



# VULNERABILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA URBANA DO CÓRREGO DO ENXOFRE, PIRACICABA/SP: CONSTRUÇÃO DE UM ÍNDICE DE EXPOSIÇÃO

Soraya Joussef Carvalho <sup>1</sup>  
Roberto Braga <sup>2</sup>

## RESUMO

Os rios urbanos, antes atrativos à ocupação humana, são ambientes encontrados atualmente degradados e restritos, configurando áreas de risco. Tais espaços servem de assentamento para populações com determinado grau de vulnerabilidade ambiental, sendo, no presente estudo, trabalhada em cima de três fatores: grau de exposição, sensibilidade e resiliência. Desse modo, a fim de compreender melhor os fatores que aumentam a vulnerabilidade humana frente aos riscos ambientais foram definidos indicadores de exposição para posterior normatização e agregação a fim de obter índices capazes de mensurar o quanto as populações de uma bacia hidrográfica urbana estão expostas a determinado perigo ambiental, como de inundações e deslizamentos de terra. Assim, foram obtidos os índices e realizado o mapeamento das áreas mais expostas a eventos naturais na bacia do Córrego do Enxofre e o resultado obtido refletiu as condições de exposição da bacia, acentuadas em seu médio curso que possui maior mancha urbana e ocupações irregulares, e demonstrou potencial de utilização como indicador sintético a ser utilizado em estudos de vulnerabilidade.

**Palavras-chave:** Vulnerabilidade, Ambiental, Exposição, Bacia Hidrográfica, Urbanização.

## RESUMEN

Los ríos urbanos, antaño atractivos para la ocupación humana, son ambientes actualmente degradados y restringidos, configurando áreas de riesgo. Estos espacios sirven como asentamientos para poblaciones con cierto grado de vulnerabilidad ambiental, trabajada en este estudio con tres factores: grado de exposición, sensibilidad y resiliencia. Así, para comprender mejor los factores que aumentan la vulnerabilidad humana a los riesgos ambientales, fue necesario definir indicadores de exposición, estandarizados y agregados, con el fin de obtener índices capaces de medir el grado de exposición a ciertos peligros ambientales, como inundaciones y deslizamientos de tierra, de las poblaciones de áreas urbanas de una cuenca hidrográfica. Así, se obtuvieron los índices y se realizó el mapeo de las áreas más expuestas a eventos naturales en la cuenca hidrográfica Córrego do Enxofre y el resultado obtenido reflejó las condiciones de exposición de la cuenca, acentuada en su curso medio, que tiene mayor ocupación urbana y ocupaciones irregulares y mostró potencial para su uso como indicador sintético en estudios de vulnerabilidad.

<sup>1</sup> Graduanda do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, soraya.carvalho@unesp.br ;

<sup>2</sup> Professor do Curso de Geografia da UNESP/Campus de Rio Claro. Doutor em Geografia Humana pela Universidade de São Paulo – USP, roberto.braga@unesp.br



**Palabras clave:** Vulnerabilidad, Ambiental, Exposición, Cuenca Hidrográfica , Urbanización.

## INTRODUÇÃO

Os rios sempre foram ambientes atrativos à ocupação humana, porém a realidade que verificamos nos espaços urbanos atualmente é que esses corpos hídricos se encontram degradados, desvalorizados e excluídos da vida diária da população, além de se tornarem palco para ocupações irregulares e segregação socioespacial, configurando locais de risco (Almeida, 2010).

De acordo com Barros (2020), as áreas de risco constituem áreas passíveis de serem atingidas por processos naturais ou induzidos, que podem causar efeitos adversos, sujeitando os moradores do local a possíveis danos e perdas. Na maioria das cidades, são as populações mais vulneráveis que vivem em locais mais susceptíveis a desastres naturais, e acabam por serem afetadas diretamente por características da dinâmica externa da Terra, como inundações e deslizamentos de terra, intensificadas pela pressão antrópica do meio urbano (Barros, 2020).

A vulnerabilidade ambiental é neste estudo considerada como uma relação entre a sensibilidade das populações expostas, o grau de exposição das mesmas e de sua capacidade de resposta aos perigos ambientais (Dos Santos; Cunha, 2018; Dos Santos et al., 2019). Neste sentido, o grau de exposição é um indicador físico, capaz de demonstrar a susceptibilidade da área em que a população se encontra a um determinado evento perigoso.

Considerando a problemática ligada aos riscos ambientais associados aos rios urbanos, torna-se necessário o estudo e definição de indicadores de vulnerabilidade, de modo a gerenciar os riscos e propor medidas mitigatórias. Desse modo, o presente estudo se justifica pela necessidade da compreensão das variáveis e indicadores de vulnerabilidade, por serem ferramentas e necessárias para a avaliação da vulnerabilidade das populações expostas a riscos ambientais.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um índice de exposição capaz de mensurar o quanto as populações de uma bacia hidrográfica urbana estão expostas a um determinado perigo ambiental, no caso, os associados a inundações e deslizamentos de terra.



A área de estudo em questão é a bacia hidrográfica do Córrego do Enxofre, na porção sudoeste da cidade de Piracicaba-SP. Trata-se de um afluente do Rio Piracicaba, cuja bacia ocupa uma área de 15,57 km<sup>2</sup>, com uma população de aproximadamente 79 mil habitantes, de acordo com os dados do Censo do IBGE (2010). A área possui uso e ocupação do solo diversificado, com presença de intensa urbanização no seu baixo e médio curso, e grandes vazios urbanos no alto curso com a presença de atividades agropecuárias. O corpo hídrico reflete diversas dinâmicas socioeconômicas, caracterizado tanto pela presença de condomínios fechados de média e alta renda, quanto bairros de baixa renda e favelas, sendo a bacia hidrográfica urbana com maior concentração deste tipo de assentamento em Piracicaba.

