





Vulnerabilidad socioambiental urbana: Mapeo y análisis multicriterio para la toma de decisiones en la ciudad de Joinville – Santa Catarina, Brasil

Urban socio-environmental vulnerability: Mapping and multicriteria analysis for decision making in the city of Joinville – Santa Catarina, Brazil

 Lara Yumi Fand Ykeizumi
Municipalidad de São Francisco do Sul, Brasil
larayumif@gmail.com

 Eduardo Augusto Werneck Ribeiro
Instituto Federal Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente (PPGTA), Brasil
eduardo.ribeiro@ifc.edu.br

Recepción: 09 Septiembre 2023
Aprobación: 15 Abril 2024
Publicación: 01 Mayo 2024

Cita sugerida: Ykeizumi, L. Y. F. y Ribeiro, E. A. W. (2024). Vulnerabilidad socioambiental urbana: Mapeo y análisis multicriterio para la toma de decisiones en la ciudad de Joinville – Santa Catarina, Brasil. *Geograficando*, 20(1), e151. <https://doi.org/10.24215/2346898Xe151>

Resumen: Este artículo presenta una propuesta metodológica para mapear y analizar la vulnerabilidad socioambiental urbana en Joinville, Santa Catarina. La metodología utiliza el análisis multicriterio del Proceso Analítico de Jerarquía (AHP) para identificar los lugares y grupos de población más vulnerables. La vulnerabilidad socioambiental incluye la falta de acceso a recursos, servicios y oportunidades en áreas propensas a inundaciones, pistas de aterrizaje y deslizamientos de tierra. La metodología consiste en dividir el problema en problemas menores, formando una estructura jerárquica. El paso principal es juzgar la importancia relativa de cada elemento de la jerarquía, y convertirlos después convirtiéndolos en los pesos para los indicadores elevados. La matriz final estuvo compuesta por datos censales de 2010, infraestructura y datos ambientales. El análisis permitió identificar áreas prioritarias, considerando los desafíos enfrentados ante los cambios socio-ambientales en curso. La propuesta contribuye a mejorar los instrumentos de gestión pública.

Palabras clave: Toma de decisiones, Análisis espacial, Censo demográfico, Indicadores sintéticos.

Abstract: This article presents a methodological proposal to map and analyze urban socio-environmental vulnerability in Joinville, Santa Catarina. The methodology uses a multicriteria analysis of the Analytical Hierarchy Process (AHP) to identify the most vulnerable places and population groups. Socio-environmental vulnerability includes a lack of access to resources, services, and opportunities in areas prone to flooding, runways, and landslides. The methodology consists of dividing the problem into smaller problems, forming a hierarchical structure. The main step is to judge the relative importance of each element of the hierarchy, converting them into weights for elevated indicators. The final matrix was composed of 2010 census data, infrastructure, and environmental data. The analysis made it possible to identify priority areas, considering the challenges faced in the face of ongoing socio-environmental changes. The proposal contributes to improving public management instruments.

Keywords: Decision making, Spatial analysis, Demographic census, Synthetic indicators.



INTRODUCCIÓN

La intensificación de los fenómenos meteorológicos extremos y sus impactos en las ciudades han despertado interés por comprender las complejas interacciones entre el clima y la exclusión social. Es ampliamente reconocido que la vulnerabilidad climática y la exclusión social están intrínsecamente vinculadas, ya que ciertos grupos socioeconómicos enfrentan mayores riesgos y desventajas frente a los hechos climáticos extremos y el cambio climático a largo plazo (Canil, Lampis y dos Santos, 2020; Fiack, Cumberbatch, Sutherland y Zerphey, 2021). En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo presentar una propuesta de mapeo metodológico que busca identificar la vulnerabilidad socio-ambiental en una ciudad, utilizando datos del Censo Demográfico Brasileño y un análisis multicriterio llamado Proceso Analítico Jerárquico (AHP), desarrollado por Saaty (2008).

La vulnerabilidad socioambiental se entiende como una combinación de falta de acceso a recursos, servicios y oportunidades en comunidades generalmente ubicadas en zonas propensas a inundaciones y deslizamientos (Juhola, Heikkinen, Pietilä, Groundstroem y Käyhkö, 2022; Mattedi, 2017). Esta combinación está empeorando en las regiones urbanas, que extienden desproporcionadamente la exposición a estos fenómenos climáticos. Por lo tanto, la toma de decisiones en relación con temas ambientales y sociales requiere el conocimiento de los riesgos, limitaciones y soluciones adecuadas para satisfacer a la población (Joner, Avila y Mattedi, 2021; Malta, Costa y Magrini, 2017).

Además de definir la vulnerabilidad socio-ambiental, identificar lugares y grupos de población más vulnerables, subvenciona la mejora de los procesos de toma de decisiones, como el análisis multicriterio, que es relevante para la toma de decisiones. En este sentido, un concepto fundamental es el del análisis multicriterio para la decisión, que abarca un conjunto de información con atributos esenciales para fundamentar elecciones asertivas. Organizar esta información de manera eficiente, como en un mapa, puede aumentar la velocidad y el impacto de las comunicaciones con los grupos de interés y la sociedad en general (Malta et al., 2017). Este enfoque complementa la comprensión de la vulnerabilidad socio-ambiental y contribuye al desarrollo de debates centrados en la infraestructura resiliente y las mejoras en el acceso a los servicios básicos.

Mapear el conjunto de factores que producen vulnerabilidad social y ambiental permite dirigir acciones con mayor precisión, y maximizar los beneficios para la comunidad (Gallegos Reina y Perles Roselló, 2021). Sin embargo, es importante considerar la subestimación o subnotificación de las prioridades en este proceso. Varios estudios advierten sobre considerar adecuadamente los criterios relacionados con la dimensión ambiental en la toma de decisiones para evitar inconsistencias y problemas en los indicadores más sensibles (Agyekum, Amjad, Mohsin y Ansah, 2021; Ali, Abbas, Pan, Chen, Hussain, Sajjad y Ashraf, 2019; Maior y Cândido, 2014; Santos, Vitorino, Pereira, Pimentel y Quintão, 2021).

