



# Simulação de elevação do nível do mar na cidade de Joinville (SC)

Simulation of sea level rise in Joinville city (SC)

*Samara Braun, FURB, samii.braun@gmail.com*

*Juarez José Aumond, FURB, juares.aumond@gmail.com*

## RESUMO

Os prognósticos indicam que ao longo deste século as mudanças climáticas ocasionarão o aumento médio global do nível do mar. Tal alteração ocasionará impactos sobre diversas cidades costeiras. O objetivo deste artigo é de mapear as áreas impactadas pela elevação do nível do mar na cidade de Joinville (SC), uma cidade que surge e se expande sobre uma planície costeira e ecossistemas de mangue. Os mapeamentos foram realizados através de softwares de geoprocessamento e indicam a elevação do nível do mar impactará ecossistemas naturais e urbanos. Os cenários de prognósticos das mudanças climáticas possibilitam uma análise de possíveis situações futuras, configurando uma ferramenta relevante para o planejamento das cidades. A relevância deste mapeamento inicial consiste em inspirar os planejadores e urbanistas a refletirem sobre as mudanças climáticas e conseqüentes alterações que irão ser ocasionadas nas dinâmicas locais, para fins de planejamento e construção de uma cidade mais sustentável e resiliente.

**Palavras Chave:** Mudanças Climáticas; Adaptação; Resiliência; Planejamento Urbano

## ABSTRACT

The prognostics indicate that over the course of this century, climate change will lead to global mean sea level rise. Such an alteration will have impacts on several coastal cities. The objective of this article is to map the areas impacted by sea level rise in the city of Joinville (SC), a city that appears and expands on a coastal plain and mangrove ecosystems. The mapping done through geoprocessing software and indicates sea level rise will affect natural and urban ecosystems. The climate change forecasting scenarios allow for an analysis of possible future situations, forming a relevant tool for city planning. The relevance of this initial mapping is to inspire planners and urban planners to reflect on climate change and the consequent changes that will be brought about in local dynamics for the purpose of planning and building a more sustainable and resilient city.

**Keywords:** Climate Changes; Adaptation; Resilience; Urban Planning

## INTRODUÇÃO

Vivemos em um período de grandes transformações climáticas, intensificado ao longo das décadas pela emissão crescente de Gases de Efeito Estufa, provenientes de atividades antrópicas. A biosfera, por se tratar de um sistema dinâmico complexo, manifesta os impactos destas mudanças ocasionadas no clima. Escassez de água, desastres naturais, intensificação das ondas de calor, elevação do nível do mar, entre tantos inúmeros outros impactos decorrentes, que afetam diretamente ao naturais e às comunidades humanas (IPCC, 2014; LABOURIAU, 1998).

Referente à elevação do nível do mar, durante o século XX, foi registrado um aumento médio global do nível de 19 cm, e os modelos climáticos para o final do século XXI identificam a possibilidade de aumento médio de 82 centímetros. Mesmo nos cenários mais otimistas quanto às ações de mitigação das mudanças climáticas, o fenômeno de eustasia (assim denominado o aumento do nível da água dos oceanos) continuaria a ocorrer, impactando zonas costeiras e cidades litorâneas por meio da transgressão marinha. Estima-se que 70% das zonas costeiras do mundo serão impactadas pelo aumento global do nível dos oceanos (IPCC, 2014).

No contexto das mudanças climáticas, as cidades se encontram em um paradoxo: estão entre as maiores fontes de emissão de Gases de Efeito Estufa e também são as áreas mais sensíveis aos impactos causados pelas mudanças climáticas (BRAGA, 2012; VAGGIONE, 2014). As cidades necessitam ser discutidas no contexto das mudanças climáticas, nas ações de mitigação e de adaptação adotadas, por isso, se faz necessário compreender quais impactos as cidades estão suscetíveis. A cidade de Joinville, localizada na região Nordeste do estado de Santa Catarina, teve seu processo de urbanização iniciado na segunda metade do século XIX e intensificado durante o século XX. A sua ocupação se deu em um sítio plano, com pouca variação altimétrica em relação ao nível do mar, razão pela qual vem sofrendo com inundações decorrentes da influência de marés. Neste aspecto, cabe questionarmos: em cenários futuros, Joinville poderá ser impactada pela eustasia decorrente das mudanças climáticas?

O objetivo deste artigo é de identificar as áreas suscetíveis à elevação do nível do mar, em função das mudanças climáticas, em Joinville. Para tanto, foi realizado um mapeamento das áreas impactadas pela elevação do mar. A cidade é atualmente a mais populosa do estado de Santa Catarina, e com significativos índices de crescimento econômico e de desenvolvimento humano. Devido seu histórico de impactos oriundos da variação das marés, a cidade de Joinville necessita de estudos e prognósticos da elevação do nível do mar na área urbana e áreas adjacentes para o planejamento territorial urbano. Este trabalho possibilita uma análise dos impactos da elevação do nível do mar sobre a cidade de Joinville (SC), visto a relevância desta região de zona costeira para o desenvolvimento econômico local e regional. Além do mais, a pesquisa contribui na identificação de áreas de risco socioambiental e para geração de ferramentas para o planejamento territorial.

## MUDANÇAS CLIMÁTICAS, EUSTASIA E CIDADES

O Planeta Terra está em constante transformação, passando pulsações climáticas caracterizadas por uma combinação única, que compõe esse sistema dinâmico de superfície, atmosfera, mares, organismos e ecossistemas. Compõem estes ciclos climáticos (de pulsações e flutuações), como fator comum, alguns fenômenos naturais, como o balanço energético do planeta – que conforma o Efeito Estufa – um complexo sistema interdependente, que por si, busca o equilíbrio ecológico

incessante do planeta. Entretanto, o aumento da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE)<sup>1</sup> com origem nas atividades tem influenciado neste equilíbrio energético, interferindo e acelerando o Efeito Estufa, e ocasionando nestes últimos séculos o aumento acelerado da temperatura média global. A interferência antrópica no sistema climático ocasiona diversas transformações no clima e em inúmeros outros fenômenos e sistemas naturais e socioeconômicos – os quais o clima mantém interação – configurando um ciclo de retroalimentação positiva, que repercute nos elementos componentes do sistema e nos demais sistemas do universo interativo (GELBSPAN, 1999; LABOURIAU, 1998; TAVARES, 2004).