A metodologia utiliza indicadores que mais se adequaram às características da área estudada, adquiridos por meio da vetorização de imagens de satélite que geraram cartas temáticas em ambiente SIG. Ao serem agregados após padronização dos valores, geraram o índice de exposição, e conseqüentemente o mapa do índice. Ao sobrepor o mapa com as informações do IBGE (2010) e IPPLAP (2020) foi possível observar que diversas áreas de favelas sobrepõem as áreas críticas de exposição.

Dessa forma, concluímos que o índice de exposição pode ser utilizado como indicador sintético para estudos de vulnerabilidade, juntamente com outros indicadores que reflitam as sensibilidades e resiliência da população, e que tais estudos são necessários para elaboração de planos diretores municipais e zoneamentos, assim como na elaboração de programas e planos com o intuito de diminuir prejuízos e danos e aumentar a resiliência da população frente aos desastres naturais.

## **METODOLOGIA**

A metodologia está embasada nos estudos de Almeida (2010), Zanella (2013), Prates (2019) e Reis et al. (2020). As ferramentas de análise consistiram no *software* QGIS 3.10.6, o *software* *Google Earth Pro*, e foram utilizados os dados obtidos originalmente no estudo de Carvalho e Braga (2021) com base nas imagens do satélite *Sentinel - 2* de 2020 obtidas pelo *site* da USGS, além de imagens SRTM obtidas pelo mesmo *site*, com resolução espacial de 90 metros e dados vetorizados pelo *site* do IBGE (2010) e do IPPLAP (2020). Todos os dados foram georreferenciados e utilizados dentro do Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando o DATUM SIRGAS 2000 na zona 23 S, com o sistema de projeção Universal Transversa Mercator (UTM).



Os arquivos foram trabalhados em formatos matriciais (.tif) e vetoriais (.shp).

Visando a exposição à desastres naturais como deslizamentos de terra e inundações que a área em questão pode sofrer, o estudo buscou focar nos fatores de exposição que influenciam na ocorrência desses eventos. Dessa forma, para aquisição do índice de exposição foram coletadas informações sobre variáveis e indicadores de análise, para mensuração, pensando no grau de exposição na escala da área estudada (Quadro 1).

Quadro 1 – Variáveis e Indicadores de Exposição

	<b>Variáveis</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Índice de Exposição (ISE)</b>	Uso e Ocupação do Solo	Exposição maior em áreas com maior pressão antrópica: Mancha Urbana = 1.0 Resíduos Expostos = 1.0 Pasto e Solo Exposto = 0.8 Agricultura = 0.6 Reflorestamento = 0.4 Maciços Arbóreos = 0.2 Açudes = 0.2
	Declividade	Exposição maior em declividades > 15° > 15° = 1.0 11° a 15° = 0.8 7° a 11° = 0.6 3° a 7° = 0.4 0° a 3° = 0.2
	Hipsometria	Áreas com menores altitudes encontradas no universo de análise estão mais expostas: < 471 m = 1.0 471 – 480 m = 0.8 481 – 500 m = 0.6 501 – 550 m = 0.4



		551 – 600 m = 0.2
	Distância do corpo hídrico	0 - 50 metros de corpos hídricos = 1.0 > 50 metros = 0

Elaborado por autora baseado em Almeida (2010), Zanella (2013), Prates (2019), e Reis et al (2020).

A área de estudo, bacia hidrográfica do Córrego do Enxofre, foi delimitada com base nos dados do Plano Municipal de Gestão dos Recursos Hídricos de Piracicaba (2010).

Após a aquisição de todos os dados de interesse, os dados matriciais foram convertidos para vetor e foram estabelecidas classes de exposição para cada variável, padronizando os valores tanto por lógica fuzzy quanto binária, como explicitado no quadro acima, onde o valor 1 foi atribuído aos atributos das classes que influenciam numa maior exposição frente a inundações e deslizamentos de terra, até o 0, representando os com menor exposição. Assim, os indicadores agregados pela média aritmética das classes de exposição da área geraram o índice final :

$$IE = (H + U + D + d)/4 \quad (\text{EQ.1})$$

Onde,

IE = Índice de Exposição ; U = uso e ocupação do solo ; D = declividade ; H= hipsometria ; d = distância do corpo hídrico

Por fim, após sobreposição dos produtos cartográficos e padronização dos valores de vulnerabilidade para cada classe, foi utilizada a ferramenta ‘União’ para agregar os indicadores no mesmo produto vetorial que culminou na junção dos indicadores pela média aritmética na calculadora de campo, do *software* QGIS 1.6.10. Assim, foram gerados os índices de exposição, que foram classificados em 5 intervalos qualitativos : muito alta exposição, alta exposição, média exposição, baixa exposição e muito baixa exposição e, dessa forma, originou o mapa do índice de exposição.



## REFERENCIAL TEÓRICO

### Rios Urbanos

Em pleno 2021, a realidade dos rios dentro de estruturas imensas da sociedade, chamadas de cidades, é cada vez mais preocupante. Atualmente se encontram “esmagados” e apropriados como mero obstáculo ao meio da rotina corriqueira de trabalhadores que circundam suas margens. Essa ocorrência pode ser evidenciada a partir da premissa que gere o crescimento dos centros urbanos, onde as questões econômicas são preponderantes em relação às questões ambientais. (Cabral e Cândido, 2019).