Además, es necesario lidiar con la disponibilidad y diversidad de fuentes de datos y metodologías que generen los criterios para visualizarlos cartográficamente. Independientemente del enfoque adoptado, es esencial garantizar la transparencia y la coherencia en las evaluaciones realizadas por los tomadores de decisiones para evitar sesgos y distorsiones en los resultados.

Los estudios que buscan mejorar los instrumentos de gestión pública para identificar áreas prioritarias son oportunos. En este contexto, se presenta una propuesta metodológica que aplica el análisis multicriterio denominado AHP, con el objetivo de mapear la vulnerabilidad socio-ambiental a escala intra-urbana. La ciudad de Joinville, en Santa Catarina, fue elegida como caso de estudio por su relevancia como la ciudad más

grande del estado, además de presentar baja amplitud en indicadores socioeconómicos y diversidad de paisajes (cerro, *várzea*, mangue y bahía). Estos factores influyen en la capacidad del administrador público para atender a diferentes grupos de población ante hechos climáticos extremos, tanto en preparación como en respuesta y recuperación.

Al abordar este problema, es esencial no perder de vista las lecciones aprendidas en estudios anteriores, como los trabajos de Cutter, Boruff y Shirley (2003) y de Pelling (2010). Estos estudios destacan los beneficios de la elección y ponderación adecuada de los datos en la construcción de indicadores de vulnerabilidad social, así como la necesidad de enfoques adaptables y flexibles para la formulación e implementación de políticas de adaptación al cambio climático. En el contexto brasileño, estudios como los de Major y Candido (2014), Martins y Candido (2015) y Joner et al. (2021) destacan la necesidad de revisar constantemente las metodologías para evaluar la vulnerabilidad social y ambiental, así como la de fortalecer la gestión de riesgos y los procesos de vulnerabilidad para abordar eficazmente los desafíos de los desastres naturales.

De esta manera, este estudio contribuye a mejorar los instrumentos de gestión pública mediante la identificación de áreas prioritarias, considerando los desafíos que enfrentan los cambios socio-ambientales en curso.

MATERIALES Y MÉTODOS

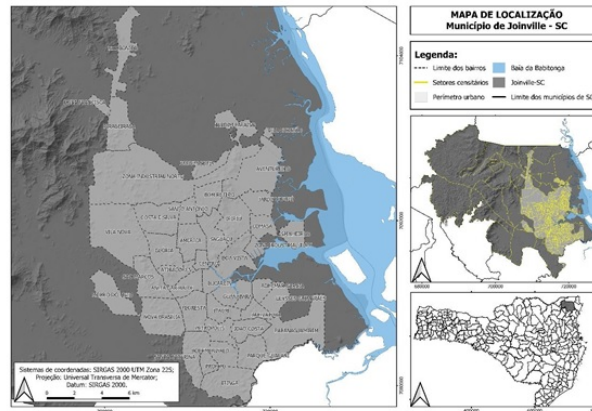
ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Joinville ($26^{\circ} 18'05''$ S / $48^{\circ}50'38''$ W y $26^{\circ} 28'50''$ S / $48^{\circ}08''$ W) tiene una superficie de $1.146.873 \text{ km}^2$ y 515.288 habitantes, distribuidos en 40 barrios, un distrito llamado Pirabeiraba y dos zonas industriales llamadas Norte y Tupy (Prefeitura Municipal de Joinville, 2023).

En el norte del estado de Santa Catarina, el municipio de Joinville presenta una diversidad topográfica relativa a pesar de estar ubicado cerca del mar, con grandes áreas de manglares, áreas de inundación y *morrotes*. La ciudad fue fundada por inmigrantes alemanes en el siglo XIX, por intereses comerciales, y su desarrollo se debió a la economía industrial. Hoy es la ciudad más grande del estado (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2023).

Para el análisis específico de los grados de vulnerabilidad, se utilizaron como unidad de estudio los 761 tramos censales urbanos definidos por el IBGE. Los límites de los barrios, puestos a disposición por el Ayuntamiento de Joinville (2023), contemplan los límites de los sectores censales del tramo censal de 2010, por lo que no hubo necesidad de ajuste para su superposición. En este sentido, la Figura 1 muestra la ubicación y los nombres de los distritos de Joinville.

Figura 1
Mapa de ubicación de Joinville



Fuente: Ribeiro y Ykeizumi (2021)

Traducción de figura (Port- Esp): Baía da Babitonga - Bahía de Babitonga; Limite de bairros - Límite de barrios; setores censitários - sectores censales; perímetro urbano – perímetro urbano; Limites dos municípios de SC - Límites de los municipios de SC

ANÁLISIS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES SEGÚN VARIOS CRITERIOS

La investigación fue de tipo cuali-cuantitativo, y el objetivo fue aplicar un método de análisis multi-criterio con el fin de apoyar la decisión, *Proceso de Jerarquía Analítica – AHP* (Saaty, 2008), para identificar las áreas de vulnerabilidad del municipio.

Se utilizaron diferentes técnicas y herramientas para manejar los datos recopilados. Se empleó el programa Excel para la tabulación y cálculos estadísticos, el software QGIS en las versiones 2.8.9 para la aplicación del método AHP el 3.10.11 para mapas temáticos.

El método AHP ha surgido para ayudar en la toma de decisiones para la gestión empresarial. Sin embargo, se ha utilizado para el análisis espacial, como en la identificación de áreas de vulnerabilidad ambiental y socioambiental (Malta et al., 2017; Santos et al., 2021), en el estudio de áreas inundables (Rezende, Marques y Oliveira, 2017) y susceptibles a la erosión del suelo (Lobão, Franca-Rocha y Silva, 2011). La metodología consiste en desmembrar un problema en problemas menores, formando una estructura jerárquica. La etapa principal es el juicio de la importancia relativa de cada elemento de la jerarquía, transformando en los pesos para los indicadores planteados (Ykeizumi y Ribeiro, 2021).

El objetivo de este estudio fue identificar las variables ambientales más utilizadas por la bibliografía y los datos censales de 2010 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2012). También se incorporaron datos primarios no tradicionales, considerados adecuados para ser incorporados al método. Sin embargo, AHP se limita a 15 criterios.