De acordo com o 5º Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (do inglês, Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) de 2014, a influência humana sobre o sistema climático é cada vez mais evidente, sendo muitas mudanças observadas ao longo das últimas décadas, como o aumento da temperatura- da atmosfera e dos oceanos - diminuição do volume global de neve e gelo, e o aumento médio global do nível do mar. Entretanto, além das transformações já observadas, e das transformações em curso, a emissão contínua de GEE causará ainda mais aquecimento e mudanças em todos os componentes do sistema climático, ampliando consideravelmente a probabilidade de graves e novos impactos difusos e irreversíveis. Diante deste cenário, fica evidente a vulnerabilidade<sup>2</sup> e exposição de alguns ecossistemas e sistemas humanos à variabilidade climática. Especificamente em áreas urbanas, as mudanças climáticas interferirão sobre a qualidade de vida por meio dos riscos de estresse ocasionado pelo calor, tempestades e precipitação extrema, inundações costeiras, deslizamentos de terra, poluição do ar, a escassez de água e elevação do nível do mar, tornando ainda mais vulneráveis as localidades desprovidas de infraestrutura básica e serviços, ou em áreas de exposição direta aos impactos.

No intuito de elucidar os impactos decorrentes das mudanças climáticas para as próximas décadas e até o final do século, o 5º Relatório do IPCC (2014) apresenta quatro possíveis cenários (denominados *RCP*), que variam desde o cumprimento rigoroso de medidas de mitigação, até o cenário possível caso os modelos vigentes de desenvolvimento e crescimento econômico e populacional se mantenham (IPCC, 2014; MOSS, et al., 2010). Neste sentido, cabe diferenciar os cenários *RCP 2.6* e *RCP 8.5*. O *Cenário RCP 2.6* tem por premissa que sejam cumpridas as metas para rigorosa mitigação, com o objetivo de manter o aquecimento global em temperaturas não superiores a 2°C acima das temperaturas pré-industriais. Já o *Cenário RCP 8.5* tem por base que nenhum esforço adicional seria realizado para reduzir as emissões de GEE, além daquelas em vigor atualmente, e considerando o crescimento das emissões globais, impulsionado pelo crescimento da população mundial e atividades econômicas. O quadro a seguir (Quadro 1) apresenta uma síntese dos principais impactos conforme os cenários do IPCC.

---

<sup>1</sup> São alguns dos Gases de Efeito Estufa: Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>), Hidrofluorcarbonos (HFCs) e Perfluorocarbono (PFCs), provenientes de atividades antrópicas como a queima de combustíveis fósseis, produção de energia, processos industriais e agropecuários, alterações de uso do solo.

<sup>2</sup> “A vulnerabilidade indica o quanto existe de inabilidade para lidar com os efeitos adversos das mudanças climáticas e depende da sensibilidade e da capacidade de adaptação dos sistemas” (TAVARES, 2004, p. 70).

CENÁRIOS FUTUROS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS				
IMPACTOS	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
<b>Aumento da temperatura média global</b>	De 0,3 °C a 1,7 °C	De 1,1°C a 2,6°C	De 1,4°C a 3,1°C	De 2,6°C a 4,8°C
<b>Ph da superfície dos oceanos – acidificação dos oceanos</b>	0,06-0,07 (aumento de 15 a 17% da acidez),	0,14-0,15 (38 a 41% de aumento da acidez).	0,14-0,15 (38 a 41% de aumento da acidez)	0,30-0,32 (100 a 109% de aumento da acidez)
<b>Derretimento das geleiras</b>	15 a 55%			35 a 85%
<b>Aumento médio global do nível do mar</b>	<b>De 0,26m e 0,55m</b>			<b>De 0,45m e 0,82m.</b>

Quadro 1 – Quadro síntese dos Cenários Futuros das Mudanças Climáticas. Fonte: Elaboração própria, base de dados do IPCC (2014).

Se tratando diretamente da elevação do nível do mar, pelas medições maregráficas, durante o período de 1901 a 2010, constatou-se o aumento médio global de 0,19m. As projeções do IPCC (2014) para o século XXI mostram que o fenômeno será ainda mais acelerado, com previsões de até 0,82m até 2100, continuando a subir mesmo que as emissões de GEE sejam reduzidas. Apesar das variações ao longo dos períodos geológicos, nunca a variação foi tão rápida como aquela a que se prevê. Este aumento se espacializa de maneira diferenciada no entorno do globo e cerca de 70% das zonas costeiras do globo serão impactadas incluindo o litoral brasileiro. A elevação do nível do mar acarretará impactos de formas diferenciadas ao longo das costas, desde simples inundação ao recuo das linhas de orla; o recuo de biota; invasão dos aquíferos de água doce por água salgada (gerando águas mixolinas); interferência na macrodrenagem de águas interiores, ocasionando alagamentos e fenômenos de enchentes; e ainda, poderá interferir nas redes de abastecimento de água e saneamento básico; impacto sobre populações costeiras e ecossistemas, entre outras diversas consequências (GESCH, 2009; IPCC, 2014; KOPP, et al., 2014; LABOURIAU, 1998).

A elevação do nível do mar, no contexto das mudanças climáticas, decorre de diversos fatores, como o aquecimento e expansão térmica da água dos oceanos, derretimento das geleiras continentais e alteração das correntes oceânicas e efeito albedo<sup>3</sup>. Atualmente, cerca de um quinto da população mundial vive num raio de 30 km do oceano e este aumento irá impactar cerca de 70% das regiões costeiras do globo, pelo avanço permanente das águas e transgressão marinha, associada à frequência e intensidade de tempestades e inundações, impactando ecossistemas naturais e comunidades (KOPP, et al., 2014; IPCC, 2014; STRAUSS, et al., 2012). O aumento do nível do mar local se distingue do aumento médio global, o que Kopp et al. (2014) destacam como sendo um fato crítico para o planejamento de adaptação e gestão de risco. Dentre os quatro cenários apresentados pelo 5º Relatório do IPCC (2014), especificamente do aumento médio global do nível do mar, tem-se que nesta primeira metade de século, a média global estará entorno de 17 a 38 cm, com alterações significativas no final do século, quando a variabilidade prevista varia entre 26 cm a 82 cm (figura 1).

<sup>3</sup> Efeito albedo: o derretimento da neve e do gelo revela o oceano mais escuro e a superfície abaixo, absorvendo mais da energia solar e causando mais aquecimento em um ciclo de retroalimentação (ALVES, 2009, p. 155).