Embora o rio possa ser conceituado como um sistema espacial geograficamente definido a partir da configuração da rede de drenagem e delimitado por divisores de águas, que erode, transporta e deposita sedimentos sendo escultor do próprio relevo, a conceituação desses corpos pode transcender o simples espaço natural (Zanella, 2017; Magalhães Jr., Barros e Lavarini, 2020). Isso ocorre pois bacias hidrográficas, continuam sendo para muitos, sinônimo de suas características inerentes relevantes para o ser humano, como habitat, rede de transporte e comércio, simbolismo, paisagem, pesca e lazer, recursos, dessedentação, abastecimento, filtro de efluentes da sociedade, geração de energia, moradia, entre outros, caracterizando um sistema natural complexo que pode possuir diversos tipos de uso e ocupação ao longo de sua vida.

Porém, esses corpos inseridos no contexto urbano atual acabam por sofrer pressão exercida pela expansão populacional nas cidades acarretando na marginalização de uma parcela da população, com menos recursos, que acaba se assentando em áreas não ocupadas até então, pela falta de infraestrutura urbana e características geomorfológicas adequadas, como margens de corpos hídricos e encostas com alta declividade. Esses elementos, aumentam a vulnerabilidade aos fatores externos e situações de risco de desastres naturais, como inundações e deslizamentos de terra (Plate, 2002; Medeiros, 2014; Reis et al., 2020).

Como alternativa à terra urbana em locais estratégicos para acesso aos serviços da cidade, os rios urbanos criaram um contexto de ocupação clandestina e improvisada, pobreza e segregação socioespacial, refletindo as fortes desigualdades do meio urbano. Desse modo, pessoas alocadas nesses territórios acabam por sobrepor diversos perigos



que culminam no significativo aumento da vulnerabilidade da população (Almeida, 2010).

Desse modo, a realidade dos rios urbanos se vê cada vez mais em crise ao associarmos os impactos decorrentes das mudanças climáticas nesses locais. O clima nunca será o que move o crescimento das cidades, porém, o que move o crescimento populacional deve ser ajustado para que se leve em consideração os riscos de inundações e deslizamentos em áreas urbanas intensificados pelas mudanças climáticas (Huq et al., 2007)

### **Mudanças Climáticas**

Estudos acerca da vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas se tornam cada vez mais comuns durante as últimas décadas, ganhando notoriedade devido aos eventos extremos que afetam a população (Santos, Vitorino e Pimentel, 2017).

Essa notoriedade é resultado da séria ameaça que a mudança do clima atualmente têm representado à população, sendo possível causador de impactos negativos diretos e indiretos em diversas áreas pela sua potencialidade de alteração dos padrões de temperatura e precipitação (Dos Santos et al., 2019).

Essa mudança é atrelada à ocorrência de eventos extremos de ordem ambiental, e têm aumentado desde a era pré-industrial, afetando a vida social e econômica da população. (Dos Santos e Da Cunha, 2019).

No Brasil, diante das condições climáticas e das formas de ocupação do espaço, os perigos naturais possuem intrínseca relação com o ciclo hidrológico, os quais são fomentados em termos de frequência e magnitude no contexto das cidades, gerando certa vulnerabilidade nos espaços mais expostos aos perigos, devido às questões da falta de planejamento provindo de ações públicas e privadas (Almeida, 2010).

No ano de 2021, o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima disponibilizou contribuições para o sexto relatório do IPCC. Na versão aprovada, é demonstrado que a influência humana já afetou o clima em uma taxa sem precedentes nos últimos dois mil anos, e que a temperatura superficial global continuará crescente até a metade do século, independente do cenário de emissões previstas.

Desse modo, cenários de maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos como tempestades, furacões, enchentes e secas tendem a ocorrer nos próximos anos, desencadeando um aumento na vulnerabilidade de populações urbanas a desastres





ambientais, situações de risco e vulnerabilidade nas cidades e metrópoles (Alves, 2021; Martine; Ojima, 2013; Moss et al., 2010; Huq et al., 2007). Diante disso, a vulnerabilidade tem se tornado conceito de mudanças ambientais globais e para categorias analíticas (Alves, 2013).

## **Vulnerabilidade**

De acordo com o Relatório de 2007 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), a vulnerabilidade é definida como a tendência de uma população em certa localidade ser afetada por eventos adversos, culminando em danos em função de três elementos: exposição, sensibilidade e capacidade de resposta. Desse modo, com o intuito de identificar e direcionar ações imediatas afim de contribuir para resiliência do território e orientar ações de adaptação ao clima, é importante compreender os fatores que elevam a vulnerabilidade humana (Dos Santos et al., 2019).

O conceito de vulnerabilidade começou a ganhar destaque na década de 1980, se tornando base para as políticas de redução de riscos, perigos e desastres, como o *International Decade for Natural Disaster Reduction*, programa de redução de perdas por riscos naturais adotado pela ONU.

Embora existam diversas conceituações acerca do termo, que se manifestam através de diferentes áreas do conhecimento e suas respectivas metodologias, a vulnerabilidade pode ser definida como a presença de três elementos que coexistem a partir de determinada ameaça, sendo eles a exposição ao risco, incapacidade de reação e dificuldade de adaptação diante do cenário vivido (Alves, 2013; Moser, 1998).

A fim de fomentar a discussão do conceito, o relatório do World Economic Forum (2014) definiu vulnerabilidade como a propensão ou predisposição de ser afetado de forma adversa.

Desse modo, em seu apêndice, traz definições de atributos da vulnerabilidade. Dentre eles está a capacidade de adaptação, como a combinação de atributos e recursos disponíveis para o indivíduo ou comunidade, passível de ser utilizado para mitigar impactos adversos, moderar exposição e resiliência, diminuir os danos ou explorar oportunidades benéficas. A exposição é definida pela presença de pessoas; moradias; serviços ambientais e recursos; infraestruturas; ativos em locais que podem ser afetados adversamente. E a resiliência, conceituada como habilidade do sistema e seus componentes anteciparem, absorverem, se acomodarem ou recuperarem dos efeitos de





eventos perigosos de forma eficiente, assegurando a preservação, restauração ou melhora de estruturas e funções essenciais (World Economic Forum, 2014).

