



TESIS DOCTORAL

PLANIFICACIÓN HIDRÁULICA EN TERRITORIOS URBANOS INSULARES: EL CASO DE LA ISLA DE MADEIRA.

SÉRGIO ANTÓNIO NEVES LOUSADA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN DESARROLLO TERRITORIAL SOSTENIBLE

Conformidad del director/a y coodirector/a en su caso

José Cabezas Fernández

Rui Alexandre Castanho

José Manuel Naranjo Gómez

Esta tesis cuenta con la autorización del director/a y co-directores de la misma y de la Comisión Académica del programa. Dichas autorizaciones constan en el Servicio de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad de Extremadura.

2023

AGRADECIMIENTOS:

La presente Tesis Doctoral representa la materialización de un sueño más: alcanzar una meta más en mi vida académica y personal. Meta que me ha exigido estudio, dedicación y sacrificio. Tengo presente que, todo esto, sólo fue posible gracias a la contribución de muchas personas y entidades a las cuales me gustaría agradecer formalmente:

A mis padres, quienes, con los valores y principios transmitidos, siempre me hicieron querer alcanzar algo más y cuyos sacrificios personales me permitieron llegar a donde llegué y ser quien soy. Estaré siempre agradecido, sin nunca poder retribuirles con la misma magnitud, todo lo que hicieron por mí;

A mis familiares, que nunca me permitieron desistir y siempre me apoyaron de todas las maneras posibles, particularmente, a mi hermana y a mi sobrino;

A mi esposa e hijas, porque son el factor de mi estabilidad emocional durante toda mi caminata académica y por el tiempo dedicado en auxiliarme, siempre que lo notaban necesario;

A mis orientadores (y amigos), Profesor Doctor José Cabezas Fernández, Profesor Doctor Rui Alexandre Marçal Dias Castanho y Profesor Doctor José Manuel Naranjo Gómez, por toda la disponibilidad, orientación y apoyo en la elaboración de esta Tesis Doctoral;

A la Rectoría de la Universidad de Extremadura, por concederme acceso a sus instalaciones, permitiéndome aumentar mi conocimiento en esta subárea de la Ingeniería;

A los trabajadores de la Universidad de Extremadura, que siempre se mostraron disponibles para cualquier tipo de apoyo, bien sea informativo, como documental;

A todos mis amigos y colegas, por la amistad y apoyo, en especial a mis grandes amigos Rafael Camacho, Leonardo Gonçalves y Walter Duarte, por la disponibilidad y visión crítica en relación al trabajo desarrollado en esta Tesis Doctoral.

**PLANIFICACIÓN HIDRÁULICA EN TERRITORIOS URBANOS INSULARES:
EL CASO DE LA ISLA DE MADEIRA**

ÍNDICE

RESUMEN / SUMMARY.....	13
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	21
1.1. Antecedentes. Procedimiento por Compendio de Publicaciones	25
1.2. Estructura y Contenido.....	27
1.3. Justificación.....	28
1.4. Presentación Temática de las Publicaciones.....	29
1.4.1. Artículo 1	29
1.4.2. Artículo 2	31
1.4.3. Artículo 3	33
1.5. Revistas Científicas de las Publicaciones.....	37
1.5.1. Indexación en JCR	37
1.5.2. Datos de la Revista <i>Water</i> (Artículos 1 y 3).....	38
1.5.3. Datos de la Revista <i>Sustainability</i> (Artículo 2).....	39
1.6. Coherencia e Importancia Unitaria de la Tesis	40
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS	45
2.1. Objetivo General	49
2.2. Objetivos Específicos.....	49
CAPÍTULO 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	51
3.1. Estado de la Cuestión	55
CAPÍTULO 4. COMPENDIO DE PUBLICACIONES.....	63
4.1. <i>Article 1: Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island, Ribeira Brava.</i>	67
4.1. Artículo 1: Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, Ribeira Brava.	67
4.2. <i>Article 2: Land-Use Changes in Insular Urban Territories: A Retrospective Analysis from 1990 to 2018. The Case of Madeira Island, Ribeira Brava.</i>	92
4.2. Artículo 2: Cambios en el Uso del Suelo en Territorios Urbanos Insulares: Un Análisis Retrospectivo de 1990 a 2018. El Caso de la Isla de Madeira: <i>Ribeira Brava.</i>	92

4.3. <i>Article 3: Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island, São Vicente</i>	116
4.3. <i>Artículo 3: Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, São Vicente</i>	116
CAPÍTULO 5. EXPOSICIÓN EXPLICATIVA DE LOS ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN PUBLICADOS	141
5.1. Exposición Explicativa del Artículo 1: Planificación Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, <i>Ribeira Brava</i>	144
5.1.1. Introducción.....	144
5.1.2. Materiales y Métodos.....	146
5.1.2.1. Área de Estudio.....	146
5.1.2.2. Esquema de la Metodología.....	148
5.1.2.3. Caracterización Morfométrica de la Cuenca.....	149
5.1.2.4. Análisis de Precipitaciones.....	153
5.1.2.5. Capacidad de Drenaje de la Boca del Río y Caudal Máximo.....	155
5.1.2.6. Tamaño de la Cuenca de Detención.....	158
5.1.2.7. Modificación del Coeficiente de Rugosidad.....	161
5.1.3. Resultados.....	161
5.1.4. Conclusiones.....	161
5.2. Exposición Explicativa del Artículo 2: Cambios en el Uso del Suelo en Territorios Urbanos Insulares: Un Análisis Retrospectivo de 1990 a 2018. El Caso de la Isla de Madeira: <i>Ribeira Brava</i>	162
5.2.1. Introducción.....	162
5.2.2. Materiales y Métodos.....	169
5.2.2.1. Área de Estudio.....	169
5.2.2.2. Metodología Aplicada.....	171
5.2.3. Resultados.....	176
5.2.4. Conclusiones.....	176
5.3. Exposición Explicativa del Artículo 3: Planificación Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, <i>São Vicente</i>	177
5.3.1. Introducción.....	177
5.3.2. Materiales y Métodos.....	179
5.3.2.1. Área de Estudio.....	179
5.3.2.2. Esquema de la Metodología.....	181

5.3.2.3. Caracterización Morfométrica de la Cuenca	182
5.3.2.4. Análisis de Precipitaciones	186
5.3.2.5. Capacidad de Drenaje de la Boca del Río y Caudal Máximo	188
5.3.2.6. Tamaño de la Cuenca de Detención.....	191
5.3.2.7. Modificación del Coeficiente de Rugosidad	194
5.3.3. Resultados.....	194
5.3.4. Conclusiones	194
CAPÍTULO 6. RESULTADOS GLOBALES ESTRUCTURADOS.....	195
6.1. Resultados del Artículo 1	199
6.2. Resultados del Artículo 2	206
6.3. Resultados del Artículo 3	211
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES / <i>DISCUSSION AND CONCLUSIONS</i>..	219
7.1. Discusión Global / <i>Overall Discussion</i>	223
7.2. Conclusiones finales / <i>Final Conclusions</i>	242
CAPÍTULO 8. TRANSFERENCIA DE RESULTADOS	249
8.1. Novedades Aportadas.....	253
8.2. Aplicación Práctica de esta Tesis	255
8.3. Futuras Líneas de Investigación	259
REFERENCIAS.....	261
Referencias.....	263
ANEXOS	289
ANEXOS A1.....	293
ANEXOS A2.....	297
ANEXOS A3.....	299

ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - <i>Journal Citation Report 2021</i>	37
Ilustración 2 - <i>Imprint</i> de la revista <i>Water</i>	38
Ilustración 3 - <i>Imprint</i> de la revista <i>Sustainability</i>	39
Ilustración 4 - Arroyo de Santa Luzia. Fuente: Diario de Noticias, 2018.....	56
Ilustración 5 - Arroyo de João Gomes. Fuente: Fénix do Atlântico, 2013	56
Ilustración 6 - Marina do Lugar de Baixo. Fuente: Urbanidades da Madeira, 2016	58
Ilustración 7 - Marina do Lugar de Baixo. Fuente: PORTAL NETMADEIRA, 2016	59
Ilustración 8 - Complejo Balnear do Lido, 2010. Fuente: http://www.madeira-web.com , 2016	60
Ilustración 9 - Complejo Balnear do Lido, después del temporal del 20 de febrero de 2010. Fuente: funchalnoticias.ne, 2016	60
Ilustración 10 - La cuenca de la <i>Ribeira Brava</i> . (Fuente: Autores por ESRI ArcGIS, 2020).	147
Ilustración 11 - Estado de conservación de la desembocadura del cauce principal de la <i>Ribeira Brava</i>	147
Ilustración 12 - Organigrama de la metodología adoptada.	148
Ilustración 13 - (A) Método holandés; (B) Método HTS (Fuente: [27]).....	160
Ilustración 14 - Ubicación del área de estudio—municipio de <i>Ribeira Brava</i> (fuente: [55]).	170
Ilustración 15 - Observación del área de estudio-municipio de <i>Ribeira Brava</i> (desde la desembocadura del río hacia el este) (fuente: autores).....	170
Ilustración 16 - Delimitación del alcance geográfico del estudio por parte del municipio de <i>Ribeira Brava</i> (fuente: autores de ESRI ArcGIS, 2020).	173
Ilustración 17 - Flujo de datos utilizado para realizar el análisis (fuente: autores).....	175
Ilustración 18 - Resumen de los criterios de selección de la metodología y del proceso de selección de casos prácticos (fuente: autores).	176
Ilustración 19 - La cuenca del <i>São Vicente</i> . (Fuente: Autores por ESRI ArcGIS, 2020).....	180
Ilustración 20 - Estado de conservación de la desembocadura del río principal del curso de agua de <i>São Vicente</i>	180
Ilustración 21 - Organigrama de la metodología adoptada.	181
Ilustración 22 - (A) Método holandés; (B) Método HTS (Fuente: [22]).....	193

Ilustración 23 - Mapa hipsométrico: archivo DEM (Fuente: Autores de ESRI ArcGIS, 2020).	200
Ilustración 24 - Clasificación de Strahler (Fuente: Autores por ESRI ArcGIS, 2020).....	201
Ilustración 25 - Porcentaje de uso del suelo en el municipio de <i>Ribeira Brava</i> clasificado como nivel 3 de la terminología CLC (fuente: autores).....	207
Ilustración 26 - Usos del suelo de designación CLC de nivel 3 en el municipio de <i>Ribeira Brava</i> en 1990 (fuente: autores de ESRI ArcGIS, 2020).....	208
Ilustración 27 - Usos del suelo de designación CLC de nivel 3 en el municipio de <i>Ribeira Brava</i> en 2000 (fuente: autores de ESRI ArcGIS, 2020).....	208
Ilustración 28 - Usos del suelo de designación CLC de nivel 3 en el municipio de <i>Ribeira Brava</i> en 2006 (fuente: autores de ESRI ArcGIS, 2020).....	209
Ilustración 29 - Usos del suelo de designación CLC de nivel 3 en el municipio de <i>Ribeira Brava</i> en 2012 (fuente: autores de ESRI ArcGIS, 2020).....	209
Ilustración 30 - Usos del suelo de designación CLC de nivel 3 en el municipio de <i>Ribeira Brava</i> en 2018 (fuente: autores de ESRI ArcGIS, 2020).....	210
Ilustración 31 - Mapa hipsométrico: archivo MDE (Fuente: Autores de ESRI ArcGIS, 2020).	212
Ilustración 32 - Clasificación de Strahler (Fuente: Autores por ESRI ArcGIS, 2020).....	213

TABLAS

Tabla 1 - *Journal Information*. Fuente: <https://jcr.clarivate.com/jcr/browse-journals> 38

Tabla 2 - Nomenclatura de la cubierta terrestre CORINE (fuente: [56] *). 172

Tabla 3 - Parámetros calculados o extraídos de ArcGIS. 199

Tabla 4 - Parámetros de precipitación. 202

Tabla 5 - Caudal máximo. 202

Tabla 6 - Coeficiente de drenaje superficial adoptado (Fuente:[30]). 202

Tabla 7 - Coeficiente de reducción de *Giandotti* adoptado (Fuente: [31]). 202

Tabla 8 - Evaluación de la necesidad de implementación de cuencas de detención. 203

Tabla 9 - Aplicación del aliviadero *Cipolletti*. 204

Tabla 10 - Tamaño de la cuenca de detención. 204

Tabla 11 - Modificación del coeficiente de rugosidad. 205

Tabla 12 - Coeficiente de rugosidad adoptado (Fuente: [31]). 205

Tabla 13 - Porcentaje de uso de suelo de la nomenclatura CLC de nivel 3 en el municipio de *Ribeira Brava* (fuente: autores). 206

Tabla 14 - Parámetros calculados o extraídos de ArcGIS. 211

Tabla 15 - Parámetros de precipitación. 214

Tabla 16 - Caudal máximo. 214

Tabla 17 - Coeficiente de drenaje superficial adoptado (Fuente: [25]). 214

Tabla 18 - Coeficiente de reducción de *Giandotti* adoptado (Fuente: [26]). 214

Tabla 19 - Evaluación de la necesidad de implementación de cuencas de detención. 215

Tabla 20 - Aplicación del aliviadero *Cipolletti*. 216

Tabla 21 - Tamaño de la cuenca de detención. 216

Tabla 22 - Modificación del coeficiente de rugosidad. 217

Tabla 23 - Coeficiente de rugosidad adoptado (Fuente: [26]). 217

RESUMEN / SUMMARY

RESUMEN

En el contexto actual, la planificación es más compleja y requiere un abanico más amplio de aspectos pertinentes a diseccionar, con el fin de mejorar las estrategias y soluciones a implementar, teniendo como principales directrices la gestión sostenible de los recursos, la eficiencia energética y la mitigación de la huella ecológica, la adaptación al cambio climático, y la consecuente redefinición de la ocupación del territorio, con el propósito de mejorar las soluciones idealizadas. Estamos ante un entorno de gran sensibilidad ambiental, fruto del capitalismo con una codicia astronómica y la consecuente contaminación excesiva, así como, la ausencia de estrategias verdaderamente efectivas por parte de algunos países, fundamentalmente los más saturados a nivel demográfico.

La interconexión necesaria entre la planificación urbana y la gestión de los sistemas de drenaje pluvial, así como, las respectivas estructuras portuarias, que, a su vez, se ven afectadas por factores como la calidad del agua de mar, es decir, la hidráulica fluvial y marítima, es un hito importante para mitigar los riesgos de inundaciones y desbordamientos en la isla de Madeira. A nivel fluvial, es fundamental caracterizar correctamente las cuencas hidrográficas donde se insertan los canales de agua artificiales más importantes de la isla, los arroyos.

A su vez, los distintos instrumentos de gestión territorial funcionan como medidas no estructurales que condicionan el uso y ocupación del suelo en las zonas urbanas, actuando de forma preventiva en la defensa de vidas humanas, bienes materiales e inmateriales.

Por otro lado, a nivel marítimo, medidas como la elaboración del Plan de Ordenación del Territorio Costero de Madeira condicionan y optimizan el ordenamiento territorial con vistas a la preservación del medio ambiente. De esta forma, las estrategias urbanísticas para la ordenación del litoral implican la

necesidad de conocer el impacto de las infraestructuras marítimas en el control de la contaminación del mar, valorando la contribución de los instrumentos de ordenación territorial al efecto provocado por la edificación.

Se asume que la planificación es fundamental para el éxito de los proyectos y estrategias territoriales, en lo que respecta a su desarrollo y crecimiento sostenible a largo plazo. Los proyectos de cooperación transfronteriza pueden conducir a la implementación de un verdadero plan espacial a largo plazo que permita implementar los desarrollos realizados en otros territorios. Este tipo de proyectos y estrategias deben ser adecuadamente analizados y delimitados, para permitir su implementación y desarrollo en territorios insulares como la isla de Madeira.

En este territorio, en la Isla de Madeira, concretamente en los municipios de *Ribeira Brava* y *São Vicente*, observamos que la desembocadura de las cuencas hidrográficas no tiene capacidad para drenar el caudal precipitado debido al tiempo de retorno preestablecido. Esta insuficiencia fue demostrada por tres de las cuatro metodologías empleadas, a saber, *Racional*, *Giandotti* y *Mockus*. Por lo tanto, la cuenca de detención (medida de mitigación de inundaciones) se dimensionó utilizando el Método Holandés y el Método del Hidrograma Triangular Simplificado, mientras que el coeficiente de rugosidad fue ajustado para garantizar un aumento en la capacidad de salida de la boca.

En cuanto al impacto de los cambios de uso del suelo y su dinámica en los municipios objeto de estudio, así como, a través del análisis de los patrones de cambio de uso de suelo y en conjunto con el conocimiento empírico del territorio, fueron identificadas las barreras y oportunidades para el desarrollo y crecimiento sostenible. La correcta definición e identificación de las áreas de riesgo son requisitos indispensables para prevenir y mitigar los daños derivados de eventos naturales, así como de actividades peligrosas. Estas áreas contribuyen a un

aumento de la vulnerabilidad del suelo, favoreciendo la posibilidad de desastres naturales, es decir, en caso de erosión o deslizamientos, si tenemos en cuenta las características locales y territoriales, así como el aumento de áreas impermeables que maximizan la escorrentía superficial, una vez que los sistemas de drenaje de aguas pluviales ya no tienen la capacidad de respuesta adecuada. Esta situación, antes descrita, puede generar problemas importantes, afectando a la población de dichos municipios, al medio ambiente y, en consecuencia, a la economía local, es decir, puede provocar una disminución del turismo.

SUMMARY

In the current context, planning is more complex and requires a broader range of pertinent aspects to dissect, to improve the strategies and solutions to be implemented, having as main guidelines the sustainable management of resources, energy efficiency and mitigation of the ecological footprint, adaptation to climate change, and the consequent redefinition of the occupation of the territory, with the purpose of improving the idealized solutions. We are facing an environment of great environmental sensitivity, the result of capitalism with astronomical greed and the consequent excessive pollution, as well as the absence of truly effective strategies by some countries, fundamentally the most saturated at the demographic level.

The necessary interconnection between urban planning and the management of storm drainage systems, as well as with the respective port structures, which in turn are affected by factors such as the quality of seawater, that is, river and maritime hydraulics, is an important milestone to mitigate the risks of flooding and overflows on the island of Madeira.

At the fluvial level, it is essential to correctly characterize the hydrographic basins where the most important artificial water channels of the island, the streams, are inserted. In turn, the different territorial management instruments function as non-structural measures that condition the use and occupation of land in urban areas, acting preventively in the defence of human lives, material, and immaterial goods.

On the other hand, at the maritime level, measures such as the elaboration of the Madeira Coastal Land Management Plan condition and optimising land use planning with a view to preserving the environment. In this sense, urban planning strategies for coastal planning imply the need to know the impact of maritime

infrastructures in controlling sea pollution, assessing the contribution of territorial planning instruments to the effect caused by construction.

It is assumed that planning is essential for the success of territorial projects and strategies, that is, regarding their long-term sustainable development and growth. Cross-border cooperation projects can lead to the implementation of a true long-term spatial plan, which allows the developments carried out in other territories to be implemented. These types of projects and strategies must be adequately analyzed and delimited, to allow their implementation and development in insular territories such as the island of Madeira.

In this territory, Madeira Island, namely in the municipalities of *Ribeira Brava* and *São Vicente*, we observe that the mouth of the hydrographic basins do not have the capacity to drain the precipitated flow, considering the pre-established return time. This insufficiency of the flow capacity of the mouth was demonstrated by three of the four methodologies employed, namely Rational, Giandotti, and Mockus. Therefore, the detention basin was dimensioned (flood mitigation measure) using the Dutch Method and the Simplified Triangular Hydrograph Method, while the roughness coefficient was adjusted in order to guarantee an increase in the outflow capacity of the mouth.

