetibilidade à erosão foi avaliada de maneira qualitativa através da realização de uma classificação com base na propensão que uma dada formação apresenta de se erodir, principalmente por escoamentos superficiais. Neste Relatório é feita uma análise quantitativa para determinar as áreas com maior suscetibilidade à erosão através do uso de uma metodologia que permite o cruzamento de informações relativas aos aspectos geomorfológicos, topográficos e de potencial erosivo das precipitações.

4.4.1 Estimativa da erodibilidade dos solos na Bacia do Alto Iguaçu

A erosão acelerada dos solos é um problema causador de impactos ambientais e econômicos relevantes e que pode estar relacionado tanto a causas naturais como antrópicas. Planos de conservação de solos necessitam de mapas de risco de ocorrência do fenômeno, que podem ser criados a partir de modelos matemáticos de erosão do solo. Estes modelos levam em consideração os principais fatores intervenientes a erosão do solo tais como fatores climáticos, propriedades dos solos, topografia e cobertura do solo. Entre os modelos amplamente utilizados está a Equação Universal de Perda dos Solos (*Universal Soil Loss Equation* – USLE) proposta por Wischmeier et al. (1971).

As estimativas de suceptibilidade a erosão dos solos que compõem a Bacia do Alto Iguaçu foram efetuadas através da aplicação do método USLE Revisado (*Revised Universal Loss Equation* – RUSLE) em ambiente GIS. O método RUSLE equaciona os principais fatores intervenientes a erodibilidade dos solos tais como clima, propriedades do solo, topografia, cobertura vegetal e práticas de manejo do solo.

A equação do método RUSLE é escrita da seguinte forma:

 $A = R \times K \times LS \times C \times P$ (Equação 1)

Onde:

A = perda de solo calculada por unidade de área (ton x ha-1 x ano-1);

 $R_{anual} = fator de erosividade anual médio das chuva (MJ x mm x ha-1 x ano-1);$

K = fator de erodibilidade do solo (ton x h x MJ-1 x mm-1);

LS = fator topográfico (adimensional);

C = fator de cobertura e ocupação do solo (adimensional);

P = fator de prática de conservação do solo (adimensional).

No presente trabalho o Fator P não foi considerado devido à falta de dados intervenientes durante o desenvolvimento dos estudos. O Fator P, neste caso, foi considerado como sendo igual a 1.

4.4.1.1 Fator R - Erosividade da chuva

A caracterização do fator R requer o cálculo dos parâmetros relacionados à energia cinética das chuvas, que é uma função de sua intensidade máxima e da precipitação total. Para cada precipitação, o índice de erosividade EI_{30} é calculado como o produto da energia cinética pela intensidade máxima num período de 30 minutos, como indicado na equação 2:

$$El_{20} = E \times l_{20} \times 10^{-3}$$
 (Equação 2)

Onde:

 $EI_{30} =$ indice erosivo da chuva (MJ x mm x ha-1 x h-1);

 $E = energia \ cinética \ total \ da \ chuva \ por \ unidade \ de \ área \ (ton \ x \ m \ x \ ha^{-1});$

 I_{30} = intensidade máxima da chuva num período de 30 minutos (mm x h-1).

Adotando esses valores para todas as chuvas individuais erosivas que ocorrem em cada mês do ano, tem-se o El_{30} mensal, cuja soma caracteriza o El_{30} anual. A média anual destes últimos índices determina o fator R do local em estudo.

A energia cinética de cada precipitação pode ser estimada através da expressão (equação 3) proposta por *Castro Filho et al. (1982)* desenvolvida para localidades no estado do Paraná.

$$E = 28,814 + (10,800 + 7,896 \times \log l_{20}) \times P$$
 (Equação 3)

Onde:

 $E = energia \ cinética \ total \ da \ chuva \ por \ unidade \ de \ área \ (ton \ x \ m \ x \ ha^{-1} \ x \ mm);$

 I_{30} = intensidade máxima da chuva num período de 30 minutos (mm x h^{-1});

P = precipitação total (mm).

A aplicação da expressão proposta por *Castro Filho et al. (1982)* exige o uso de dados pluviográficos. *Waltrick (2010)* aplicou a equação 3 em três localidades no estado do Paraná que possuem dados pluviógrafos no período entre janeiro de 1986 e dezembro de 2008, e estimou o fator R para outras 114 localidades no estado do Paraná, que possuíam dados pluviométricos, através das equações de correlação propostas por *Rufino et al. (1993)*.

A Tabela 4.6 apresenta valores de erosividade média anual (fator R), estimados por *Waltrick* (2010), para localidades próximas e inseridas na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu.

Tabela 4.6: Fator R para localidades próximas e inseridas na Bacia do Alto Iguaçu (Waltrick, 2010)

	Coord	lenadas	Erosividade	
Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Média (MJ x mm x ha ⁻ 1 x h ⁻¹ x ano ⁻¹)	
Antonina	25º 13'	48° 45'	11.095	
Bocaiúva	25º 12'	49° 06'	6.194	
Campo Largo	25º 28'	49° 34'	6.104	
Curitiba	25° 27'	49° 14'	5.937	
Guaraquecaba	25º 16'	48° 32'	9.565	
Lapa	25° 55'	49° 46'	6.578	
Mandirituba	25° 46'	49° 19'	5.670	
Morretes	25° 30'	48° 49'	7.887	
Paranagua	25° 35'	48° 37'	9.064	
Piraquara	25° 27'	49° 04'	5.449	
Rio Negro	26º 06'	49° 48'	6.810	
Tijucas	25° 49'	49° 09'	6.377	

A Figura 4.11 mostra o mapa isoerodente desenvolvido usando o método de Krieger com base nos dados da Tabela 4.6.

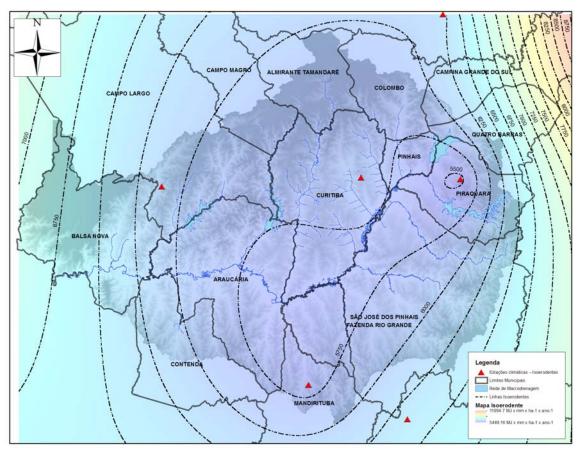


Figura 4.11: Mapa isoerodente para a Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu

4.4.1.2 Fator R- Erodibilidade do solo

O Fator K foi estipulado para cada solo da Bacia do Alto Iguaçu com base no mapa de solos do estado do Paraná, adquirido junto ao Instituto de Terras, Cartografia e Geociencias da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná, e com base em revisão literária de trabalhos efetuados no Brasil e exterior para solos de características similares aos encontrados no Paraná.

A Figura 4.12 apresenta os tipos de solos que compõem a Bacia do Alto Iguaçu.

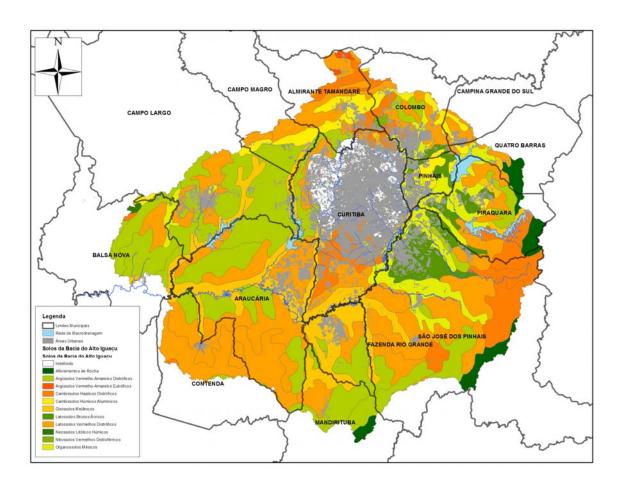


Figura 4.12: Solos que compõem a Bacia do Alto Iguaçu

A Tabela 4.7 lista os valores de K associados a cada tipo de solo.

Tabela 4.7: Valores de K para os solos que compõem a Bacia do Alto Iguaçu

Tipo de Solo	Fator K - Erodibilidade do Solo (ton x ha x h x ha ⁻¹ x MJ ⁻¹ x mm ⁻¹) Horizonte A
Aflorementos de Rocha + Neossolo Litólico	0,0100
Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	0,0466
Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	0,0228
Cambissolos Haplicos Distróficos	0,0254
Cambissolos Húmicos Alumínicos	0,0433
Gleissolos Melânicos	0,0044
Latossolos Brunos Ácricos	0,0263
Latossolos Vermelhos Distróficos	0,0071
Neossolos Litólicos Húmicos	0,1448
Nitossolos Vermelhos Distroférricos	0,0130
Organossolos Mésicos	0,0610

4.4.1.3 Fator Topográfico LS

O fator topográfico LS, constituído pelo comprimento de rampa (L) e sua declividade (S), representa a fração de perda de solo esperada para uma unidade de área em declive qualquer em relação as perdas de uma rampa com 22 metros de comprimento e 9% de declividade (Wischmeier et al. 1978).

O fator LS foi obtido através do abaco da Figura 4.13, retirada da publicação *Predicting Rainfall Erosion Losses* (Wischmeier et al. 1978), para cada célula resultante do cruzamento dos mapas de comprimento de rampa (L) e declividade de rampa (S).

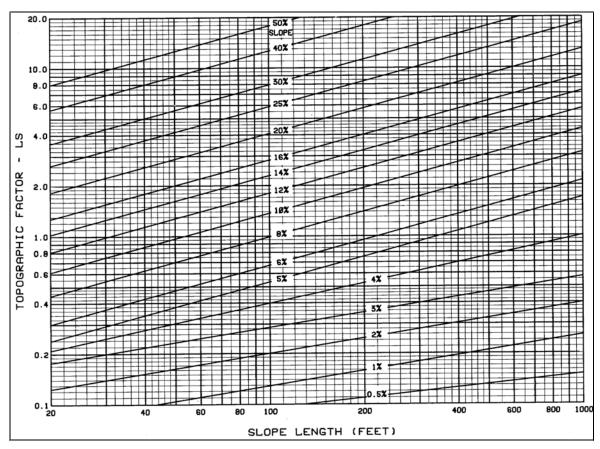


Figura 4.13: Abaco para a determinação do Fator topográfico LS (Wischmeier et al., 1978)



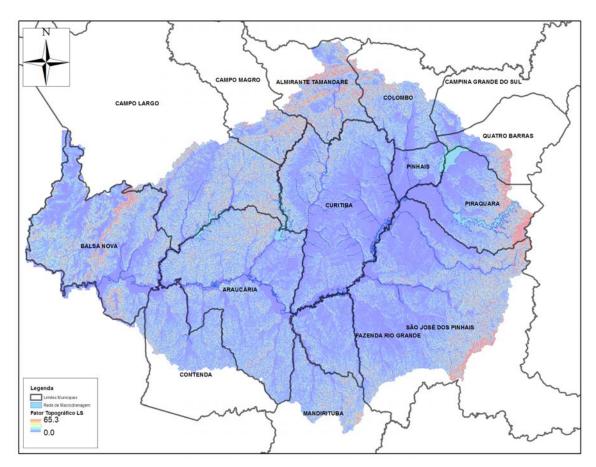


Figura 4.14: Mapa de Fatores LS para a região de estudo

4.4.1.1 Fator C – Cobertura e Ocupação do Solo

Para o fator C foram realizadas revisões bibliográficas através da consulta de diversos trabalhos desenvolvidos no Brasil e no Exterior para estimativas de valores para configurações de cobertura e ocupação dos solos similares às encontradas na Bacia do Alto Iguaçu.