Assim, as dimensões social e ambiental são inseparáveis quando falamos de vulnerabilidade, pois embora o grau de exposição seja um indicador do meio físico, é a população alocada nas áreas de risco que estão expostas às adversidades de fenômenos severos (Prates, 2019; Zanella, 2013).

Sendo caracterizada pela capacidade de resposta e subsistência do evento, o conceito de vulnerabilidade traz, portanto, a ideia que a racionalidade humana pode prever e compreender, por meio de critérios de avaliação, prováveis eventos e estabelecer medidas de mitigação (Sampaio;Oliveira, 2019).

Maior e Cândido (2014) definem que esses eventos discretos e identificáveis na natureza e sociedade podem colocar em risco vidas, e assim, a vulnerabilidade seria a combinação de fatores que determinam o grau em que essas vidas são colocadas em risco visto que a capacidade dos indivíduos de se recuperarem a determinado evento é diversa e inconstante.

Nesse contexto é importante diferenciar conceitos-chave associados à vulnerabilidade, como susceptibilidade, evento, evento adverso, desastres e perigo natural.

A susceptibilidade, conforme autores Palácio et al. (2021) e Da Silva et al. (2021) se diferencia por ser fruto da análise do meio físico e climático de determinado local sobre a ótica específica da ocorrência de determinado fenômeno natural que pode ser induzido, não necessariamente desastroso, como susceptibilidade à erosão hídrica, alagamentos, movimentos de massa, considerando indicadores de hidrologia, geomorfologia, geologia, litologia, pedologia, uso e ocupação do solo, dentre outros de acordo com a especificidade do evento.

Assim, se faz a necessidade de explicitar que a vulnerabilidade é uma questão humana, onde o indivíduo ou grupo é vulnerável frente à eventos adversos. Já a susceptibilidade, se diz a respeito da exposição de um ambiente frente a um processo natural ou induzido.

Desse modo, evento e evento adverso, que são manifestações de um fenômeno natural com características e dimensões definidas, se diferenciam pelas consequências que podem gerar, onde o segundo é fenômeno causador de desastres (Barros, 2020). O desastre, portanto, é o resultado de eventos adversos, naturais ou provocados sobre um



sistema vulnerável, causador de danos humanos, materiais e/ou ambientais e prejuízos socioeconômicos (Castro, 1998).

Dentro desse contexto, trago a definição de perigo natural referente ao processo ou fenômeno natural da biosfera, potencialmente prejudicial, que pode causar danos socioeconômicos às populações expostas. Assim, o risco entra como a relação entre perigos e vulnerabilidades, levando em consideração a probabilidade de ocorrência, ou seja, frequência de determinado perigo frente à uma comunidade vulnerável, não sendo fixo e estável (Barros, 2020).

Portanto, diante de tais perigos, é possível realizar a modelagem de potencial exposição partindo do pressuposto que a vulnerabilidade é uma função da proximidade da fonte do risco ou perigo em questão (Cutter, 1996).

Dos Santos e Da Cunha (2019) afirmam que a exposição é a propriedade externa dos sistemas socioecológicos. Assim, pressupõe-se a importância de identificar os perigos aos quais estamos expostos e suas dimensões de possível impacto. O grau de exposição juntamente com a sobreposição de outros indicadores, é capaz de refletir as situações críticas que geram vulnerabilidade maior em determinados grupos. (Maior e Cândido, 2014).

## **Indicadores**

Para se avaliar a vulnerabilidade ambiental, indicadores e índices são utilizados para mensuração, mapeamento e comparação ao longo das áreas de estudo. Segundo a OECD (1993), um indicador possui significado sintético, sendo um parâmetro que fornece informações sobre fenômenos. Um indicador de vulnerabilidade pode ser definido como a representação operacional de uma característica capaz de sintetizar informação considerando a susceptibilidade, capacidade de lidar e resiliência de um sistema a um impacto negativo de um evento natural (Almeida, 2010).

Em estudos de vulnerabilidade ambiental, as características dos indicadores costumam utilizar variáveis relevantes para o enfoque do estudo e formulação de políticas públicas, que sejam mensuráveis, de fácil interpretação e comunicação, integradas e de fácil obtenção (Maior; Candido, 2014).

O conjunto de indicadores e critérios relevantes para a vulnerabilidade ambiental deve ser elaborado com a definição de variáveis, seguida da coleta e processamento da informação, elaboração de indicadores, finalizando com sua agregação e elaboração do



índice final. Partindo dessa consideração, a qualidade do indicador é determinada pela capacidade do mesmo de caracterizar o sistema de forma relevante, a fim de representar o interesse determinado pelo índice final (Almeida, 2010).

Pela necessidade de haver uma atribuição de indicadores e variáveis que devem ser analisados para estudos de vulnerabilidade, Prates (2019) defende a necessidade de discussão acerca das variáveis sociais e ambientais e indicadores que influenciam o conceito de vulnerabilidade para que capture suas características, a fim de monitorar mudanças geográficas e temporais das condições de vulnerabilidade das comunidades expostas aos eventos ambientais.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A utilização de variáveis passíveis de mensuração e comparação na área de estudo refletiram na aquisição dos índices de exposição no contexto de rios urbanos. A hipsometria, declividade e distância do canal de drenagem foram essenciais para prever a exposição frente a fenômenos de inundações e deslizamentos de terra, visto que tais ocorrências naturais estão fortemente associadas a essas condicionantes.