Regarding the impact of changes in land use and its dynamics in the municipalities under study, as well as through the analysis of patterns of change in land use, together with empirical knowledge of the territory, it was possible to identify barriers and opportunities for the development and sustainable growth. The correct definition and identification of risk areas are critical requirements to prevent and mitigate damage resulting from natural events and dangerous activities. These areas contribute to an increase in soil vulnerability, favoring the possibility of natural disasters, that is, in the event of erosion or landslides, if we take into account local and territorial characteristics, as well as the increase in impermeable areas that maximize surface runoff values, since rainwater drainage systems no

longer have adequate response capacity. This situation, previously described, can generate significant problems, affecting the population of those municipalities, the environment and, consequently, the local economy, since it can lead to a decrease in tourism.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

CONTENIDO DEL CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 ANTECEDENTES. PROCEDIMIENTO POR COMPENDIO DE
PUBLICACIONES

1.2 ESTRUCTURA Y CONTENIDO

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.4 PRESENTACIÓN TEMÁTICA DE LAS PUBLICACIONES

1.5 REVISTAS CIENTÍFICAS DE LAS PUBLICACIONES

1.6 COHERENCIA E IMPORTANCIA UNITARIA DE LA TESIS

1.1. Antecedentes. Procedimiento por Compendio de Publicaciones

El procedimiento utilizado para la redacción y presentación de esta tesis es el de COMPENDIO DE PUBLICACIONES, según lo establecido en el artículo 33 de la Normativa Reguladora de los Estudios de Doctorado en la Universidad de Extremadura, recogida en la Resolución de la Universidad de Extremadura de 14 de diciembre de 2021, por la que se ejecuta el acuerdo adoptado por el Consejo de Gobierno por el que se aprueba la modificación de la normativa de los estudios de Doctorado (D.O.E. Martes, 28 de diciembre de 2021).

Según lo establecido en dicha disposición, la Comisión Académica del Programa de Doctorado podrá autorizar el depósito de tesis doctorales como compendio de publicaciones, siempre que reúnan los siguientes requisitos:

a) Una introducción general, en la que se presenten temáticamente las publicaciones y se justifique la coherencia e importancia unitaria de la Tesis;

b) Un resumen global estructurado de los resultados y de la discusión de los mismos, así como las conclusiones finales;

c) Una copia completa de los trabajos publicados, haciendo constar claramente el nombre y la filiación de todas las coautorías de los trabajos y la referencia completa de las revistas en la que se han publicado o aceptado para su publicación. En este último caso se deberá aportar la documentación justificativa de la aceptación, así como la referencia completa de la revista a la que se ha enviado el trabajo para su publicación. En caso de que se presente algún trabajo realizado en coautoría, hay que incluir también el informe a que hace referencia el apartado 2 de este artículo;

d) En caso de que alguno de los trabajos presentados se haya publicado en una lengua distinta de las especificadas en el Programa de Doctorado, debe adjuntar un resumen del trabajo en cuestión redactado en alguna de las lenguas del Programa;

e) De estas aportaciones al menos dos tendrán que estar publicadas en revistas indexadas en el ISI-JCR o tratarse de alguna contribución relevante en su campo científico según los criterios de la Comisión Nacional Evaluadora de la Actividad Investigadora (CNEAI). Al menos en una de ellas el estudiante de doctorado deberá ocupar una posición relevante, entendiendo como tales, la primera, la última o la autoría de correspondencia;

f) Cualquier otro requisito que pueda establecer la Comisión Académica del Programa de Doctorado.

Esta tesis pertenece al Programa de Doctorado en DESARROLLO TERRITORIAL SOSTENIBLE (Código R015). La aceptación de su inscripción fue acordada en la sesión de la Subcomisión correspondiente de la Comisión de Doctorado de la Universidad de Extremadura, celebrada en Badajoz el día 11 de diciembre de 2019.

1.2. Estructura y Contenido

El contenido está estructurado de la siguiente forma:

- Resumen, en castellano y en inglés;
- Introducción general: antecedentes, estructura y contenido, justificación, presentación temática de las publicaciones y coherencia e importancia unitaria de la Tesis;
- Objetivos, General y Específicos;
- Estado de la Cuestión;
- Presentación de los Artículos de investigación publicados, indexados en ISI-JCR;
- Exposición explicativa de los Artículos publicados;
- Resumen Global estructurado de los Resultados;
- Resumen Global estructurado de la Discusión y Conclusiones;
- Transferencia de Resultados: Novedades aportadas, Aplicación práctica de la tesis y Futuras Líneas de investigación propuestas;
- Referencias bibliográficas y Anexos.

1.3. Justificación

La estructura y contenido de esta tesis cumple con los requisitos establecidos para llevarla a cabo mediante el procedimiento de compendio de publicaciones, expuestos en el artículo 33 de la Normativa Reguladora de los Estudios de Doctorado en la Universidad de Extremadura, recogida en la Resolución de 14 de diciembre de 2021, por la que se ejecuta el acuerdo adoptado por el Consejo de Gobierno por el que se aprueba la modificación de la normativa de los estudios de Doctorado.

El cumplimiento de los citados requisitos queda justificado porque la estructura y contenido recogen los siguientes elementos:

- Una introducción general, en la que se presentan temáticamente las publicaciones y se justifica la coherencia e importancia unitaria de la Tesis;
- Un resumen global estructurado de los resultados y de la discusión de estos, así como las conclusiones finales;
- Presentación de los trabajos publicados, haciendo constar claramente el nombre y la filiación de todos los coautores de los trabajos y la referencia completa de la revista en que se han publicado;
- Un resumen, redactado en castellano, de cada artículo de investigación publicado;
- Se aportan 3 artículos de investigación, todos ellos publicados en revistas indexadas en el ISI-JCR.

1.4. Presentación Temática de las Publicaciones

1.4.1. Artículo 1

TÍTULO:

Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island, Ribeira Brava. / Planificación Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, *Ribeira Brava*.

RESUMEN TEMÁTICO:

El objetivo principal de este estudio fue analizar la propensión a inundaciones del curso de agua principal de la cuenca de drenaje de *Ribeira Brava* y, en caso de que fuese necesario, sugerir dos metodologías para mitigar los impactos, es decir, el dimensionamiento de la cuenca de detención y el ajuste del coeficiente de rugosidad del lecho del río. Para la evaluación de la propensión a inundaciones, los datos geomorfológicos obtenidos del proceso de caracterización de cuencas hidrográficas fueron procesados a través del software SIG ArcGIS, siendo utilizados luego para el cálculo del caudal máximo esperado para un período de retorno de 100 años utilizando la Distribución Gumbel. Finalmente, se verificó la capacidad de drenaje de la desembocadura del río mediante la ecuación de *Manning-Strickler*, con el fin de establecer si la desembocadura de la cuenca tiene la capacidad de drenar todo el volumen de agua de lluvia en un evento de inundación extrema. En resumen, los resultados indicaron que la desembocadura de la cuenca de *Ribeira Brava* no tiene capacidad para drenar el caudal pluvial para el período de retorno preestablecido; por lo tanto, se dimensionó la cuenca de detención utilizando el Método Holandés y el Método del Hidrograma Triangular Simplificado, y se ajustó el coeficiente de rugosidad para asegurar el aumento de la capacidad de drenaje de la desembocadura.

Palabras clave: hidráulica; hidrología; territorios insulares; análisis espacial; gestión territorial; plan urbanístico.

AUTORES:

1. Sérgio Lousada ^{1,2,3,4,5}
2. José Cabezas ^{3,4,6}
3. Rui Alexandre Castanho ^{7,8}
4. José Manuel Naranjo Gómez ^{2,3,9}

¹ Department of Civil Engineering and Geology (DECG), Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE), University of Madeira (UMa), 9000-082 Funchal, Portugal

² CITUR-Madeira-Research Centre for Tourism Development and Innovation, 9000-082 Funchal, Madeira, Portugal; turismo@mail.uma.pt

³ VALORIZA-Research Centre for Endogenous Resource Valorization, Polytechnic Institute of Portalegre (IPP), 7300 Portalegre, Portugal; valoriza@ippportalegre.pt

⁴ Environmental Resources Analysis Research Group (ARAM), University of Extremadura, 06071 Badajoz, Spain

⁵ Institute of Research on Territorial Governance and Inter-Organizational Cooperation, 41-300 Dąbrowa Górnicza, Poland

⁶ Science Faculty, University of Extremadura, 06006 Badajoz, Spain

⁷ Faculty of Applied Sciences, WSB University, 41-300 Dąbrowa Górnicza, Poland; acastanho@wsb.edu.pl

⁸ College of Business and Economics, University of Johannesburg, P.O. Box 524, Auckland Park 2006, South Africa

⁹ School of Agricultural Engineering, University of Extremadura, 06007 Badajoz, Spain

REVISTA:

Water. Indexada ISI-JCR (2021). Factor Impacto: 3.530; Q2, WATER

RESOURCES.

ÁREA TEMÁTICA:

SCI (Science Citation Index): Hidrología, incluida la ciencia, la tecnología, la gestión y la gobernanza del agua.

ESTADO: Publicado. *Water* 2021, 13(21), 2951.

DOI: 10.3390/w13212951

FECHA DE PUBLICACIÓN: 20 de octubre de 2021.

1.4.2. Artículo 2

TÍTULO:

Land-Use Changes in Insular Urban Territories: A Retrospective Analysis from 1990 to 2018. The Case of Madeira Island, Ribeira Brava. / Cambios en el uso del suelo en territorios urbanos insulares: un análisis retrospectivo de 1990 a 2018. El caso de la isla de Madeira: *Ribeira Brava*.

RESUMEN TEMÁTICO:

Como isla principal del archipiélago de Madeira, Madeira se enfrenta a una clara demanda de políticas de planificación, más precisas y específicas, a fin de responder a las solicitudes regionales. Teniendo en cuenta la urgencia de este tema vinculado al concepto de sostenibilidad, las estrategias de planificación deben ser basadas y respaldadas por varios estudios, con variedad de temas, como una forma de incisiva comprensión del problema en cuestión. Basado en herramientas como SIG (sistemas de información geográfica), este estudio permite el análisis de las variaciones y patrones de uso y ocupación del suelo en el

municipio de *Ribeira Brava*, situada en la isla de Madeira. De manera integral, el estudio nos permite destacar el estancamiento del tejido urbano de la comarca y, por otro lado, el cambio en la dinámica de cultivo agrícola presente en el cantón. Además, este estudio destaca el cambio en la vegetación nativa predominante en el municipio entre los años 1990 y 2018. Es aún necesario resaltar el preocupante escenario con la pérdida de vegetación nativa por la actividad humana, que requiere un seguimiento más enfático por parte de los actores del gobierno regional para proteger, preservar y conservar estos paisajes, ambientes y ecosistemas.

Palabras clave: *CORINE Land Cover* (CLC); sistemas de información geográfica (SIG); uso y ocupación del suelo; planificación y gestión territorial; planificación territorial.

AUTORES:

1. Sérgio Lousada ^{1,2,3,4,5}
2. José Cabezas ^{3,4,6}
3. Rui Alexandre Castanho ^{2,3,7,8}
4. José Manuel Naranjo Gómez ^{2,3,4,9}

¹ Department of Civil Engineering and Geology (DECG), Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE), University of Madeira (UMa), 9000-082 Funchal, Portugal

² CITUR, Madeira, Research Centre for Tourism Development and Innovation, 9000-082 Funchal, Portugal

³ VALORIZA, Research Centre for Endogenous Resource Valorization, Polytechnic Institute of Portalegre (IPP), 7300 Portalegre, Portugal; valoriza@ippportalegre.pt

⁴ Research Group on Environment and Spatial Planning (MAOT), University of Extremadura, 06071 Badajoz, Spain

⁵ RISCO, Civil Engineering Department of University of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

⁶ Science Faculty, University of Extremadura, 06006 Badajoz, Spain

⁷ Faculty of Applied Sciences, WSB University, 41-300 Dąbrowa Górnicza, Poland

⁸ College of Business and Economics, University of Johannesburg, P.O. Box 524, Auckland Park 2006, South Africa

⁹ School of Agricultural Engineering, University of Extremadura, 06007 Badajoz, Spain

REVISTA:

Sustainability. Indexada ISI-JCR (2021). Factor Impacto: 3.889; Q2, ENVIRONMENTAL STUDIES.

ÁREA TEMÁTICA:

SCI (Science Citation Index), SSCI (Social Science Citation Index): Sostenibilidad medioambiental, cultural, económica y social. Sostenibilidad y desarrollo sostenible.

ESTADO: Publicado. Sustainability 2022, 14, 16839.

DOI: 10.3390/su142416839

FECHA DE PUBLICACIÓN: 15 de diciembre de 2022

1.4.3. Artículo 3

TÍTULO:

Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island, São Vicente. / Planificación Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, São Vicente.

RESUMEN TEMÁTICO:

Este estudio tiene como objetivo examinar la propensión a inundaciones del curso de agua principal de la cuenca de drenaje de *São Vicente* y, caso correspondiese, proponer dos metodologías para aliviar los impactos, es decir, el tamaño de la cuenca de detención y el ajuste del coeficiente de rugosidad del lecho del río. Los datos geomorfológicos se obtuvieron del proceso de caracterización de cuencas hidrográficas, mediante la utilización del software SIG ArcGIS para la evaluación de la propensión a inundaciones y luego para el cálculo del caudal máximo esperado para un período de retorno de 100 años a través de la Distribución Gumbel. Posteriormente, se verificó la capacidad de drenaje de la desembocadura del río mediante la ecuación de *Manning-Strickler*, con el fin de establecer si la desembocadura de la cuenca tiene la capacidad de drenar todo el volumen de agua de lluvia en un evento de inundación severa. En resumen, fue posible concluir que la desembocadura del río de la cuenca de *São Vicente* no es capaz de drenar completamente el caudal de lluvia para el período de retorno establecido. Así, se garantizó su capacidad de drenaje modificando los coeficientes de rugosidad de las paredes y del cauce y dimensionando la cuenca de detención utilizando los métodos holandés y de Hidrograma Triangular Simplificado.

Palabras clave: inundaciones; hidráulica; hidrología; coeficiente de rugosidad; gestión territorial; plan urbanístico.

AUTORES:

1. Sérgio Lousada ^{1,2,3,4,5}
2. Leonardo Gonçalves ¹
3. Alper Atmaca ⁶

- ¹ Department of Civil Engineering and Geology (DECG), Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE), University of Madeira (UMa), 9000-082 Funchal, Portugal; leonardobazilio13@gmail.com
- ² CITUR, Madeira, Research Centre for Tourism Development and Innovation, 9000-082 Funchal, Madeira, Portugal;
- ³ VALORIZA, Research Centre for Endogenous Resource Valorization, Polytechnic Institute of Portalegre (IPP), 7300-110 Portalegre, Portugal; valoriza@ippportalegre.pt
- ⁴ Environmental Resources Analysis Research Group (ARAM), University of Extremadura, 06071 Badajoz, Spain
- ⁵ Institute of Research on Territorial Governance and Inter-Organizational Cooperation, 41-300 Dąbrowa Górnicza, Poland
- ⁶ Faculty of Engineering, Dumlupınar University, Kütahya 43820, Turkey; alperatmacaa@gmail.com

REVISTA:

Water. Indexada ISI-JCR (2021). Factor Impacto: 3.530; Q2, WATER RESOURCES.

ÁREA TEMÁTICA:

SCI (*Science Citation Index*): Hidrología, incluida la ciencia, la tecnología, la gestión y la gobernanza del agua.

ESTADO: Publicado. *Water* 2022, 14(1), 112.

DOI: 10.3390/w14010112

FECHA DE PUBLICACIÓN: 5 de enero de 2022.

1.5. Revistas Científicas de las Publicaciones

1.5.1. Indexación en JCR

A continuación, se expone la última relación disponible de las revistas indexadas en el *Journal Citation Reports* publicada por el *Institute for Scientific Information* (ISI- JCR), con su correspondiente Factor de Impacto.

En ella se puede comprobar que las revistas en las que se han publicado los artículos, que forman parte del compendio de publicaciones de esta tesis, están indexadas en JCR. En la correspondiente relación se recoge también la nacionalidad de la revista y si se trata de *Science Citation Index* (SCI) o *Social Science Citation Index* (SSCI).

Journal Citation
Report
2021



Clarivate
Web of Science™

Ilustración 1 - *Journal Citation Report 2021*

Journal Name	JCR Abbreviation	ISSN	eISSN	Category
Sustainability	SUSTAINABILITY-BASEL	N/A	2071-1050	MULTIPLE
Water	WATER-SUI	N/A	2073-4441	MULTIPLE

Tabla 1 - Journal Information. Fuente: <https://jcr.clarivate.com/jcr/browse-journals>

1.5.2. Datos de la Revista *Water* (Artículos 1 y 3)

Los datos fueron recogidos directamente de su página y disponibles para consulta a través del siguiente enlace:

<https://www.mdpi.com/journal/water/imprint>.

Full Journal Title	Water
ISO4 Abbreviated Title	Water
ISSN (electronic)	2073-4441
CODEN	WATEGH
Publisher	MDPI
Publisher Location	Basel, Switzerland
Postal Address	MDPI, St. Alban-Anlage 66, 4052 Basel, Switzerland
Editors	see: Editorial Board
Publication Frequency	semimonthly
Publication Medium	electronic only
Publication Website	https://www.mdpi.com/journal/water
First Year Published	2009
Indexing Databases	see: Indexing & Abstracting Covered by the Science Citation Index Expanded (SCIE, Web of Science).
Impact Factor	3.530 (2021)
5-Year Impact Factor	3.628 (2021)

Ilustración 2 - Imprint de la revista *Water*

1.5.3. Datos de la Revista *Sustainability* (Artículo 2)

Los datos fueron recogidos directamente de su página y disponibles para consulta a través del siguiente enlace:

<https://www.mdpi.com/journal/sustainability/imprint>.

Full Journal Title	Sustainability
ISO4 Abbreviated Title	Sustainability
ISSN (electronic)	2071-1050
CODEN	SUSTDE
Publisher	MDPI
Publisher Location	Basel, Switzerland
Postal Address	MDPI, St. Alban-Anlage 66, 4052 Basel, Switzerland
Editors	see: Editorial Board
Publication Frequency	semimonthly
Publication Medium	electronic only
Publication Website	https://www.mdpi.com/journal/sustainability
First Year Published	2009
Indexing Databases	see: Indexing & Abstracting
	Covered by the Science Citation Index Expanded (SCIE, Web of Science).
Impact Factor	3.889 (2021)
5-Year Impact Factor	4.089 (2021)

Ilustración 3 - Imprint de la revista *Sustainability*

1.6. Coherencia e Importancia Unitaria de la Tesis

En los artículos 1 y 3, basados en la historia reciente de inundaciones en la isla de Madeira, se evidencia fenómenos, antes considerados raros, que se han vuelto cada vez más frecuentes, impulsados por el cambio climático global. A esto se le suma el aspecto cíclico de la variación climática que opera en el planeta, las acciones antrópicas han contribuido considerablemente al agravamiento de este problema, especialmente en lo que se refiere a las inundaciones. Este fenómeno se produce debido al crecimiento desordenado de las ciudades que han provocado un aumento del índice de sellado del suelo, principal motivo de las escorrentías superficiales y las consecuentes inundaciones de los centros urbanos.

Los cursos del agua de las cuencas hidrográficas son los encargados de canalizar todas las aguas precipitadas hacia un punto común: la desembocadura. En este sentido, se vuelve fundamental verificar las características intrínsecas de estos canales, es decir, tipo de cauce (natural o artificial), coeficiente de rugosidad, altura, anchura, pendiente y sobre todo la capacidad de caudal. Dado que toda la escorrentía superficial será dirigida hacia la boca, es fundamental que su capacidad de caudal sea mayor que el caudal actual, ya que según la Ley de Continuidad Hidráulica en conjunto con la Ecuación de *Manning-Strickler*, con la reducción de la velocidad del agua (principalmente por el coeficiente de rugosidad del cauce), el mantenimiento del caudal dependerá del aumento del nivel del agua, permitiendo el desbordamiento del arroyo y todos los desórdenes antes mencionados.