**Table 2.1** | Projected change in global mean surface temperature and global mean sea level rise for the mid- and late 21st century, relative to the 1986–2005 period. (WGI Table SPM.2, 12.4.1, 13.5.1, Table 12.2, Table 13.5)

	Scenario	2046–2065		2081–2100	
		Mean	Likely range <sup>c</sup>	Mean	Likely range <sup>c</sup>
Global Mean Surface Temperature Change (°C) <sup>a</sup>	RCP2.6	1.0	0.4 to 1.6	1.0	0.3 to 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 to 2.0	1.8	1.1 to 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 to 1.8	2.2	1.4 to 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 to 2.6	3.7	2.6 to 4.8
	Scenario	Mean	Likely range <sup>d</sup>	Mean	Likely range <sup>d</sup>
Global Mean Sea Level Rise (m) <sup>b</sup>	RCP2.6	0.24	0.17 to 0.32	0.40	0.26 to 0.55
	RCP4.5	0.26	0.19 to 0.33	0.47	0.32 to 0.63
	RCP6.0	0.25	0.18 to 0.32	0.48	0.33 to 0.63
	RCP8.5	0.30	0.22 to 0.38	0.63	0.45 to 0.82

Notes:

<sup>a</sup> Based on the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) ensemble; changes calculated with respect to the 1986–2005 period. Using Hadley Centre Climatic Research Unit Gridded Surface Temperature Data Set 4 (HadCRUT4) and its uncertainty estimate (5 to 95% confidence interval), the observed warming from 1850–1900 to the reference period 1986–2005 is 0.61 [0.55 to 0.67] °C. *Likely* ranges have not been assessed here with respect to earlier reference periods because methods are not generally available in the literature for combining the uncertainties in models and observations. Adding projected and observed changes does not account for potential effects of model biases compared to observations, and for natural internal variability during the observational reference period. (WGI 2.4.3, 11.2.2, 12.4.1, Table 12.2, Table 12.3)

<sup>b</sup> Based on 21 CMIP5 models; changes calculated with respect to the 1986–2005 period. Based on current understanding (from observations, physical understanding and modelling), only the collapse of marine-based sectors of the Antarctic ice sheet, if initiated, could cause global mean sea level to rise substantially above the *likely* range during the 21st century. There is *medium confidence* that this additional contribution would not exceed several tenths of a meter of sea level rise during the 21st century.

<sup>c</sup> Calculated from projections as 5 to 95% model ranges. These ranges are then assessed to be *likely* ranges after accounting for additional uncertainties or different levels of confidence in models. For projections of global mean surface temperature change in 2046–2065, *confidence* is *medium*, because the relative importance of natural internal variability, and uncertainty in non-greenhouse gas forcing and response, are larger than for the 2081–2100 period. The *likely* ranges for 2046–2065 do not take into account the possible influence of factors that lead to the assessed range for near term (2016–2035) change in global mean surface temperature that is lower than the 5 to 95% model range, because the influence of these factors on longer term projections has not been quantified due to insufficient scientific understanding. (WGI 11.3.1)

<sup>d</sup> Calculated from projections as 5 to 95% model ranges. These ranges are then assessed to be *likely* ranges after accounting for additional uncertainties or different levels of confidence in models. For projections of global mean sea level rise *confidence* is *medium* for both time horizons.

**Figura 1 – Tabela de projeção de aumento da temperatura e aumento do nível do mar para o século XXI.**

Fonte: IPCC (2014).

Kopp et al. (2014) em sua pesquisa levantam diferentes projeções de aumento médio global do nível do mar, tanto para este século como para os próximos. A síntese desta pesquisa é esboçada na figura 2, demonstrando que neste século, as projeções realizadas apresentam resultados próximos, embora, mais elevados que os cenários apresentados pelo relatório do IPCC de 2014.

**Table 1. GSL Projections<sup>a</sup>**

cm	RCP 8.5					RCP 4.5					RCP 2.6				
	50	17-83	5-95	0.5-99.5	99.9	50	17-83	5-95	0.5-99.5	99.9	50	17-83	5-95	0.5-99.5	99.9
<b>2100—Components</b>															
GIC	18	14-21	11-24	7-29	<30	13	10-17	7-19	3-23	<25	12	9-15	7-17	3-20	<25
GIS	14	8-25	5-39	3-70	<95	9	4-15	2-23	0-40	<55	6	4-12	3-17	2-31	<45
AIS	4	-8 to 15	-11 to 33	-14 to 91	<155	5	-5 to 16	-9 to 33	-11 to 88	<150	6	-4 to 17	-8 to 35	-10 to 93	<155
TE	37	28-46	22-52	12-62	<65	26	18-34	13-40	4-48	<55	19	13-26	8-31	1-38	<40
LWS	5	3-7	2-8	-0 to 11	<11	5	3-7	2-8	-0 to 11	<11	5	3-7	2-8	-0 to 11	<11
Total	79	62-100	52-121	39-176	<245	59	45-77	36-93	24-147	<215	50	37-65	29-82	19-141	<210
<b>Projections by year</b>															
2030	14	12-17	11-18	8-21	<25	14	12-16	10-18	8-20	<20	14	12-16	10-18	8-20	<20
2050	29	24-34	21-38	16-49	<60	26	21-31	18-35	14-44	<55	25	21-29	18-33	14-43	<55
2100	79	62-100	52-121	39-176	<245	59	45-77	36-93	24-147	<215	50	37-65	29-82	19-141	<210
2150	130	100-180	80-230	60-370	<540	90	60-130	40-170	20-310	<480	70	50-110	30-150	20-290	<460
2200	200	130-280	100-370	60-630	<950	130	70-200	40-270	10-520	<830	100	50-160	30-240	10-500	<810
<b>Other projections for 2100</b>															
AR5	73	53-97				52	35-70				43	28-60			
H14		70-120	50-150									40-60	25-70		
J12	110		81-165			75	52-110				57		36-83		
S12						90	64-121				75		52-96		

<sup>a</sup>TE: Thermal expansion, LWS: Land water storage, H14: Horton et al. [2014], J12: Jevrejeva et al. [2012], S12: Schaeffer et al. [2012]. All values are cm above 2000 CE baseline except for AR5, which is above a 1986-2005 baseline.

Figura 2 – Projeções de aumento médio do nível do mar. Fonte: (KOPP, et al., 2014, p. 389).

Em ambos os casos se confirma que até o final do século a situação é irreversível e o mar aumentará em seu nível médio global. A variação dependerá exclusivamente de ações que diminuam a emissão de Gases de Efeito Estufa. Mesmo que efetivada estas ações, o mar terá seu nível alterado e regiões continuarão vulneráveis à esta variação, sendo necessário que medidas de adaptação e de resiliência sejam tomadas.

Algumas cidades brasileiras lá lidam com aumento da ocorrência e frequência de ressacas, ocasionando transgressão marinha, erosão e alteração da linha de costa. A cidade de Joinville, numa condição singular por se localizar num estuário e sobre uma planície costeira de pouca variação altimétrica, está suscetível às variações provocadas pela maré, ocasionando remanso e alagamentos. Por vezes, a ocorrência destes fenômenos junto à alta precipitação pluviométrica provoca inundações de maior amplitude, inundando as regiões centrais da cidade. Outro agravante se dá pela tendência de aumento na frequência e intensidade de eventos pluviométricos extremos na região Sul do Brasil, decorrentes do aumento da temperatura que interfere sobre os fluxos de umidade (BRASIL, 2016).