A Tabela 4.8 apresenta os valores associados às diversas ocupações do solo.

Tabela 4.8: Valores C para os diversos tipos de ocupações do solo na Bacia do Alto Iguaçu

Uso / Cobertura do Solo	Fator C
Áreas Alagadas	0,000
Afloramento Rochoso	0,010
Áreas Urbanas de Alta e Média Densidade	0,000
Áreas Urbanas de Baixa Densidade	0,030
Campo	0,050
Cultura Permanente	0,018
Cultura Temporária	0,042
Mineração	0,300
Solos Expostos	1,000
Vegetação Arbórea	0,030
Vegetação Arbustiva	0,070

A Figura 4.15 ilustra a ocupação do solo da bacia do Alto Iguaçu a partir de dados adquiridos junto ao Instituto de Águas do Paraná.

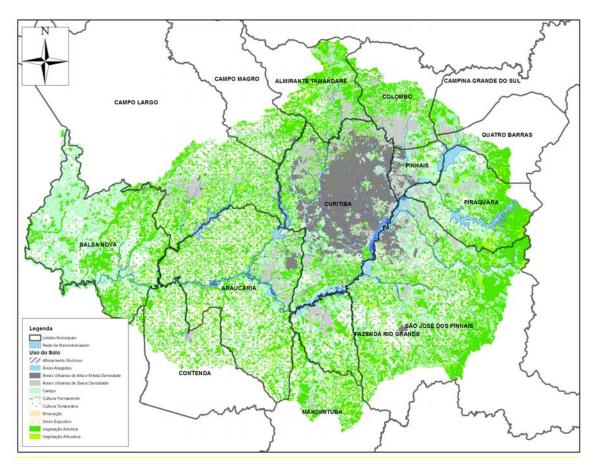


Figura 4.15: Mapa de ocupação do solo na Bacia do Alto Iguaçu

4.4.2 Curvatura das rampas

O método RUSLE é considerado robusto na predição de erosão em terrenos convexos e lineares (Figuras 4.16.A e 4.16.C, respectivamente), no entando este método apresenta limitações no que concerne a erosão laminar em áreas de deposição, caracterizadas como terrenos concavos (Figura 4.16.B). Por isso, áreas com concavidade acima de 0,2 foram consideradas como áreas de deposição, assumindo-se perda de solo nulo.

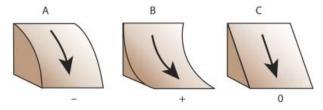


Figura 4.16: Curvaturas típicas de rampas

4.4.3 Potencial natural a erosão dos solos - PNE

O Potencial Natural a Erosão dos Solos (PNES) representa a integração dos principais fatores naturais do meio físico intervenientes no processo de erosão laminar (Stein, 1987). O PNES é calculado a partir do cruzamento dos mapas de erosividade da chuva (R), erodibilidade dos solos (K) e do fator topográfico (LS), e não leva em consideração a influência dos vários tipos de cobertura sobre a atenuação da potencialidade de erosão dos solos. De certa forma, o PNES indica o potencial de erosão dos solos expostos diretamente às intempéries climáticas e fatores topográficos, ou seja, caso não houvesse nenhuma cobertura vegetal ou cobertura de origem antrópica que protegessem os solos da força erosiva das chuvas e dos escoamentos superficias.

A Tabela 4.9 mostra os valores de potencial natural a erosão para 6 classificações. Os dados apresentados nesta Tabela mostram que aproximadamente 40% das áreas da bacia do Alto Iguaçu apresentam solos com potencial moderado a alto de erosão, caso estes sejam diretamente expostos as intempéries climáticas e demais decorrências relacionadas a fatores topográficos.

Tabela 4.9: Áreas ocupadas pelas categorias de potencial natural à erosão dos solos

Potenci	% de ocupação da Bacia	
Classificação	ton x ha ⁻¹ x ano ⁻¹	do Alto Iguaçu
Desprezível	< 2,5	10,6
Baixo	2,5 a 10,0	14,9
Baixo - Moderado	10,0 a 60,0	31,1
Moderado	60,0 a 160,0	12,5
Moderado – Alto	160,0 a 250,0	5,3
Alto	> 250,0	25,6

A Figura 4.17 apresenta o mapa do PNES para a Bacia do Alto Iguaçu. O PNES é calculado da seguinte forma:

 $PNBS = K \times R \times LS$ (Equação 4)

Onde:

PNES = perda de solo calculada por unidade de área (ton x ha-1 x ano-1);

 $R_{anual} = fator de erosividade anual médio das chuvas (MJ x mm x ha-1 x ano-1);$

K = fator de erodibilidade do solo (ton x h x MJ⁻¹ x mm⁻¹);

LS = fator topográfico (adimensional).

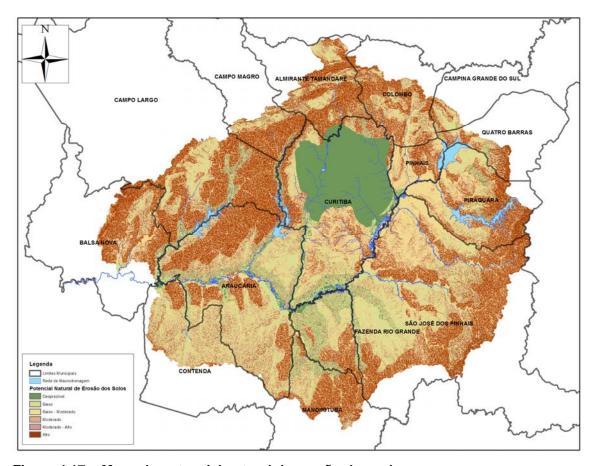


Figura 4.17: Mapa do potencial natural de erosão dos solos

4.4.4 Potencial de erosão dos solos

O potencial de erosão dos solos é o resultado da integração das variáveis físicas com as variáveis antrópicas, e é calculado de acordo com a Equação 1. O mapa final de potencial de erosão dos solos foi obtido através do cruzamento dos dados do mapa de potencial natural a erosão dos solos com o mapa do fator de cobertura e ocupação dos solos (Fator C).

A Tabela 4.10 indica os valores de potencial a erosão dos solos para 6 categorias. Os dados apresentados nesta Tabela mostram que aproximadamente 10% das áreas da bacia do Alto Iguaçu apresentam solos com potencial moderado a alto de erosão, quando se considera a atenuação das coberturas vegetais e outras de origem antrópica na atenuação do potencial a erosão natural dos solos. Nestas condições, a maioria das regiões inseridas na bacia do Alto Iguaçu apresenta (cerca de 90% da área da bacia) baixo a moderado potencial de erosão, segundo a classificação estabelecida neste estudo.

Tabela 4.10: Áreas ocupadas pelas categorias de potencial a erosão dos solos

Pote	ncial a Erosão		
Categoria	ton x ha ⁻¹ x ano ⁻¹	% de ocupação da Bacia do Alto Iguaçu	
Desprezível	< 2,5	58,3	
Baixo	2,5 a 10,0	16,6	
Baixo - Moderado	10,0 a 60,0	18,8	
Moderado	60,0 a 160,0	5,1	
Moderado – Alto	160,0 a 250,0	0,8	
Alto	> 250,0	0,5	

A Figura 4.18 apresenta o mapa do potencial de erosão dos solos para a Bacia do Alto Iguaçu.

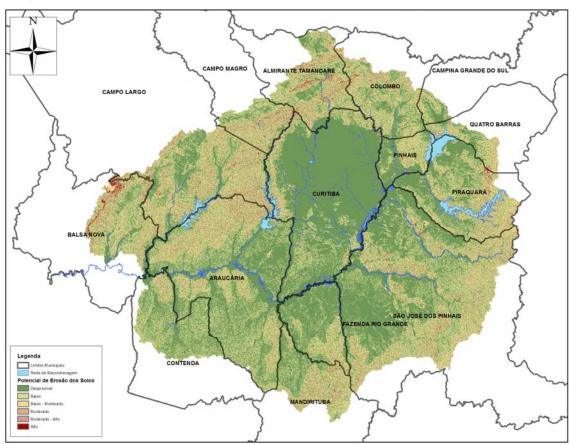


Figura 4.18: Mapa do potencial de erosão dos solos

4.4.5 Medidas ambientais para a redução de perdas de solo

Conforme Almeida Filho et al. (2001), para prevenir os efeitos dos processos erosivos devese definir e implementar adequadamente práticas de prevenção. Os projetos de loteamentos ou conjuntos habitacionais devem ser concebidos a partir de planejamento urbanístico integrado, que contemple eficiente e adequado sistema de drenagem. Deve contemplar também, como condição básica, a correta concepção de obras de correção para os processos erosivos já instalados.

O controle corretivo das erosões consiste na execução de um conjunto de obras, cuja finalidade primordial é evitar ou diminuir a energia de escoamento das águas pluviais sobre terrenos desprotegidos, que pode ser conseguido com obras de sistema de drenagem tais como: pavimentação das ruas, guias sarjetas, bocas de lobo e galerias de águas pluviais. No controle destes processos, é fundamental a análise da bacia de contribuição para a elaboração de projetos, contendo:

- Microdrenagem;
- Macrodrenagem; e
- Obras de extremidades.

Apesar de existirem mecanismos comuns a todos os processos erosivos, todo projeto deve considerar as especificidades próprias de cada erosão, o que dificulta a generalização de solução padrão. Assim, de modo geral, a elaboração do projeto de contenção deve levar em conta alternativas que contemplem as seguintes medidas principais:

- Disciplinamento das águas superficiais;
- Disciplinamento das águas subterrâneas, que é uma das principais causas do desenvolvimento lateral e remontante, através de drenos filtrantes impedindo o carreamento do solo;
- Estabilização dos taludes ou recomposição da área por terraplenagem e revegetação;
- Execução de emissários conduzindo as águas nos pontos de talvegue estáveis;
- Conservação das obras.

Conforme Instituto das Águas do Paraná (2012), o combate da erosão em áreas urbanas requer uma maior atenção às infraestruturas, ou seja, a pavimentação das vias e ruas, a construção de calçadas, a canalização e construção de de bocas de lobo, para captação de águas pluviais. O estabelecimento de políticas que visem o ordenamento do crescimento das cidades ou de núcleos urbanos é fundamental para o controle da erosão urbana.

O Decreto no 2.919, Regulamento da Superintendência do Controle da Erosão e Saneamento Ambiental, de 25 de maio de 1988 recomenda normas para a prevensão da erosão em solo urbano. Este Decreto restringe a utilização das áreas mais susceptíveis ou vulneráveis ao fenômeno erosivo, impedindo o crescimento urbano em áreas críticas.