En cuanto a la isla de Madeira, los principales cursos de agua tienen secciones naturales y artificiales. Las piezas artificiales se realizan por la necesidad de aumentar la sección de flujo y reducir la pérdida de velocidad por rozamiento con el lecho, utilizando como revestimiento el hormigón. Sin embargo,

se nota que actualmente estos arroyos presentan demasiada sedimentación y también presencia de vegetación, volviendo a las características parciales de un cauce natural. Para un análisis más preciso de la capacidad de caudal de estos tramos, es fundamental considerar estos problemas, ya que la deposición de sedimentos, además de reducir la velocidad del agua, provocará una reducción de la sección del caudal.

Se han recopilado varias metodologías y parámetros necesarios para caracterizar con mayor precisión las cuencas hidrográficas más problemáticas, en base a una extensa revisión bibliográfica. Además, se verificaron los lineamientos urbanos establecidos por las instituciones regionales en materia de Planeamiento Urbano, como forma de realizar un estudio que siga la legislación vigente.

Por lo tanto, el presente estudio pretende realizar un análisis comparativo entre los diferentes parámetros indicativos de susceptibilidad a inundaciones, es decir, densidad de drenaje; tiempo de concentración; dimensiones; factor de forma; índice de compacidad, etc. Serán objeto de estudio las cuencas hidrográficas de dos municipios de la isla de Madeira: *Ribeira Brava* y *São Vicente*. Luego de determinar los parámetros antes mencionados, también se realizará un análisis de la capacidad de caudal aguas abajo, con el fin de verificar la propensión a desbordarse de acuerdo con el caudal pico de crecida esperado para las respectivas cuencas. Para este estudio se utilizará el software ArcGIS 10.5, desarrollado por ESRI, que permite obtener valores más precisos y confiables en comparación con la metodología cartográfica clásica. Verificada la imposibilidad de drenar el caudal precipitado estimado para un período de retorno de 100 años a través de la Distribución Gumbel, se dimensionará una Dársena de Detención para la regularización y control del caudal, a fin de permitir que la boca funcione dentro de su capacidad. El dimensionamiento de la cuenca de detención se realizará respectivamente por el Método holandés y por el Método del Hidrograma

Triangular Simplificado, mientras que el coeficiente de rugosidad será ajustado para garantizar el aumento de la capacidad de caudal de la boca.

Finalmente, también se pretende abordar la importancia de la planificación urbana encaminada a reducir los impactos ambientales y mitigar los efectos destructivos de los fenómenos meteorológicos extremos, con el fin de reducir las pérdidas materiales, humanas y sociales en la región.

En este sentido, con la ejecución de los artículos 1 y 3, se pretende caracterizar los siguientes objetivos:

1. Caracterizar y desarrollar herramientas para la modelización numérica unidimensional de caudales en arroyos, con aplicación a un tramo de arroyo en cada uno de los municipios de la Región Autónoma de Madeira (RAM) (*Ribeira Brava, São Vicente*). Este extracto reunirá una serie de datos físicos relevantes, presentando riesgos que requieren un diagnóstico lo más preciso posible. Este modelado se complementa con análisis de sensibilidad para varios parámetros, – ejemplo. coeficientes de rugosidad del lecho (*Manning-Strickler*); condiciones de contorno aguas arriba; índice de urbanización local; dimensiones de las cuencas hidrográficas; densidad de drenaje; tiempo de concentración; análisis probabilístico de inundaciones basado en la historia, etc.
2. Análisis de los parámetros calculados para verificar la susceptibilidad a inundaciones de cada una de las cuencas estudiadas;
3. Verificación de la necesidad de implementar una balsa de detención para controlar y regular el caudal en la boca (y el respectivo dimensionamiento, en caso de ser necesario - Método holandés y Método del Hidrograma Triangular Simplificado); además de manejar el coeficiente de rugosidad, se ajustará para garantizar un aumento en la capacidad de salida de la boca;

4. Articulación de los modelos propuestos con los lineamientos urbanísticos vigentes en la RAM;
5. Análisis del impacto territorial del modelo propuesto.

Después de la publicación de los dos artículos de investigación anteriores, como resultado de la inquietud por el conocimiento, existe una creciente necesidad de información completa y confiable sobre la cobertura del suelo, los usos del suelo además de su dinámica y patrones, a saber, en la periferia o "ultraperiféricos". " territorios e insulares, es decir islas, a través de una aproximación práctica a un estudio de caso – Municipio de *Ribeira Brava*, Isla de Madeira, Portugal.

Así, en el artículo 2, considerando las complejas dinámicas, patrones y particularidades que presenta el Municipio de *Ribeira Brava*, Isla de Madeira, Portugal – ejemplo, la fragilidad demostrada para lograr un desarrollo y crecimiento sostenible – un estudio que analiza la Ordenación del Territorio de este municipio es considerado fundamental para identificar barreras y oportunidades para el desarrollo sostenible a largo plazo, siempre dentro de una visión de planificación sostenible.

Utilizando el software ArcGIS 10.5, desarrollado por ESRI, este artículo pretende identificar la dinámica y los patrones de evolución de los Cambios de Uso del Suelo en el mencionado Municipio de *Ribeira Brava*, de 1990 a 2018 (datos de los años 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018 utilizando Coordinación de Información Ambiental - *Coordination of Information on the Environment* (CORINE).

Este estudio nos permite reforzar que los Cambios de Uso del Suelo en el Municipio de *Ribeira Brava*, Isla de Madeira, Portugal, han sufrido múltiples cambios marcados por períodos de auge y caída. Además, puede considerarse

como referencia para el análisis comparativo de trabajos similares para diferentes tendencias de cambio de uso del suelo en Europa o en todo el mundo.

Los estudios de Cambio de Uso del Suelo son herramientas confiables para evaluar las actividades humanas y la huella de las estrategias y políticas propuestas en un territorio. Este artículo también permite comprender que los principales actores deben diseñar políticas de desarrollo para proteger, preservar y conservar estos incomparables paisajes, ambientes, ecosistemas y la región en su conjunto. Además, a través de la comprensión del suelo, utilizando los cambios y, por lo tanto, las dinámicas y tendencias territoriales, se explorarán y abordarán las barreras y oportunidades para el crecimiento y el desarrollo sostenibles.

En este sentido, con la ejecución del artículo 2, se pretende caracterizar los siguientes objetivos:

1. Caracterizar e identificar, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), la dinámica y los patrones de evolución de los Cambios de Uso del Suelo en el Municipio de *Ribeira Brava*, Isla de Madeira, Portugal, de 1990 a 2018 (datos de 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018 usando CORINE);
2. Analizar y evaluar, a través de un enfoque práctico, los Cambios de Uso del Suelo en el Municipio de *Ribeira Brava*, Isla de Madeira, Portugal;
3. Analizar y discutir los patrones espaciales observados y definir algunos principios y recomendaciones para futuras estrategias y políticas de planificación y gestión municipal que se desarrollarán e implementarán en el Municipio de *Ribeira Brava*, Isla de Madeira, Portugal.

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

CONTENIDO DEL CAPÍTULO 2: OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

2.1. Objetivo General

El objetivo general de esta tesis es definir algunos principios y recomendaciones para futuras estrategias y políticas de planificación y gestión territorial a desarrollar e implementar en la isla de Madeira. Será tanto en términos de caracterización de flujos en canales artificiales como de optimización de la prevención y gestión de riesgo de inundaciones y desbordamientos, así como en cuanto a la dinámica y patrones de evolución de los Cambios de Uso del Suelo.

2.2. Objetivos Específicos

La consecución del objetivo general, se han llevado a cabo los siguientes objetivos específicos:

La interconexión entre urbanismo e hidráulica fluvial:

- Analizar y caracterizar fenómenos de inundaciones en áreas urbanas a escala global, identificando características idénticas y diferenciadoras en el estudio del caso local, al tiempo que se evalúan los factores y el impacto respectivo de la presión antropogénica;
- Aplicar un modelo a la escala de simulación hidrodinámica, considerando los caudales variables en superficie libre afectados por la ocurrencia de inundaciones, en la simulación entre las condiciones variables de los caudales, las condiciones hidro morfológicas del cauce y la instalación y operación de los sistemas y regulación de caudal;
- Valorar la adecuación de la predisposición espacial de los cauces artificiales en estudio, relacionándola con los instrumentos de gestión existentes ligados con

el planeamiento urbanístico y territorial;

- Analizar la viabilidad de aplicar modelos de gestión territorial, en concreto de cuencas hidrográficas, así como medidas para mitigar el riesgo de inundaciones en cauces artificiales, verificadas en otras ocurrencias a nivel global.

La interconexión entre urbanismo e hidráulica marina:

- La definición de la ola de proyecto de una obra marítima;
- La descripción de la metodología para determinar estimaciones a largo plazo;
- Un análisis comparativo;
- La definición de metodologías de cálculo y la aplicación a los registros de la costa de RAM.

CAPÍTULO 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

CONTENIDO DEL CAPÍTULO 3: ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1. Estado de la Cuestión

Con los conocimientos adquiridos, y relacionándolos con la isla de Madeira en materia de ordenación urbanística y territorial, es importante analizar su interconexión con los dos aspectos de la hidráulica, la lluvia y el mar. Es decir, la gestión de los sistemas de drenaje pluvial, así como, con las respectivas estructuras portuarias, que a su vez se ven afectadas por factores como la calidad del agua de mar, es decir, la hidráulica fluvial y marítima, constituye un hito importante en la mitigación de los riesgos de inundaciones y desbordamientos en la isla de Madeira. La hidráulica fluvial interfiere en el uso y ocupación del suelo en las zonas urbanas, actuando de forma preventiva en la defensa de vidas humanas, bienes, etc. La hidráulica marítima interfiere en la elaboración del Plan de Ordenación del Territorio Costero de Madeira, condicionando la optimización de la ordenación territorial con vistas a la preservación del medio ambiente.

Juntamente con la hidráulica fluvial, la predisposición espacial de los cursos de agua alterados por medios humanos, también llamados canales de agua artificiales, representa un factor importante en el objetivo de salvaguardar los recursos humanos y materiales. De estas líneas de agua modificadas, las que más se destacan a nivel regional son los arroyos cuyo propósito principal es la capacidad de drenar un caudal, ya sea en el día a día o en un evento de precipitación extrema que ocurra en la Isla de Madeira, Ilustraciones 4 y 5.



Ilustración 4 - Arroyo de Santa Luzia. Fuente: Diario de Noticias, 2018



Ilustración 5 - Arroyo de João Gomes. Fuente: Fénix do Atlântico, 2013

En el último siglo, como demuestra Caetano (2014), fue posible llevar un registro de eventos de precipitación extrema provenientes de situaciones de inundación, con una incidencia en prácticamente toda la isla y periodos de retorno mayoritariamente inferiores a 10 años, lo que la hace vulnerable. Esto crea la necesidad de adaptarse rápidamente a estos fenómenos, mejorando las medidas preventivas y aumentando la velocidad de reacción ante los eventos.

El fenómeno de las crecidas ocurre cuando la precipitación sobre las cuencas hidrográficas y los desagües a través de los respectivos arroyos alcanza un nivel superior al de los muros de contención que delimitan lateralmente la sección transversal de los cauces. La causa más probable del desbordamiento de los cauces de los ríos se debe al deficiente dimensionamiento de la red de drenaje de las cuencas hidrográficas por lluvias de alta intensidad y corta duración (las más habituales en la RAM), sin embargo, no se puede descartar la presión antropogénica que se manifiesta a través de varios factores.

Es en las zonas urbanas donde se asume el problema con mayores riesgos y pérdidas, ya que es en estas donde se concentran la mayoría de las áreas habitacionales y comerciales de los municipios. Ante este hecho, y no queriendo ni tener que descuidar la necesidad de realizar un estudio en profundidad de las zonas rurales, la correcta caracterización de las cuencas hidrográficas en las que los cauces artificiales de agua que atraviesan las zonas urbanas pasan a ser imprescindibles y primordiales, relacionándolos con los principios del planeamiento urbanístico y la ordenación del territorio, presentes en los instrumentos de gestión territorial vigentes a nivel municipal, intermunicipal y regional (Moura, 2019).

Para profundizar en el conocimiento sobre la escorrentía superficial en áreas urbanas, es decir, la que se realiza en canales artificiales, relacionándolos con los respectivos sistemas de drenaje debidamente caracterizados, es fundamental simularlos mediante modelos hidrodinámicos, contribuyendo a la composición y actualización de medidas preventivas y mitigantes ante el efecto de inundaciones (Camacho, 2015).

En lo que respecta a la hidráulica marítima, es decir, la caracterización del clima marítimo y la determinación de la altura de las olas, son factores de suma importancia, ya que representan aspectos fundamentales en la seguridad y el confort de la población, no solo en términos económicos, sino también en el

turismo, ya que dependemos de las condiciones marítimas para salvaguardar estos valores. Los efectos asociados a la altura de las olas dependen de las características fisiográficas y climáticas de la costa, así como de la ocupación de las zonas costeras.

Hoy en día vemos cada vez más alteraciones en la agitación marítima, con especial énfasis en la costa de la RAM. Según el análisis de los estudios de cambio climático, este fenómeno tiende a ocurrir con mayor frecuencia e intensidad, provocando mayores dificultades y pérdidas en la población.

Uno de los casos con mayor atracción en la isla de Madeira es el caso de Marina do Lugar de Baixo, ubicada en el municipio de Ponta do Sol. Al ser una infraestructura portuaria de relativa importancia, fue inaugurada durante 2004, Ilustración 6.



Ilustración 6 - Marina do Lugar de Baixo. Fuente: Urbanidades da Madeira, 2016

La Marina de Lugar de Baixo estuvo operativa por un corto período de tiempo, debido a las condiciones marítimas presentes en el sitio, las cuales provocaron la destrucción parcial del muro de protección de la marina y enormes daños a las infraestructuras. Se realizaron varios intentos para solucionar el problema, pero todos sin éxito, habiendo invertido en una infraestructura que hoy está abandonada y en un estado ruinoso, como se puede apreciar en la Ilustración 7.



Ilustración 7 - Marina do Lugar de Baixo. Fuente: PORTAL NETMADEIRA, 2016

Otra situación que tuvo un fuerte impacto a nivel turístico en la isla de Madeira fue la destrucción del complejo de piscinas Lido, Ilustración 8, con la tormenta del 20 de febrero de 2010. Con ese evento fue destruido casi por completo todo el sitio, dejando una imagen desolada en una zona vital de actividad turística, Ilustración 9.

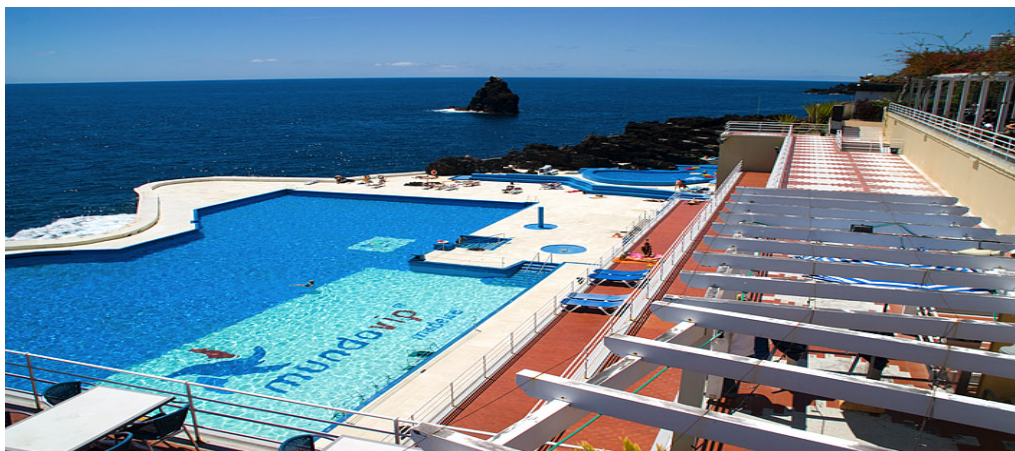


Ilustración 8 - Complejo Balnear do Lido, 2010. Fuente: <http://www.madeira-web.com>, 2016



Ilustración 9 - Complejo Balnear do Lido, después del temporal del 20 de febrero de 2010. Fuente: funchalnoticias.ne, 2016

Su rehabilitación fue de suma importancia y para ello fue imprescindible realizar una intervención en materia de protección marítima y consolidación de la plataforma de la piscina para el buen funcionamiento y longevidad de la infraestructura.

Por estos factores, existe la necesidad de profundizar en el conocimiento del clima marítimo para poder garantizar la funcionalidad de las estructuras portuarias, así como la seguridad de la población, y alcanzar así la correcta gestión

del planeamiento urbanístico y territorial.

La caracterización y simulación de la expansión de la agitación marítima, aplicada a las estructuras portuarias de la RAM, representa uno de los ejes centrales de este trabajo, siendo sus principales objetivos:

- La definición de la ola de proyecto de una obra marítima;
- La descripción de la metodología para determinar estimaciones a largo plazo;
- Un análisis comparativo;
- La definición de metodologías de cálculo y la aplicación a los registros de la costa de RAM.

Finalmente, se hacen algunas consideraciones finales, así como un listado de objetivos a alcanzar en los próximos años, que incluyen acciones y recomendaciones prioritarias, con el objetivo de mejorar el proceso de caracterización de flujos en canales artificiales y optimizar la prevención y gestión de riesgo de inundaciones y desbordamientos, así como la mejora del Plan de Ordenación del Territorio Costero de Madeira, optimizando el ordenamiento territorial con miras a la preservación del medio ambiente.

CAPÍTULO 4. COMPENDIO DE PUBLICACIONES

CONTENIDO DEL CAPÍTULO 4: COMPENDIO DE PUBLICACIONES

4.1 ARTÍCULO 1:

Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island, Ribeira Brava.

Planificación Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, Ribeira Brava.

4.2 ARTÍCULO 2:

Land-Use Changes in Insular Urban Territories: A Retrospective Analysis from 1990 to 2018. The Case of Madeira Island, Ribeira Brava.

Cambios en el uso del suelo en territorios urbanos insulares: un análisis retrospectivo de 1990 a 2018. El caso de la isla de Madeira: Ribeira Brava.

4.3. ARTÍCULO 3:

Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island, São Vicente.

Planificación Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, São Vicente.