Así, se aplicó el PCA (sigla de Análisis de Componentes Principales, en inglés) para indicar qué variables y de importancia estadística se ponderarían para alcanzar los 15 criterios. La técnica PCA tiene como objetivo la transformación más representativa y densa de los indicadores preseleccionados, reduciendo el número de componentes principales para que sea factible explicar la gran proporción de la variación total del conjunto original (Malta et al., 2017).

La información del municipio está disponible a través del Sistema de Información Municipal Georeferenciado (SIMGeo), que es un sistema de información geográfica (SIG) del municipio de Joinville (Prefeitura Municipal de Joinville, 2023).

La matriz final estuvo compuesta por datos del Censo 2010 (trabajo, ingresos y educación), infraestructura, datos ambientales: ubicación de ríos, pendiente de terreno, ubicación de APP, temperatura superficial (LANDSAT) y ubicaciones de escuelas, hospitales y unidades básicas de salud (UBS), como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1
Descripción de los indicadores sociales y ambientales

CÓDIGO	INDICADOR	FUENTE	DESCRIPCIÓN
IND1	Porcentaje de hogares sin suministro de agua	Censo demográfico (IBGE, 2012)	Domicilio01_UF.xls - V012 Hogares privados permanentes con suministro de agua de la red general
IND2	Porcentaje de hogares sin recogida de residuos sólidos	Censo demográfico (IBGE, 2012)	Domicilio01_UF.xls - V035 Hogares privados permanentes con basura recolectada
IND3	Porcentaje de hogares sin recolección de aguas residuales sanitarias	SIMGeo - Joinville	Archivo vectorial
IND4	Porcentaje de residencias sin baño exclusivo	Censo demográfico (IBGE, 2012)	Domicilio01_UF.xls - V016 Hogares privados permanentes con baños privados utilizados exclusivamente por residentes o aseos
IND5	Porcentaje de hogares sin energía eléctrica	Censo demográfico (IBGE, 2012)	Domicilio01_UF.xls - V043 Hogares privados permanentes con energía eléctrica
IND6	Densidad de la carcasa	Censo demográfico (IBGE, 2012)	Domicilio01_UF.xls - V01 Número de hogares y Domicilio02_UF.xls - V01 Número de habitantes
IND7	Analfabetismo adulto	Censo demográfico (IBGE, 2012)	Pessoa01_UF.xls - V015 - V077 Personas alfabetizadas
IND8	Número de salarios mínimos	Censo demográfico (IBGE, 2012)	Basic_UF.xls - V05 Valor de la renta nominal mensual media de las personas responsables de los hogares privados permanentes (con y sin ingresos)
IND9	Porcentaje de hogares fuera del radio de 0,8 km de las unidades de Salud Básica - UBS	SIMGeo - Joinville	Archivo vectorial
IND10	Porcentaje de hogares fuera del radio de 1,8 km de los hospitales	SIMGeo - Joinville	Archivo vectorial

IND11	Porcentaje de hogares fuera del radio de 0,4 km de las escuelas	SIMGeo - Joinville	Archivo vectorial
IND12	Temperatura superficial (°C)	Imagen de satélite Landsat 8 – OLI – abril/2019	plug-in Semi-Automatic Classification in software QGIS 3.10.11
IND13	Porcentaje de hogares en el Área de Preservación Permanente – APP	Ayuntamiento de Joinville - Ley Complementaria 601/2022	Amortiguador de 15 metros para cursos de agua naturales, 5 metros para cursos de agua tubulados y para manantiales de 50 metros
IND14	Pendiente (%)	SIMGeo - Joinville	Herramienta Pendiente de software QGIS 3.10.11
IND15	Áreas de inundación	SIMGeo - Joinville	Archivo vectorial de manchas de inundación

Fuente: Ribeiro e Ykeizumi (2023)

Los pasos metodológicos fueron: (I) definición del problema, (ii) construcción jerárquica, (iii) construcción de matriz de comparación pareada, (iv) cálculo de vectores principales, número principal de Eigen, índice de consistencia y razón de consistencia (Ykeizumi y Ribeiro, 2021).

El problema definido es la de áreas de vulnerabilidad, y las alternativas son los 15 indicadores predefinidos. La comparación se hizo par a par, y el ensayo se estableció por connivencia, teniendo en cuenta la escala de comparación creada por Saaty (2008). Para realizar la comparación, se analizó cuál de las dos alternativas es más importante, utilizando la escala 1-9 presentada en la Tabla 2. El resultado de este paso es la matriz de comparación emparejada.

Tabla 2
Escala de comparación emparejada

INTENSIDAD DE IMPORTANCIA	AJUSTE	EXPLICACIÓN
1	Igualmente importante	Los dos elementos contribuyen por igual a la meta
3	Poca importancia	El juicio favorece a un elemento ligeramente
5	Gran importancia	El juicio favorece fuertemente uno de los elementos
7	Muy fuerte importancia	El dominio de un elemento puede ser demostrado
9	Importancia absoluta	La evidencia que favorece a uno de los elementos está en el mayor orden posible de la declaración
2, 4, 6 y 8	Los valores intermedios entre los valores adyacentes	Cuando se busca una condición de compromiso entre dos ajustes

Fuente: Adaptado de Saaty (2008)

Con la matriz construida, se calculó el peso de cada indicador (vector prioritario) y el número principal de Eigen (λ_{max}). El cálculo consiste en dividir el peso de la columna por la suma de la columna, establecer las notas finales y normalizar estos valores. Con la matriz normalizada, las líneas promediaron, y se obtuvo el vector de prioridad. Con la relación media de la matriz sumada a la prioridad, se obtuvo el valor de λ_{max} .

La etapa de cálculo del índice de consistencia y la relación de consistencia es importante para presentar la confiabilidad de los juicios. En caso de inconsistencias, se deben construir nuevos pesos.

El cálculo de la Consistencia Índice (CI) de la matriz de comparación se expresa en la ecuación 1. Para que sea satisfactorio, el valor de IC debe ser menor que 0,1.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{(n-1)} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

Donde λ_{max} es el número principal de Eigen y “n”, el orden de la matriz de comparación pareada, en el caso 15, desde el número de indicadores comparados.

El cálculo de la relación de consistencia (CR) se expresa en la ecuación 2.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Donde IR corresponde a la Consistencia Aleatoria Índice, que está tabulada de acuerdo con el orden “n” de la matriz cuadrada, presentada en la Tabla 3.