4.5 Evolução de áreas impermeáveis

As taxas de impermeabilização das manchas urbanas na região de estudo, apresentadas nas Figuras 4.19, 4.20 e 4.21, foram realizadas segundo o trabalho desenvolvido por Campana & Tucci (1994), o qual apresenta uma relação empírica entre o percentual de áreas impermeáveis e a densidade populacional de uma região, usando as seguintes equações:

$$\frac{A_{imp}}{A_{total}}$$
 (%) = -3,86 + 0,55 × d (para 7 ≤ d ≤ 115 hab/ha)
 $\frac{A_{imp}}{A_{total}}$ (%) = 53,2 + 0,054 × d (para d > 115 hab/ha)

Nas quais: d = densidade populacional (hab/ha);

A_{imp} = Área impermeável;

 $A_{total} = \text{Área total}.$

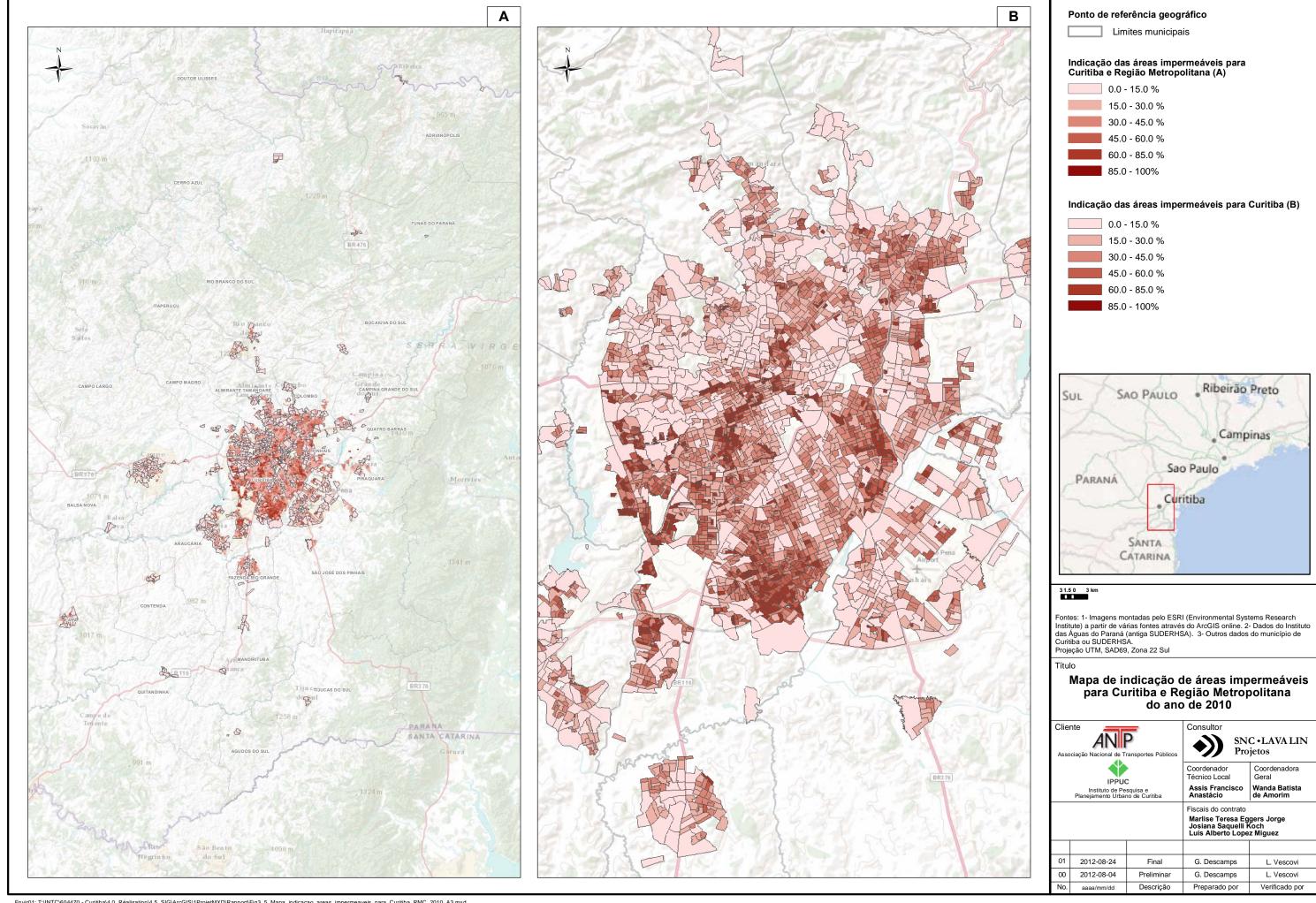
Neste estudo foram estimadas as taxas de impermeabilização do solo para os setores censitários presentes na região de estudo para os anos de 2010 e 2040. Os dados relativos às áreas dos setores censitários e seus respectivos números de habitantes, para o ano de 2010, foram obtidos diretamente do site do IBGE (IBGE, 2012). A projeção do número de habitantes por setor censitário para o ano de 2040 foi efetuada com base nas taxas de crescimento estimadas pelo IPPUC para cada um dos municípios componentes da Região Metropolitana de Curitiba (SANEPAR, 2011). A partir destes dados foram estimadas a densidade populacional por setor censitário e as respectivas taxas de impermeabilização do solo segundo a metodologia descrita.

A Figura 4.19 (A) indica a localização das manchas urbanas na Região Metropolitana, e as respectivas classificações segundo as taxas de impermeabilização do solo por setor censitário para o ano 2010. Com o intuito de se facilitar a visualização das áreas impermeáveis do município de Curitiba, o item B da Figura 4.19 apresenta estas áreas somente para este município.

O item B da Figura 4.20 mostra a evolução da impermeabilização do solo em termos de diferença absoluta entre as áreas impermeáveis estimadas para 2010 e as projetadas para 2040 para Curitiba e Região Metropolitana. O item A desta Figura serve como base comparativa para se facilitar a leitura das informações apresentadas no item B.

A Figura 4.21 reapresenta as informações apresentadas na Figura 4.20 apenas para Curitiba com o intuito de facilitar a visualização da evolução da impermeabilização para este município. Nesta Figura é possível identificar as regiões para as quais se prevê um maior aumento da taxa de impermeabilização.

Vale salientar que a SLPL optou por apresentar a taxa de acréscimo entre 2010 e 2040 ao invés das áreas impermeáveis para o ano de 2040 porque graficamente as diferenças de taxas de impermeabilização entre 2010 e 2040 não são perceptíveis.

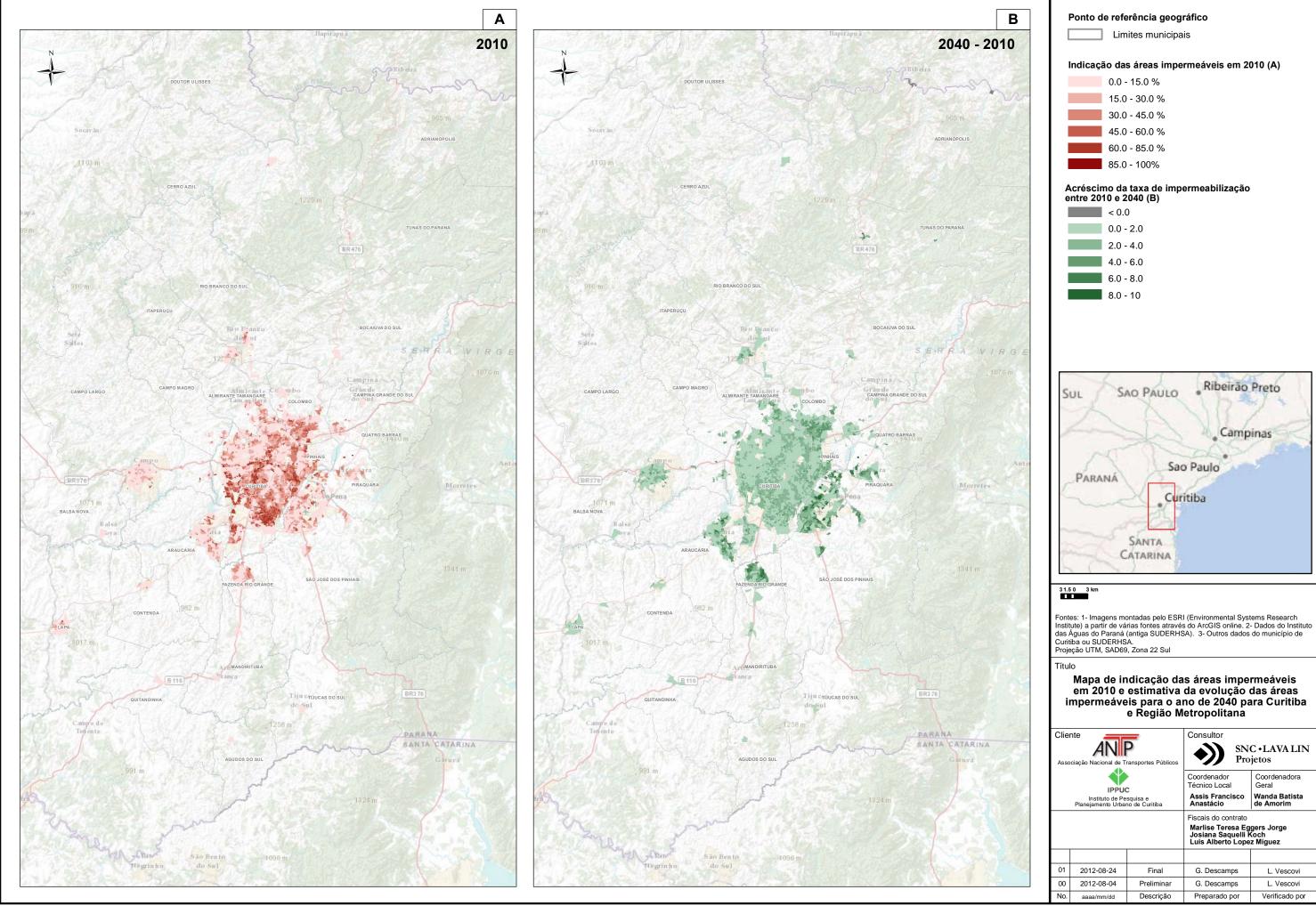


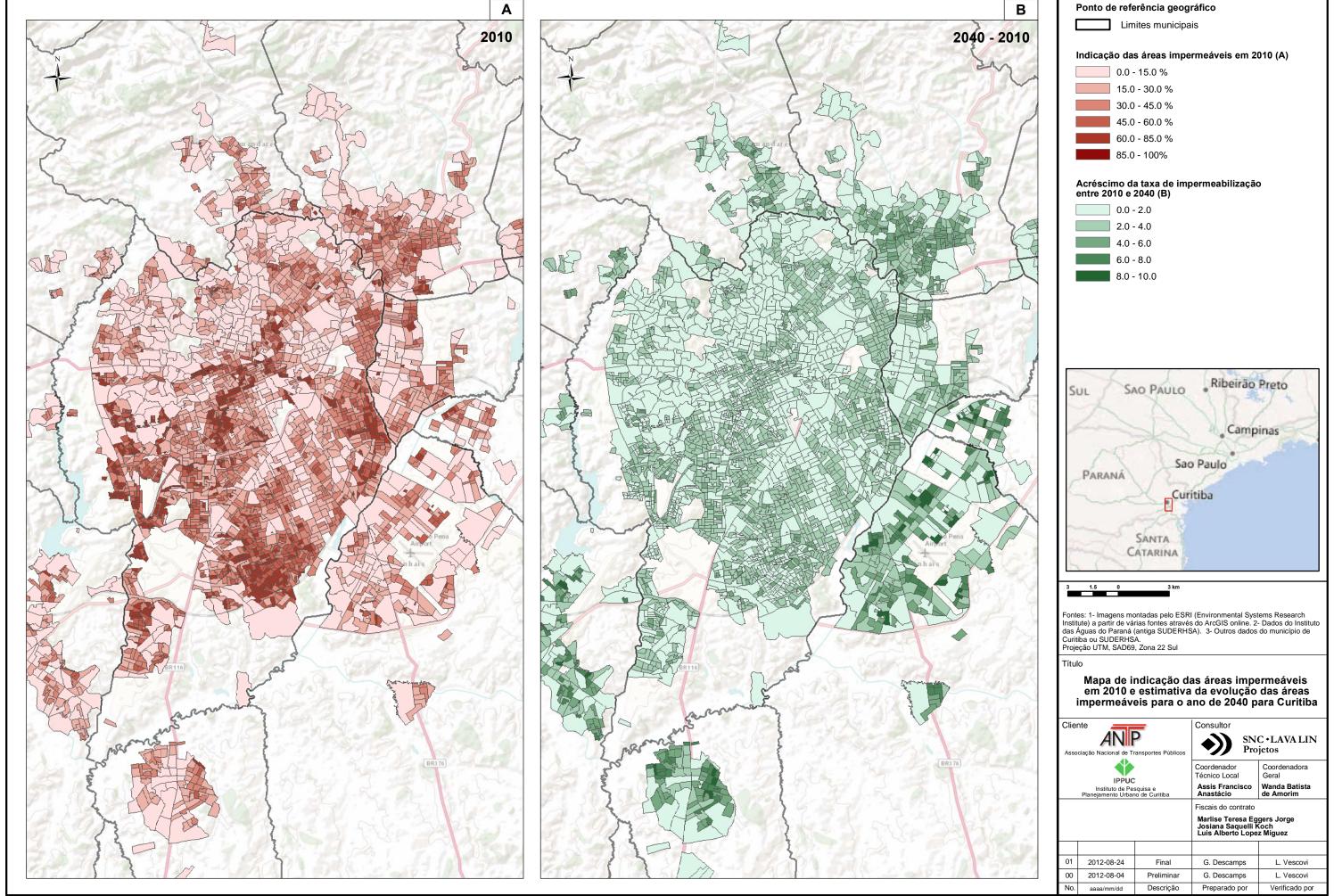
SNC • LAVA LIN Projetos

Coordenadora

L. Vescovi

Verificado por





4.5.1 Evolução do Escoamento Superficial

A evolução temporal do escoamento superficial foi avaliada em função da evolução das áreas impermeáveis, utilizando-se o modelo hidrológico calibrado durante os estudos apresentados no Relatório AMB-2.