4.1. Article 1: Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island, Ribeira Brava.

4.1. Artículo 1: Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, Ribeira Brava.

Article

Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island—Ribeira Brava

Sérgio Lousada ^{1,2,3,4,5,*}, José Cabezas ^{3,4,6}, Rui Alexandre Castanho ^{7,8} and José Manuel Naranjo Gómez ^{2,3,9}

¹ Department of Civil Engineering and Geology (DECG), Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE), University of Madeira (UMa), 9000-082 Funchal, Portugal

² CITUR-Madeira-Research Centre for Tourism Development and Innovation, 9000-082 Funchal, Madeira, Portugal; turismo@mail.uma.pt

³ VALORIZA-Research Centre for Endogenous Resource Valorization, Polytechnic Institute of Portalegre (IPP), 7300 Portalegre, Portugal; valoriza@ippportalegre.pt

⁴ Environmental Resources Analysis Research Group (ARAM), University of Extremadura, 06071 Badajoz, Spain

⁵ Institute of Research on Territorial Governance and Inter-Organizational Cooperation, 41-300 Dąbrowa Górnicza, Poland

⁶ Science Faculty, University of Extremadura, 06006 Badajoz, Spain

⁷ Faculty of Applied Sciences, WSB University, 41-300 Dąbrowa Górnicza, Poland; acastanho@wsb.edu.pl

⁸ College of Business and Economics, University of Johannesburg, P.O. Box 524, Auckland Park 2006, South Africa

⁹ School of Agricultural Engineering, University of Extremadura, 06007 Badajoz, Spain

* Correspondence: slousada@staff.uma.pt; Tel.: +351-963-611-712

Abstract: The main objective of this study was to analyze the flood propensity of the main watercourse of Ribeira Brava drainage basin and, if necessary, to suggest two methodologies to mitigate the impacts, i.e., detention basin sizing and riverbed roughness coefficient adjustment. For the flood propensity assessment, geomorphological data obtained from the watershed characterization process was used through the SIG ArcGIS software and then used for the calculation of the expected peak flow rate for a return period of 100 years using the Gumbel Distribution. Finally, the drainage capacity of the river mouth was verified via the Manning-Strickler equation, with the purpose of establishing whether the river mouth of the watershed has the capacity to drain the entire volume of rainwater in an extreme flood event. In summary, the results indicate that the river mouth of the Ribeira Brava watershed does not have the capacity to drain the rain flow for the pre-established return period; therefore, the detention basin was sized using the Dutch Method and the Simplified Triangular Hydrograph Method, and the roughness coefficient was adjusted in order to ensure the increase in the river mouth's drainage capacity.

Keywords: hydraulics; hydrology; insular territories; spatial analysis; territorial management; urban planning

1. Introduction

Despite the economic and technological development after the Industrial Revolution, the Earth has constantly suffered from the effects of anthropogenic actions. As a result, extreme climatic phenomena have become one of the main problems faced by humanity, and floods are the most frequent of these events in regions with high urbanization [1–4]. Therefore, living with flood events has become increasingly intolerable over time, increasing the risk to human and economic loss [5].

As noted, floods tend to be more severe in urban areas because they occur during high intensity precipitation and where the soil seepage rate is insufficient to absorb the entire volume of rainwater, thus favoring surface drainage [6–9]. However, must be high-

lighted that this non-absorption of precipitation by the soil can occur both by the saturation process and by the waterproofing of the land [10]. Nonetheless, in this context, due to the increase in the urban network in regions that were previously floodplains, there is an increase in the magnitude of the negative consequences in a densely urbanized region [11].

It should be noted that floods also occur when the drainage capacity of urban drainage systems is insufficient to cope with the flow that exceeds the absorption capacity of the soil. In such cases, this undrained volume can flood streets, businesses, houses, and industries [9,12,13]. Furthermore, mountainous regions are more prone to the occurrence of flash floods because steep slopes allow greater gravitational energy and, consequently, a greater destructive force for surface flows [12,14]. Therefore, it is possible to ascertain that high-altitude volcanic islands such as Hawaii, Gran Canaria, Reunion, and Madeira have geomorphological and lithological features that make them more susceptible and vulnerable to flooding [13–15].

As a result of the increase in this problem globally, and especially in tropical regions, it has become necessary to develop measures and devices to mitigate the impacts of floods [3–5]. Initially, the main guideline for urban drainage was the conventional principle of rapid removal of the cause of the problem, i.e., redirecting the excess flow from its origin to another location [5]. However, the principle of rapid removal of the problem, even if it is efficient for upstream regions, causes flooding to worsen in downstream areas. In this case, the problem is simply transferred from one area to another. Thus, the problem, which is caused by anthropic actions, and the geomorphological and hydrological characteristics of the watershed, is not actually solved at the source. Therefore, there is a need to use practices with the greatest capacity to mitigate the effects of floods; that is, to establish effective procedures at the source of the problem, without redirecting the destructive effects from one zone to another [4,5,14,16].

Based on this premise, this study aimed to undertake the hydrological analysis of the study region, in order to verify the expected peak flow rate for a recurrence time of 100 years, and then compare it with the drainage capacity of the stream mouth of the Ribeira Brava watershed. Following the assessment that the hydraulic characteristics of the mouth are not sufficient for the drainage of the estimated peak flow rate, a detention basin was sized as a means to regularize the flow downstream, allowing the river mouth to function within its current dimensional characteristics. Furthermore, this study also aimed to indicate a structural intervention for the stream mouth, with significantly reduced urban impacts. This intervention refers to changing the physical characteristics of the walls and riverbed of the stream, namely, the roughness coefficient. Therefore, the minimum characteristics of the stream are verified in order to increase the drainage capacity, without the need for dimensional changes.

2. Materials and Methods

2.1. Area of Study

The area of study—i.e., the Ribeira Brava watershed—is located on the southern slope of Madeira Island, between latitudes 30°01' N and 33°08' N and longitudes 15°51' W and 17°30' W [17,18]. This watershed belongs to the homonymous municipality, Ribeira Brava, and corresponds to the precipitation catchment area that supplies the main stream of the municipality, as shown in Figure 1.

In addition to Funchal, the main municipality of the island, the Ribeira Brava watershed suffers from severe flooding problems, as observed in 2010 and 2013, when the

region was impacted by significant losses, both in material and human terms. Because it is located in a considerably urbanized area, the Ribeira Brava watershed has a significant rate of soil sealing from the buildings and pavements present [19,20]. In addition, as can be observed in Figure 2, the river mouth of the Ribeira Brava watershed has the presence of vegetation and sedimentation, which significantly reduces the drainage capacity of the channel.

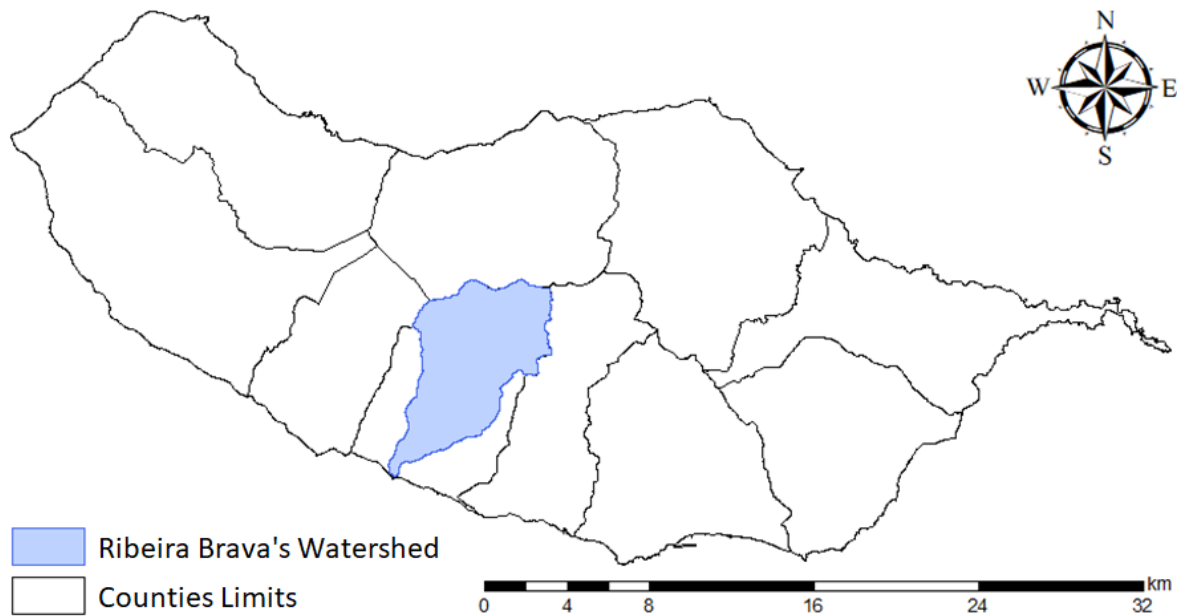


Figure 1. The Ribeira Brava watershed. (Source: Authors by ESRI ArcGIS, 2020).



Figure 2. State of conservation of Ribeira Brava main watercourse river mouth.

The state of conservation of the stream is practically the same throughout its length within the urban perimeter, which can be easily verified in situ. The excess of sedimentation and presence of vegetation is explained by the significantly reduced slope,

which reduces the drainage velocity and the capacity to drag sediments with a larger grain size.

2.2. Schematic of the Methodology

The methodology adopted can be synthesized in 6 stages, as shown in Figure 3.

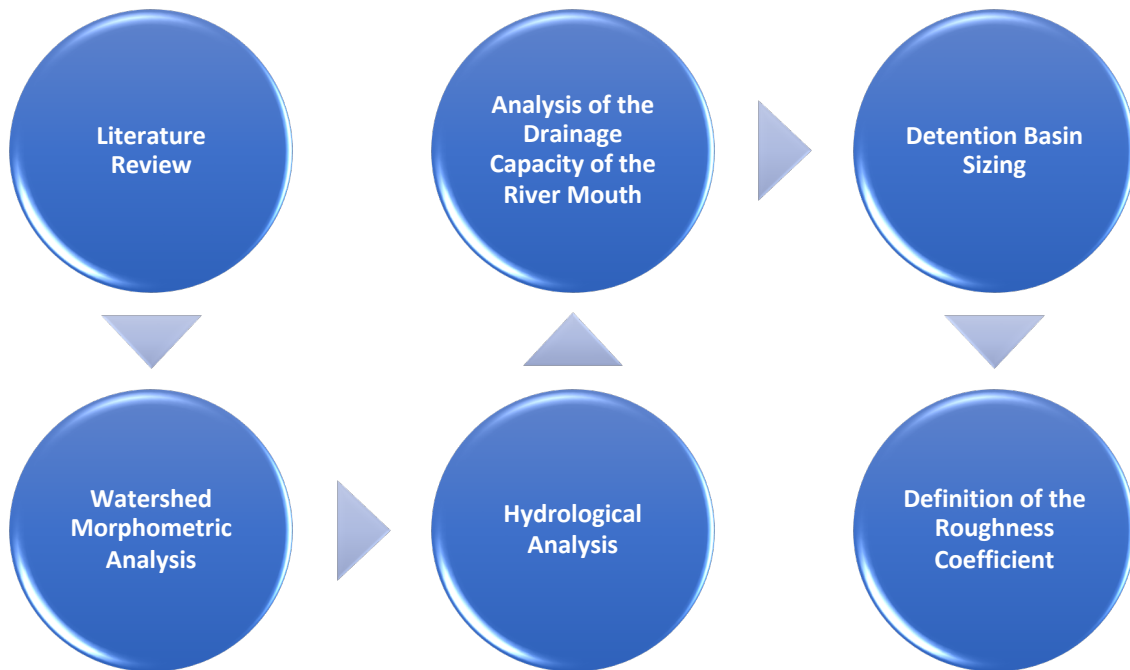


Figure 3. Organogram of the adopted methodology.

The methodology adopted started from a literature review, with the objective of gathering all the necessary information for the hydrological and morphometric characterization of Ribeira Brava basin. Therefore, through the aforementioned review, the methodologies recommended by several authors in the field were selected as a means to obtain a more reliable analysis of the flood propensity in the basin under study. Finally, the various steps of the adopted methodology presented in Figure 3 are described below.

2.3. Morphometric Characterization of the Watershed

The main parameters used for the morphometric characterization of a watershed are [1,4,5,9,10,21–23]:

- **Gravelius Index—K_C**: Establishes the relationship between the actual perimeter of the basin under study and the perimeter of a perfectly circular basin, yet with the same area, thus establishing how close the geometric shape of the watershed is to a perfect circle [9,22]. It can be calculated using Equation (1). It is a dimensionless parameter, and the closer it is to “1”, the more rounded the watershed is and the greater its propensity to flood [22].

$$K_C = P / 2 \times \sqrt{\pi \times A} \tag{1}$$

where:

P = Perimeter of the watershed, km;

A = Watershed area, km².

Elongation Factor— K_L : Establishes the relationship between the watershed under study with an equivalent rectangle of the same area. It can be calculated using Equation (2). This parameter is dimensionless and, if it is higher than “2”, it is an elongated watershed [22].

$$K_L = \frac{L_E}{l_E} = \frac{\frac{K_C \times \sqrt{A}}{1.128} \times \left| 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_C}\right)^2} \right|}{\frac{K_C \times \sqrt{A}}{1.128} \times \left| 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_C}\right)^2} \right|} \quad (1)$$

where:

L_E = Equivalent length, km;

l_E = Equivalent width, km;

K_C = Gravelius Index, dimensionless;

A = Watershed area, km².

- **Shape Factor— K_F :** Establishes the relationship between the average width and length of the watershed under analysis. It can be calculated using Equation (3). This parameter is dimensionless and also indicates the degree of elongation of the watershed; however, the lower the value obtained, the greater the elongation and lower the propensity to flood. Values equal to the unit “1” indicate a square basin.

$$K_F = A/L_B^2 \quad (2)$$

where:

A = Watershed area, km²;

L_B = Length of the watershed, km.

The length of the watershed can be determined by measuring the distance between the mouth of the stream and the furthest point. However, it is noted that the length of the watershed does not necessarily correspond to the length of its main watercourse, because the latter generally has a larger dimension due to its sinuosity. Based on the MDE file provided by LREC-RAM (the Regional Civil Engineering Laboratory of the Autonomous Region of Madeira), it was possible to perform the morphological characterization of the Ribeira Brava watershed and its respective main watercourse. The morphological data collected in this analysis were used in the empirical equations of several authors, as a means to avoid single method restrictions.

A priori, a morphometric analysis must have its origin in the establishment of a hierarchy of the watercourses—e.g., Strahler or Shreve—according to their order or magnitude, respectively [23]. The aforementioned classifications can be obtained by performing a hydrological analysis of the DEM file, obtaining the rasters “flow accumulation” and “flow direction”, from the “flow order” tool [21]. Furthermore, it is evidenced that the Strahler hierarchy is deeply associated with the branching or bifurcation ratio of a watershed, in which each degree of branching or bifurcation can be calculated using Equation (4) [1,10,16,21–24].

$$R_B = \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad (3)$$

where:

N_i = Number of watercourses classified as “i”; dimensionless;

N_{i+1} = Number of watercourses classified as “i + 1”, dimensionless.

This is a dimensionless coefficient, obtained by the ratio of the number of watercourses of a given order by the number of watercourses of the immediately higher order. The average bifurcation value can be calculated based on Equation (5).

$$\bar{R}_B = \sqrt[i-1]{\prod_{i=1}^{i-1} \frac{N_i}{N_{i+1}}} = i^{-1} \sqrt{N_1} \quad (4)$$

where:

N_i = Number of watercourses classified as “i”; dimensionless;

N_{i+1} = Number of watercourses classified as “i + 1”, dimensionless;

N_1 = Number of first-order watercourses.

Like the previous parameters, the average bifurcation ratio is a dimensionless parameter because it only represents an arithmetic mean of the bifurcation ratios. Moreover, one of the fundamental parameters for a good morphometric characterization of a watershed refers to the concentration time, which establishes the time required for the entire watershed area to contribute to the process of rainfall drainage to the river mouth [1,10,23,24].

Because the equations for determining the concentration time have an empirical character, each methodology indicates different values for the same parameter, where it is prudent to establish the arithmetic mean to avoid extreme values. For the present study, the arithmetic mean was used for the values obtained by Kirpich (Equation (6)), Témez (Equation (7)), and Giandotti (Equation (8)) [21].

$$t_c = 57 \times (L^3 / (H_{MAX} - H_{MIN}))^{0.385} \quad (5)$$

where:

t_c = Time of concentration, minutes;

L = Length of the main watercourse, km;

H_{MAX} = Maximum height of the main watercourse, m;

H_{MIN} = Minimum height of the main watercourse l, m.

$$t_c = \left(\frac{L}{i^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (7)$$

where:

t_c = Time of concentration, hours;

L = Length of the main watercourse, km;

i = Slope of the main watercourse, m/m.

$$t_c = \frac{(4 + \sqrt{A}) + (1.5 \times L)}{0.8 \times \sqrt{H_M}} \quad (8)$$

where:

t_c = Time of concentration, hours;

A = Watershed area, km²;

L = Length of the main watercourse, km;

H_M = Average height of the watershed, m.

2.4. Precipitation Analysis

The hydrological study of precipitation consisted of a probabilistic analysis of extreme events of short duration and high intensity that occurred in the Ribeira Brava watershed. The data used in this analysis were obtained through public sources such as the National Water Resources Information System (SNIRH), which provides precipitation data recorded automatically at precipitation stations. Regarding the probabilistic methodology adopted, the Gumbel Distribution was chosen because it showed a better fit with the data obtained and the expected projection for watersheds on the island of Madeira [25]. Therefore, the maximum annual daily precipitation can be calculated based on Equation (9).

$$P_{EST} = P_M + S' \times K_T \quad (9)$$

where:

P_{EST} = Estimated annual maximum daily precipitation, mm;

P_M = Average annual precipitation, mm;

S' = Sample standard deviation, mm;

K_T = Frequency Factor, dimensionless.

where:

$$S' = \left(\frac{\sum (X_i - X_M)^2}{n'} \right)^{0.5} \quad (6)$$

where:

X_i = Sample value, mm;

X_M = Sample mean, mm;

n' = Number of samples.

$$K_T = -\frac{6^{0.5}}{\pi} \times \left\{ 0.577216 + \ln \left(\ln \left(\frac{T_R}{T_R - 1} \right) \right) \right\} \quad (11)$$

where:

T_R = Return period, years.

After determining the daily precipitation for an extreme phenomenon, the precipitation intensity with a specific duration can be obtained using Equation (12).

$$I = \frac{P_{EST} \times k}{t_c} \quad (12)$$

where:

I = Precipitation intensity, mm/h;

P_{EST} = Estimated annual maximum daily precipitation, mm;

t_c = Time of concentration, hours;

k = Time distribution coefficient, dimensionless.

where:

$$k = 0.181 \times \ln(t_c) + 0.4368 \quad (13)$$

where:

t_c = Time of concentration, hours.

The time distribution coefficient presents itself as a primary parameter because the annual maximum daily precipitation is only valid for events lasting 24 h. Therefore,

because the duration of precipitation is equal to the time of concentration of the watershed, using the total amount of daily precipitation in the hydrologic analysis would cause oversizing of hydraulic structures [13,21]

2.5. Drainage Capacity of the River Mouth and Peak Flow Rate

The drainage capacity of the river mouth was calculated using the Manning–Strickler equation (Equation (14)), and then compared to the expected flow for an extreme event with a recurrence period of 100 years. To calculate the expected flow, empirical methodologies already widespread at the global level were used, namely: Forti (Equation (16)); Rational (Equation (17)); Giandotti (Equation (18)); and Mockus (Equation (19)).

$$Q_M = \left(\frac{1}{n}\right) \times A_M \times R^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i}$$

where:

Q_M = Drainage capacity of the river mouth, m^3/s .

A_M = Area of the river mouth cross-section, m^2 ;

R = Hydraulic radius, m ;

i = Average slope of the river mouth region, m/m ;

n = Roughness coefficient of the riverbed and walls, $m^{-1/3}$ s, Table A1.

where:

$$R = \frac{B + 2 \times h}{A_M} \quad (15)$$

where:

B = Width of the river mouth runoff section, m ;

h = Height of the river mouth runoff section, m ;

A_M = Area of the river mouth cross-section, m^2 .