Tabla 3
Consistencia Aleatoria Índice

N	1	2	3	4	5	6	7	8
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41
N	9	10	11	12	13	14	15	
IR	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59	

Fuente: Adaptado de Saaty (2008)

Con la matriz de comparación de par a par y la relación de consistencia inferior a 0,1, la matriz de comparación emparejada se aplicó al *complemento Easy AHP* del software QG IS 2,8.9. Previamente, los datos fueron estandarizados como valores estandarizados entre 1 y 5, y formaron un índice adimensional, siendo la mayor vulnerabilidad el valor 5 y la menor representada por 1. No se creó ningún valor “cero” que representara ninguna vulnerabilidad.

Por lo tanto, se obtuvo el mapa de vulnerabilidad socioambiental del municipio de Joinville-SC. Las clases de vulnerabilidad fueron definidas por las rupturas naturales disponibles en el software QGIS 3.10.11; es decir, de grupos cuyos sectores son homogéneos, minimizando la varianza intra-clase y maximizando la varianza interclase. Los valores de intervalo se basan en el cálculo de la desviación absoluta y la mediana de las clases (Buffon, 2018). Así, se adoptaron cinco clases: muy baja (1,09 – 1,56), baja (1,56 – 1,93), media (1,93 – 2,24), alta (2,24 – 2,56) y muy alta (2,55 – 4,38).

Con el fin de validar los resultados obtenidos por el método estadístico vinculado al SIG, en enero de 2021 se realizaron visitas en varios puntos de la ciudad, combinamos las visitas, los registros fotográficos y la obtención de imágenes ya publicadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de la metodología del permiso AHP establece que Joinville es una ciudad cuya población se encuentra en una situación de vulnerabilidad socio-ambiental media y baja. A continuación, presentaremos las Tablas 4 y 5 (Matriz de Comparación Pareada y *Ranking* de los Indicadores, respectivamente) para que podamos vincular os resultados.

Tabla 4
Matriz de Comparación Emparejada

	Ind1	Ind2	Ind3	Ind4	Ind5	Ind6	Ind7	Ind8	Ind9	Ind10	Ind11	Ind12	Ind13	Ind14	Ind15
Ind1	1	6	5	0,5	0,33	8	2	0,33	7	8	6	9	8	7	8
Ind2	0,16	1	0,33	0,12	0,11	3	0,25	0,11	3	5	2	7	3	3	4
Ind3	0,2	3	1	0,2	0,14	3	0,33	0,12	5	7	3	7	5	3	4
Ind4	2	8	5	1	0,33	7	3	0,5	8	9	7	9	7	5	7
Ind5	3	9	7	3	1	7	4	0,5	7	9	6	8	7	6	7
Ind6	0,12	0,33	0,33	0,14	0,14	1	0,33	0,14	3	4	2	5	2	2	4
Ind7	0,5	4	3	0,33	0,25	3	1	0,14	6	7	5	6	5	4	5
Ind8	3	9	8	2	2	7	7	1	9	9	9	9	8	7	8
Ind9	0,14	0,33	0,2	0,12	0,14	0,33	0,16	0,11	1	3	0,33	1	0,2	0,16	0,33
Ind10	0,12	0,2	0,14	0,11	0,11	0,25	0,14	0,11	0,33	1	0,33	0,5	0,16	0,14	0,5
Ind11	0,16	0,5	0,33	0,14	0,16	0,5	0,2	0,11	3	3	1	1	0,5	0,5	0,5
Ind12	0,11	0,14	0,14	0,11	0,12	0,2	0,16	0,11	1	2	1	1	0,33	0,2	0,25
Ind13	0,12	0,33	0,2	0,14	0,14	0,5	0,2	0,12	5	6	2	3	1	0,5	3
Ind14	0,14	0,33	0,33	0,2	0,16	0,5	0,25	0,14	6	7	2	5	2	1	2
Ind15	0,12	0,25	0,25	0,14	0,14	0,25	0,2	0,12	3	2	2	4	0,33	0,5	1

Fuente: Ribeiro e Ykeizumi (2023)

Tabla 5
Clasificación de indicadores

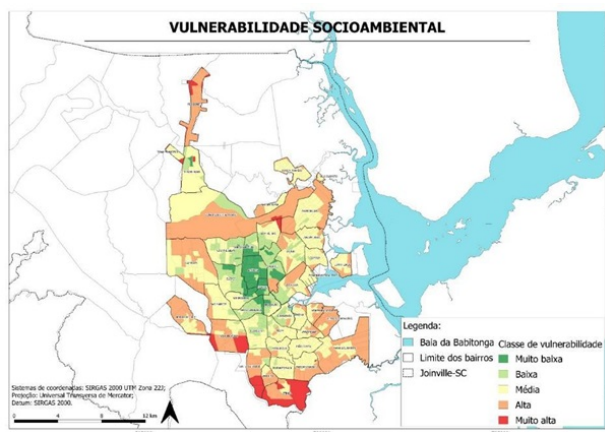
CÓDIGO	INDICADOR	PESO	CLASIFICACIÓN
Ind1	Número de salarios mínimos	0,214	21,40%
Ind2	Porcentaje de hogares sin energía eléctrica	0,176	17,60%
Ind3	Porcentaje de residencias sin baño exclusivo	0,138	13,80%
Ind4	Porcentaje de hogares sin suministro de agua	0,122	12,20%
Ind5	Analfabetismo adulto	0,076	7,60%
Ind6	Porcentaje de hogares sin recolección de aguas residuales sanitarias	0,057	5,70%
Ind7	Porcentaje de hogares sin recogida de residuos sólidos	0,043	4,30%
Ind8	Pendiente (%)	0,035	3,50%
Ind9	Densidad habitacional	0,034	3,40%
Ind10	Porcentaje de hogares en el Área de Preservación Permanente - APP	0,029	2,90%
Ind11	Áreas de inundación	0,021	2,10%
Ind12	Porcentaje de hogares fuera del radio de 0,4 km de las escuelas	0,019	1,90%
Ind13	Porcentaje de hogares fuera del radio de 0,8 km de las unidades de Salud Básica - UBS	0,013	1,30%
Ind14	Temperatura superficial (°C)	0,012	1,20%
Ind15	Porcentaje de hogares fuera del radio de 1,8 km de los hospitales	0,01	1,00%

Fuente: Ribeiro e Ykeizumi (2023)

En el cálculo de consistencia, el resultado fue 0,09. Como $RC < 0,1$, los juicios de la matriz de comparación son consistentes.