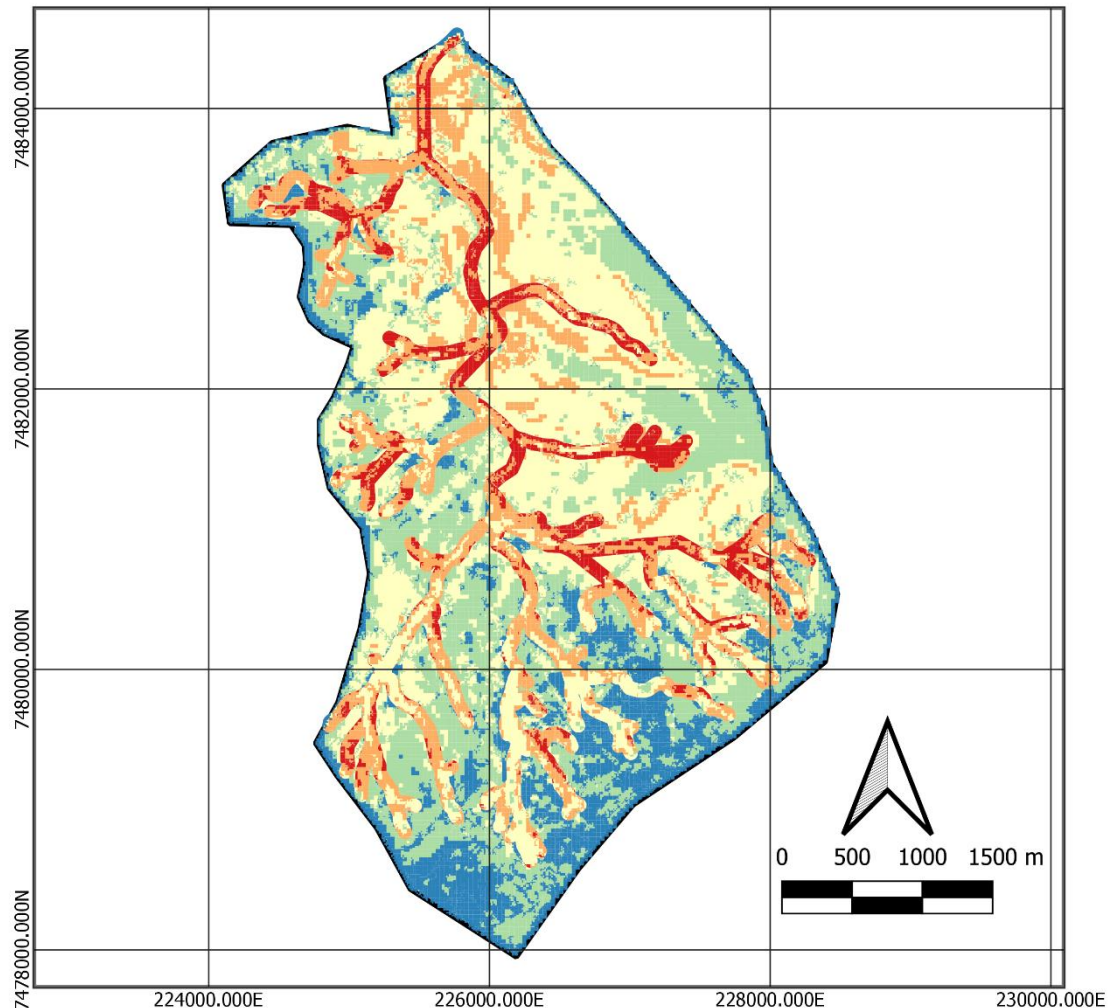
A variável de uso e ocupação do solo também contribuiu para retratar o diverso contexto urbano, auxiliando na compreensão das dinâmicas de vazão, frequência e intensidade do escoamento do leito vazante e das águas pluviais direcionadas ao corpo hídrico.

Portanto, a partir da agregação das variáveis e aquisição dos índices, os intervalos foram divididos em 5 e definidos pela “Quebra Natural de Jenks”, que culminou no resultado apresentado na Figura 1. O mapeamento do Índice de Exposição demonstra que o mesmo pode ser utilizado para compor um índice sintético de vulnerabilidade ambiental, capaz de designar áreas de prioridade para desenvolvimento de políticas públicas a fim de reduzir os riscos aos quais a população está sujeita.



Figura 1 – Mapa do Índice de Exposição no Córrego do Enxofre

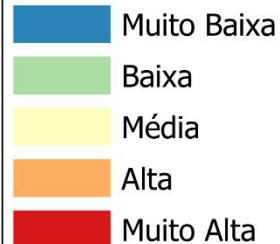
Mapa do Índice de Exposição na Bacia Hidrográfica do Córrego do Enxofre, Piracicaba/SP



Área de Estudo no Perímetro  
Urbano de Piracicaba/SP



**Exposição**



Projeção: Universal Transversa de  
Mercator (UTM)  
Datum: SIRGAS 2000, zona 23S  
Base Vetorial: PMGRHI (2010),  
IPPLAP (2020)  
Base Matricial : SRTM / NASA  
(2014) e Sentinel - 2 (2020) (Earth  
Explorer USGS)  
Data : 13/07/2021  
Elaboração: Soraya Joussef  
Carvalho  
UNESP - IGCE Rio Claro

Fonte: Elaborado pela autora



Na área em questão, não foram utilizados as variáveis, e conseqüentemente, indicadores de pedologia, geomorfologia e nem geologia por não se diferenciarem e, portanto, possuírem homogeneidade na área de estudo inteira, porém são interessantes indicadores para serem utilizados em áreas mais heterogêneas nesses aspectos.