Both the width and height of the stream in the region of the mouth were obtained via previous studies in the region [21], and the first parameter was confirmed through the georeferencing process.

$$Q_{Forti} = A \times \left(b \times \frac{500}{125 + A}\right) + c \quad (16)$$

where:

Q_{Forti} = Peak flow rate by Forti, m^3/s ;

A = Watershed area, km^2 ;

b = 2.35 for maximum daily precipitation below 200 mm and 3.25 for values above 200 mm;

c = 0.5 for maximum daily precipitation below 200 mm and 1 for values above 200 mm.

$$Q_{Rational} = \frac{C \times I \times A}{3.6} \quad (17)$$

where:

$Q_{Rational}$ = Peak flow rate by the rational methodology, m^3/s ;

C = Surface runoff coefficient, Table A2;

I = Precipitation intensity, mm/h ;

A = Watershed area, km^2 .

$$Q_{\text{Giandotti}} = \frac{\lambda \times A \times P_{\text{MAX}}}{t_c} \quad (18)$$

where:

$Q_{\text{Giandotti}}$ = Peak flow rate by Giandotti, m³/s;

λ = Reduction coefficient, Table A3;

A = Watershed area, km²;

P_{MAX} = Precipitation height for a duration equal to the concentration time, mm;

t_c = Concentration time, hours.

$$Q_{\text{Mockus}} = \frac{2.08 \times A \times P_{\text{EST}} \times C}{\sqrt{t_c} + 0.6 \times t_c} \quad (19)$$

where:

Q_{Mockus} = Peak flow rate by Mockus, m³/s;

A = Watershed area, km²;

P_{EST} = Estimated precipitation, cm;

C = Surface runoff coefficient, Table A2;

t_c = Concentration time, hours.

When sizing hydraulic works, one of the main design criteria is to establish a Fill Rate value lower than 85%, as a means to determine a significant margin of error and thus ensure the safety of the population and their property [21,26]. Therefore, for the control of the flow to the river mouth, it is necessary to implement runoff regulation mechanisms, such as spillways.

As mentioned above, the Fill Rate value must be calculated using Equation (20) and, in case the runoff capacity of the river mouth is insufficient to drain the rain flow in the watershed and guarantee the established safety margin, it is necessary to size mitigation mechanisms, such as detention basins.

$$FR = \frac{Q_P}{Q_M} \times 100 \quad (20)$$

where:

FR = Fill Rate, %;

Q_P = Peak flow rate of each methodology, m³/s;

Q_M = Drainage capacity of the river mouth, m³/s.

The Fill Rate parameter, in short, refers to the ability of a drainage section to drain a given flow. Thus, if the Fill Rate value is greater than 100%, it means that the section is no longer able to drain the entire volume of water without overflowing [21].

2.6. Detention Basin Sizing

As previously mentioned, if the runoff capacity of the river mouth is insufficient to drain all the rain and drained water to the mouth, it is necessary to size a spillway to regulate the flow that will reach the mouth, keeping the downstream flow below the expected limit. For the present study, a Cipolletti type of spillway was chosen because this model has characteristics that reduce turbulence in the regions of contact with water and facilitate the runoff [4,5,13]. The sizing of this spillway can be determined using Equation (21).

After the definition and regularization of the flow that will be drained to the river mouth, it is possible to estimate the volume of water that will be retained along the

detention basin. For this purpose, two methodologies were used, namely, the Dutch Method (Equation (22)) and the Simplified Triangular Hydrograph (STH; Equation (23)).

$$Q_S = 1.86 \times L_{SD} \times H_D^{1.5} \quad (21)$$

where:

Q_S = Flow drained by spillway, m^3/s ;

L_{SD} = Width of the sill, m^3/s ;

H_D = Height of the waterline above the sill, m.

$$V_A = (Q_P - Q_S) \times t_c \times 3600 \quad (22)$$

$$V_A = \frac{(Q_P - Q_S) \times (2 \times t_c - 2 \times [Q_S / \{Q_P / t_c\}])}{2} \quad (23)$$

where:

V_A = Storage Volume, m^3 ;

Q_P = Peak flow rate of each methodology, m^3/s ;

Q_S = Flow drained by the spillway, m^3/s ;

t_c = Concentration time, hours.

Note that Equation (23) was formulated based on the geometric analysis of the STH (Figure A1), considering an event with a total duration of at least twice the concentration time of the watershed under study. This consideration took into account that the last rainwater particle to arrive at the river mouth would occur at the last instant of precipitation and in the farthest region, which suggests that it would need a value equal to the time of concentration to be considered for the amount drained by the mouth [21].

The methodologies were chosen because the Dutch Method does not contemplate the delay and damping of the precipitation hydrograph, causing a certain oversizing of the structure [27], as shown in Figure 4, where q_s : runoff capacity of the spillway; t_c : concentration time; t_{MAX} : maximum precipitation duration (base); t_d : time delay until the beginning of water accumulation in the detention basin; $H_{a,MAX}$: maximum storage capacity; $i(t_{MAX})$: precipitation intensity corresponding to the maximum duration.

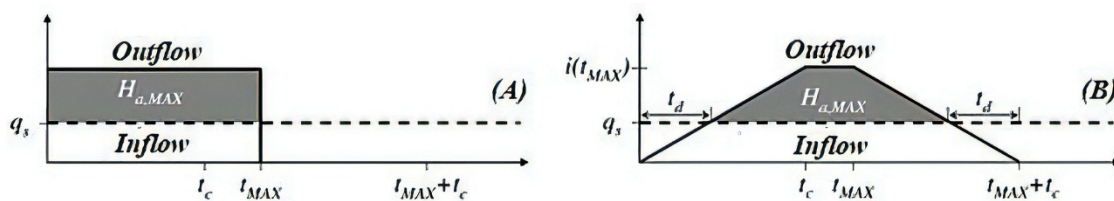


Figure 4. (A) Dutch method; (B) STH method (Source: [27]).

Therefore, it was verified that, in the Dutch Method, storage begins simultaneously with precipitation, which does not correspond to reality because storage will only begin when the flow drained downstream is greater than the spillway’s runoff capacity.

2.7. Modification of the Roughness Coefficient

In addition, a structural mitigation measure taken into consideration was the modification of the roughness coefficient of the walls and riverbed of the watercourse, thus avoiding the reduction of drainage capacity due to friction. This methodology consists of changing the value of the parameter “n” in the Manning-Strickler equation in

order to improve the flow of a given watercourse by considering another material for the coverage of the stream wall and riverbed [21].

3. Results

The results presented here correspond to the data obtained by applying the formulas described above. Therefore, to evaluate the morphometric characteristics of the main watercourse of Ribeira Brava, an individual analysis of each of the parameters listed in Table 1 was undertaken, correlating them with reference values suggested in several bibliographies. **Table 1.** Parameters calculated or extracted from ArcGIS.

Parameter	Unit of Measurement	Value
Area	km ²	41.059
Perimeter	km	42.430
Length of Main Watercourse	km	14.619
Maximum Height of Main Watercourse	m	1316.030
Minimum Height of Main Watercourse	m	0.000
Average Concentration Time	hours	2.362
Gravelius Coefficient of Compactness	dimensionless	1.868
Elongation Factor	dimensionless	8.856
Shape Factor	dimensionless	0.298
Number of Watercourses	units	1668.000
Average Bifurcation Ratio	dimensionless	4.286
Strahler Classification	dimensionless	6.000

The first parameter to be analyzed concerns the watershed area, which has a primary role in the analysis of the volume of water drained to the river mouth. This parameter can be classified as: Very Large > 20 km²; Large > 10 km²; Medium > 1 km² and Small < 1 km² [28]. In this sense, as can be seen in the previous table, the watershed under study has a “Very Large” classification, indicating a higher propensity to flood compared to smaller watersheds. However, it is noted that the aforementioned reference values are arbitrary and may differ according to the type of analysis to be performed [28], and the propensity to flood.

As shown in Figure 5, the Ribeira Brava watershed has borders with significantly higher altitudes than the central region, which denotes a steep slope that tends to supply the main watercourse quickly and thus increase the volume of water present in the stream that, consequently, will be redirected to the river mouth.

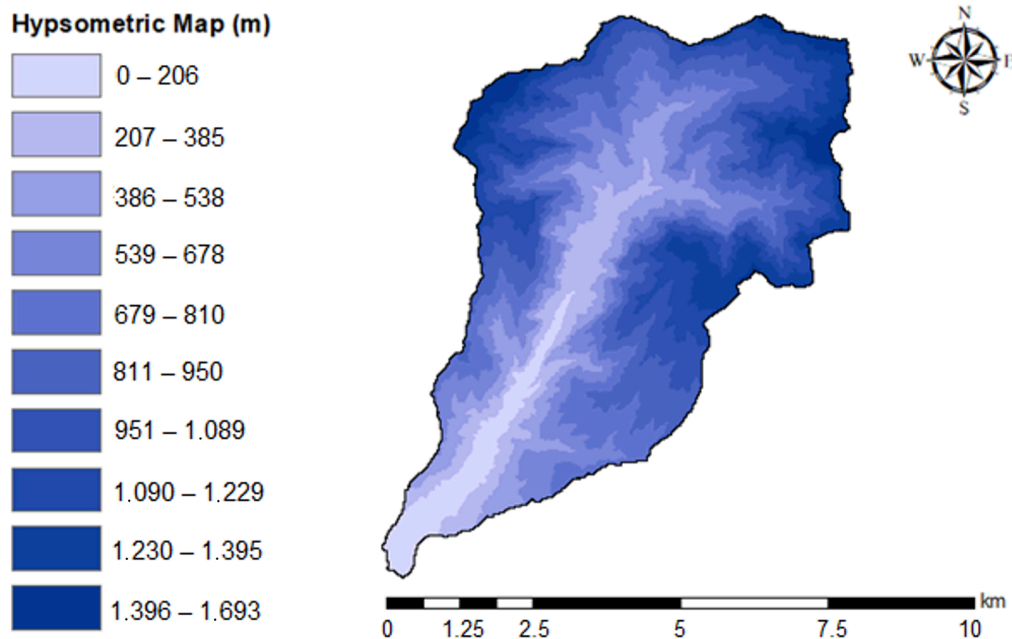


Figure 5. Hypsometric map—DEM file (Source: Authors by ESRI ArcGIS, 2020).

Regarding the drainage system of the watershed under study, as shown in Figure 6, the high number of watercourses indicates a high drainage capacity, i.e., the basin has many low- and medium-order watercourses that supply the main watercourse. Moreover, this index represents the hydrographic behavior of a given area, where the fundamental aspect is its propensity to generate new watercourses. Therefore, basins with high hydric density have a tendency to present a greater number of ephemeral channels, precisely due to the ability to generate new watercourses [21,23].

The analysis of precipitation was based on data provided by the National Information System on Water Resources (SNIRH) [29], through sample data from a period of sixteen years, presented in Table A4 and Figure A2. Thus, through the probabilistic processing of the Gumbel Distribution, the values presented in Table 2 were obtained.

After determining the precipitation intensity estimated for a recurrence time of 100 years, the calculation of the peak flow rates was undertaken, as shown in Table 3, through the formulas and methodologies indicated in the previous section. The surface drainage coefficient used in the rational methodology corresponds to the value of 0.500 (Table 4) because the region under study is a peripheral region with commercial buildings. This value corresponds, basically, to the percentage of water that tends to drain superficially, i.e., 50% of the total precipitation.

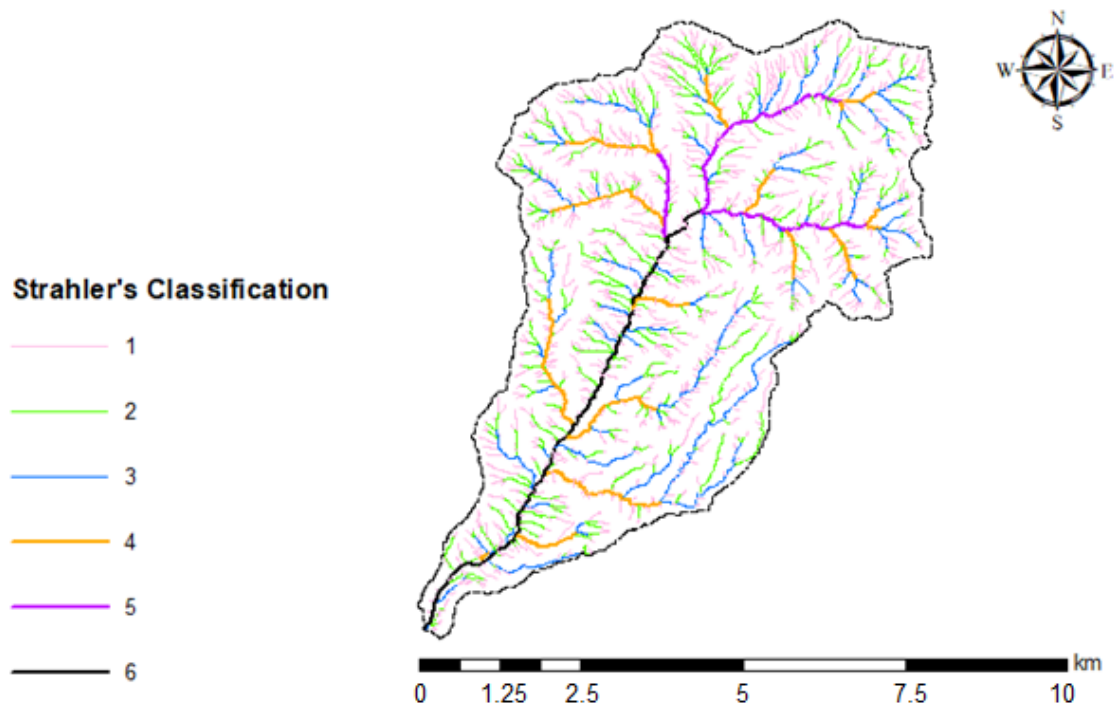


Figure 6. Strahler classification (Source: Authors by ESRI ArcGIS, 2020).

Table 2. Precipitation parameters.Parameter	Symbol	Unit of Measurement	Value
Average Annual Precipitation	P_M	mm	164.443
Standard Deviation	S'	mm	64.424
Frequency Factor	K_T	dimensionless	3.136
Time Distribution Coefficient	k	dimensionless	0.592
Annual Maximum Daily Precipitation	P_{EST}	mm	366.521
Precipitation Intensity	I	mm/h	91.920

Table 3. Peak flow rate.

Methodology	Flow (m ³ /s)
Forti	442.849
Rational	531.782
Giandotti	560.848
Mockus	529.792

Table 4. Surface drainage coefficient adopted (Source: [30]).

Urban Areas	
Land Occupation	Surface Drainage Coefficient
Commercial Area City Center	0.700–0.950
Peripheral Areas	0.500–0.700

The value of the reduction coefficient (λ) used in the calculation of the flow using Giandotti’s methodology is shown in Table 5.

Table 5. Adopted Giandotti's reduction coefficient (Source: [31]).

Area (km ²)	λ	Equivalent "C"
<300	0.346	1.250

Regarding the analysis of the drainage capacity of the river mouth, the Manning–Strickler equation was used to verify the need to implement a detention basin, where the values obtained are summarized in Table 6. However, it is necessary to emphasize that the stream walls and bed have different roughness coefficients. Therefore, the drainage capacity of the river mouth was calculated by means of the weighted mean of the respective coefficients, where the stone and mortar walls are in good condition ($n = 0.020$) and the riverbed consists of a stony and vegetated surface in poor condition ($n = 0.040$). Another important factor to note is the very low slope in the river mouth region, which tends to decrease the water flow velocity and, consequently, the drainage capacity of the section. As a means to simulate a critical situation, it was opted to take into account a slope of 0.01 m/m in the reference section.

Table 6. Assessment of the need for detention basin implementation.

Parameter	Unit of Measurement	Value
Width of the River Mouth	m	20.000
Height of the River Mouth	m	4.500
Drainage Capacity of the River Mouth	m ³ /s	566.645
Fill Rate—Forti (pre-regularization)	%	78
Fill Rate—Rational (pre-regularization)	%	94
Fill Rate—Giandotti (pre-regularization)	%	99
Fill Rate—Mockus (pre-regularization)	%	93

As shown in Table 6, the Fill Rate is higher than the established limit of 85% for the Rational, Giandotti, and Mockus methods, which indicates the need to implement mitigation and flow control measures for the river mouth region. Therefore, a detention basin was sized with the flows found in the aforementioned methodologies, considering the urban and spatial limitations due to already existing infrastructures near the stream.

Because the sizing of the detention basin depends on the flow that exceeds the limit established for the river mouth, first, a Cipolletti trapezoid spillway was sized for the regularization and control of the flow that will drain downstream. The characteristics of the spillway are presented in Table 7.

Table 7. Application of the Cipolletti spillway.

Parameter	Unit of Measurement	Value
Width of the Spillway	m	18.000
Height of the Spillway Sill	m	4.500
Spillway Outflow	m ³ /s	319.598
Fill Rate—Rational (post-regularization)	%	56
Fill Rate—Giandotti (post-regularization)	%	56
Fill Rate—Mockus (post-regularization)	%	56

A posteriori, the detention basins were sized using the Dutch Method and the STH, which are simplified methodologies that neglect several factors and, thus, can result in an oversizing of the hydraulic structure. Additionally, the height and width of the detention basin were fixed with the same values of the existing cross-section, as a means to reduce the environmental and urban impacts of the implementation works of this measure. Therefore, the only geometric variable of the detention basin was its length, which is limited by the total length of the main watercourse.

After making the calculations with the aforementioned methodologies, the values shown in Table 8 were found.

Table 8. Detention basin sizing.

Parameter	Unit of Measurement	Value
Width	m	20.000
Height	m	4.500
Length—Dutch Method (Rational)	m	20,047.874
Length—STH Method (Rational)	m	7999.198
Length—Dutch Method (Giandotti)	m	22,794.149
Length—STH Method (Giandotti)	m	9804.940
Length—Dutch Method (Mockus)	m	19,859.934
Length—STH Method (Mockus)	m	7879.396

Finally, the modification of the roughness coefficient was used as an alternative measure to mitigate the impacts of the flood, while maintaining the characteristics of the riverbed vegetation. In this context, the values shown in Table 9 correspond, more precisely, to the improvement in the condition of conservation of the river bed, as a means to reduce the loss of drainage capacity caused by excessive friction between the fluid and the covering material.

Table 9. Modification of the roughness coefficient.

Parameter	Unit of Measurement	Value
Wall Roughness Coefficient—Modified	$m^{-1/3}$	0.012
Riverbed Roughness Coefficient—Modified	$m^{-1/3}$	0.030
Drainage Capacity of the River Mouth—Modified	m^3/s	488.881
Fill Rate—Rational (post-modification)	%	68
Fill Rate—Giandotti (post-modification)	%	72
Fill Rate—Mockus (post-modification)	%	68

In short, the modified roughness coefficients of the walls correspond to the surface with concrete finishing in good condition, whereas the riverbed remains with the stony and vegetated characteristic, albeit in good condition. The values used for these coefficients are summarized in Table 10.

Table 10. Adopted roughness coefficient (Source: [31]).

Channel Typology	Very Good	Good	Regular	Bad
Channel with stony and vegetated slope	0.025	0.030	0.035	0.040
Surface with concrete finishing	0.011	0.012	0.013	0.015

4. Discussion

Because the primary objective of this research was to verify the need to implement simplified measures to mitigate the impacts of floods in the Ribeira Brava watershed, the use of the detention basin proved to be effective in controlling the flow at the river mouth, which can be characterized as a structural measure [32]. Initially, the Fill Rate values were 94%, 99%, and 93% for the Rational, Giandotti, and Mockus methodologies, respectively, and fell to 56% after the implementation of the measure. Therefore, it was evidenced that the chosen mitigation measure allows the river mouth to work below the 85% threshold, as indicated earlier. Furthermore, this study corroborates the flood risk analysis prepared by the Regional Directorate for Territorial Ordering and Environment (DROTA), as shown in Table 11, indicating an acceptable accuracy for the present study.

Table 11. Watersheds with high flood risk. (Source: [33]).