La integración del método AHP con la herramienta SIG permitió la elaboración de la Figura 2, que presenta la espacialización del grado de vulnerabilidad socio-ambiental en el municipio.

Figura 2
Vulnerabilidad socio-ambiental de Joinville



Fuente: Ribeiro e Ykeizumi (2021)

Traducción de figura (Port- Esp): Baía da Babitonga - Bahía de Babitonga; Limite dos bairros - Límite de barrios; Classes vulnerabilidade – Clases vulnerabilidad, Muito baixa - Muy baja, baixa - baixa, média - media, alta - alta, muito alta - muy alta

En general, se observa que los sectores con clase de vulnerabilidad muy baja se concentran en el centro de la ciudad (Figura 2), porque los sectores de vulnerabilidad media, alta y muy alta rodean la zona central. Esta estructura urbana de Joinville muestra consistencia con el modelo teórico de centro-periferia, similar a las discusiones sobre las metrópolis ya señaladas en Canil et al. (2020), Joner et al. (2021) y Mattedi (2017). Este análisis intraurbano es posible gracias a la unidad de análisis espacial de los sectores censales del IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2012), Esto permite a los tomadores de decisiones obtener información a escala intraurbana y una lectura más precisa de la realidad de la ciudad.

Sin embargo, es importante señalar que Cutter (2003) pone de relieve las dificultades para entender esta realidad con indicadores o matrices, ya que las resultantes a menudo no captan completamente las complejidades, especialmente en regiones metropolitanas como Joinville. Así, se reconoce el desafío de materializar el fenómeno de vulnerabilidad, que puede manifestarse en diferentes escalas, incluso a partir de los mismos datos disponibles. En este contexto, la propuesta metodológica presentada en este estudio busca entender que, si bien los datos se utilizan en la escala del municipio, representan sólo un punto de partida, el primer nivel de evaluación, y que el análisis intra-urbano es esencial para entender las desigualdades espaciales dentro de la ciudad.

Se llama la atención sobre otros estudios recurrentes que también ofrecen la escala municipal como unidad comparativa. Sin embargo, las unidades escalares son distintas y no se pueden utilizar en el mismo análisis. A pesar de que estudios como el IDH (Índice de Desarrollo Humano) mencionan información socioespacial sobre la ciudad, en el caso de Brasil el IDH para los municipios aborda la escala municipal de manera diferente. La escala IBGE es intraurbana (sector censal) y la escala IDHM aporta la dimensión del territorio en su conjunto, sin posibilidad alguna de evaluar la realidad intraurbana con sus desigualdades espaciales. En el caso concreto, cuando se observa el IDHM, Joinville se encuentra en el grupo “muy alto” (0,809) (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento et al., 2013). Este indicador, cuando se compara con todo Brasil, permite calificar al municipio en una mejor situación de desarrollo humano que sus pares en el grupo alto.


La Figura 2, al aplicar la metodología propuesta, permite una identificación sensible de las diferentes vulnerabilidades espaciales a nivel intra-urbano. Esto amplía el conjunto de información disponible más allá de los indicadores agregados, como el IDHM, que puede conducir a una percepción errónea de la ausencia de disparidades. Por lo tanto, incluso en una ciudad considerada como desarrollada, es esencial considerar la estructuración del espacio intra-urbano y las desigualdades presentes.

Respecto del conjunto de procedimientos propuestos en este estudio, consideramos la cuestión de correlacionar la información de vulnerabilidad socio-ambiental con indicadores jerárquicos a escala intra-urbana. Maior y Cândido (2014) y Santos et al. (2021) señalaron que era importante revisar las metodologías, utilizando diferentes fuentes de información para el desarrollo de nuevos procesos que fomenten la toma de decisiones por parte de los gestores, a pesar de que dichos autores, en diferentes momentos, indicaron la existencia de aspectos metodológicos limitantes, como el uso inmediato de los resultados. Se acuerda con que los resultados sistematizados por estas innovaciones no pueden ser aplicados automáticamente sin antes realizar una verificación de campo. Como se muestra en la Figura 2, debido a la escala, algunos sectores vulnerables pueden experimentar un efecto de generalización que la ponderación estadística puede introducir en el análisis. Cuando no hay suficientes indicadores para mostrar la desigualdad intra-urbana, esto puede ser más efectivo.

Otro cuidado metodológico es la revisión constante de las metodologías que utilizan diferentes fuentes de información para desarrollar procesos que apoyen la toma de decisiones de los gestores (Maior y Cândido, 2014; Santos et al., 2021). Esto también corresponde a esta discusión. Aunque estas innovaciones son valiosas, sus resultados no se pueden aplicar automáticamente sin la verificación de campo adecuada. La ponderación de escala y estadística puede afectar el análisis y la generalización de estructuras superpuestas de diferentes patrones, especialmente cuando no hay indicadores suficientes para resaltar las variaciones internas que implican demandas de infraestructura.

En el caso de Joinville, aun con la posibilidad de generar un índice de vulnerabilidad socio-ambiental que refleje las agrupaciones de las diferentes clases establecidas, fue necesario realizar un trabajo de campo para validar la información mediante la observación del paisaje urbano. Este paso fue motivado por la necesidad de verificar que las clases de vulnerabilidad identificadas estaban asociadas a la realidad observada. Los datos sistematizados fueron verificados con base en la Tabla 6.