Diante disto, cabe destacar que as cidades são consideradas atualmente as causadoras do maior impacto ambiental. No mundo, as cidades ocupam cerca de 2% do território, mas geram 75% do total de emissões de GEE (IPCC, 2014; VAGGIONE, 2014). Mas também, diante das mudanças climáticas, as cidades encontram-se mais suscetíveis aos impactos, pela falta de recursos ou pela exposição direta aos desastres – como secas, intensas precipitações, inundações e transgressão marinha – que ao longo das décadas vem ampliando a ocorrência e a intensidade. Apesar de comunidades humanas demonstrarem ao longo da história a alta capacidade criativa de adaptação ao meio, estamos cada vez mais próximos de situações extremas e de amplo impacto, que demandam planejamento para adaptarmos-nos às situações que se configuram irreversíveis.

No contexto urbano, a adaptação consiste na adoção de medidas de ajuste dos sistemas naturais e socioeconômicos, e que aumentem a capacidade de resiliência, e em estratégias que objetivem

reduzir a vulnerabilidade socioambiental às mudanças climáticas (IPCC, 2014; VAGGIONE, 2014), fundamentadas numa perspectiva de sustentabilidade e de que cada ambiente demanda soluções singulares. Tais conceitos permeiam o PNA e a Nova Agenda Urbana (Habitat III), compreendendo que o cenário futuro para as cidades demandará uma nova forma de desenvolvimento, que implica em planejamento e tomada de decisões em um contexto de incertezas e num ambiente dinâmico. A baixa capacidade de resposta frente às mudanças climáticas irá refletir diretamente sobre o agravamento da vulnerabilidade socioambiental. Assim a adaptação precisa ser promovida como um indutor da diminuição das vulnerabilidades, principalmente na cidade informal, que devido a fragmentação, ocupa espaços que configuram cenário de suscetibilidade e fragilidade, e diversas vezes, insalubridade (BRASIL, 2016).

Atualmente, já não é mais possível dissociar o ambiente urbano e a sociedade, do modelo de desenvolvimento vigente, pois o modelo de desenvolvimento determina o ambiente a ser construído, e o atual modelo tem produzindo uma instabilidade social desastrosa e levando a um declínio ambiental adicional (CHOAY, 1985; ROGERS; GUMUCHDJIAN, 2005). Em resposta, aliando a noção de sustentabilidade e desenvolvimento, surge a noção de Desenvolvimento Sustentável, que segundo Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1987) é o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”. O planejamento urbano focado na sustentabilidade conduz à adequação do espaço construído aos processos naturais, e também leva a uma ampla reflexão sobre os modelos sociais e econômicos vigentes. A noção de cidade sustentável reconhece que a cidade precisa atender os nossos objetivos sociais, ambientais, políticos e culturais, bem como aos objetivos econômicos e físicos. É um organismo dinâmico tão complexo quanto a própria sociedade e suficientemente ágil para reagir rapidamente às suas mudanças (ROGERS; GUMUCHDJIAN, 2005; SIEBERT, 2012), entretanto, precisa incorporar uma nova dimensão, das mudanças climáticas.

## METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do mapeamento foram utilizados softwares de geoprocessamento. A representação virtual de fenômenos ou de dados permite a realização de estudos preditivos e de relações de causa e efeito, o que Moura (2005) denomina de estudo de cenários. A configuração geomorfológica é uma variável fundamental que ajuda a determinar a vulnerabilidade das paisagens costeiras, associado a cartografias de áreas sujeitas a inundação potencial, configuram cenários de grande utilidade para planejadores e gestores preocupados com os impactos da eustasia decorrente das mudanças climáticas (GESCH, 2009).

Para a produção da cartografia foram utilizados os *softwares GIS Global Mapper* versão 17 e *ARCGis* versão 9, (ARCGIS, 2016; BLUE MARBLE, 2016). Para ambos os programas se utilizou a base cartográfica do município, disponível na plataforma online *SIMGeo* (Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas) da Prefeitura Municipal de Joinville (PMJ, 2010). A base cartográfica municipal contém em sua base de dados a cobertura aerofotogramétrica, informações de curvas de nível (intervalo de cinco metros), entre outras camadas. Esses dados foram adquiridos na forma de mapas digitais (nos formatos *.dxf* e *.shp*). Os dados de cenários utilizados são referentes as previsões do IPCC, publicado no 5º Relatório, de 2014, na atualidade uma referência em dados a respeito das mudanças climáticas. Não foram considerados nesta pesquisa, as questões de precipitações pluviométricas, de variação de marés e de remanso, sendo a análise destes fatores uma das sugestões de continuidade de pesquisa.



O processo realizado em ambos os programas acima citados consiste na inclusão da base de dados, obtenção de um *TIN*<sup>4</sup> ou *Elevation Grid para representação da morfologia da superfície*, e a demarcação das alturas especificadas. A partir destes modelos, com outros processos, foi possível obter os mapas e visualizações tridimensionais.

## JOINVILLE

Localizado no estado de Santa Catarina, o município de Joinville é polo da microrregião Nordeste do Estado. Junto aos municípios de São Francisco do Sul, Araquari, Balneário Barra do Sul, Garuva e Itapoá, compõe o entorno da Baía da Babitonga, a maior baía navegável do estado, abarcando dois portos (de Itapoá e de São Francisco do Sul). A cidade de Joinville se destaca pelo alto Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, de 0,809 (IDHM, 2010) e por ser atualmente a cidade catarinense mais populosa, com 515.288 habitantes (IBGE, 2010). Economicamente, a cidade se destaca como terceiro polo industrial da região Sul (IPPUJ, 2015).

Numa breve análise retrospectiva, sobre a planície costeira de Joinville e entorno já incidiram transgressões marinhas antigas, fenômeno evidenciado pela existência de sítios arqueológicos de povos Sambaquianos e concheiros naturais. Mais recentemente, desde a colonização de Joinville, na segunda metade do século XIX, já havia conhecimento sobre as inundações na localidade, e desde os primeiros anos de colônia, obras de drenagem foram realizadas. Entretanto, a ocorrência de inundações tem ampliado (SILVEIRA, et al., 2009), assim como a expansão sobre áreas suscetíveis às inundações e sobre ecossistemas vulneráveis às mudanças climáticas (SOUZA, 1991; IPPUJ, 2015). Disto, cabe questionarmos, quais áreas de Joinville serão impactadas pela elevação do nível do mar? Para tanto, foram realizadas simulações a partir dos cenários apresentados no 5º Relatório do IPCC.

## MAPEAMENTO DE CENÁRIOS E IMPACTOS

Dentre os quatro cenários apresentados pelo 5º Relatório do IPCC (2014), especificamente do aumento médio global do nível do mar, tem-se que nesta primeira metade de século, a média global estará entorno de 17 a 38 cm, com alterações significativas no final do século, quando a variabilidade prevista está entre 26 cm a 82 cm. A simulação se deu com a aplicação direta das cotas previstas nos cenários do IPCC. Foram considerados os cenários *RCP 2.6 (0,26m e 0,55 m; "cenário otimista")* e *RCP 8.5 (0,45m e 0,82m; "cenário pessimista")*. Foi considerada também a elevação do nível em 1m, como sendo o *tailrisk*<sup>5</sup> (figura 3).