Municipality	Watershed
Ribeira Brava	Ribeira Brava Tabua

The proposal of this research aimed to cause the least possible impact on the existing waterway and its surroundings because the presence of natural elements and values in cities is now a fundamental condition for the environmental recovery of the urban territory [34]. Moreover, natural and urban systems are coexistent components in the same space, and their integrated management is a primary requirement of regional space and a condition for achieving the goal of sustainability in territories and cities [35,36]. Alternatively, urban growth or development can occur in a disorganized manner, creating urban voids [37].

Thus, it was decided not to change the dimensions of the cross-section of the streams, both in width and height, and the length was the only dimensional variable. Based on this assumption, the Dutch Method presented considerable oversizing, because the total length of the detention basin was found to be greater than the total length of the main waterway, which denotes the need to change one more of the dimensions, i.e., height or width. In this context, despite the efficiency in flow regularization, the Dutch Method is not applicable when considering the urban conditions previously imposed.

For the STH method, the same conditions were imposed. However, the methodology showed applicability because the total length of the detention basin is shorter than the length of the main watercourse.

With regard to the change in the roughness coefficient of the stream, it was decided to remain with the stony and vegetated characteristics of the riverbed, and to only improve the conditions of the state of conservation. This option was chosen because the total removal of stones, sediments, and vegetation from the riverbed would be a costly, time-consuming, and frequent process. For the walls, maintenance should not be frequent, because wear by abrasion would occur exclusively in an alluvial channel that tends to drain a high volume of water and large granular sediments.

Despite being a simple measure, the modification of the roughness coefficient of the stream presented considerable effectiveness, allowing the river mouth to work below the pre-established filling limit. Furthermore, it should be highlighted that both applicable methodologies—i.e., the STH method and roughness coefficient modification—can be implemented together, in order to reduce the length required for the detention basin and, thus, optimizing the sizing performed.

It should be noted that the methodologies used are simplified in nature, i.e., they do not consider local peculiarities. Therefore, this causes the results to have a very high safety margin and, consequently, causes the oversizing of hydraulic structures.

5. Conclusions

The results obtained in this study indicate that the Ribeira Brava watershed is susceptible to floods during an extreme precipitation event, which is reinforced by the Flood Risk Report prepared by DROTA. This occurs because the stream bed has characteristics that are very unfavorable to surface runoff, because it has a surface with a significant presence of stones and vegetation. These characteristics of the riverbed reduce the velocity of the water flow and, consequently, reduce the drainage capacity, especially in areas with very low slope, such as the river mouth. Furthermore, the insufficient drainage capacity of the river mouth was demonstrated by 3/4 of the methodologies employed: Rational, Giandotti, and Mockus.

Regarding the proposed simplified solutions, the Dutch Method did not present an applicability coherent with the pre-established urban premises because it suggests very high lengths for the detention basin, i.e., higher than the length of the main watercourse. By comparison, the Simplified Triangular Hydrograph Method presents satisfactory results because it allows the implementation of the detention basin without changing the height or width of the stream.

Finally, the change in the roughness coefficient also presented satisfactory and effective results for the mitigation of flood impacts because it is a relatively simple measure to implement and still meets the demand of the watershed under study.

Due to the impossibility of considering all the aspects that make up a more complete and effective analysis in this study, other analyses can be carried out in order to complement or optimize the results presented here. These include the analysis of the drainage capacity of the implemented urban hydraulic system, in order to reduce the storage volume of the detention basins; analysis of sediment deposition according to the entrainment velocity present in the main watercourse [38]; verification of the deterioration of the artificial canal walls by abrasion, and the analysis of the maximum time to proceed with maintenance (silting and desilting processes); influence of the degradation of the artificial water channels according to the quality of the water discharged by its tributaries [39,40]; analysis of the urban growth perspective of the studied municipalities and its influence on the flow increase; budgeting for the implementation of the mitigation measures of this study; analysis of the influence of the tide level on the drainage in artificial water channels, and the direct relationship with the risk of downstream flooding; and characterizing the influence of artificial water channels in territorial planning processes—i.e., adaptation to rural watersheds.

The obtained findings corroborate the ideas and conclusions proposed in similar studies that used case study analysis and simulations as drivers for scientific development [41,42].

Author Contributions: For research articles with several authors, the following statements should be used “Conceptualization, Sérgio Lousada, José Cabezas, Rui Alexandre Castanho and José Manuel Naranjo Gómez; methodology, Sergio Lousada; software, Sérgio Lousada, José Manuel Naranjo Gómez; validation, José Cabezas and Rui Alexandre; formal analysis, Sérgio Lousada and José Manuel Naranjo Gómez; investigation, Sérgio Lousada; resources, José Manuel Naranjo Gómez; data curation, Sérgio Lousada and José Manuel Naranjo Gómez; writing—original draft preparation, Sérgio Lousada, Rui Alexandre Castanho and José Manuel Naranjo Gómez; writing—review and editing, Sérgio Lousada; visualization, Rui Alexandre Castanho and José Manuel Naranjo Gómez; supervision, José Cabezas and José Manuel Naranjo Gómez; project administration, Sérgio Lousada. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.”

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data presented in this study are openly available. Also, it is possible to contact one of the study authors.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Appendix A

Table A1. Manning-Strickler roughness coefficients (Source: [31]).

Type of Channel and Description	Very Good	Good	Regular	Bad
Mortared stone masonry	0.017	0.020	0.025	0.030
Rigged stone masonry	0.013	0.014	0.015	0.017
Dry stone masonry	0.025	0.033	0.033	0.035
Brick masonry	0.012	0.013	0.015	0.017
Smooth metal gutters (semicircular)	0.011	0.012	0.013	0.016
Open channels in rock (irregular)	0.035	0.040	0.045	-
Channels with bottom on land and slope with stones	0.028	0.030	0.033	0.035
Channels with stony bed and vegetated slope	0.025	0.030	0.035	0.040
Channels with concrete coating	0.012	0.014	0.016	0.018
Earth channels (rectilinear and uniform)	0.017	0.020	0.023	0.025
Dredged canals	0.025	0.028	0.030	0.033
Clay conduits (drainage)	0.011	0.012	0.014	0.017
Vitrified clay conduits (sewage)	0.011	0.013	0.015	0.017
Flattened wooden plank conduits	0.010	0.012	0.013	0.014
Gabion	0.022	0.030	0.035	-
Cement mortar surfaces	0.011	0.012	0.013	0.015
Smoothed cement surfaces	0.010	0.011	0.012	0.013
Cast iron coated tube with tar	0.011	0.012	0.013	-
Uncoated cast iron pipe	0.012	0.013	0.014	0.015
Brass or glass tubes	0.009	0.010	0.012	0.013
Concrete pipes	0.012	0.013	0.015	0.016
Galvanized iron pipes	0.013	0.014	0.015	0.017
Rectilinear and uniform clean streams and rivers	0.025	0.028	0.030	0.033
Streams and rivers cleared rectilinear and uniform with stones and vegetation	0.030	0.033	0.035	0.040
Streams and rivers cleared rectilinear and uniform with intricacies and wells	0.035	0.040	0.045	0.050
Spread margins with little vegetation	0.050	0.060	0.070	0.080
Spread margins with lots of vegetation	0.075	0.100	0.125	0.150

Table A2. Surface runoff coefficients (Source: [30]).

Urban Areas		
Land Occupation		Surface Runoff Coefficient
Green Areas	Lawns in sandy soils	0.050–0.200
	Lawns on heavy soils	0.150–0.350
	Parks and cemeteries	0.100–0.350
	Sports fields	0.200–0.350
Commercial Areas	City district	0.700–0.950
	Periphery	0.500–0.700
Residential Areas	Town-center villas	0.300–0.500
	Villas on the outskirts	0.250–0.400
	Apartment buildings	0.500–0.700
Industrial Areas	Dispersed industry	0.500–0.800
	Concentrated industry	0.600–0.900
Railways		0.200–0.400
Streets and Roads	Paved	0.700–0.900
	Concrete	0.800–0.950
	In brick	0.700–0.850

Table A3. Giandotti reduction coefficients (Source: [31]).

A (km²)	λ	"C" Equivalent
<300	0.346	1.250
300–500	0.277	1.000
500–1000	0.197	0.710
1000–8000	0.100	0.360
8000–20,000	0.076	0.270
20,000–70,000	0.055	0.200

Table A4. Precipitation historical data (Source: [29]).

n	Year	(mm)
1	1998/1999	170.000
2	1999/2000	180.700
3	2000/2001	135.000
4	2001/2002	190.000
5	2002/2003	195.400
6	2003/2004	141.000
7	2004/2005	103.200
8	2005/2006	91.400
9	2006/2007	141.400
10	2007/2008	104.600
11	2008/2009	155.000
12	2009/2010	257.800
13	2010/2011	148.400
14	2011/2012	288.600
15	2012/2013	267.400
16	2013/2014	61.200

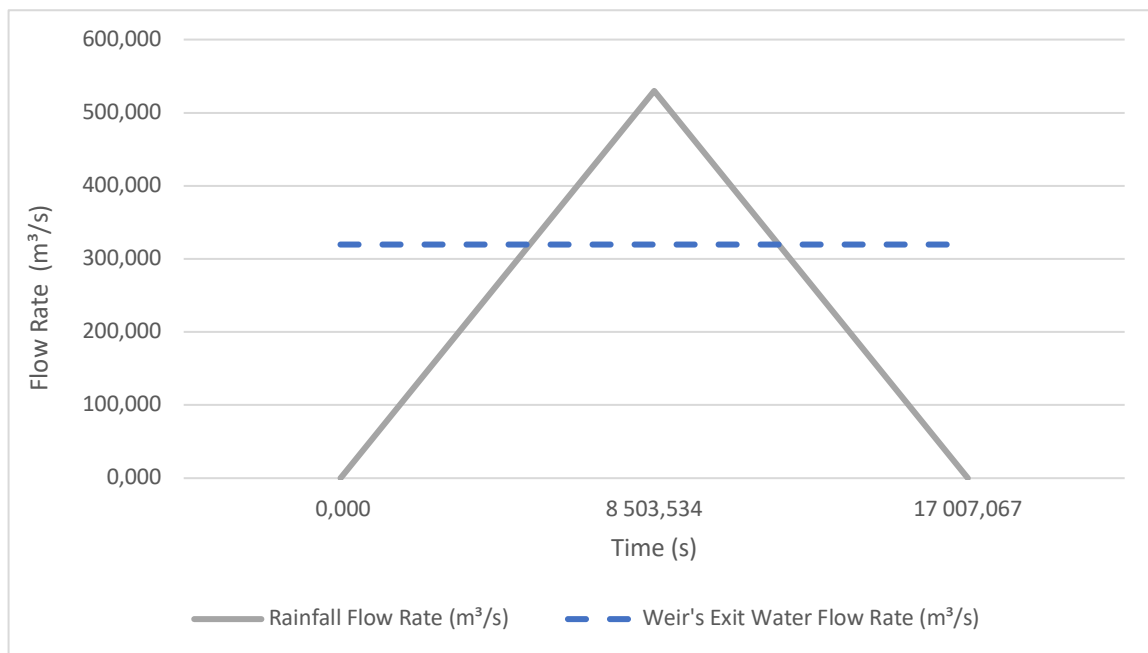


Figure A1. Ternary phase diagram.

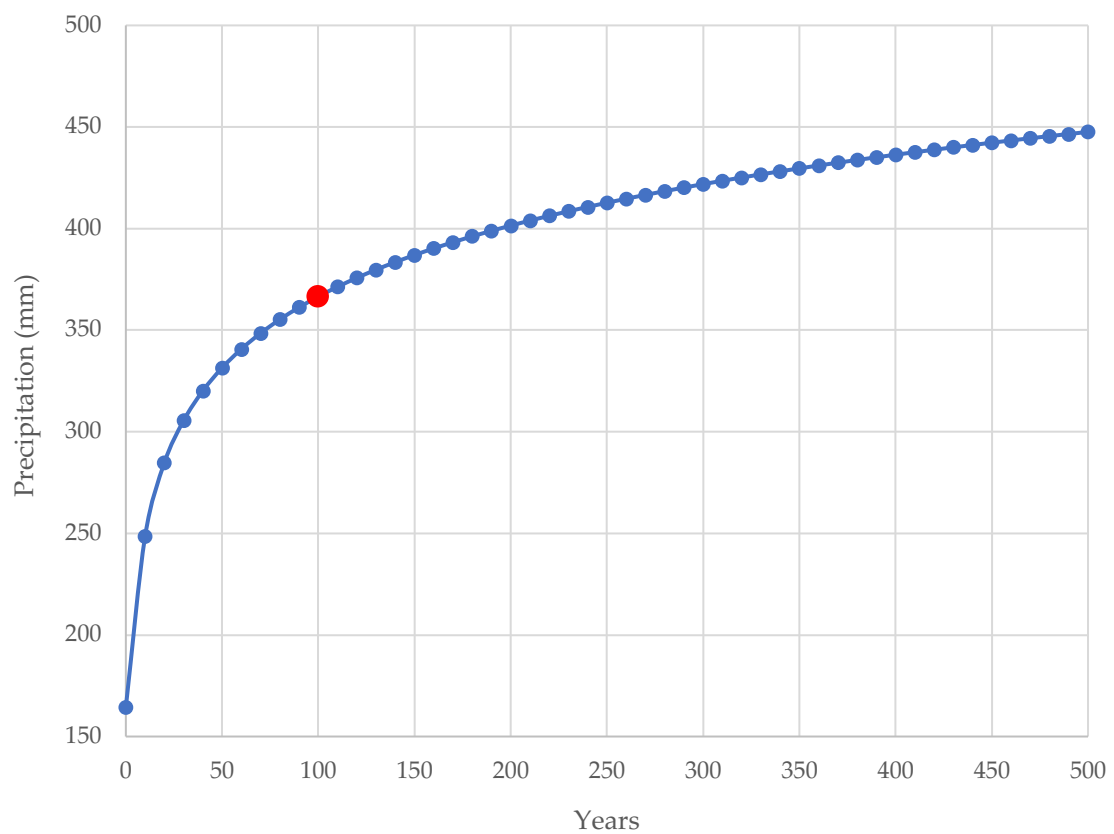


Figure A2. Expected rainfall for Ribeira Brava's watershed.

References

1. Tucci, C.E.M. *Controle de Enchentes. Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 2th ed.; Editora da Universidade UFRGS, Rio Grande do Sul, Brazil, 1993.
2. Franco, E.; Fill, H. Dimensionamento de Bacias de Detenção das Águas Pluviais com Base no Método Racional. Master's Thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brazil, 2004.
3. Barichivichi, J.; Gloor, E.; Peylin, P.; Brienen, R.; Schöngart, J.; Espinoza, J.; Pattayak, K. Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Sci. Adv.* **2018**, *4*, 8785.
4. Gonçalves, L.B.; Lousada, S.A.N. *Análise Probabilística de Cheias e o Uso de Bacias de Detenção como Medida Mitigadora: Aplicação à Bacia de Santa Luzia*; Revista Científica Monfragüe Desarrollo Resiliente, Extremadura, Espanha, 2020; Volume 13, ISSN 2340-5457.
5. Gonçalves, L.B.; Rodrigues, W.T.; Curitiba, A.S.; Torres, H.; Lousada, S.A.N. *Utilização de Bacias de Detenção Para Mitigação de Cheias em Áreas Urbanas, Espacios y Sociedades em Transfo, Rmación*, 1th ed.; Thomson Reuters Aranzadi: Pamplona, Spain, 2020; Volume 6, pp. 209-221.
6. Hough, M. *Naturaleza y Ciudad: Planificación Urbana y Procesos Ecológicos*; Gustavo Gilli: Barcelona, Brazil, 1998.
7. Silva, C.S.; Santiago, A. *Urbanização e Inundação: Conflitos e Possibilidades*; Paisagem Ambiente Ensaios: São Paulo, Brazil, 2007; pp. 327-334.
8. Luna, T.; Rocha, A.; Carvalho, A.C.; Ferreira, J.A.; Sousa, J. Modelling the extreme precipitation event over Madeira Island on 20 February 2010. *Nat. Hazard. Earth Syst.* **2011**, *11*, 2437–2452.
9. Lousada, S.A.N.; Gonçalves, L.B.; Velarde, J.G. *Controlo e Regularização de Caudais Excedentes por Meio de Bacia de Detenção: Simulação Para Bacia Hidrográfica de João Gomes, Funchal*, 1th ed.; Espacios y Sociedades em Transformación; Thomson Reuters Aranzadi: Pamplona, Spain, 2020, Volume 6, pp. 47-60.
10. Chow, V.T. *Applied Hydrology, McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering*; Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., Eds.; McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1988; ISBN 0 07-010810-2.
11. Campana, N.A.; Tucci, C.E.M. Estimativa de área impermeável de microbacias urbanas. *Cad. Recur. Hídricos* **1994**, *12*, 79–94.
12. Bryant, E. *Natural Hazards*; 2th ed.; Cambridge University Press: New York, NY, USA, 2005.
13. Vieira, I.L.S.; Barreto, V.; Figueira, C.; Lousada, S.; Prada, S. The use of detention basins to reduce flash flood hazard in small and steep volcanic watersheds—a simulation from Madeira Island. *J. Flood Risk Management.* **2016**, *15*, 931, doi:10.1111/jfr3.12285.
14. Gonçalves, L.B.; Lousada, S.A.N.; Lis, M. *A Utilização da Bacia de Detenção Para o Controlo e Regularização de Caudais a Jusante, sua Sustentabilidade*; Espacios y Sociedades em Transformación, 1th ed.; Thomson Reuters Aranzadi: Pamplona, Spain, 2020; Volume 6, pp. 505-518.
15. Lyman, R.E.; Schroeder, T.A.; Barnes, G.M. The heavy rain event of 29 October 2000 in Hana, Maui. *Weather. Forecast.* **2005**, *15*, 397–414.
16. Tucci, C.E.M.; Porto, R.L.; Barros, M.T. *Drenagem Urbana*; Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Rio Grande do Sul, Brazil, 1995, 414p.
17. Fernandes, M.J.P. Riscos no Concelho da Ribeira Brava: Movimentos de Vertente Cheias Rápidas e Inundações. Master's Thesis, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2009.
18. Prada, S.; Gaspar, A.; Sequeira, M.M.; Nunes, A. Disponibilidades Hídricas na Ilha da Madeira. In *AQUAMAC—Técnicas e Métodos Para a Gestão Sustentável da Água na Macaronésia, Disponibilidades Hídricas na Ilha da Madeira*; Instituto Tecnológico de Canarias, Eds.; Instituto Tecnológico das Canarias, Cabildo de Lanzarote, Consejo Insular de Aguas de Lanzarote, Santa Cruz de Tenerife, Canary Islands, Spain, 2005; pp. 261-294.
19. Moura, A.; Silva, A.; Gonçalves, L.; Lousada, S. *Numerical Modelling of the Flow rate in Artificial Water Channels: Application to Ribeira Brava's Stream*; Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento; UFPR, Paraná, Brazil, 2020; Volume 9, pp. 39-59.
20. Silva, A.R.F.; Lousada, S.A.N.; Moura, A.D.S.; Gonçalves, L.B. *Modelação Numérica do Escoamento em Canais Artificiais: Aplicação à Ribeira da Ribeira Brava*; Revista Científica Monfragüe Desarrollo Resiliente, Extremadura, Espanha, 2020; Volume 13, ISSN 234-5457.
21. Gonçalves, L.B. *Análise Teórico-prática do Risco de Cheias no Arquipélago da Madeira—Caso de Estudo dos Concelhos do Funchal, Machico, Ribeira Brava e São Vicente*. Master's Thesis, Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2020.
22. Lousada, S.A.N.; Camacho, R. *Hidrologia, Recursos Hídricos e Ambiente-Aulas Teóricas*; Universidade da Madeira, Funchal, Madeira, Portugal, 2018; 230p, ISBN 978-989-8805-33-1.
23. Christofolletti, A. *Geomorfologia*; Edgard Blücher: São Paulo, Brazil, 1980.
24. Strahler, A.N. *Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks, Section 4-II*; Chow, V.T.; Maidment, D.R., Mays, L.W., Eds.; Applied Hydrology, McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1988.
25. Camacho, R.F. *Caracterização, Simulação (à escala) e Modelação do Escoamento em Canais Artificiais. Aplicação a caso de Estudo*. Master's Thesis, Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2015.