Nos processos hidrológicos, a magnitude dos escoamentos superficiais é função de inúmeras variáveis, entre elas as características do solo e tipo de cobertura e fatores climáticos como a precipitação.

Para se avaliar o impacto direto da evolução das áreas impermeáveis sobre os escoamentos superficiais, foram realizadas simulações com o modelo hidrológico variandose somente a evolução das áreas impermeáveis nas bacias modeladas, e mantendo-se constante todas as demais variáveis climáticas.

A Tabela 4.11 apresenta as taxas de impermeabilização estimadas e projetadas para os anos de 2010 (ano de referência), 2020, 2030 e 2040 (anos representativos da evolução futura das variáveis estudadas), assim como os respectivos escoamentos superficiais representados em termos de vazão média para cada sub-bacia modelada. A Tabela 4.12 apresenta a evolução percentual das áreas impermeáveis com relação ao ano de base de 2010, e as respectivas evoluções em escoamentos superficiais também em termos percentuais.

A Figura 4.22 mostra as áreas urbanas que sofrerão um acréscimo de impermeabilização do solo até o ano de 2040. A Figura 4.23 indica as sub-bacias hidrográficas mais impactadas pelo consequente acréscimo dos escoamentos superficiais.

Os dados apresentados nas Figuras 4.22 e 4.23 permitem estabelecer uma correlação entre as mesmas, ou seja, o aumento da impermeabilização previsto para as bacias sul e sudeste terá como conseqüência um aumento mais significativo do escoamento superficial em comparação com as demais bacias.

Tabela 4.11: Evolução das áreas impermeáveis e escoamentos superficiais nas sub-bacias hidrográficas modeladas

Sub-Bacia	Ano de 201	0 - Referência	Ano d	de 2020	Ano d	e 2030	Ano de 2040	
Estação Hidrométrica	Escoamento Superficial (l/s)	Percentual de Áreas Impermeáveis (%)	Escoamento Superficial (l/s)	Percentual de Áreas Impermeáveis (%)	Escoamento Superficial (l/s)	Percentual de Áreas Impermeáveis (%)	Escoamento Superficial (I/s)	Percentual de Áreas Impermeáveis (%)
65003950 – Olaria do Estado	553	2,01	566	2,23	572	2,33	575	2,37
65004995 – Ponte PR 415	57	0,06	57	0,07	57	0,07	57	0,07
65006055 – Vargem Grande	364	7,68	384	8,24	392	8,48	396	8,58
65006075 - Pinhais	460	8,71	466	9,50	468	9,83	469	9,97
65007045 – Terminal Afonso Camargo	2063	14,46	2093	15,33	2107	15,71	2112	15,87
65009000 – Ponte BR 277	239	28,32	249	29,54	254	30,07	256	30,29
65010000 – Fazendinha	611	0,36	613	0,41	613	0,44	614	0,44
65011400 – Prado Velho UCP	872	22,94	883	23,92	888	24,35	890	24,52
65011500 – Rodolfo Bernadelli	500	24,14	513	25,22	518	25,69	520	25,88
65013005 – ETE SANEPAR	508	10,14	559	11,15	581	11,59	590	11,77
65015400 - Cachoeira	1258	0,19	1262	0,22	1264	0,23	1264	0,23
65017006 – Ponte do Umbarazinho	625	16,78	655	17,58	667	17,90	672	18,04
65017035 – Serraria Baldan	15	0,00	15	0,00	15	0,00	15	0,00
65019700 – Ponte da Caximba	3197	10,15	3237	10,64	3254	10,85	3262	10,93
65019980 – Araucaria	227	1,13	256	1,27	268	1,34	273	1,36
65021770 – Colonia Dom Pedro	245	1,41	249	1,53	251	1,58	251	1,60
65024000 – Campina das Pedras	60	5,31	68	5,98	71	6,27	72	6,39
65025000 - Guajuvira	105	0,72	114	0,82	118	0,86	120	0,87
Exultório	663	0,27	664	0,30	664	0,31	664	0,32

Tabela 4.12: Evolução das áreas impermeáveis e escoamentos superficiais nas sub-bacias hidrográficas modeladas

Sub-Bacia	Ano d	le 2020	Ano d	le 2030	Ano de 2040		
Estação Hidrométrica	Acréscimo Percentual do Escoamento Superficial (%)	Acréscimo Percentual das Áreas Impermeáveis (%)	Acréscimo Percentual do Escoamento Superficial (%)	Acréscimo Percentual das Áreas Impermeáveis (%)	Acréscimo Percentual do Escoamento Superficial (%)	Acréscimo Percentual das Areas Impermeaveis (%)	
65003950 - Olaria do Estado	2,42	11,09	3,52	16,08	3,98	18,17	
65004995 – Ponte PR 415	0,72	19,39	1,05	27,89	1,18	31,43	
65006055 – Vargem Grande	5,37	7,32	7,70	10,48	8,66	11,79	
65006075 – Pinhais	1,24	8,99	1,77	12,82	1,99	14,41	
65007045 - Terminal Afonso Camargo	1,48	6,05	2,13	8,68	2,39	9,77	
65009000 – Ponte BR 277	4,28	4,31	6,13	6,19	6,90	6,95	
65010000 - Fazendinha	0,33	14,83	0,48	21,32	0,54	24,01	
65011400 - Prado Velho UCP	1,31	4,29	1,87	6,13	2,10	6,89	
65011500 - Rodolfo Bernadelli	2,53	4,50	3,61	6,42	4,06	7,21	
65013005 – ETE SANEPAR	10,03	10,03	14,35	14,35	16,12	16,11	
65015400 - Cachoeira	0,32	14,79	0,45	21,26	0,51	23,95	
65017006 – Ponte do Umbarazinho	4,69	4,73	6,63	6,68	7,41	7,47	
65017035 – Serraria Baldan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
65019700 – Ponte da Caximba	1,25	4,75	1,79	6,80	2,01	7,65	
65019980 – Araucaria	12,73	12,67	18,29	18,26	20,59	20,60	
65021770 – Colonia Dom Pedro	1,52	8,28	2,19	11,91	2,47	13,42	
65024000 - Campina das Pedras	12,49	12,68	17,89	18,17	20,09	20,42	
65025000 – Guajuvira	8,58	13,31	12,16	18,83	13,68	21,12	
Exultorio	0,12	10,97	0,18	15,76	0,20	17,75	

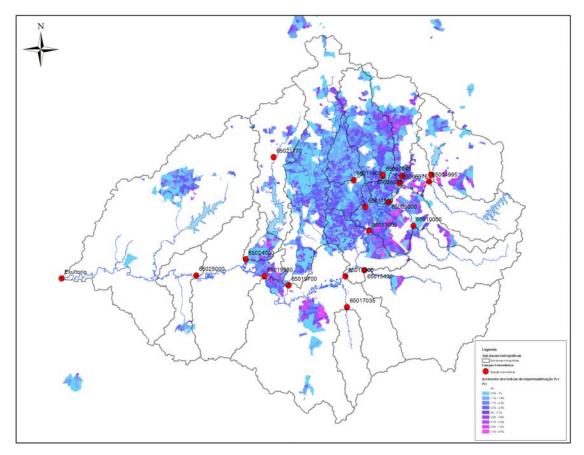


Figura 4.22: Evolução das áreas impermeáveis nas sub-bacias hidrográficas modeladas, valores estimados para o ano de 2040 versus 2010

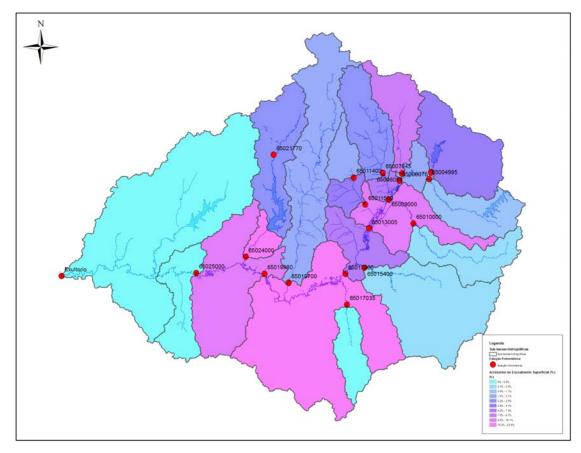


Figura 4.23: Evolução dos escoamentos superficiais em decorrência do aumento da impermeabilização do solo nas sub-bacias hidrográficas modeladas, valores estimados para o ano de 2040 versus 2010

4.6 Vulnerabilidade global

Conforme Relatório AMB-3, o índice de vulnerabilidade foi estabelecido utilizando duas metodologias de ponderação distintas em função do elemento analisado, sendo: (1) as INFRAESTRUTURAS ou (2) OS TERRITÓRIOS. A metodologia desenvolvida para avaliar as vulnerabilidades das infraestruturas é similar à adotada por Peck et al. (2007) da Universidade de Western Ontario para a análise de vulnerabilidades frente às inundações, conforme apresentado no AMB-3.

Com o objetivo de sintetizar os resultados obtidos serão apresentadas a seguir as vulnerabilidades das infraestruturas com relação aos problemas de inundação. Em seguida, serão apresentadas as vulnerabilidades territoriais.

4.6.1 As infraestruturas

As Figuras 4.24, 4.25 e 4.26 permitem visualizar as infraestruturas vulneráveis quanto às inundações na região de estudo com base na cota enchente 100 anos, período de referência (1961-1990) e futuro (2071-2100) estimadas com o modelo regional HadRM3P, respectivamente. Vale salientar que para facilitar a legibilidade são apresentados apenas os centróides das infraestruturas, ou seja, os centros geométricos.