Tabla 6
Ratio de indicadores y su ratio de clases

CLASE	ÁREA (km ²)	%	POBLACION	%	NUMERO DE SECTORES	REGISTRO DE FOTOS
Muy baja	10,1	4,9	30.577	6,2	64	
Baja	27,9	13,5	88.170	17,9	156	 Fuente: Ribeiro e Ykeizumi (2023)
Promedio	87,8	42,4	285.551	57,9	383	 Fuente: Ribeiro e Ykeizumi (2023)
Alta	71,3	34,4	82.623	16,7	117	 Fuente: Jornal A Noticia (2023)
Muy alta	9,9	4,8	6.497	1,3	16	 Fuente: Ribeiro e Ykeizumi (2023)

Fuente: Ribeiro e Ykeizumi (2023)

A partir del trabajo de campo, se seleccionaron las imágenes más significativas para representar cada clase. Se consideró el tipo de construcción predominante en cada clase identificada por la metodología.

Se puede entender que la elección de los pesos al AHP (Tablas 4 y 5) fue adecuada. La inclusión del análisis de componentes básicos (PCA) como un paso complementario al proceso analítico de jerarquía (AHP) puede proporcionar un enfoque más sólido para identificar y ponderar los criterios relevantes en situaciones en las que la definición previa de criterios es difícil. Mientras que el AHP tradicionalmente depende de la especificación previa de los criterios por parte de los tomadores de decisiones, el PCA permite explorar las relaciones y correlaciones entre las variables sin la necesidad de una jerarquía inicial rígida. El PCA, al reducir la dimensionalidad de los datos e identificar los patrones subyacentes, puede ayudar en la identificación de los criterios latentes más significativos. Así, la inclusión del PDA en el proceso de toma de decisiones permite una ponderación más razonada de las variables, considerando su contribución a la variabilidad de los datos y su correlación con la realidad. Al combinar AHP y PCA, los tomadores de decisiones pueden obtener una comprensión más completa de los factores relevantes y tomar decisiones más informadas, teniendo en cuenta tanto la jerarquía de criterios como las correlaciones entre las variables.

En vista de estos resultados, se discutirán algunas interpretaciones.

Los resultados revelan algunas interpretaciones relevantes. En primer lugar, se destaca la relación entre los datos de la zona censal urbana y los patrones clásicos de inclusión y exclusión social, cuando se evalúan sólo desde los aspectos socioeconómicos del IBGE. Sin embargo, al considerar la resolución espacial (por analogía con las imágenes de la sensorización de envío) de los sectores censales es posible identificar limitaciones metodológicas. Dentro del mismo tramo censal, no todas las casas son similares en términos materiales. Por ejemplo, es posible identificar residencias de alto poder adquisitivo cercanas a aquellas de bajo poder adquisitivo, tanto en proximidad a una corriente abierta no canalizada, como se muestra en la Tabla 6.

Situaciones tan peculiares como estas muestran que, incluso en sectores clasificados como de baja vulnerabilidad social y ambiental, la presencia de residencias de diferentes clases socioeconómicas puede dar lugar a respuestas distintas a fenómenos como inundaciones o deslizamientos de tierra. Las diferentes infraestructuras residenciales implican diferentes niveles de impacto y resiliencia.

También se considera que, para los sectores censales que presentan clases de vulnerabilidad altas y muy altas, se encontró la falta de infraestructura y servicios públicos (salud y educación). Aun sin tener en cuenta la ubicación de un río vecino entre las diversas residencias, los impactos se exacerbaban. Un desastre puede no sólo reforzar la desigualdad que ya existe, sino también resaltar el tiempo de respuesta de la industria para la solución. Los estudios de Malta et al. (2017) y Juhola et al. (2022) se contentan con demostrar que la falta de infraestructura y la distancia de la prestación de servicios básicos consolidan la existencia de medios estructurantes que contribuyen a los efectos y respuestas de los impactos de la vulnerabilidad socioambiental en los grupos de población menos favorecidos.

Un segundo punto a discutir se refiere al tamaño de la población clasificada como de baja y mediana vulnerabilidad. Esta es una particularidad del área urbana de Joinville, en la que estos grupos representan la mayoría de la población residente: 75,8 %. Este resultado llama la atención, ya que los estudios mencionados previamente que utilizaron la misma unidad censal tienden a identificar a la mayoría de la población en condiciones de alta y muy alta vulnerabilidad. Teniendo en cuenta las variaciones en los conceptos y métricas aplicadas, es esencial revisar y comprender estas diferencias para un análisis más preciso y contextualizado de la realidad intra-urbana.

En este sentido, surge el tercer aspecto. En vista del modelo desigual de desarrollo económico y social en Brasil, es incuestionable que las áreas clasificadas como de alta y muy alta vulnerabilidad deben ser objeto de inversiones continuas y de permanente monitoreo. La cuestión del tamaño de la población expuesta aporta una perspectiva diferenciada al debate. Los efectos de un desastre en una ciudad afectan a todos; sin embargo, las respuestas y la recuperación se diferenciarán de acuerdo con el nivel de exposición y el poder adquisitivo de la población. Aquí es donde la metodología aplicada adquiere relevancia.

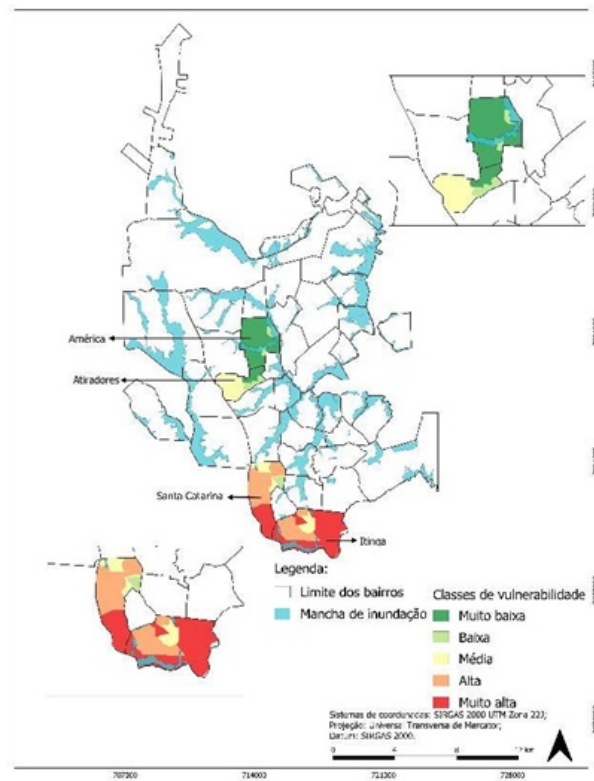
La bibliografía evaluada converge de manera asertiva cuando se establece que el tema de vulnerabilidad debe ser abordado con respecto a los grupos sociales más desfavorecidos, con el objetivo de implementar equipos o servicios que desarticulen la lógica de la producción de áreas de riesgo ambiental, social y económico. Sin embargo, es importante destacar que este indicador no exige al tomador de decisiones de realizar un análisis más cuidadoso de las particularidades de la escala intra-urbana. Además de la exposición socioeconómica, la exposición ambiental presenta algunas peculiaridades que permiten identificar la superposición espacial o incluso la convivencia en barrios de vulnerabilidad socioambiental. En una ciudad donde es posible observar barrios con indicadores amplios, la necesidad de atención a estos barrios se puede poner en orden de prioridad.