26. Porto, R.L.; Filho, K.Z.; Tucci, C.E.M.; Bidone, F. *Drenagem Urbana, Hidrologia: Ciência e Aplicação*; 2th ed.; Editora da Universidade UFRGS, Rio Grande do Sul, Brazil, 1993.
27. David, L.M.; Carvalho, R.F. *Bacias de Retenção para Controlo de Cheias: Reflexão sobre os Métodos de Dimensionamento*; Encontro Nacional de Saneamento Básico, UBI, Beira Interior, Portugal, 2008.
28. Beck, H.E.; Bruijnzeel, L.A.; Van Dijk, A.I.J.M.; McVicar, T.R.; Scatena, F.N.; Schellekens, J. The impact of forest regeneration on streamflow in 12 mesoscale humid tropical catchments. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2013**, *17*, 2613–2635, doi:10.5194/hess-17-2613-2013.
29. SNIRH. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. 2021. Available online: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1&objCover=920123704&objSite=920685506> (accessed on 20 June 2021).
30. Chow, V. *Handbook of Applied Hydrology*; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1964.
31. Gonçalves, J. Caracterização do Coeficiente de Rugosidade e seu Efeito no Escoamento em Canais Naturais. Simulação e Modelação (à escala) no Laboratório de Hidráulica. Aplicação às Ribeiras do Funchal. Master's Thesis, Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2016.
32. Lousada, S.; Castanho, R.A. GIS-based Assessment of Morphological and Hydrological Parameters of Ribeira dos Socorridos and Ribeira do Vigário Basins, Madeira Island, Portugal. *Curr. World Environ.* **2021**, *16*, 2.
33. DROTA. *Identificação das Zonas Críticas a Cartografar Considerando os Impactos da Ocorrência de Inundações (Com Risco Potencial Significativo)*; Direção Regional de Ordenamento do Território e Ambiente, Funchal, Madeira, Portugal, 2017.
34. Castanho, R.A.C.; Fernández, J.C.; Loures, L.; Pozo, L.F. *Evolución del Procedimiento de Planeamiento Urbano en la Península Ibérica y sus Huellas en el Paisaje Urbano, Retos de Futuro*; Revista Científica Monfragüe Desarrollo Resiliente, Extremadura, Espanha, 2017; Volumen 8, ISSN 2340-5457.
35. Fadigas, L. *Urbanismo e Território-As Políticas Públicas*; Editorial Estampa: Lisboa, Portugal, 2015.
36. Loures, L. Planning and Design in Post-industrial Landscapes: East Bank Arade River–Lagoa, Case Study. Ph.D Thesis. University of Algarve, Faro, Portugal, 2011.
37. Castanho, R.; Lousada, S.; Gómez, J.M.N.; Escorcio, P.; Cabezas, J.; Pozo-Fernández, L.; Loures, L. *Dynamics of the Land Use Changes and the Associated Barriers and Opportunities for Sustainable Development on Peripheral and Insular Territories: The Madeira Island (Portugal)*; Intechopen: London, UK, 2019, doi:10.5772/intechopen.80827.
38. Yu, B.Y.; Wu, P.; Sui, J.; Ni, J.; Whitcombe, T. Variation of Runoff and Sediment Transport in the Huai River—A Case Study. *J. Environ. Inform.* **2020**, *35*, 138–147.
39. Shrestha, N.K.; Wang, J. Water Quality Management of a Cold Climate Region Watershed in Changing Climate. *J. Environ. Inform.* **2020**, *35*, 56–80.
40. Li, Z.; Li, J.J.; Shi, X.P. A Two-Stage Multisite and Multivariate Weather Generator. *J. Environ. Inform.* **2020**, *35*, 148–159.
41. Vargues, P.; Loures, L. Using Geographic Information Systems in Visual and Aesthetic Analysis: The case study of a golf course in Algarve. *WSEAS Trans. Environ. Dev.* **2008**, *4*, 774–783.
42. Nunes, J.R.; Ramos-Miras, J.; Lopez-Pineiro, A.; Loures, L.; Gil, C.; Coelho, J.; Loures, A. Concentrations of available heavy metals in Mediterranean agricultural soils and their relation with some soil selected properties: A case study in typical Mediterranean soils. *Sustainability* **2014**, *6*, 9124–9138.

4.2. Article 2: Land-Use Changes in Insular Urban Territories: A Retrospective Analysis from 1990 to 2018. The Case of Madeira Island, Ribeira Brava.

4.2. Artículo 2: Cambios en el Uso del Suelo en Territorios Urbanos Insulares: Un Análisis Retrospectivo de 1990 a 2018. El Caso de la Isla de Madeira: *Ribeira Brava*.

Article

Land-Use Changes in Insular Urban Territories: A Retrospective Analysis from 1990 to 2018. The Case of Madeira Island—Ribeira Brava

Sérgio Lousada ^{1,2,3,4,5,*}, José Cabezas ^{3,4,6}, Rui Alexandre Castanho ^{2,3,7,8} and José Manuel Naranjo Gómez ^{2,3,4,9}

¹ Department of Civil Engineering and Geology (DECG), Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE), University of Madeira (UMa), 9000-082 Funchal, Portugal

² CITUR-Madeira-Research Centre for Tourism Development and Innovation, 9000-082 Funchal, Portugal; acastanho@wsb.edu.pl (R.A.C.); turismo@mail.uma.pt (J.M.N.G.)

³ VALORIZA-Research Centre for Endogenous Resource Valorization, Polytechnic Institute of Portalegre (IPP), 7300 Portalegre, Portugal; valoriza@ippportalegre.pt

⁴ Research Group on Environment and Spatial Planning (MAOT), University of Extremadura, 06071 Badajoz, Spain

⁵ RISCO—Civil Engineering Department of University of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

⁶ Science Faculty, University of Extremadura, 06006 Badajoz, Spain

⁷ Faculty of Applied Sciences, WSB University, 41-300 Dąbrowa Górnicza, Poland

⁸ College of Business and Economics, University of Johannesburg, P.O. Box 524, Auckland Park 2006, South Africa

⁹ School of Agricultural Engineering, University of Extremadura, 06007 Badajoz, Spain

* Correspondence: slousada@staff.uma.pt; Tel.: +351-963-611-712

Abstract: As the main island of the Madeira Archipelago, Madeira is faced with a clear demand for more precise and specific planning policies, in order to respond to regional requests. Bearing in mind the urgency of this issue linked to the concept of sustainability, planning strategies must be based on and strengthened by several studies, with the most varied themes, as a way of incisively understanding the problem at hand. Based on tools such as GIS (geographic information systems), this study allows the analysis of variations and patterns of land use and occupancy in the municipality of Ribeira Brava, located on Madeira Island. In a comprehensive manner, the study allows us to highlight the stagnation of the urban fabric of the region and, on the other hand, the change in the dynamics of agricultural cultivation present in the county. In addition, this study highlights the change in the predominant native vegetation in the municipality between the years 1990 and 2018. It is still necessary to emphasize the worrying scenario with the loss of native vegetation due to human activity, which requires more emphatic monitoring by regional government actors to protect, preserve and conserve these landscapes, environments and ecosystems.

Keywords: CORINE Land Cover (CLC); geographic information systems (GIS); land use and occupancy; planning and territorial management; territorial planning

1. Introduction

The development of multiple global land datasets, which enable the acquisition of land-cover data collected from Earth observation through satellites, has been prompted by the growing need for thorough and reliable information on land cover, land uses, and their dynamics and trends [1]. Numerous initiatives and programs at the national and international levels drove this development. It should also be mentioned that several sets of global or continental land-cover data from satellite Earth observation have promoted and produced a range of mapping patterns [2–10]. In fewer words, land use cover maps are incredibly helpful data due to their wide diffusion of use and their interdisciplinary character. These maps give us access to data on the land cover and biophysics cover of the Earth's surface [11], making their use crucial for the research and modeling of territorial dynamics [12].

In addition, land-use and land-cover maps can play an important role in balancing economic, political, cultural and environmental factors in a given territory [13], as they allow the analysis of significant changes in landscapes, study cycles and trends. In this context, Initial Operations of the Land Monitoring Service (GIO-Land) is an operational project of the European Copernicus Program that aims to provide several sets of land-cover data, employing satellite images that are updated every six years in almost all European nations, as already portrayed by different authors [14,15]. In addition, geographic information systems (GIS) give users access to a variety of data sources and enable the tracking of land changes, supported by fine-grain analyses of the land cover and assessments of changes, particularly in urbanized regions [16–19]. Urbanization is a process that creates and leaves an impact on the economic and social development of developing countries [20]. These issues globally depend on the unsolved conflict between anthropic systems and environmental components [21]. The need for tools to support policymaking oriented to sustainable planning arises at several levels of governance. In this regard, the fast progress of geographic information systems (GIS) during the last few decades provided researchers with powerful tools with which to conduct spatial analyses and modelling [22,23]. Additionally, this system is capable of tracking changes in human activity and the ecological condition of metropolitan areas [24,25].

Following the previous section, the Urban Atlas (UA) includes many other more detailed data, that is, it classifies resolution satellite images (SPOT 2.5 m, ALOS 2.5 m; RapidEye 5 m), which promotes the separation of significant coverage classes. The smallest mapping unit is 0.25 hectares and has an estimated accuracy of 5 m, supporting the production of land-cover maps for just 305 large European cities with a population of over 100,000. However, the UA comprises only 20 land-cover classifications, a number that is considerably lower than CORINE Land Cover (CLC or 'Corine') [7]. Together, terrestrial systems incorporate all processes and activities related to the human use of territories, including technological and organizational advances, as well as classifications, land profits and unintended cultural and environmental factors, from social activities [26–28].

As a result, an extra effort was made across Europe to monitor land-cover change in a consistent manner. This was achieved through the creation of the so-called inventory (CLC), which was carried out using satellite pictures. The European Environment Agency (EEA) has processed this shared database, which is utilized by several organizations throughout Europe and is co-financed by the European Commission and member states [7]. With regard to map characteristics, land-cover heterogeneity is brought about by the application of multiple techniques and underlying patterns, including varied layouts, syntactic issues, schematic heterogeneity, and semantic factors [25]. Therefore, since these changes are the result of a distinct strategy employed in the development of the map, it becomes challenging to differentiate land use when using alternative mapping

methodologies [1]. Created in 1985, Information on the Environment Coordination CORINE Land Cover (CLC) results from the combined effort of the nations that form the European Community (EC). Its main purpose lies in collecting and interpreting geospatial data in a more accurate and coordinated way, since it aims to achieve the following goals: (a) collect and coordinate interdisciplinary data regarding the state of the environment; (b) mainly focus on areas that are viewed as priorities within each EU state; (c) manage and organize these data, not only from an international perspective, but also locally; and (d) assure that all the data are compatible [7]. Thus, this database can be understood as an important tool when undertaking more complex geographical analyses, especially if they consider multiple categories regarding land use. Consequently, CLC's hierarchical structure can be divided into three levels. The first one covers the following five primary types of land use and land cover: artificial areas, agricultural areas, forest and semi-natural areas, wetlands, and water bodies. On the other hand, the second level has fifteen components, while the third one accounts for forty-four components. Additionally, the third level's components arise with the clear definition of these three classes' methodological scope as their main goal [7,26]. Within Europe, a joint effort, in terms of establishing certain standardized parameters in order to keep track of land-cover changes, has been accomplished. As a consequence, this database plays a decisive role in the integration of the EEA's information system and is currently considered a significant addition in terms of information availability on the topic of major land-cover variations [29,30]. Even though the CLC's data collection process has traditionally been based on the interpretation of images from satellites, multiple countries, namely Germany, Austria, Finland, Ireland, Iceland, Norway, United Kingdom, Sweden, and Switzerland, mostly since 2006, have been gathering these data from detailed national maps, through generalization techniques [31]. In contrast, nations such as Slovakia, Hungary and Poland turn to CLC intending to get more detailed information, scale 1:50,000 maps, with a minimum map unit (MMU) from 4 in addition to an adapted legend, which considers the geographical specificities of the territory [31]. Identical methods have also been applied to estimate information before the 1990 CLC data [30]. Hence, it is possible to verify that there are many ways of obtaining CLC data. Nonetheless, it is important to mention that nations such as Germany and Ireland have modified the methods used to obtain CORINE land-use maps—as for the generally used photo interpretation—while, for instance, in the Netherlands, the government determined that CLC data should be produced autonomously [31,32]. Overall, despite these administrative and technical issues, CORINE's maps regarding land use continue to be an important tool for soil application-related analyses. In fact, the directive INSPIRE 2007-2-EC [33] considers CLC as a superlative dataset that stands out from the remaining European datasets due to its level of standardization; furthermore, this standardization encompasses both the semantic and technical fields, since CLC is based on a generic land-cover classification that is applied throughout Europe [34,35]. In fact, other sources of information have only compatibility and comparability between different maps sources of land cover and their legends' theme, since it is necessary to consider that they are independent datasets [1]. Typically, different methodologies can cause a significant level of heterogeneity within multiple land-cover maps, due to, for instance, multiple layouts, syntactic problems, schematic heterogeneity and semantic aspects [36]. Therefore, in a scenario where different mapping methodologies have been used, it is hard to effectively analyze land-use changes, since some of these changes may be a result of the methodological heterogeneity [1]. However, despite the rate of change in land uses in the European landscape, there is only a small amount of research that examines the pattern of periods of change in land use at a pan-European level. In this regard, several studies and research papers have focused on the

change in the landscape of European territories, pointing to a significant change [37–39]. Agriculture is one of the most significant land uses in Europe, which has a diverse range of regional traits and well-defined dynamics [40]. More than 35% of European territory is used for agriculture, which equates to roughly 10 times more land than is used for urban purposes [41,42].

Similar to other territories, island territories suffer unique challenges and are particularly vulnerable to change due to their geographic situation, which results in a high degree of isolation and their limited size (spatial constraints) [43]. This type of territory is regarded as a coastal territory, since it is both directly and indirectly impacted by the presence of the water [44–46]. Territorial planning, in this sense, serves as a crucial tool for ensuring that the circumstances of prosperity are passed down to present and future generations, supporting the reduction in social inequities and geographical imbalances, and acting as a catalyst for growth.

In contemporary society, regional planning must, inevitably, take into account the future and be developed in an orderly way to meet public needs and not be ordered by casuistic and uncontrolled progression from the political and individual point of view regarding investments. Therefore, sustainable development and growth are, undoubtedly, the main concerns and objectives of the territories [47–52].

Through a practical experience approach to a case study that involves the Ribeira Brava municipality, Madeira Island, Portugal, the major goal of this study is to assess and evaluate the changes in land use in the peripheral or “ultrapерipheral” and insular areas, that is, the islands. In addition, impediments and possibilities for sustainable growth and development can be examined and handled by comprehending the land, using changes and, consequently, territorial dynamics and trends. The aim of the current study is to map and explain the land-use changes in the Ribeira Brava municipality, Madeira Island, Portugal, between 1990 and 2018. In this regard, we emphasize that the current study will contribute to science by enabling the collection of big data connected to land-use changes, as well as by providing an overview of how they have evolved in the Ribeira Brava municipality, over the last three decades. The data must be used to avoid or minimize flood events that have become increasingly intolerable over time, bringing constant risks of human loss and economic damage, as has already occurred in the recent past in the Ribeira Brava municipality, which mostly develop along its main water line.

In the first decades of the current century, the Ribeira Brava municipality experienced strong territorial growth, a development that occurred along the length of its main water line (river). Therefore, this development results in clear land-use changes, which has a relevant importance in terms of hydrological management issues, namely episodes of extreme rainfall. That is, the land-use changes over the years have contributed to a clear increase in the area of waterproofing, and thus a consequent increase in surface runoff, which inevitably causes floods. The level of water on the floor derives not only from the origin of the water, but also from the characteristics of the surrounding vegetation. In addition, processes such as underground infiltration, which can be influenced by soil characteristics, and underground water leaking are commonly associated with the occurrence of floods. Furthermore, floods are partly worsened by incorrect urban planning, which often leads to inappropriate land uses—for example, uncontrolled growth of urban areas—and infrastructures on stream beds, such as levees, embankments, or dams. Moreover, when this flawed urbanization phenomenon starts to also affect rural areas, planning and territorial management decision makers have to create structural and non-structural mitigation measures to prevent or at least mitigate flood impacts.

The study of the land-use changes in the Ribeira Brava municipality reveals that this area has an innovative character, based on some unique characteristics, such as developed at the bottom of a very narrow valley (with large drifts and steep slopes) with large numbers of water evacuation vessels completely sealed by infrastructure; the short course of the water line, which is approximately 15 km, so there is little warning in cases of flood disasters; as also observed in the highlands, the replacement of the type of vegetation in this area (land-use changes), which contributed to the increase in surface runoff due to unevenness and slopes, will contribute to an increase in flow, as well as the speed of flow (this must be avoided in case of the occurrence of an episode of extreme rainfall).

However, the correct management of land-use changes helps to alleviate the geomorphological and hydrological problem of this municipality, which has been growing due to anthropic pressure. Consequently, there is a need for high-impact measures to further mitigate the impact of floods and not just redirect the problem from one area to another, from the land management area to the hydraulic area.

Finally, we discuss the spatial patterns observed, and provide some principles and recommendations for future regional planning and management strategies and policies that could be developed and implemented throughout the Ribeira Brava municipality.

2. Methodology

2.1. Study Area

The Madeira Archipelago is located in the North Atlantic, more precisely in the region called Macaronesia, between the parallels 30° 01' N and 33° 08' N and the meridians 15° 51' W and 17° 30' W of Greenwich [53]. With a total of 796.77 km², the archipelago consists of Madeira Island, the largest and most important island in the group, with an area of 736.75 km²; Porto Santo, with an area of 42.17 km²; the Desertas Islands, with an area of 14.23 km² and the Selvagens, with an area of 3.62 km² [54].

Specifically, the municipality of Ribeira Brava, located on the south coast of Madeira Island, covers an area of approximately 65 km² and comprises the following four civil parishes: Campanário, Ribeira Brava, Serra de Água and Tabua. In addition, it is situated in the Atlantic Ocean and borders the municipalities of Câmara de Lobos (east), Ponta do Sol (west) and São Vicente (north) [55], as shown in Figure 1.

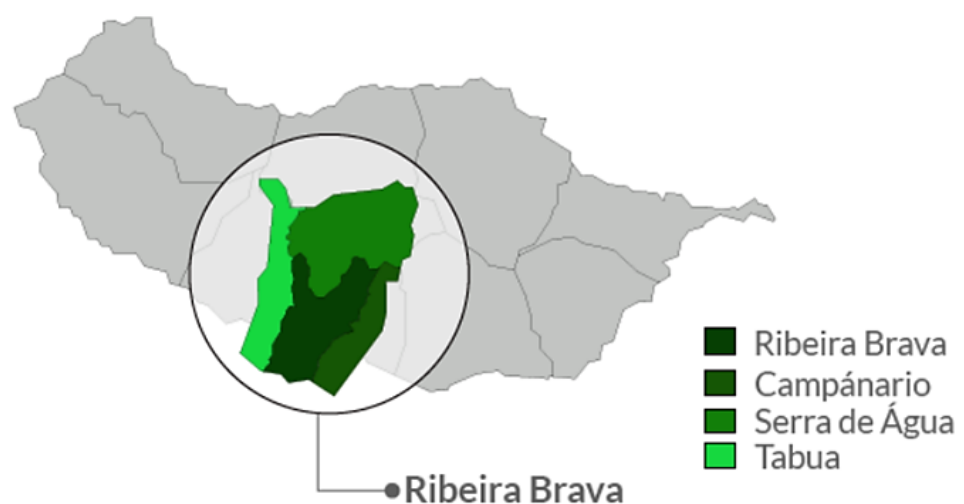


Figure 1. Location of the study area—municipality of Ribeira Brava (source: [55]).