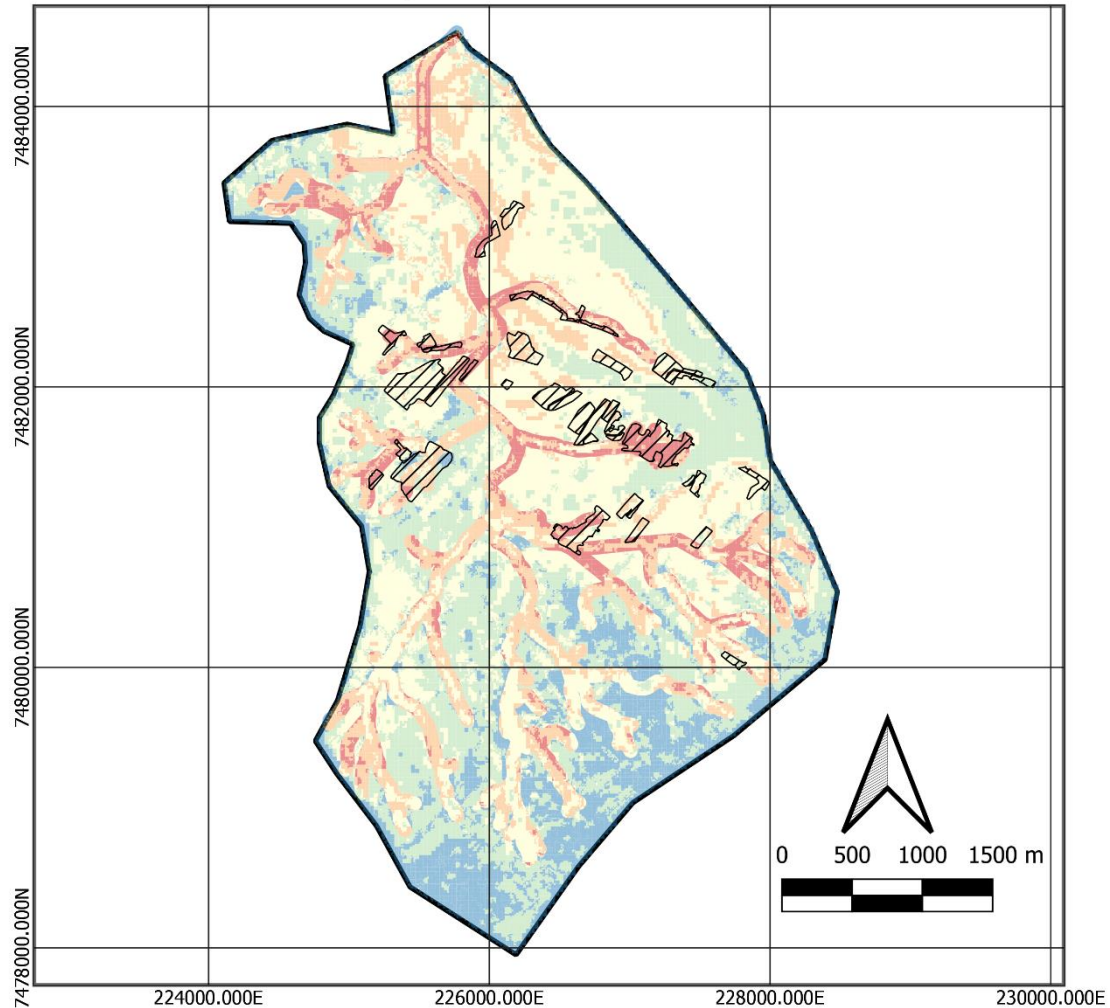
Um ponto relevante encontrado foi que, de acordo com o mapeamento das favelas na área de estudo, elaborado pela autora com base nos vetores de aglomerados subnormais do IBGE (2010), das favelas do IPPLAP (2020), e vetorização manual a partir das imagens do Google Satellite (2021) (Figura 2), diversas áreas altamente expostas intersectam com as áreas ocupadas irregularmente, indicando que há um nível de correlação entre o grau de exposição e as características e capacidades socioeconômicas dos moradores.





Figura 2 – Mapa das Favelas sobre o Índice de Exposição no Córrego do Enxofre

Mapa das Favelas sobre o Índice de Exposição na Bacia Hidrográfica  
do Córrego do Enxofre, Piracicaba/SP



Área de Estudo no Perímetro  
Urbano de Piracicaba/SP



Projeção: Universal Transversa de  
Mercator (UTM)  
Datum: SIRGAS 2000, zona 23S  
Base Vetorial: PMGRHI (2010),  
IBGE (2010), IPPLAP (2020)  
Base Matricial : SRTM / NASA  
(2014) e Sentinel - 2 (2020) (Earth  
Explorer USGS), Google Earth  
Satellite (2021)  
Data : 15/07/2021  
Elaboração: Soraya Joussef  
Carvalho  
UNESP - IGCE Rio Claro

Elaborado pela autora



Dessa forma, por meio dos cálculos realizados para obtenção do índice e mapeamento da exposição, conclui-se que os objetivos da pesquisa foram atingidos. O índice de exposição adquirido demonstrou captar e refletir a exposição nas áreas, coincidindo diretamente com os locais onde estão alocadas populações vulneráveis em favelas.

Conclui-se que os dados adquiridos são fundamentais para aplicação em estudos de vulnerabilidade, sendo necessária sua utilização juntamente com os outros dois elementos para o cálculo da mesma. Portanto, o cálculo do índice de exposição e o uso de indicadores são ferramentas necessárias para propor políticas públicas e medidas mitigatórias nas áreas consideradas muito altamente expostas. Por fim, o índice elaborado demonstrou-se adequado para seu uso em um indicador sintético de vulnerabilidade ambiental.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base no estudo é possível concluir que os indicadores de exposição, capacidade adaptativa (resiliência) e sensibilidade das populações se diferenciam, o que culmina na diferença da vulnerabilidade humana, que pode ser retratada a partir de dados que refletem tais elementos distribuídos espacialmente.