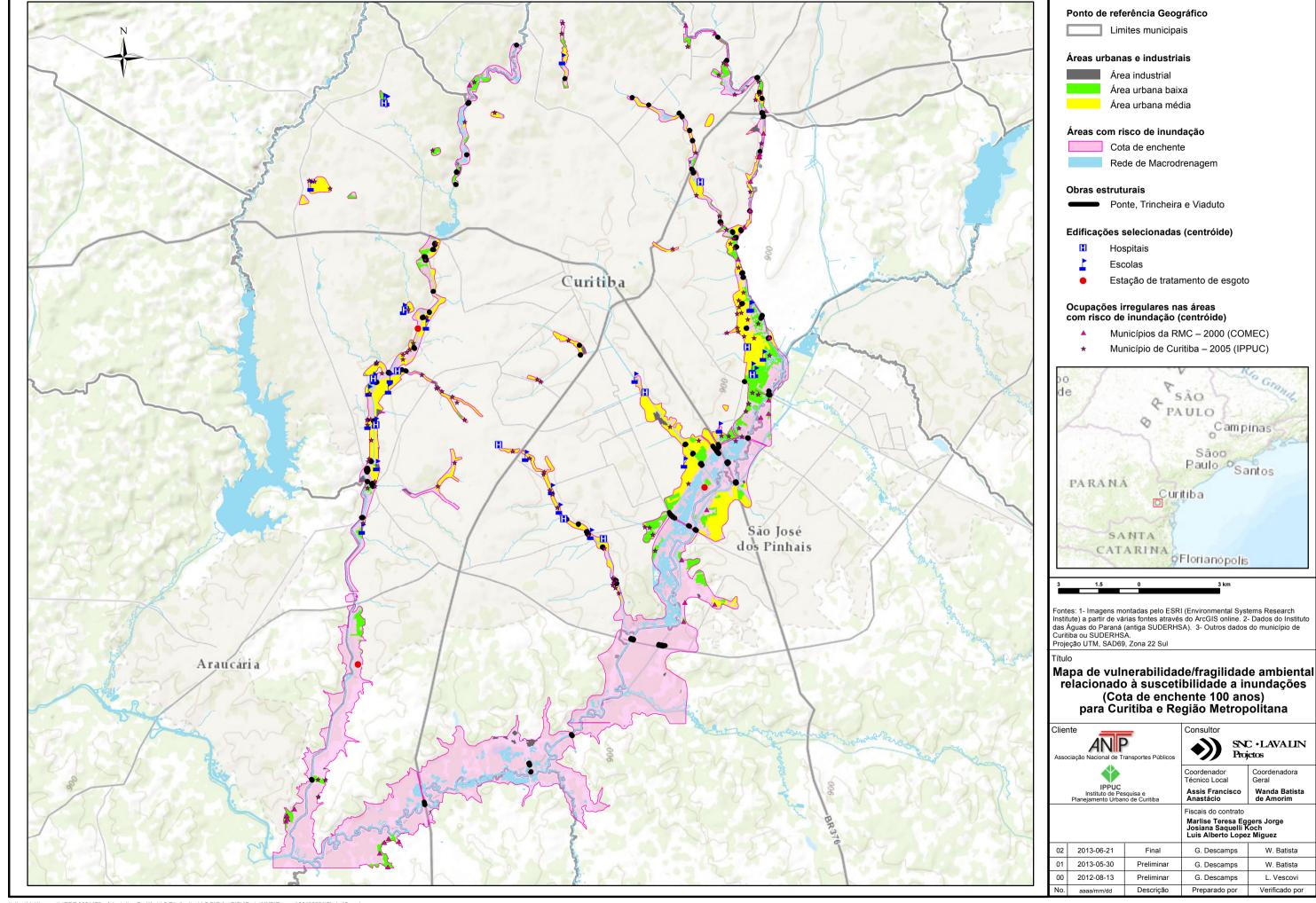
A Tabela 4.13 mostra o número de infraestruturas vulneráveis (Escola, Hospital, Estação de tratamento de água, Estação de tratamento de esgoto, Ponte, Viaduto, Aterro sanitário industrial e áreas de habitações irregulares) localizadas em áreas com risco de inundação.

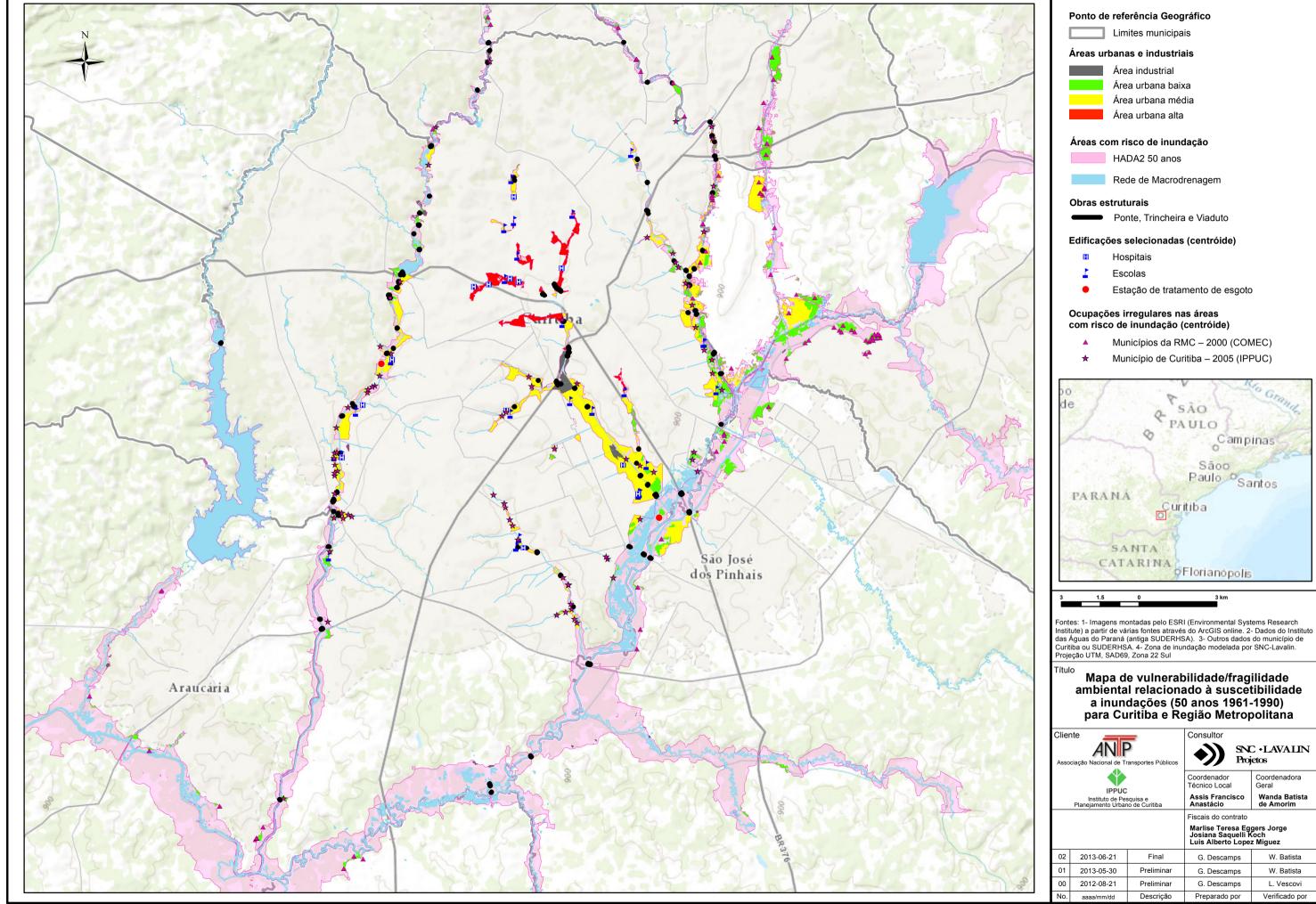
A segunda e terceira colunas da Tabela 4.13 apresentam a situação considerada atual, com base nas áreas de inundação obtidas através da cota enchente com recorrência de 100 anos, conforme dados apresentados na Figura 4.24. A quarta e quinta colunas apresentam a situação para o período atual (1961-1990) obtido a partir das áreas de inundação com recorrência de 50 anos obtida para o cenário A2 do modelo regional Hadley, conforme dados apresentados na Figura 4.25. As duas últimas colunas apresentam a situação futura (2071-2100), obtida para o cenário A2 do modelo regional Hadley, conforme dados apresentados na Figura 4.26.

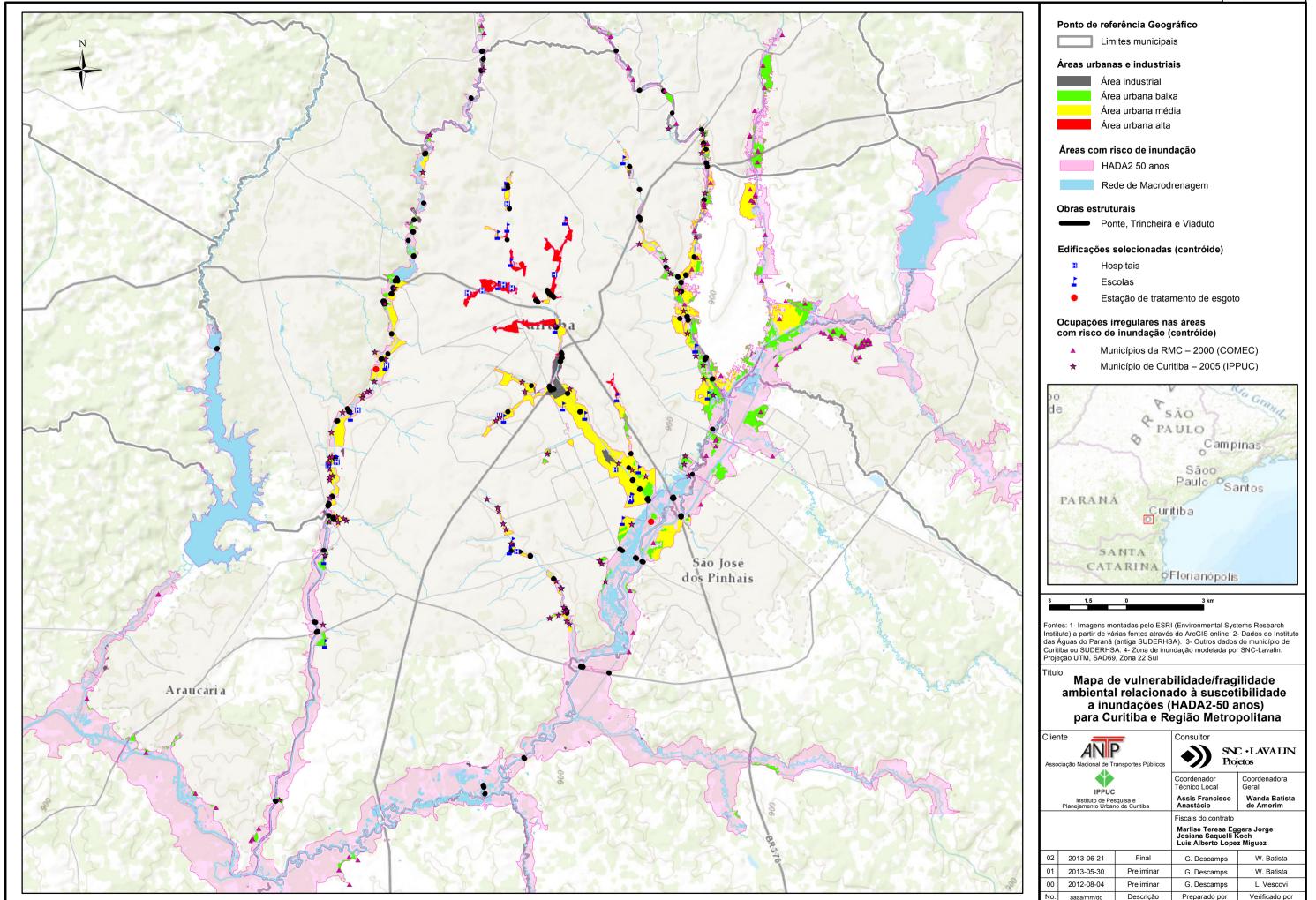
Os dados apresentados na Tabela 4.13 mostram que, sob um cenário de mudança do clima uma situação de ocorrência de 100 anos pode se tornar uma situação de ocorrência de 50 anos, colocando as infraestruturas em uma situação de risco mais elevada. Entretanto, devido às diferenças inerentes aos estudos que geraram as cotas de enchentes para o período de recorrência de 100 anos e os resultados obtidos usando o cenário A2 do modelo regional Hadley apresentados no relatório AMB-2, não se pode fazer uma comparação direta, uma vez que as metodologias usadas são diferentes. Em todo caso, as quatro últimas colunas da Tabela 4.13 mostram nitidamente que em comparação a situação de referência (1961-1990), a vulnerabilidade das infraestruturas e das áreas de ocupações irregulares aumentarão tanto em número quanto em superfície. Por exemplo: (1) em Curitiba, 2,45 km² de ocupações irregulares (dados fornecidos pelo IPPUC) se encontram em áreas inundáveis com recorrência de 50 anos para 2071-2100 (82 centróides) versus 2,22 km² (80 centróides) para o período de 1961-1990; (2) para a RMC, 1,93 km² de ocupações irregulares (dados fornecidos pela COMEC) se encontram em áreas inundáveis com recorrência de 50 anos para 2071-2100 (101 centróides) versus 2,22 km² (94 centróides) para o período de 1961-1990. A mesma tendência é observada para os hospitais, as estações de tratamento de esgoto e as infraestruturas rodoviárias.