El método AHP establece una jerarquía de vulnerabilidad socioambiental en los barrios, basada en criterios definidos. Esto permite a los administradores y a la sociedad entender las razones para asignar atención y prioridades adecuadas, incluyendo a los barrios previamente excluidos. Es importante destacar que los distritos identificados con alta y muy alta vulnerabilidad son doblemente perjudicados: por la falta de recursos materiales y económicos en estas áreas urbanas, y por la exposición a la degradación ambiental circundante. En caso de desastre, el tiempo de reconstrucción será más largo, poniendo en duda la capacidad de supervivencia de la población para manejar estos problemas.

Este análisis jerárquico, considerando los efectos de los desastres naturales, refuerza la importancia de una aproximación sistémica a un problema común que impactará a la ciudad en su conjunto, pero con resultados de diversidad relevante para sus poblaciones. La vulnerabilidad social y ambiental es una exposición colectiva, pero diferenciada para cada grupo poblacional.

Tomemos el ejemplo de las zonas de inundación en Joinville. Probamos esta posibilidad comparando cuatro barrios, dos de los cuales fueron clasificados como altamente vulnerables (Itinga y Santa Catarina) y dos como poco vulnerables (América y Atiradores), como se muestra en la Figura 3.

Figura 3
Superposición de áreas de vulnerabilidad e inundación



Fuente: Ribeiro e Ykeizumi (2021)

Traducción de figura (Port- Esp): Limite de bairros - Límite de barrios; Mancha de inundação - área de inundación; Classes vulnerabilidade - Clases vulnerabilidad, Muito baixa - Muy baja, baixa - baja, média - media, alta - alta, muito alta - muy alta

Al establecer los criterios, el método indicó las áreas prioritarias en rojo – naranja (Itinga y Santa Catarina) y las de menor prioridad en amarillo y verde (América y Atiradores). En el caso de Joinville, los barrios más poblados son los clasificados como verdes y amarillos; no serían la prioridad, por lo que se podría crear un callejón sin salida político. Los barrios en consideración son ejemplos de barrios clasificados como de baja y muy baja vulnerabilidad (respectivamente), y no sólo tienen las mejores condiciones económicas y sociales, sino que incluso se encuentran en condiciones ambientales críticas. Las inundaciones frecuentes se enfrentaron a una infraestructura residencial o incluso comercial que mitigó los impactos provocados (Ali et al., 2019; Rezende et al., 2017; Santos et al., 2021).

En una inundación, ambos tipos de barrios sufrirían impactos de este fenómeno natural. A partir de la Figura 3, podemos identificar que los distritos clasificados en amarillo-verde se deben a su mayor oferta de infraestructura y servicios. Aunque están sujetos a zonas de inundación, la exposición a la degradación ambiental se atenúa (pero no se elimina). Por lo tanto, es posible una rápida respuesta a estas condiciones. En el caso de los distritos de Itinga y Santa Catarina (naranja-rojo), que representan las características de alta y

muy alta vulnerabilidad (respectivamente), se muestra que los bajos indicadores sociales y la infraestructura no son suficientes. Los barrios están expuestos a un área ambiental crítica, que va más allá de las inundaciones, y también a un área ambiental crítica, porque además se considera una región deslizante. Estos barrios siguen el patrón segregante de la urbanización brasileña (Maior y Cândido, 2014). Como se señaló en Gallegos Reina y Perles Roselló (2021), con una inundación la ausencia de infraestructura y servicios públicos impactará en estrategias más complejas para garantizar la supervivencia y las inversiones en equipos públicos, que nunca existieron en los barrios, y así tomará más tiempo responder.

La vulnerabilidad socio-ambiental existe debido a los peligros potencialmente combinados (económicos, sociales y ambientales) que causan daños y perjuicios a la población afectada. Con el análisis empleado, se buscó considerar, principalmente, el peso de los aspectos sociales en la relevancia de los resultados. Sin embargo, incluso si las dimensiones ambientales se amplían, los resultados siguen mostrando el peso de esta variable, como indican Canil et al., 2020 y Fiack et al., 2021.

La coexistencia o la superposición de la vulnerabilidad social y la vulnerabilidad ambiental no pueden escalarse por separado. Los indicadores sintéticos deben ser aplicados y ajustados a cada realidad de los municipios brasileños. Las escalas de análisis intra-urbano pueden influir en las evaluaciones erróneas sobre la prioridad de las áreas que deben ser monitoreadas. El límite encontrado en este estudio es el número de variables que se pueden incorporar a la matriz de análisis, que puede superarse en el futuro con estudios prometedores de aprendizaje automático en entornos GIS.

CONSIDERACIONES FINALES

El análisis de la vulnerabilidad socio-ambiental, utilizando el método multicriterio AHP en SIG, proporcionó resultados interesantes para la identificación y mapeo de diferentes clases de vulnerables en Joinville. El desafío presupuestario, agravado por el estancamiento económico y los efectos de la pandemia, requiere que la autoridad pública tenga más asertividad en las inversiones en equipos o servicios públicos.

La elaboración del mapa final favoreció la visualización de la vulnerabilidad socio-ambiental en los distritos del municipio de Joinville. Los trabajos de campo siguen siendo esenciales para validar estos, ya que las escalas de los sectores censales pueden minimizar la representación de la convivencia o superposición espacial entre grupos poblacionales y la degradación ambiental. Establecer prioridades basadas en la vulnerabilidad socio-ambiental puede considerarse como una estrategia para abordar este problema, reforzando así la necesidad de innovación de metodologías para mapear las múltiples vulnerabilidades socio-ambientales que puedan existir en los municipios de Brasil. El método también puede subvencionar discusiones sobre actualizaciones del Plan Maestro Municipal mediante el mapeo de áreas prioritarias.