Neste trabalho mostramos como é possível trabalhar com a susceptibilidade voltada aos estudos de vulnerabilidade, como indicador de grau de exposição. Podendo ser utilizado como subíndice de vulnerabilidade, salientando a importância da sobreposição desse subíndice com os demais.

Embora diversos autores trabalhem a vulnerabilidade com diversas conceituações, o presente trabalho entende a vulnerabilidade como uma só, diante da exposição, capacidade de adaptação, ou resposta, e sensibilidade dos indivíduos diante de uma circunstância de perigo. A composição do subíndice de exposição dependerá de quais perigos se almeja identificar a susceptibilidade, podendo ter seus indicadores moldáveis para diversas ameaças em diferentes tipos de ambientes.

São notáveis os processos que desencadeiam a realidade exposta, como suposto por Cabral e Cândido (2019), no qual o fenômeno da urbanização introduzido pela expansão crescente e desordenada ocasiona fragilidades que desembocam em





vulnerabilidades no sistema biofísico ou econômico-social-ambiental, onde esses se interrelacionam no campo das respostas às vulnerabilidades.

No presente trabalho foi possível perceber que embora o curso hídrico como um todo apresente áreas expostas a perigos naturais, as ocupações irregulares se encontram em áreas altamente expostas e estão presentes em sua maioria onde há uso e ocupação do solo caracterizado majoritariamente como mancha urbana, configurando porções de espaços altamente pressionados pela influência antrópica e com maior potencial de intensificar os riscos inerentes aos eventos naturais nesses espaços.

As áreas que se encontram com os menores índices de exposição são predominantemente caracterizadas pelo seu uso e ocupação do solo diverso, com presença de agropecuária e grandes vazios urbanos, assim como estão nos espaços mais altos da bacia hidrográfica. No entanto, é notável ao longo do corpo hídrico que a mancha urbana nas áreas mais altas do relevo de morrotes alongados e espigões, ou seja, de menor exposição, é caracterizada principalmente por condomínios e residências de luxo, geralmente próximos aos vazios urbanos e distantes de áreas altamente expostas.

Diante disso, salientamos a importância do zoneamento e plano diretor elaborados por órgão público, em delimitar as áreas averiguando os indicadores de vulnerabilidade a fim de realizar uma melhor condução do uso e ocupação do solo da cidade conforme a realidade do município. Não somente, também recomendamos a elaboração de um plano municipal de gestão de riscos frente à perigos naturais, visto que nesse momento é necessária a conscientização da população frente às ameaças dos riscos inerentes às mudanças climáticas a fim de aumentar sua resiliência.

Por fim, considerando o contexto estudado recomenda-se a diferenciação na ordem do curso principal da bacia hidrográfica e seus afluentes, assim como a largura dos respectivos canais, visto que o comprimento e largura da drenagem, como sua ordem influenciam diretamente na vazão e intensidade das águas fluviais e desse modo, na intensidade de inundações e deslizamentos de terra.



## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.Q. **Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2010.

ALVES, H.P.F. Análise da vulnerabilidade socioambiental em Cubatão-SP por meio da integração de dados sociodemográficos e ambientais em escala intraurbana. *In: Revista Brasileira de Estudos de População*, v.30, n.02, p.349-366, dez., 2013.

ALVES, H.P.F. Vulnerabilidade socioambiental nas três principais regiões metropolitanas da Macrometrópole Paulista: uma análise de indicadores socioambientais. *In: Ambiente & Sociedade*, v.24, 2021. Disponível em: <<http://www.scielo.br/j/asoc/a/sSmMZfvG9pzXpG7zPMHx6Pd/?lang=en>>. Acesso em 26 de Junho de 2021.

BARROS, L.F.P. Noções de riscos de desastres hidrológicos. *In: JÚNIOR, A.P.M. BARROS, L.F.P. Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais..* 1.ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2020, cap.14, p.381.

CABRAL, L.N. CÂNDIDO, G.A. **Urbanização, vulnerabilidade, resiliência: relações conceituais e compreensões de causa e efeito.** *In: Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v.11, p. 1-13, e20180063.

CARVALHO, S.J. BRAGA, R. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL URBANA DA BACIA DO CÓRREGO DO ENXOFRE – PIRACICABA, SP.** 2020. Iniciação Científica (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2021. No prelo.

CASTRO, A.L.C. **Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres.** 2ed. Brasília: [s.n], 1998. 173p.

CUTTER, S.L. *Vulnerability to environmental hazards.* *In: Progress in Human Geography*, v.20, n. 4, p.529-539, dez.,1996.

DA SILVA, T.J.R.D. et al. Análise da Susceptibilidade à Erosão Hídrica em uma Bacia Hidrográfica do Semiárido Brasileiro. *In: Revista Brasileira de Geografia Física*, v.14, n.03, p.1443-1457, 2021.

DOS SANTOS, E.A. DA CUNHA, D.A. **Vulnerabilidade às mudanças climáticas: análise dos agricultores da bacia hidrográfica do Rio das Contas, Bahia, Brasil.** Disponível em:

[https://www.anpec.org.br/nordeste/2019/submissao/arquivos\\_identificados/0232f24057fbf17a50607488c6c8d30c525.pdf](https://www.anpec.org.br/nordeste/2019/submissao/arquivos_identificados/0232f24057fbf17a50607488c6c8d30c525.pdf). Acesso em: 05 de junho de 2021.



DOS SANTOS, R.B et al. Construção e aplicação de um índice de vulnerabilidade humana à mudança do clima para o contexto brasileiro: a experiência do estado do Espírito Santo. *In: Saúde Soc. São Paulo*, v.28, n.1, p.299-321, 2019.

GOOGLE. **Google earth pro**. Versão 7.3.4. [S.l.]: Google LLC, [2021?]. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 17 de agosto de 2021.