Tabela 4.13: Infraestruturas presentes nas áreas com risco de inundação em Curitiba

Infraestruturas	Cota enchente	Cota enchente	50 anos 1961- 1990	50 anos 1961- 1990	HADA2 50 anos 2071- 2100	HADA2 50 anos 2071- 2100
	Número	Superfície (km²) / Extensão(km)	Número	Superfície (km²) / Extensão(km)	Número	Superfície (km²) / Extensão(km)
Ocupações irregulares em Curitiba - 2005 (IPUCC)	113	3,92 km ²	80	2,22 km ²	82	2,45 km ²
Assentamento em Regularização	23	0,33 km ²	16	0,31 km ²	16	0,34 km ²
Assentamento sem Regularização	81	3,35 km ²	58	1,76 km ²	60	1,94 km ²
Loteamento Clandestino em Regularização	5	0,20 km ²	3	0,11 km ²	3	0,13 km ²
Loteamento Clandestino sem Regularização	4	0,04 km ²	3	0,05 km ²	3	0,05 km ²
Ocupações irregulares na RMC – 2000 (COMEC)	34	0,57 km ²	94	1,67 km ²	101	1,93 km ²
Escolas	27	0,03 km ²	31	0,05 km ²	33	0,06 km ²
Escolas Estaduais	6	0,01 km ²	8	0,01 km ²	9	0,01 km ²
Escolas Federais	0	0,00 km ²	0	0,00 km ²	0	0,00 km ²
Escolas Municipais	20	0,02 km ²	18	0,02 km ²	19	0,02 km ²
Escolas Particulares	1	0,00 km ²	5	0,03 km ²	5	0,03 km ²
Hospitais	12	0,00 km ²	13	0,01 km ²	14	0,01 km ²
Estações de tratamento de água	0	0,00 km ²	0	0,00 km ²	0	0,00 km ²
Estações de tratamento de esgoto	3	0,01 km ²	2	0,01 km ²	2	0,01 km ²
Pontes	141	15,60 km	154	13,18 km	162	13,63 km
Viadutos	8	2,77 km	8	5,18 km	8	5,93 km
Aterro sanitário industrial	0	0,00 km	0	0,00	0	0,00







4.6.2 Vulnerabilidade territorial

Conforme metodologia apresentada no AMB-3, o índice de vulnerabilidade territorial frente aos riscos climáticos foi construído sobre grids de base de 1km por 1km em função da cobertura da porcentagem dos polígonos temáticos por células de 1km/1km.

O índice desenvolvido integra as variáveis relacionadas a: (1) erosão, (2) inundações e (3) as questões relacionadas as ondas de calor:

- Para a erosão: a porcentagem representada pela região com alta taxa de erosão com inclinação igual ou superior a 10%;
- Para a inundação: a porcentagem por célula ocupada por cota-enchente;
- Para a urbanização (aproximação para ondas de calor): a porcentagem por célula ocupada com alta taxa de urbanização (uso de solo).

4.7 Discussão geral

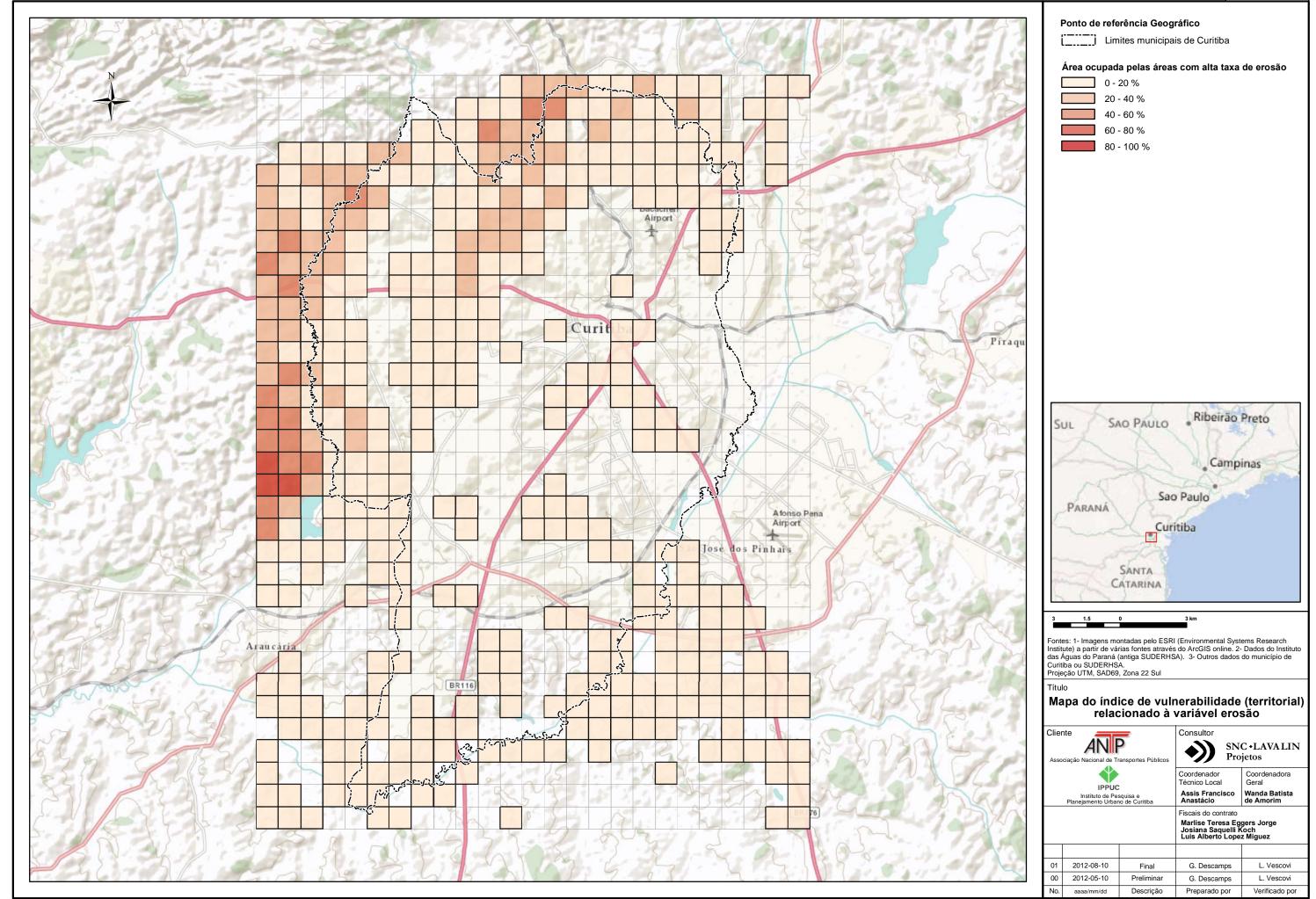
Os mapas e índices de vulnerabilidade têm como objetivo a visualização e integração das principais questões relacionadas às mudanças climáticas na região metropolitana de Curitiba. Estas questões são:

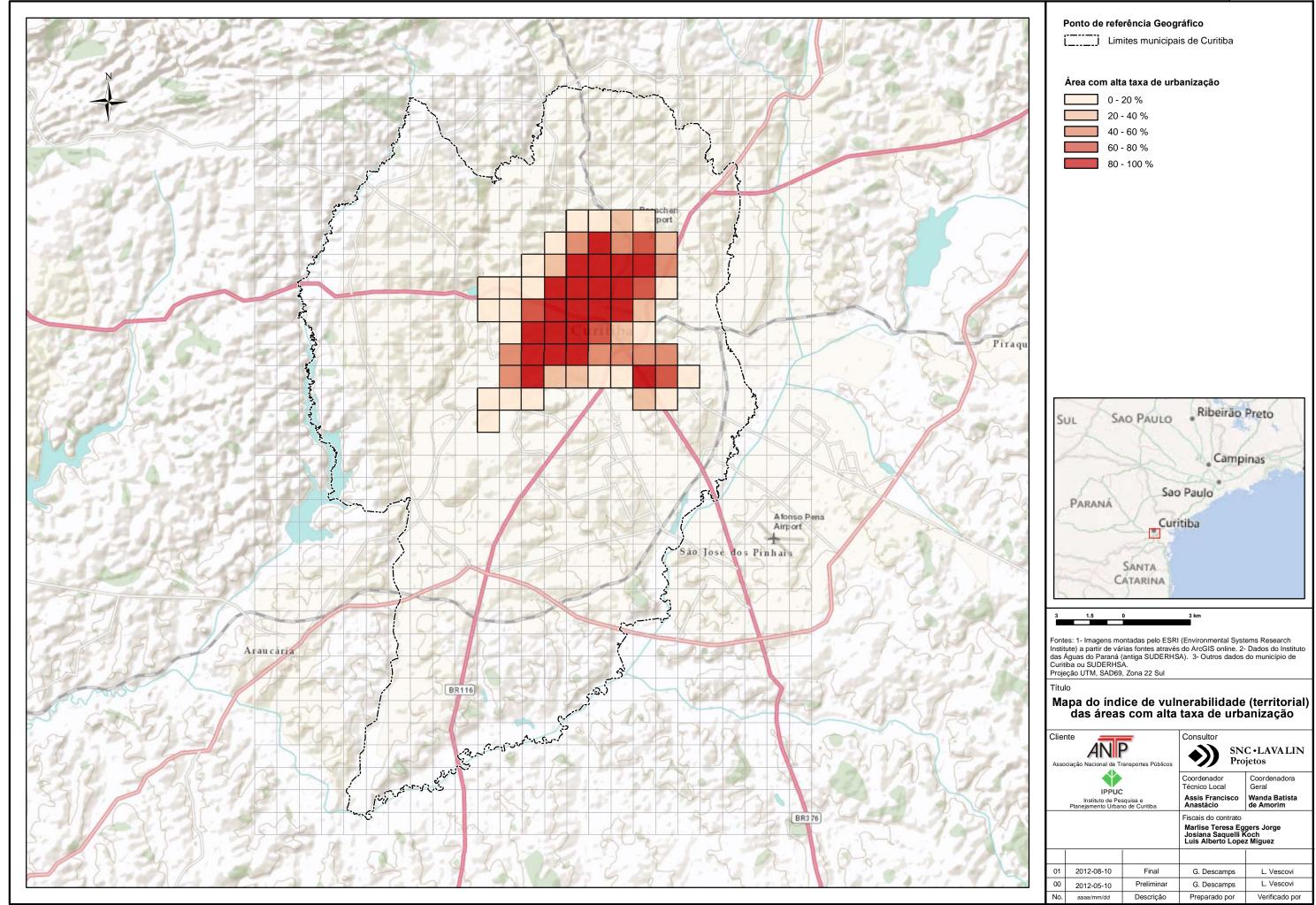
- Os problemas de hidrologia, de inundações e drenagem urbana;
- Os problemas de erosão, de acúmulo de sedimentos apresentam, por exemplo, o risco de afetar os reservatórios de água potável limitando sua capacidade de armazenamento,
- A questão relacionada à qualidade da água.