---

4 Dados do tipo *Triangulated Irregular Network* são baseados em vetores e se constroem mediante a triangulação de um conjunto de vértices e pontos (como dados de curva de nível e ponto cotado), formando então uma malha triangulada, de tamanhos diversos, contígua e sem sobreposições.

5 TailRisk: os limites de variação que excedem para mais ou para menos as projeções realizadas, a probabilidade de um evento.

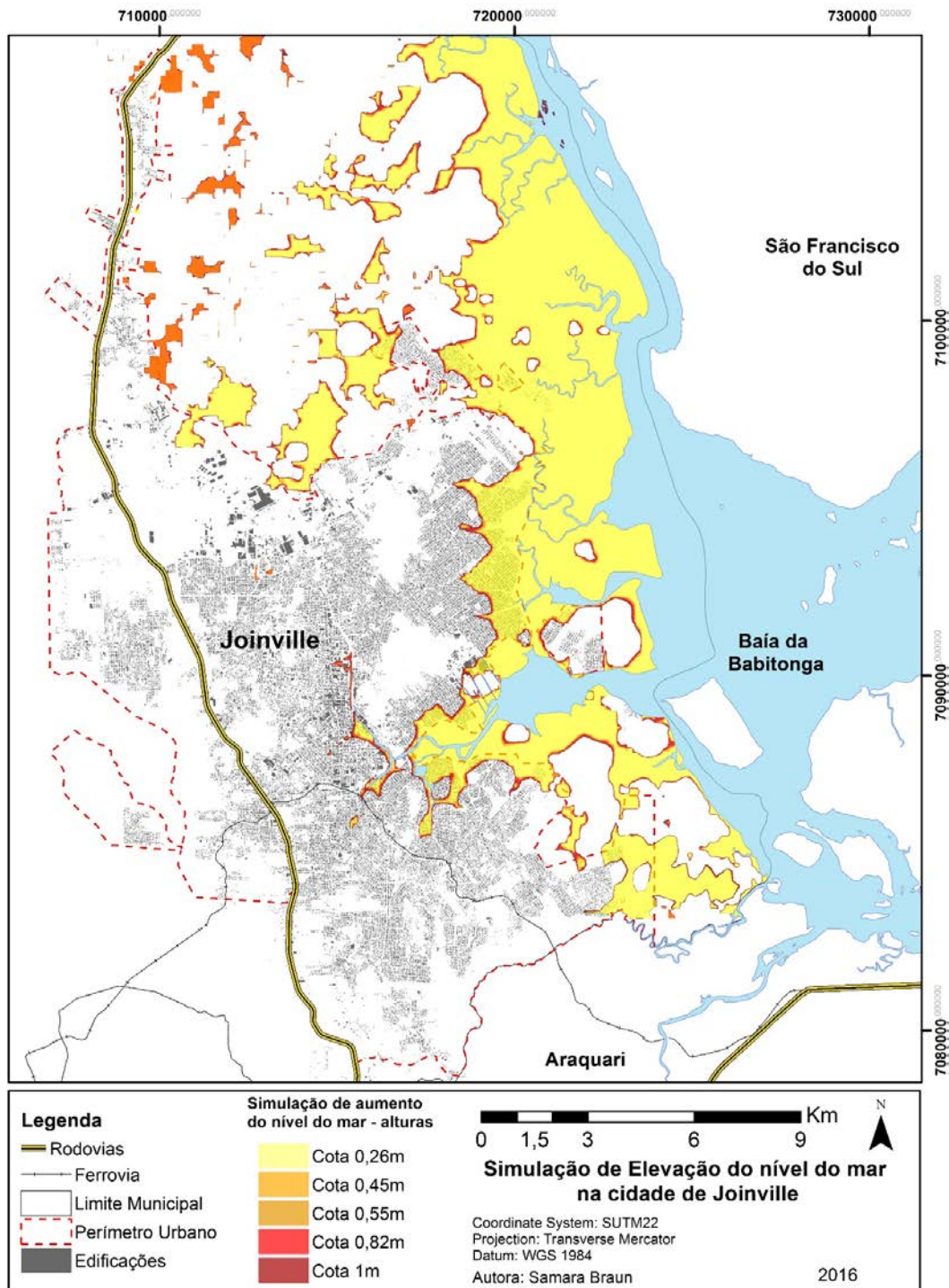


Figura 3 – Simulação elevação do nível do mar em Joinville. Fonte: A autora (2016).

Observa-se na cartografia, que as áreas mais extensas impactadas pela elevação do nível do mar estão no perímetro rural da cidade, em áreas de ocupação agropecuária e de ecossistema de mangues. Na área urbana, são suscetíveis à impactos, direta ou indiretamente, 20 dos 43 bairros.

As figuras 4, 5 e 6 (um recorte da área central e Leste da cidade) ilustram os cenários de elevação do nível do mar, e as diferenças entre as regiões de maior e de menor impacto. Estas planícies são áreas de formação recente (especialmente aquelas áreas de sedimentos quaternários do Holoceno), composta de areias e siltes. Sendo a cidade assentada sobre uma planície, as regiões de calhas de rios (leito secundário) dos cursos do rio Cachoeira e Mathias serão atingidas até na região central, nos cenários de maior elevação.