HUQ S.; KOVATS S.; REID H.; SATTERTHWAIT D. *Reducing risks to cities from disasters and climate change*. *In: Environment & Urbanization Journal*, Londres, v. 19, n. 1, p. 3-15, abr., 2007.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geociências**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15788-aglomerados-subnormais.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 03 de agosto de 2021.

IPCC. *INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for Policymakers*. *In: Climate Change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds.)*. Cambridge University Press: In Press. 2021.

PIRACICABA (SP). IPPLAP. **Piracicaba em Dados**. Piracicaba. Disponível em: <http://ipplap.com.br/site/piracicaba-em-dados/>. Acesso em: 15 de março de 2021.

SEMAE. **Mapa de Microbacias Hidrográficas**. Piracicaba. Disponível em: <https://www.semaepiracicaba.sp.gov.br/hidrografia/>. Acesso em: 28 de agosto de 2020.

UNITED STATES OF AMERICA. US Geological Survey. **Earth Explorer**. Washington, DC: 2020. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 17 de maio de 2020.

MAGALHÃES JR., A.P. BARROS, L.F.P. LAVARINI, C. BARROS, L.F.P. Unidades espaciais de estudo e elementos do sistema fluvial: bases conceituais. *In: JÚNIOR, A.P.M. BARROS, L.F.P. Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais*. 1.ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2020, cap.2, p.53.

MAIOR, M.M.S. CÂNDIDO, G.A. Avaliação das metodologias brasileiras de vulnerabilidade socioambiental como decorrência da problemática urbana no Brasil. *In: Cad. Metrop.*, São Paulo, v.16, n.31, p.241-264, jun, 2014.

MARTINE, G. OJIMA, R. *The Challenges of Adaptation in an Early but Unassisted Urban Transition*. *In: MARTINE, G. SCHENSUL, G. SCHENSUL, D (eds.) The Demography of Adaptation to Climate Change. New York, London and Mexico City: UNFPA, IIED and El Colegio de México. Mexico City: Phyllis Brachman, 2013, cap.8, p.138-157.*

MEDEIROS, C.B. **Vulnerabilidade Socioambiental do Município de Caucaia (CE): subsídios ao ordenamento territorial**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará (UECE), Centro de Ciências e Tecnologia, Fortaleza, 2014.



MOSER, C. *The asset vulnerability framework: reassessing urban poverty reduction strategies*. In: **World Development**, v. 26, n. 1, 1998.

MOSS, R. H. et al. *The next generation of scenarios for climate change research and assessment*. In: **Nature**, v. 463, n. 7282, p. 747-756, 2010. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/41422439\\_The\\_Next\\_Generation\\_of\\_Scenarios\\_for\\_Climate\\_Change\\_Research\\_and\\_Assessment](https://www.researchgate.net/publication/41422439_The_Next_Generation_of_Scenarios_for_Climate_Change_Research_and_Assessment). Acesso em: 27 de junho de 2021.

PALÁCIO et al. Análise da susceptibilidade a alagamento em Juazeiro do Norte, Ceará. In: **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.14, n.4, p.2204-2219, 2021.

PLATE, E.J. *Flood Risk and Flood Management*. In: **Journal of Hydrology**, 267, p.2-11, 2002.

PRATES, T.O.B. **Vulnerabilidade socioambiental nas áreas suscetíveis as inundações no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Muriaé (RJ)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Geociências, Campinas, 2019.

QGIS Development Team. *QGIS Geographic Information System. Versão 3.10.6 with GRASS 7.8.3*. [S.l.]: *Open Source Geospatial Foundation Project*. 2019. Disponível em: <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>. Acesso em : 02 de junho de 2019.

REIS, G.A. RIBEIRO, J.A.R. DA SILVA, C.A.U. Diagnóstico de vulnerabilidade socioambiental em áreas urbanas utilizando inteligência geográfica. In: **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n.02, p. 767-781, 2020.

SAMPAIO, J.A.L. OLIVEIRA, E.R. A justiça espacial e ambiental e a teoria de risco: a responsabilidade do governo na prevenção contra desastres (no Brasil). In: **Revista de Direito Internacional**, v.16, n.2, 2019. Disponível em: <<https://www.publicacoes.uniceub.br/rdi/article/view/6129>>. Acesso em: 16 jun. 2021

SANTOS, J.O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. In: **Mercator**, Fortaleza, v.14, n.2, p.75-90, mai.-ago., 2015.

SANTOS, M.R.S. VITORINO, M.I. PIMENTEL, M.A.S. Vulnerabilidade e mudanças climáticas: análise socioambiental em uma mesorregião da Amazônia. In: **Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n.15, p.842-854, set. - out., 2017

SARTORI, A. NETO, F.L. GENOVEZ, A.M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.4, p.05-18, out./dez., 2005.



XIV ENCONTRO NACIONAL DE  
PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM  
**GEOGRAFIA**

EDIÇÃO ONLINE

10 À 15 DE OUTUBRO DE 2021

ISSN: 2175-8875

ZANELLA, M.E. OLÍMPIO, J.L. COSTA, M.C.L. DANTAS, E.W.C. Vulnerabilidade socioambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Cocó, Fortaleza – CE. *In: Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 25, n. 317-332, 2013.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **Climate Adaptation:** seizing the challenge. Suíça: Geneva, jan. 2014. Disponível em:

<[https://www3.weforum.org/docs/GAC/2014/WEF\\_GAC\\_ClimateChange\\_Adaptation\\_SeizingChallenge\\_Report\\_2014.pdf](https://www3.weforum.org/docs/GAC/2014/WEF_GAC_ClimateChange_Adaptation_SeizingChallenge_Report_2014.pdf)> . Acesso em: 25 de jun. 2021.