ROLES DE COLABORACIÓN

Administración de proyecto	
Adquisición de fondos	
Análisis formal	
Conceptualización	
Curaduría de datos	
Escritura – revisión y edición	Eduardo Augusto Werneck Ribeiro;
Investigación	Lara Yumi Fand Ykeizumi;
Metodología	
Recursos	
Redacción – borrador original	Lara Yumi Fand Ykeizumi; Eduardo Augusto Werneck Ribeiro;
Software	
Supervisión	Eduardo Augusto Werneck Ribeiro;
Validación	
Visualización	

REFERENCIAS

- Agyekum, E. B., Amjad, F., Mohsin, M. y Ansah, M. N. S. (2021). A bird's eye view of Ghana's renewable energy sector environment: A Multi-Criteria Decision-Making approach. *Utilities Policy*, 70, 101219. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101219>
- Ali, G., Abbas, S., Pan, Y., Chen, Z., Hussain, J., Sajjad, M. y Ashraf, A. (2019). Urban environment dynamics and low carbon society: Multi-criteria decision analysis modeling for policy makers. *Sustainable Cities and Society*, 51, 101763. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101763>
- Canil, K., Lampis, A. y Santos, K. L. dos (2020). Vulnerabilidade e a construção social do risco: Uma contribuição para o planejamento na macrometrópole paulista. *Cadernos Metrópole*, 22(48), 397-416. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4803>
- Cutter, S. L., Boruff, B. J. y Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242-261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
- Fiack, D., Cumberbatch, J., Sutherland, M. y Zerphey, N. (2021). Sustainable adaptation: Social equity and local climate adaptation planning in U.S. cities. *Cities*, 115, 103235. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103235>
- Gallegos Reina, A. y Perles Roselló, M. J. (2021). Relationships between Peri-Urbanization Processes and Multi-Hazard Increases: Compared Diachronic Analysis in Basins of the Mediterranean Coast. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(11), 759. <https://doi.org/10.3390/ijgi10110759>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2012). *Censo demográfico 2010*. <https://censo2010.ibge.gov.br/>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2023, julho 6). *Panorama* <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/joinville/panorama>
- Joner, K., Avila, M. R. R. y Mattedi, M. A. (2021). Territorialidade e desastre: A gestão dos desastres no Brasil com base no estudo de caso da Defesa Civil em Santa Catarina. urbe. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 13, e20200061. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20200061>
- Journal A Notícia* (2023, julho 6). *Rio Itaum* [Jornal]. Loteamento nasce. http://www.clicrbs.com.br/sites/swf/an_ocupacoesirregulares/rio-itaum.html
- Juhola, S., Heikkinen, M., Pietilä, T., Groundstroem, F. y Käyhkö, J. (2022). Connecting climate justice and adaptation planning: An adaptation justice index. *Environmental Science & Policy*, 136, 609-619. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.07.024>
- Lobão, J. S. B., Franca-Rocha, W. de J. S. y Silva, A. B. da (2011). Geoprocessamento na modelagem da vulnerabilidade natural à erosão no município de Morro do Chapéu-BA. *Revista Brasileira de Cartografia*, 63(1), 101 - 114. <https://doi.org/10.14393/rbcv63n1-43722>
- Maior, M. M. S. y Cândido, G. A. (2014). Avaliação das metodologias brasileiras de vulnerabilidade socioambiental como decorrência da problemática urbana no Brasil. *Cadernos Metrópole*, 16(31), 241-264. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2014-3111>
- Martins, M. de F. y Cândido, G. A. (2015). Modelo de avaliação do nível de sustentabilidade urbana: proposta para as cidades brasileiras. Urbe. *Revista Brasileira De Gestão Urbana*, 7(3), 397-410. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.007.003.AO09>
- Malta, F. S., Costa, E. M. da y Magrini, A. (2017). Índice de vulnerabilidade socioambiental: Uma proposta metodológica utilizando o caso do Rio de Janeiro, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 22(12), 3933–3944. <https://doi.org/10.1590/1413-812320172212.25032017>
- Mattedi, M. (2017). Dilemas e perspectivas da abordagem sociológica dos desastres naturais. *Tempo Social*, 29(3), 261-285. <https://doi.org/10.11606/0103-2070.ts.2017.111685>

- Pelling, M. (2010). Hazards, risks and global patterns of urbanization. En B. Wisner, I. Kelman y J. C. Gaillard (Eds.), *Routledge Handbook of Natural Hazards and Disaster Risk Reduction and Management* (pp. 913). Londres: Routledge.
- Prefeitura Municipal de Joinville. (2023). *Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas (SIMGeo)*. <https://www.joinville.sc.gov.br/servicos/acesar-sistema-de-informacoes-municipais-georreferenciadas-simgeo/>
- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada y Fundação João Pinheiro. (2013). *Atlas Brasil. Índice de Desenvolvimento Humano Municipal*. <http://www.atlasbrasil.org.br/>
- Rezende, P. S., Marques, D. V. y Oliveira, L. A. de (2017). Construção de modelo no Qgis e utilização do método de processo analítico hierárquico - ahp para mapeamento de riscos à inundação na área urbana de Paracatu - MG. *Caminhos de Geografia*, 18(61). <https://doi.org/10.14393/RCG186101>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Santos, M. R. da S., Vitorino, M. I., Pereira, L. C. C., Pimentel, M. A. da S. y Quintão, A. F. (2021). Socioenvironmental Vulnerability to Climate Change: Conditions of Coastal Municipalities in Pará State. *Ambiente y Sociedad*, 24, e01671. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200167r1vu2021L3AO>
- Ykeizumi, L. Y. F. y Ribeiro, E. (2021). *Atlas da vulnerabilidade socioambiental de Joinville: O uso do método Analytic Hierarchy Process (AHP)*. Casa de Hiram. <https://estrabao.press/edhiram/index.php/ch/catalog/book/2>