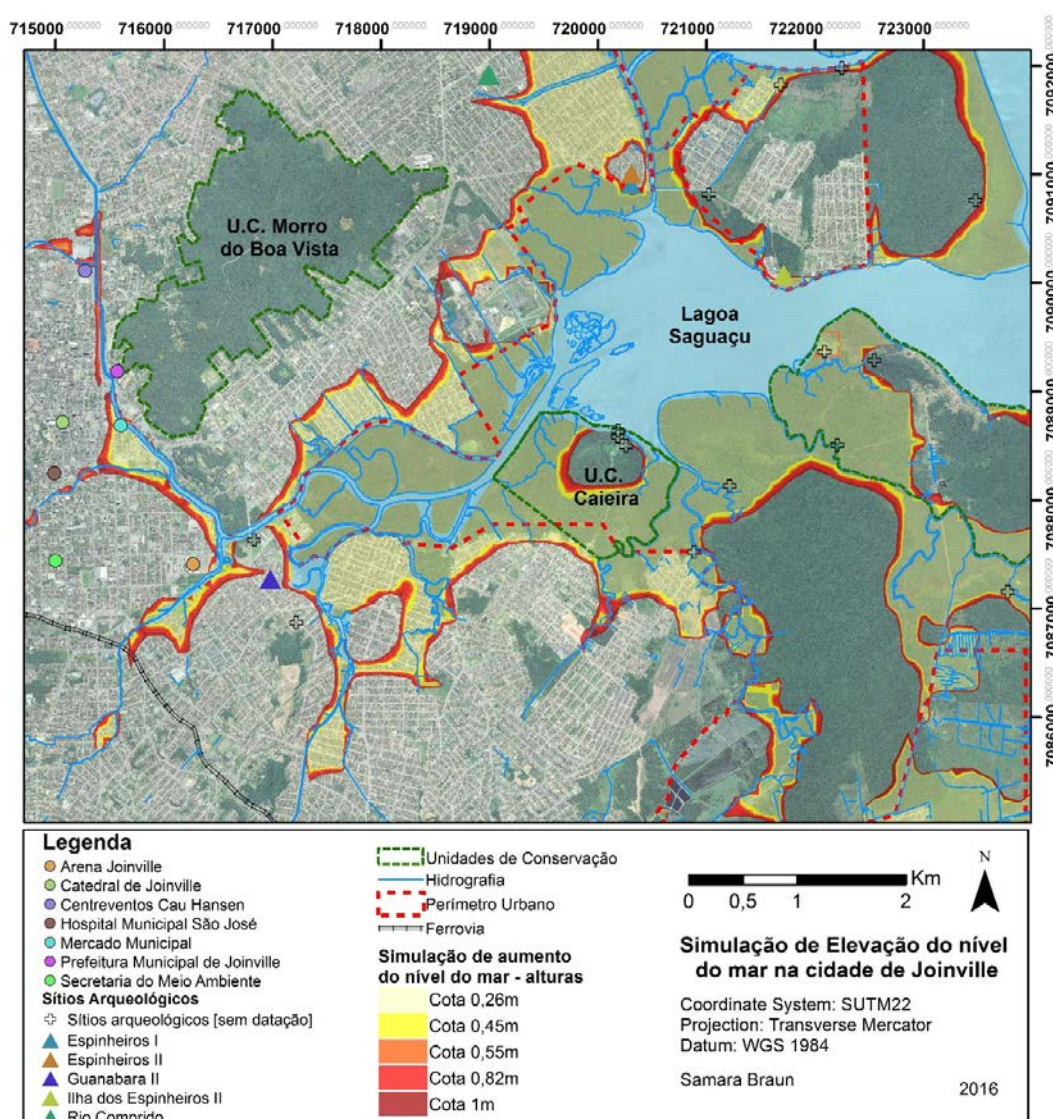


Figura 4 – Simulação elevação do nível do mar na região central. Fonte: A autora (2016).

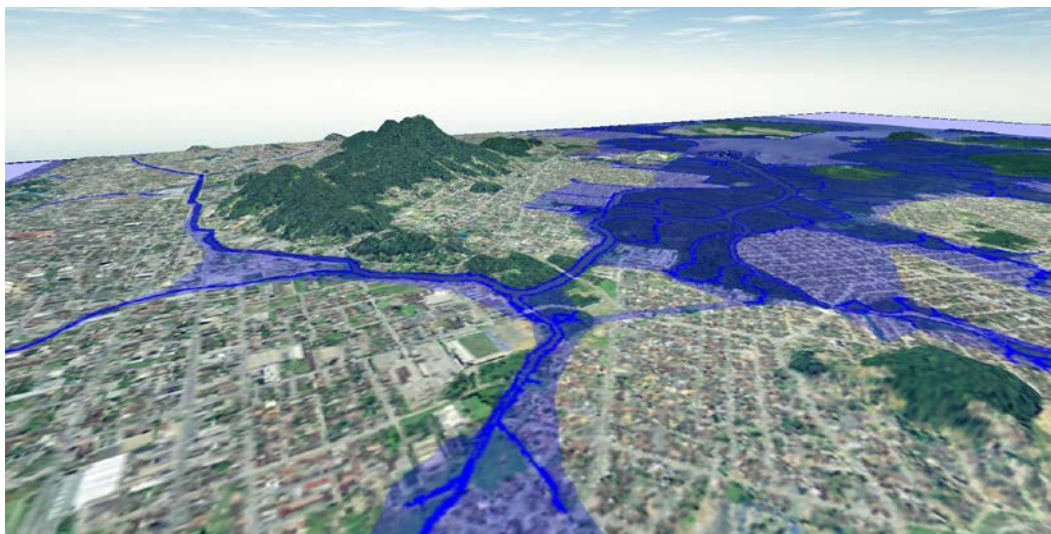


Figura 5 - Visualização em perspectiva da simulação de elevação do nível do mar em 1m. Fonte: A autora (2016).

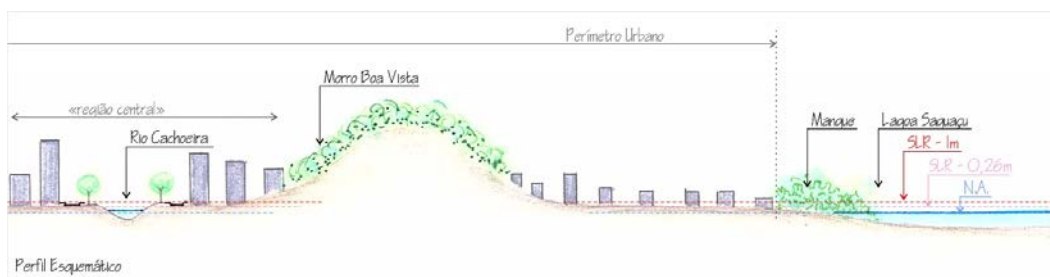


Figura 6 – Perfil Esquemático transversal da região central. Fonte: A autora (2016).

Este impacto da elevação do nível do mar se expressa no avanço da lâmina d'água e poderá também ser observado por meio de alterações nas dinâmicas de remanso, alteração nos fenômenos de maré alta, na intrusão salina sobre lençóis freáticos, interferência em sistema de drenagem urbana e de saneamento básico, modificação pedológica - tornando os solos mais alagadiços e menos aptos à algumas atividades agropecuárias - e suscetível a danificar infraestruturas – como estradas e infraestruturas subterrâneas.

Neste detalhe da região central da cidade, observa-se a existência de sítios arqueológicos, alguns fora da área de avanço da lâmina d'água. Tratam-se de sítios de Sambaquis, construções artificiais feitas por populações pré-históricas de pescadores-coletores-caçadores que ocuparam a costa brasileira entre 7.000 e 1.000 anos. A existência destes sítios é um dos indicadores das antigas posições dos níveis marinhos, pois parte-se da premissa de que as bases dos sítios, no início de sua construção, estavam em zonas acima da linha de maré alta e em sua maioria sobre substrato seco, mas próximos à linha de costa da época (SCHEEL-YBERT, et al., 2009; BRASIL, 1988).