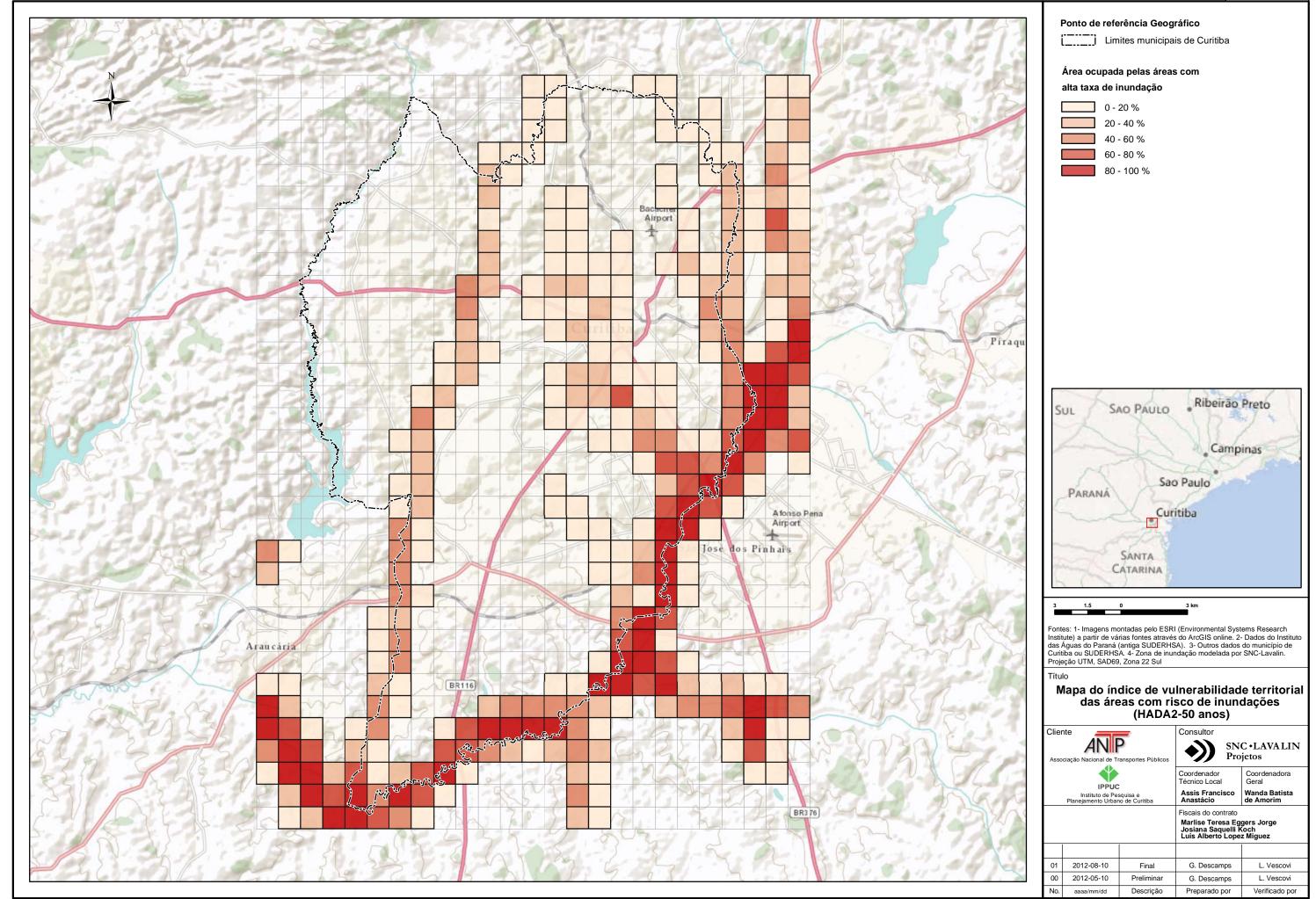
A vulnerabilidade global que é uma combinação desses problemas de erosão e de inundação é ilustrada pelos Mapas apresentados nas Figuras 4.27 e 4.29, respectivamente. O Mapa apresentado na Figura 4.28 ilustra igualmente problemas potenciais relacionados às ondas de calor extremo dentro das regiões fortemente urbanizadas. A Figura 4.30 apresenta o mapa de vulnerabilidade global da região.

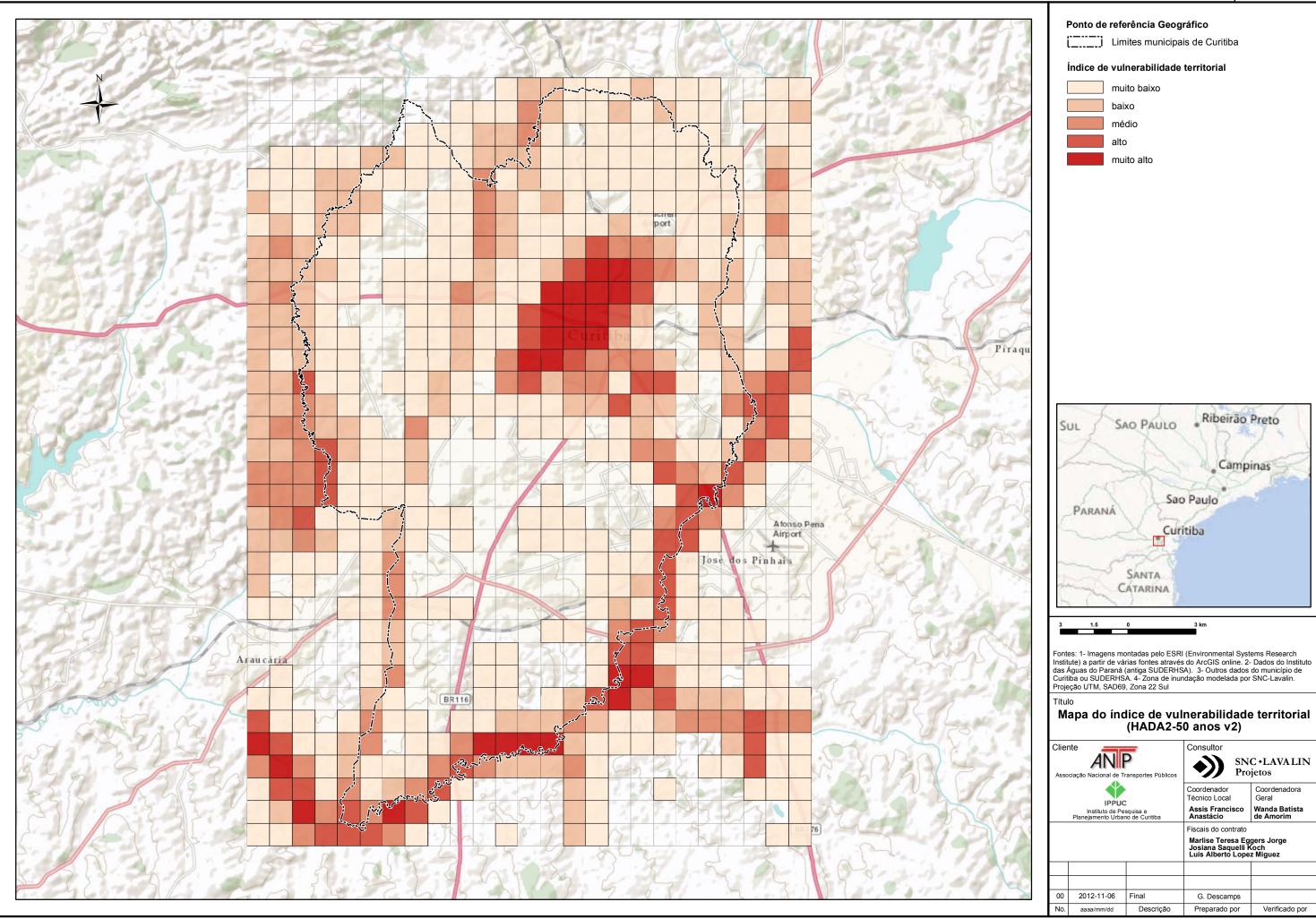
4.8 Áreas prioritárias a ocupação e áreas prioritárias a desocupação

No Relatório SOC-3 são identificadas as infraestruturas que se encontram em áreas de risco de inundação, inclusive as ocupações irregulares. A SLPL considera importante que seja avaliada a necessidade e viabilidade de desocupação destas áreas. No mesmo relatório também são apresentados os vazios que podem ser ocupados, ou seja, que não se encontram em áreas a risco de inundação onde a princípio pode ser construído. No entanto, a priorização das áreas onde deve ser construído deve levar em consideração os diferentes aspectos das regiões de maneira global para evitar outros problemas, tais como a falta de infraestrutura para atender o aumento da população.









5. CONCLUSÕES

As mudanças climáticas podem provocar no final do século 21 um aumento de temperatura de 2 a 4 graus na região. O cenário A2 do modelo regional HadRM3P é o que prevê o maior aquecimento para a região. Com relação às precipitações, apesar do alto grau de incertezas, os dois cenários do modelo regional preveem maiores precipitações para a região. Por outro lado, as simulações realizadas preveem uma diminuição da ocorrência de precipitações no inverno. Como as chuvas de verão são mais convectivas, mais eventos de fortes tempestades serão observados.

A análise do potencial de erosão dos solos realizada através do cruzamento dos dados do mapa de potencial natural a erosão dos solos com o mapa do fator de cobertura e ocupação dos solos (Fator C) permitiu observar que aproximadamente 10% das áreas da bacia do Alto Iguaçu apresentam solos com potencial moderado a alto de erosão, quando se considera a atenuação das coberturas vegetais e outras de origem antrópica na atenuação do potencial a erosão natural dos solos. Nestas condições, a maioria das regiões inseridas na bacia do Alto Iguaçu apresenta (cerca de 90% da área da bacia) baixo a moderado potencial de erosão, segundo a classificação estabelecida neste estudo.

A avaliação temporal, considerando panoramas de evolução das áreas impermeáveis e sua relação com o escoamento superficial, permitiu observar que o aumento das taxas de impermeabilização previsto para as bacias sul e sudeste terá como consequência o aumento do escoamento superficial.

Com relação às inundações, espera-se que o período de recorrência de inundações se torne mais frequente. As modelagens realizadas indicam que ocorrerá um aumento da extensão das áreas de risco de inundação na região. No que diz respeito à disponibilidade de recursos hídricos, as simulações realizadas não indicam que ocorrerá um déficit de água na região. As estiagens não parecem ser um problema significativo, segundo os resultados apresentados no AMB-2.

Conforme apresentado no Tomo II do AMB-2, é importante planejar a gestão da água em nível temporal e territorial (bacia hidrográfica), uma vez que se preveem maiores precipitações nos meses mais chuvosos e uma diminuição no inverno.