Cabe destacar também que os ecossistemas de mangues serão impactados pelas mudanças climáticas. Os ecossistemas apresentam certa flexibilidade de adaptação à distúrbios ou

interferências, levando o sistema natural de volta ao equilíbrio. Entretanto, as flutuações ecológicas ocorrem entre limites de tolerância (CAPRA, 1996). Neste caso, devido à falta de espaço para migração dos mangues devido a ocupação urbana, a elevação do nível do mar afetará a capacidade de resiliência<sup>6</sup> e persistência<sup>7</sup> destes ecossistemas, e logo, os serviços ambientais prestados por estes (ALONGI, 2007; KIRWAN, et al., 2010; IPCC, 2014; BRASIL, 2016).

O estresse sobre os mangues da baía poderá causar a supressão deste ecossistema, expondo diretamente as áreas urbanas à processos erosivos, aumento das áreas inundadas e interferência na qualidade de vida, das águas costeiras e biodiversidade da baía, afetando *habitats* e causando a redução da biodiversidade, impactando inclusive as comunidades humanas que dependem dos serviços ambientais prestados pelos manguezais. A supressão destas áreas de mangues implicará também em liberação de grandes quantidades de carbono armazenado por este ecossistema. Porém, o oposto é de suma relevância. A conservação dos mangues trará benefícios que se estendem às cidades através de alguns dos serviços ambientais prestados, como a capacidade de sequestro de carbono, conservação da biodiversidade, meio de subsistência de comunidades tradicionais e proteção da costa contra erosão e impacto das ondas e diminuição da vulnerabilidade.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A projeção de cenários por meio de cartografia pode ser um meio significativo de representação de situações passíveis de acontecer, diminuindo a ‘imprevisibilidade’ de certas situações. Assim também os cenários de prognósticos das mudanças climáticas possibilitam uma análise de possíveis situações futuras, configurando uma ferramenta relevante para o planejamento das comunidades e das cidades. A relevância deste mapeamento inicial consiste em inspirar os planejadores e urbanistas a refletirem sobre as mudanças climáticas e consequentes alterações que irão ser ocasionadas nas dinâmicas locais, para fins de planejamento e construção de uma cidade mais sustentável e resiliente, tanto para população local, quanto para cidades de entorno e inclusive para o meio ambiente.

É necessário compreender a importância do fator das mudanças climáticas para o planejamento urbano. Diferentemente de outras variáveis, locais e regionais, as mudanças climáticas encontram-se tanto numa escala local quanto global, carecendo de um esforço conjunto para a mitigação e a adaptação, e no caso de Joinville, principalmente para os impactos da elevação do nível do mar.

Destes prognósticos, surgem correntes como a Adaptação Baseada em Ecossistemas (AbE), que partem do princípio de adaptação aos impactos decorrente das mudanças climáticas a partir da inclusão dos serviços ambientais prestados pelos ecossistemas (OLIVIER, et al., 2012). Tal estratégia abarca medidas de conservação, restauração e gestão destes ecossistemas, a partir da noção de sustentabilidade, complementando e até mesmo substituindo obras civis, além dos serviços ambientais prestados, reduzindo a vulnerabilidade socioambiental às mudanças climáticas. A AbE está inclusa no PNA como uma possibilidade de estratégia que possa ser incorporada nas políticas de adaptação setoriais (BRASIL, 2016). À gestão pública, é importante sensibilizar a relevância da abordagem de AbE em ações, planos, estratégias setoriais e integradas,

---

<sup>6</sup> Resiliência é a capacidade de um mangue migrar naturalmente e de absorver e reorganize-se de forma a manter as suas funções, processos e estrutura (GILMAN, et al., 2008).

<sup>7</sup> Persistência refere-se a constância ao longo do tempo, independentemente da perturbação ambiental (ALONGI, 2007).

devido principalmente aos que usufruem de tais serviços para a promoção do desenvolvimento sustentável e à resiliência local nas áreas urbanas.

Ressalta-se a importância de um estudo específico de elevação do nível do mar local, considerando as condicionantes locais - como localização geodésica, efeito de marés e interferência pluviométrica - para mapeamentos, e inclusão de outras variáveis - como tendências de crescimento da população e da cidade, dinâmicas do mercado imobiliário, fatores econômicos e do meio, inclusão e participação social, entre outros - para fins de planejamento de médio e longo prazo - por exemplo, na escolha de regiões para implantação de equipamentos públicos e institucionais, obras e planos de adaptação e mitigação, obras de drenagem e aterros, e até políticas habitacionais. As estratégias adotadas no presente serão cruciais também a longo prazo. A quantidade de pessoas e de infraestruturas atingidas dependerá dos padrões de desenvolvimento e crescimento estimulados na cidade. Assim, as medidas de adaptação podem ser relevantes para o futuro, mas já no presente serem influentes sobre a qualidade de vida local e na diminuição da vulnerabilidade socioambiental e promoção do desenvolvimento sustentável.

A não consideração do fator das mudanças climáticas nos planos setoriais de desenvolvimento urbano poderá ocasionar, entre outras problemáticas, o custo elevado em infraestruturas de adaptação pós-impacto, diminuição do valor imobiliário em áreas propensas a inundações (devido as alterações nas dinâmicas de maré e consequente inundações), danos às zonas industriais e interferência no setor econômico local, danos às infraestruturas de mobilidade (rodoviárias e ferroviária) com consequente problemas na gestão da movimentação de cargas devido a expansão das zonas de inundações, aumento da necessidade de manutenção de infraestruturas urbanas, entre outras consequências.

Diante do advento das mudanças climáticas, da necessidade de tornar as cidades resilientes, de garantir a qualidade de vida e saúde do ambiente urbano e natural para o desenvolvimento sustentável, o planejamento e as ações sobre o espaço precisam ser compatíveis e dialogadas, e pôr em prática a transição para um sistema integrado. Repensar o desenvolvimento urbano das cidades litorâneas, diante do advento das mudanças climáticas, compreenderá a integração de planos, projetos e gestão, dos mais diversos setores e nas mais diversas escalas, que compreendam tanto a mitigação quanto a adaptação e a resiliência.

## REFERÊNCIAS

- ALONGI, Daniel M. **Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change.** Australian Institute of Marine Science, ago. 2007.
- ARCGIS. **ArcGIS.** Disponível em: <<http://www.arcgis.com/>>. Acesso em: 01 fev. 2016.
- ATLAS BRASIL. Perfil Municipal de Joinville, SC. **Atlas Brasil**, 2010. Disponível em: <[http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil\\_m/joinville\\_sc](http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/joinville_sc)>. Acesso em: 16 jun. 2016.
- BANDEIRA, Dione da Rocha; ALVES, Maria Cristina. Arqueologia histórica no nordeste de Santa Catarina. **Revista Tempos Acadêmicos, Dossiê Arqueologia Histórica**, Criciúma, 2012. 68-87. n. 10.
- BLUE MARBLE. **Global Mapper.** Blue Marble Geographics. Disponível em: <<http://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper.php>>. Acesso em: 01 fev. 2016.