O índice de vulnerabilidade territorial desenvolvido permitiu identificar as áreas mais suscetíveis de serem impactadas pelas mudanças climáticas na região de estudo. Este índice permitiu ilustrar que os bairros centrais da região administrativa Matriz podem ser mais vulneráveis às ilhas de calor. Além disso, também foi possível identificar as áreas que apresentam índices de vulnerabilidades muito elevados em relação às inundações, a partir do cenário climático mais pessimista para a região (cenário A2 do modelo regional). Desta forma, pode-se dizer que o mapa do índice de vulnerabilidade territorial apresentado pode ser usado como uma ferramenta rápida de avaliação das áreas vulneráveis da região.

A inclusão das variáveis socioeconômicas no mapa da região de estudo permitirá identificar se as mesmas se encontram dentro das áreas mais vulneráveis às mudanças climáticas. Isto será feito nos Relatórios socioeconômicos 2 & 3 (SOC-2&3), que apresentarão também as medidas de adaptação propostas para a região, através da recomendação de políticas públicas.

No SOC-3 são identificadas as infraestruturas que se encontram em áreas de risco de inundação e também os vazios que não se encontram em áreas de risco, ou seja, onde teoricamente pode ser construído. No entanto, estudos mais específicos devem ser realizados para avaliar a necessidade de revisão do zoneamento de uso e ocupação do solo em função dos produtos deste estudo.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, G. S., GOUVEIA, M. I. F., RIDENTE JÚNIOR, J. L., & CANIL, K. Prevenção e controle da erosão urbana no estado de São Paulo. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, setembro de 2001. Disponível em: Prevenção e controle da erosão urbana no estado de São Paulo. Acesso em: março de 2013.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (1990). Conservação de solo. São Paulo. Icone, 1990.

BOMBARDI, R.J. Variabilidade do Regime de Monções da América do Sul: O Clima Presente e Projeções para o Século XXI. 2008. 112 f. Tese (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CASTRO FILHO, C.; CATANEO, A.; BISCAIA, R.C.M. (1982). *Utilização da Metodologia de Wilkinson para o Cálculo do Potencial Erosivo das Chuvas em Cinco Localidades do Paraná*. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.32, p. 240-241.

CHRISTENSEN, J.H.; HEWITSON, B.; BUSUIOC, A.; CHEN, A.; GAO, X.; HELD, I.; JONES, R.; KOLLI, R.K.; KWON, W.T.; LAPRISE, R.; MAGAÑA R. V..; MEARNS, L.; MENÉNDEZ, C.G.; RÄISÄNEN, J.; RINKE, A.; SARR, A.; WHETTON, P. (2007a) Regional climate projections. Em: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (eds.) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Capítulo 11, Contribuição do grupo de trabalho para o quarto relatório de avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change*. UK: Cambridge University Press, Disponível em http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch11.html>. Acesso em: dezembro 2011.

COMEC - Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. Plano de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Curitiba: propostas de ordenamento territorial e novo arranjo institucional. ISBN 978-85-60622-00-9. 2006. p 303.

CORFEE-MORLOT, J. et al. (2009), "Cities, Climate Change and Multilevel Governance", OECD Environment Working Papers, No. 14, OECD Publishing, © OECD. 2009. doi:10.1787/220062444715.

FAZZANO, A.; WEISS, M.A. Curitiba, Brazil. Metropolitan Economic Strategy Report. Global Urban Development Magazine, 2004. Disponível em: http://www.globalurban.org/GUD%20Curitiba%20MES%20Report.pdf>. Acesso em: 22 de maio de 2012.

FERNANDES, C. V. S., BRAGA, M. C. B., BRAGA, S. M.; MARINS, R. G. (2003). Water Quality Assessment Through the Monitoring of Trihalomethane Concentration in Curitiba Water Distribution System. Advances in Water Supply Management Proceedings of the CCWI '03 Conference, London, 15-17 September 2003. Editado por Cedo Maksimovic, Fayyaz Ali Memon e David Butler. Taylor & Francis. 2003. ISBN: 978-90-5809-608-1.

GARCIAS, C.M.; SANCHES, A.M. *Vulnerabilidades Socioambientais e as Disponibilidades Hídricas Urbanas: levantamento teórico-conceitual e análise aplicada à região metropolitana de Curitiba – PR.* Revista de pesquisa em arquitetura e urbanismo – Revista Risco 10. Programa de pós-graduação do departamento de arquitetura e urbanismo. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2009.

- GERLACH, T. M. *Volcanic versus Anthropogenic Carbon Dioxide. Eos*, Vol. 92, No. 24, p. 201-208, junho 2011.
- GIANNICO, G. R.; HEALEY, M. C. Integrated Management Plan for Suburban Watershed Protecting Fisheries Resources in Salmon River, Langley, British Columbia. Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences, 2008, 50 p.
- GROISMAN. P. Y.; KNIGHT; R. W.; EASTERLING D. R.; Karl, T. R.; Hegerl, G. C.; Razuvaev, V. N. Trends in Intense Precipitation in the Climate. Journal of Climate, no 18. 2005. p. 1326 1350.
- LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. (1975). *Tolerância de Perdas de Terra para solo do Estado de Sao Paulo*. Campinas: Instituto Agronomico de Campinas.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico de 2010. Sinopse do censo demográfico de 2010 para o Estado do Paraná.* Disponível em: http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=41&dados=1. Acesso em: fevereiro de 2012.
- INSTITUTO DE ÁGUAS DO PARANÁ. *Mapas e Dados Espaciais*. Disponível em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=78>. Área de Tecnologia da Informação e Geoprocessamento ATIG. Acesso em: fevereiro de 2012.
- INSTITUTO DE ÁGUAS DO PARANÁ. EROSÃO. Disponível em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PLERH/Produto1 2-ParteD-Revisao_Final_2.pdf. Acesso em: março de 2013.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: Synthesis Report: The Contribution of Working Group I, II and III to the IPCC Fourth Assessment Report. Core Writing Team, PACHAURI, R. K.; REISINGER, A (Eds.), IPCC, Geneva, Switzerland, 2007.
- IPCC (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., Barros, V.; Stocker, T.F.; Qin, D.; Dokken, D.J.;Ebi, K.L.; Mastrandrea, M.D.; Mach, K.J.; Plattner, G.K.; Allen, S.K.; Tignor, M.; Midgley, P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 p. Disponível em: http://ipcc-wq2.gov/SREX/report/ Acesso em: junho 2012.
- IPPUC Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. *Curitiba em Dados 2009*, Curitiba. IBSN: 978-85-88226-08-1, 502 p. (CD-ROM).
- MANNIGEL, A.R. et al. (2002). Fator Erodibilidade e Tolerância de Perda dos Solos do Estado de São Paulo. São Paulo, 2002.
- MARENGO, J.A; CAMARGO C.C. Surface Air Temperature Trends in Southern Brazil for 1960–2002. *International journal of climatology*, no 28, 2008. p. 893–904
- MATTHEWS, T. Climate Change Adaptation in Urban Systems: Strategies for Planning Regimes. Urban Research Program Griffith University Brisbane, QLD 4111. 2011. ISBN 978-1-921760-31-0.
- MARENGO, J. A., Ambrizzi, T.; ALVES, R.P. da R.L.M.; CUADRA, S.V.; Torres, M.C.V.R.R.; SANTOS, D.C.; Ferraz, S.E.T. Future Change of Climate in South America in the Late

- Twenty-First Century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics*. 2009a. Vol. 35, No 6, p. 1073-1097, DOI: 10.1007/s00382-009-0721-6.
- MARENGO, J.A., Jones, R.; Alves, L. M.; VALVERDE, M.C. Future Change of Temperature and Precipitation Extremes in South America as Derived from the PRECIS Regional Climate Modeling System. *International Journal of Climatology*. 2009b. Vol. 29, Issue 15, p. 2241–2255, DOI: 10.1002/joc.1863.
- NOBRE, C.A.; YOUNG, A. F.; SALDIVA, P.; MARENGO, J. A.; NOBRE, A. D.; ALVES JR., S.., SILVA, G.C.M. da; LOMBARDO, M.. Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas: Região Metropolitana de São Paulo (sumário executivo), junho de 2010. 32 páginas. Disponível em: < http://issonaoenormal.com.br/CLIMA_SP_FINAL.pdf, Acesso em: 08 de dezembro de 2012.
- NUÑEZ, M.N.; SOLMAN, S. A.; CABRÉ, M.F. Regional Climate Change Experiments Over Southern South America. II: Climate Change Scenarios in the Late Twenty-first Century. Climate Dynamics. 2008. Doi 10.1007/s00382-008-0449-8.
- PECK, A.; KARMAKAR, S.; SIMONOVIC, S. P. Physical, Economical, Infrastructural and Social Flood Risk Vulnerability Analysis in GIS. Water Resources Research Report Nº 057. Department of Civil and Environmental Engineering. University of Northern Ontario. London, Ontario, Canadá. ISBN: (print) 978-0-7714-2662-9, (online) 978-0-7714-2663-6. Disponível em: http://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1019&context=wrrr>. Acesso em: abril 2012.
- RUFINO, R.L.; BISCAIA, R.C.; MERTEN, G.H. (1993). Determinação do Potencial Erosivo da Chuva do Estado do Paraná através da Pluviometria: Terceira Aproximação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.17, p. 439-444.
- STEIN, D.P.; DONZELLI, P.L.; GIMENEZ, A.F.; PONCANO, W.L.; LOMBARDI NETO, F. (1987). *Potencial de erosão laminar, natural e antrópica na bacia do Peixe-Paranapanema*. Anais do IV Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Marília, SP. P 105-135.
- SUDERHSA Superintendência de Desenvolvimento e Recursos Hídricos. Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. Relatório final Vol. 2. Políticas e ações não estruturais. CH2MHILL Do Brasil Serviços de Engenharia LTDA, 2002a, 107p.
- SUDERHSA Superintendência de Desenvolvimento e Recursos Hídricos. Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. Relatório final Vol. 6. Manual de Drenagem Urbana. CH2MHILL Do Brasil Serviços de Engenharia LTDA, 2002b, 150p.
- VINCENT, L.A.; PETERSON, T.C.; BARROS, V.R.; MARINO, M.B.; RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L.M.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M.A.; GRIMM, A.M.; MARENGO, J.A.; MOLION, L.; MONCUNILL, D.F.; REBELLO, E.; ANUNCIAÇÃO, Y.M.T.; QUINTANA, J.; SANTOS, J.L.; BAEZ, J.; CORONEL, G.; GARCIA, J.; TREBEJO, I.; BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M.R.; KAROLY, D. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000. Journal of Climate, nº 18. 2005, p. 5011–5023.
- The World Bank. Guide to Climate Change Adaptation in Cities.2011. The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Disponível em: <www.esd.worldbank.org/citiesccadaptation> Acesso em: abril de 2012.

VANPEENE BRUHIER, S. Evaluation des Risques Environnementaux pour la Gestion Durable des Espaces in. Evaluation des risques environnementaux pour une gestion durable des espaces. Actes des journées 2003 de l'Association Internationale pour l'Écologie du Paysage IALE France. Synthèse des concepts de l'écologie du paysage. 2003. p. 9 – 19.

WALTRICK, P.C. (2010). Erosividade de Chuvas no Paraná. Atualização, Influência do El Nino e La Nina, e Estimativa para Cenários Climáticos Futuros. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em ciência do solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses. A guide to Conservation Planning*. US Department of Agriculture. Agriculture Handbook no 537.

YOUNG, A.F.; ROCHA, J.-V. Unicamp, B.G. Identification des Impacts, Tendances et Potentialités de Parcs Urbains dans Curitiba (Brésil) à Travers Une Analyse Stratégique de L'environnement, in. Evaluation des risques environnementaux pour une gestion durable des espaces. Actes des journées 2003 de l'Association Internationale pour l'Écologie du Paysage IALE France. 2003. p. 189 – 195.