- BRAGA, Roberto. Mudanças climáticas e planejamento urbano: uma análise do Estatuto da Cidade. **Anais do VI Encontro Nacional da Anppas**, Belém - PA, set. 2012.
- BRASIL, Departamento Nacional da Produção Mineral. **Mapa geológico do quaternário costeiro dos estados do Paraná e Santa Catarina**. Por Louis Martin, Kenitiro Suguio, Jean-Marie Flexor e Antonio E. G de Azevedo. Brasília: Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral, 1988. Mapas - Texto explicativo.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: estratégias setoriais e temáticas**. Brasília: MMA, v. 2, 2016.
- CAPRA, Fritjof. **A teia da Vida**: Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Editora Cultrix, 1996.
- CHOAY, Françoise. **A regra e o modelo**: sobre a teoria da arquitetura e do urbanismo. São Paulo: Perspectiva, 1985.
- CMMAD, Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso Futuro Comum**. Geneva, Switzerland: [s.n.], 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/ocf-02.htm#i>>. Acesso em: 27 out. 2016.
- GELBSPAN, Ross. **O calor vem aí**: a batalha contra a ameaça do clima. Tradução de Maria Alice Costa. Lisboa: Editorial Bizâncio, 1999.
- GESCH, Dean B. Analysis of Lidar elevation data for improved identification and delineation of lands vulnerable to sea-level rise. **Journal of Coastal Research**, p. 49-58, 2009. Special Issue No. 53.
- GILMAN, Eric. L.; ELLISON, Joanna; DUKE, Norman C.; FIELD, Colin. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. **Aquatic Botany**, n. 89, p. 237-250, 2008.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades: Santa Catarina - Joinville. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2010. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/B90>>. Acesso em: 17 fev. 2016.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014, Synthesis Report: Summary for Policymakers**. [S.l.]: [s.n.], 2014.
- IPPUJ, Fundação Instituto de Pesquisa e Planejamento para o Desenvolvimento Sustentável de Joinville. **Joinville Cidade em Dados 2015**. Joinville: Prefeitura Municipal de Joinville, 2015.
- KIRWAN, Matthew L.; GUNTENSPERGEN, Glenn R.; D'ALPAOS, Andrea; MORRIS, James T.; MUDD, Simon M.; TEMMERMAN, Stijn. Limits on the adaptability of coastal marshes to rising sea-level. **Geophysical Research Letters**, v. 37, dez. 2010.
- KOPP, Robert E.; HORTON, Radley M.; LITTLE, Christopher M.; MITROVICA, Jerry X.; OPPENHEIMER, Michael; RAUSMUSSEN, D. J.; STRAUSS, Benjamin H.; TEBALDI, Claudia. Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide-gauge sites. **Earth's Future**, v. 2, p. 383-406, 2014.

- LABOURIAU, Maria Lea Salgado. **História Ecológica da Terra**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1998. 307 p.
- MOSER, Liliane. **Como o mangue virou cidade**: um estudo sobre condições de vida e a organização institucional do espaço urbano nas áreas de mangue em Joinville, SC. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1993. Dissertação (Mestrado em Sociologia Política). Programa de Pós-Graduação em Sociologia Política, Centro de Filosofia e Ciências Humanas.
- MOSS, Richard. H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, p. 747-756, fev. 2010.
- MOURA, Ana Clara M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 2ª. ed. Belo Horizonte: Editora da autora, 2005.
- MULLER, Cristiane R.; OLIVEIRA, Francisco H. de.; SCHARDOSIM, Patrícia R. A ocupação em Joinville/SC e o papel da gestão municipal para mitigação de danos causados por inundações. **RBPD - Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, 1, jul/ dez. 2012. 23-39. n.1.
- OLIVIER, Julia; PROBST, Kirsten; RENNEN, Isabel; RIHA, Klemens. **Adaptação baseada nos Ecossistemas (AbE)**: Uma nova abordagem para antecipar soluções naturais conducentes a uma nova adaptação às mudanças climáticas nos diferentes setores. Ambiente e alterações climáticas, Agosto 2012. Disponível em: <<https://www.giz.de/fachexpertise/downloads/giz2013-pt-adaptacao-baseada-nos-ecossistemas.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2016.
- PMJ, Prefeitura Municipal de Joinville. Base Cartográfica Municipal de Joinville. **SIMGeo, Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas**, Joinville, 2010. Disponível em: <<https://geoprocessamento.joinville.sc.gov.br/>>. Acesso em: 07 jan. 2016.
- ROGERS, Richard; GUMUCHDJIAN, Philip. **Cidades para um pequeno planeta**. Tradução de Anita Regina Di Marco. Barcelona: Gustavo Gili, 2005.
- SCHEEL-YBERT, Rita; AFONSO, Marisa Coutinho; GUIMARÃES, Marcia Barbosa; GASPARG, Maria Dulce; YBERT, Jean-Pierre. Considerações sobre o papel dos sambaquis como indicadores do nível do mar. On the role of shell mounds as paleo-sea-level indicators. **Quaternary and Environmental Geosciences**, 1, 2009. 3-9. n.1.
- SIEBERT, Claudia. Sustentabilidade Urbana: o Pensamento Ambiental e as Cidades. In: SHULT, S. M.; FRANK, B.; SEVEGNANI, L. (Org.). **Dimensões institucional, urbana e ecológica das áreas de preservação permanente em margens de rios**. Blumenau: Edifurb, 2012.
- SILVEIRA, Wivian Nereira; KOYBAMA, Masato; GOERL, Roberto Fabris; BRANDENBURG, Brigitte. **História das Inundações em Joinville: 1851-2008**. Curitiba: Organic Trading, 2009.
- SOUZA, Luiz Alberto. **O processo de ocupação das áreas de mangues em Joinville**: agentes, estratégias e conflitos. Florianópolis: UFSC, 1991. Dissertação submetida ao Curso de Mestrado em Geografia do Centro de Ciências Humanas da UFSC.



TAVARES, Antonio C. Mudanças Climáticas. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 49-88.

VAGGIONE, Pablo. **Planeamiento Urbano para Autoridades Locales**. Bogotá: ONU Habitat, Ediciones Screen, 2014.

VENERA, José Isaías; SEVERINO, José Roberto. **Joinville: Primeiros Habitantes**. Itajaí: Casa Aberta Editora, 2010.

WILHEIM, Jorge. **Urbanismo y subdesarrollo**. Buenos Aires: Nueva Visión, 1977.