The relief of the city of Ribeira Brava is very rugged, with deep valleys and steep slopes, while almost vertical and plateau areas are rarely observed. Its highest points are Pico Grande and Pico do Cerco, with heights of 1675 m and 1586 m, respectively, as shown in Figure 2.



Figure 2. Observation of the study area—municipality of Ribeira Brava (from river mouth to east) (source: authors).

It has a mild Mediterranean climate, with average summer temperatures of 27 °C and winter temperatures around 16 °C. Regarding the population, the municipality of Ribeira Brava follows the trend of population reduction, from 14,132 inhabitants in 1920 to 13,375 in 2011, and to 12,411 in the last census carried out in 2021 [55].

2.2. Applied Methodology

There were two layers of information in the data used. These can be utilized to duplicate this work in another work area because they are public and open. The municipality of Ribeira Brava on Madeira Island is the subject of the analysis.

Data on land use were first gathered. The European Space Agency (EEA) provides a geodatabase that employs polygonal graphic characteristics that indicate land use throughout the European Union for the years 1990, 2000, 2006, 2012, and 2018 through the CORINE Land Cover (Coordination of Information, CLC) project [56]. Regarding the use of remote sensing data, the information was supplied by means of shapefiles. These files were managed by using ArcGis 10.5. A project was generated and subsequently, the shapefiles were added as layers, that is, vectorial information.

The mapping system used was the Universal Transverse Mercator (UTM), and the scale was 1:100,000 in the Geodesic Reference System, which corresponds to the European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89), with the minimal cartographic unit (MCU) being equivalent to 25 hectares. The precision attained has improved over time, rising from less than 50 m in 1990 to less than 25 m in 2000, 2006, and 2012, and eventually, less than 10 m in 2018. Additionally, the polygons' information was organized hierarchically into three layers (Table 1).

Table 1. CORINE Land Cover nomenclature (source: [56] *).

Level 1	Level 2	Level 3	
1. Artificial surfaces	1.1. Urban fabric	1.1.1. Continuous urban fabric	
		1.1.2. Discontinuous urban fabric	
	1.2. Industrial, commercial and transport	1.2.1. Industrial or commercial units	
		1.2.2. Road and rail networks and associated land	
		1.2.3. Port areas	
		1.2.4. Airports	
	1.3. Mine, dump and construction sites	1.3.1. Mineral extraction sites	
		1.3.2. Dump sites	
		1.3.3. Construction sites	
	1.4. Artificial, non-agricultural vegetated areas	1.4.1. Green urban areas	
1.4.2. Sport and leisure facilities			
2. Agricultural areas	2.1. Arable land	2.1.1. Non-irrigated arable land	
		2.1.2. Permanently irrigated land	
		2.1.3. Rice fields	
	2.2. Permanent crops	2.2.1. Vineyards	
		2.2.2. Fruit trees and berry plantations	
		2.2.3. Olive groves	
	2.3. Pastures	2.3.1. Pastures	
		2.4. Heterogeneous agricultural areas	
	3. Forests and semi-natural areas	3.1. Forests	2.4.1. Annual crops associated with permanent crops
			2.4.2. Complex cultivation
2.4.3. Land occupied by agriculture			
3.2. Shrub and/or herbaceous vegetation association		3.1.1. Broad-leaved forest	
		3.1.2. Coniferous forest	
		3.1.3. Mixed forest	
		3.2.1. Natural grassland	
3.3. Open spaces with little or no vegetation		3.2.2. Moors and heathland	
		3.2.3. Scierophyllous vegetation	
4.1. Inland wetlands		3.2.4. Transitional woodland shrub	
	3.3.1. Beaches, dunes, and plains		
	3.3.2. Bare rock		
	3.3.3. Sparsely vegetated areas		
	3.3.4. Burnt areas		
4.2. Coastal wetlands	3.3.5. Glaciers and perpetual snow		
	4.1.1. Inland marshes		
	4.1.2. Peatbogs		
5.1. Inland waters	4.2.1. Salt marshes		
	4.2.2. Saline		
	4.2.3. Intertidal flats		
5.2. Marine waters	5.1.1. Water courses		
	5.1.2. Water bodies		
		5.2.1. Coastal lagoons	

5.2.2. Estuaries

5.2.3. Sea and ocean

* The authors suggest visiting www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover, accessed on 30 November 2021, for comprehensive information regarding the CLC codes.

The administrative delineation of the municipality of Ribeira Brava is represented by the second layer of information. The Official Administrative Charter of Portugal (CAOP2020) for the Autonomous Region of Madeira was retrieved from the National Geographic Information System of Portugal (SNIG), as depicted in Figure 3.

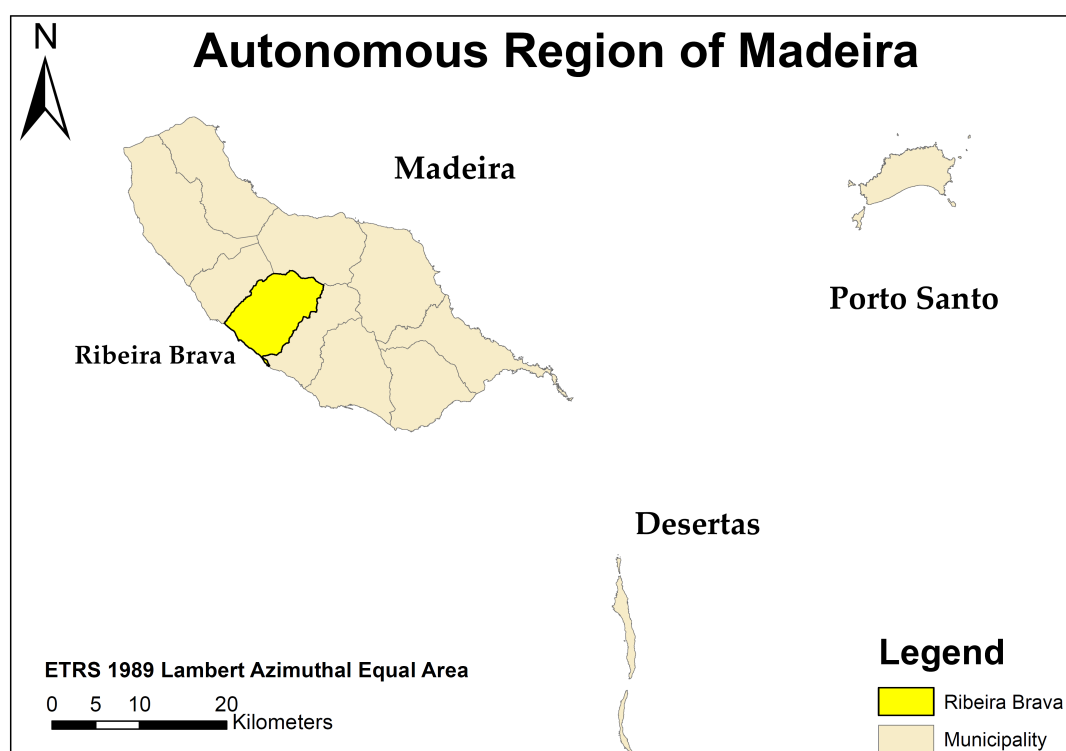


Figure 3. Municipality of Ribeira Brava's delineation of the study's geographic scope (source: authors by ESRI ArcGIS, 2020).

ArcGIS 10.5 geographic information systems (GIS) management software was then used to process both levels of data. When Lambert-2001's ETRS-LAEA was first adopted as the official coordinate reference system, all layers of information were converted to this system by means of designation of projection in the project [57], due to the fact that they are the inputs, the projection of equivalent regions within the territory, on which ETRS-LAEA is based. In this way, it acts as a standard for homogeneous units across all of Europe. Thus, the representation of analytical and statistical data uses this coordinate system.

After performing a selection query using alphanumeric data, the municipality of Ribeira Brava was chosen for the layer that refers to the administrative divisions of the Autonomous Region of Madeira. This particular municipality was then maintained in a single layer of information. The scope of action for this study was limited to this layer of information. The boundary of Ribeira Brava was then utilized as the reference layer for the clip tool. For each of the years under consideration, this process was used (1990, 2000, 2006, 2012 and 2018). Land uses were acquired in this way, but only those that were a part

of the municipality. The area of each polygon was then geometrically measured and converted to hectares by means of the command geometry. As a result, each polygon's total hectares, which correspond to the CLC nomenclature's representation of land uses, were determined.

The alphanumeric data stored in each of the tables for the years under analysis were then exported by means of the command export and imported into a database that was maintained by the Microsoft Access database management program, a component of the Microsoft Office 365 suite of applications.

Using Structured Query Language (SQL), selection queries were created for the database to be selected in accordance with the CLC nomenclature, and then another grouping query was appended to the original query. Finally, for the years 1990, 2000, 2006, 2012, and 2018, the number of hectares for each type of land use was determined.

Thematic maps were also obtained for each year in order to take into consideration both the numerical and geographic outcomes. This made it possible to pinpoint both the areas with the highest variety in land uses and those with predominant land uses. The data flow described in the previous paragraphs can be observed in Figure 4.

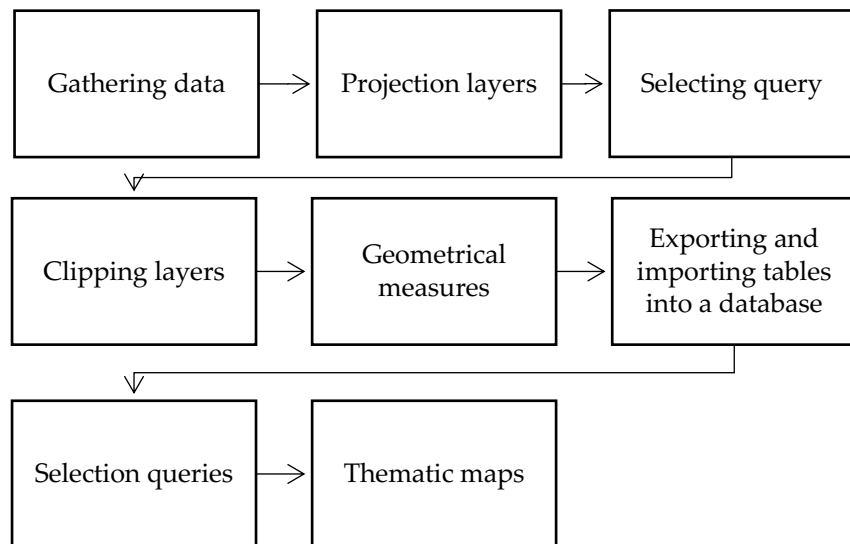


Figure 4. Data flow used to perform the analysis (source: authors).

A system was designed to obtain a better understanding of the technique utilized and the criteria for selecting case studies (Figure 5).

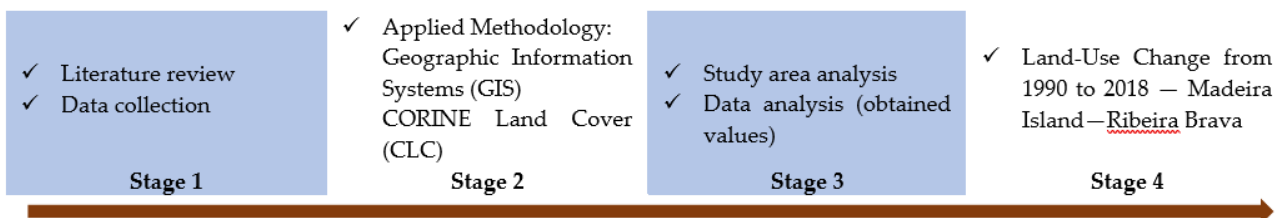


Figure 5. Summary of the methodology's selection criteria and case study selection process (source: authors).

3. Results

The results are based on an examination of the land-use changes in the municipality of Ribeira Brava between 1990 and 2018, as well as between 1990 and 2000, 2006, and 2012. The graphs, tables, and themed mapping are used to display the results. This disclosed results typology enables the most pertinent information to be extracted and characterizes the progression of land use based on the 44 soil uses identified by CLC. The data are organized as percentages and are shown in Table 2.

Table 2. Percentage of level 3 CLC nomenclature land uses in the municipality of Ribeira Brava (source: authors).

CLC Nomenclature\Year	1990	2000	2006	2012	2018
112	10.32%	11.64%	11.79%	11.40%	11.40%
121	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.39%
212	0.39%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%
221	0.00%	0.00%	0.08%	0.08%	0.03%
222	1.06%	1.06%	1.05%	1.05%	1.05%
241	2.43%	2.43%	1.02%	1.02%	0.00%
242	3.54%	3.33%	4.97%	4.97%	4.99%
243	14.24%	13.42%	12.70%	12.78%	13.15%
311	6.88%	6.88%	6.19%	3.42%	6.44%
312	4.25%	4.39%	4.08%	3.98%	4.46%
313	21.43%	21.43%	20.81%	18.03%	16.68%
321	10.33%	10.33%	11.14%	11.60%	13.45%
322	16.55%	16.22%	16.22%	14.84%	20.12%
324	6.07%	5.97%	7.46%	5.37%	6.57%
333	2.33%	2.33%	2.33%	2.33%	1.11%
334	0.00%	0.00%	0.00%	8.58%	0.00%
523	0.17%	0.17%	0.16%	0.16%	0.16%

Note: The highest values found are in bold.

In order to obtain a better visualization of the area variation by CLC classification, the graph in Figure 6 was drawn up using percentages.

Percentages of land use in Ribeira Brava according to CORINE land-cover nomenclature for level 3

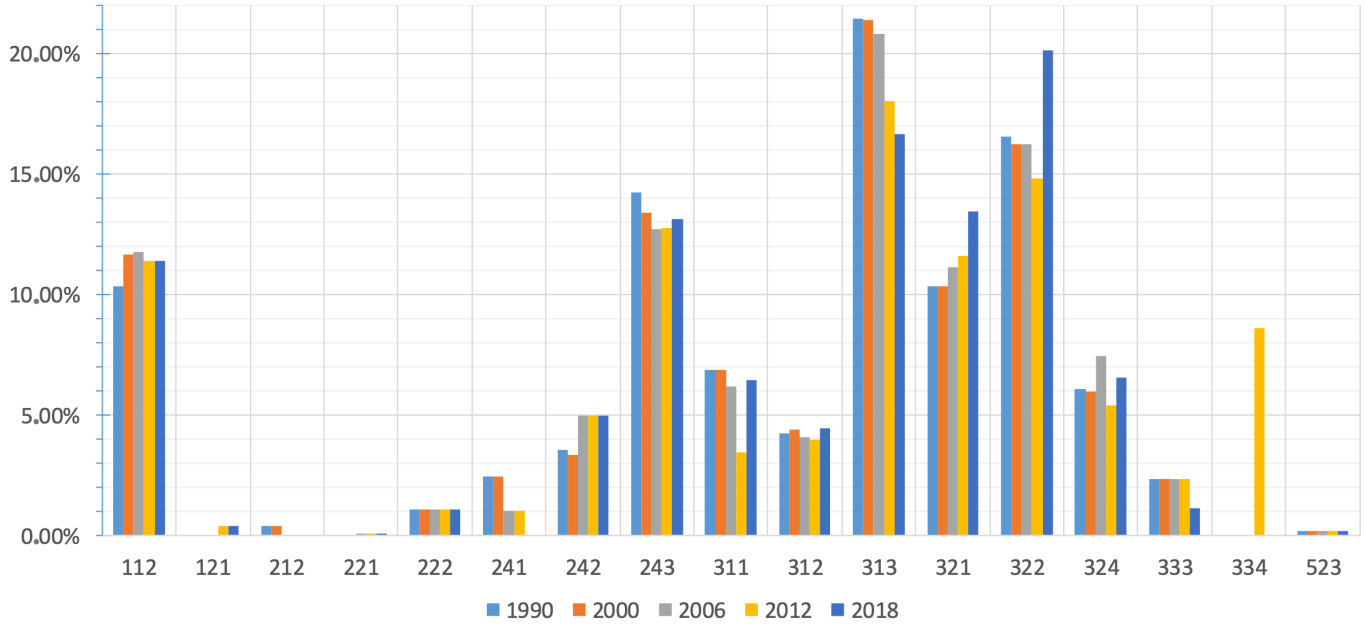


Figure 6. Percentage of land use in the municipality of Ribeira Brava classified as level 3 of the CLC terminology (source: authors).

Additionally, using ArcGIS 10.5, geographic information systems (GIS) software, it was feasible to illustrate each area’s location (thematic cartography) more correctly, specifically according to each area’s individual CLC ratings and time variance, as shown in Figures 7–11.

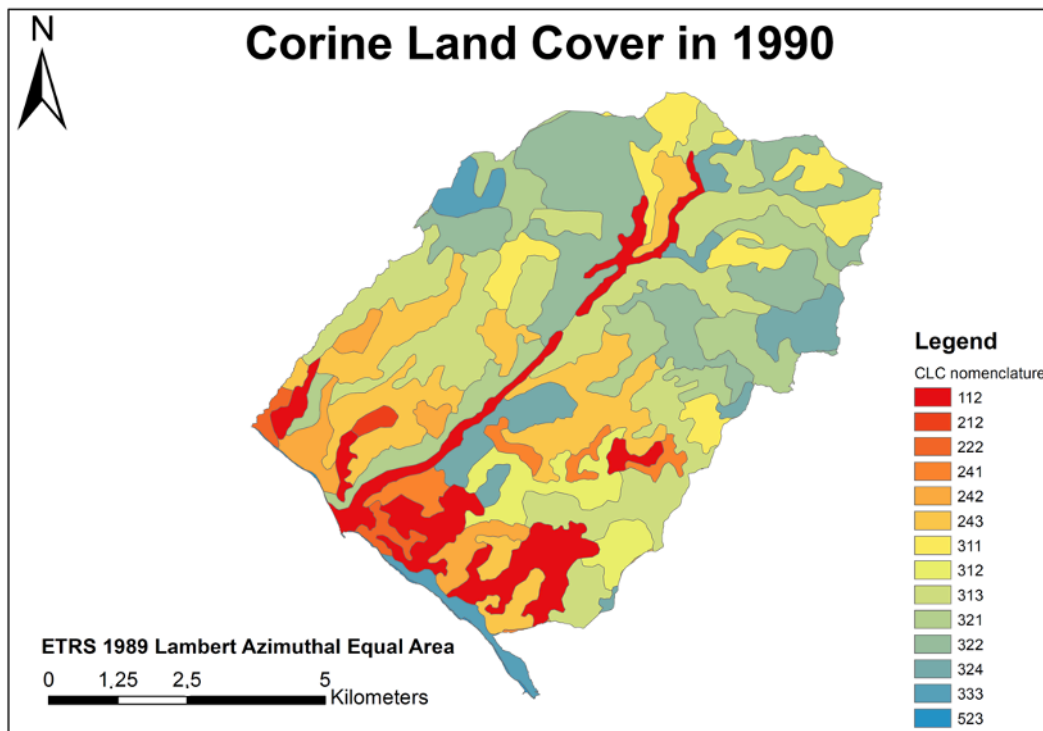


Figure 7. Level 3 CLC designation land uses in the municipality of Ribeira Brava in 1990 (source: authors by ESRI ArcGIS, 2020).

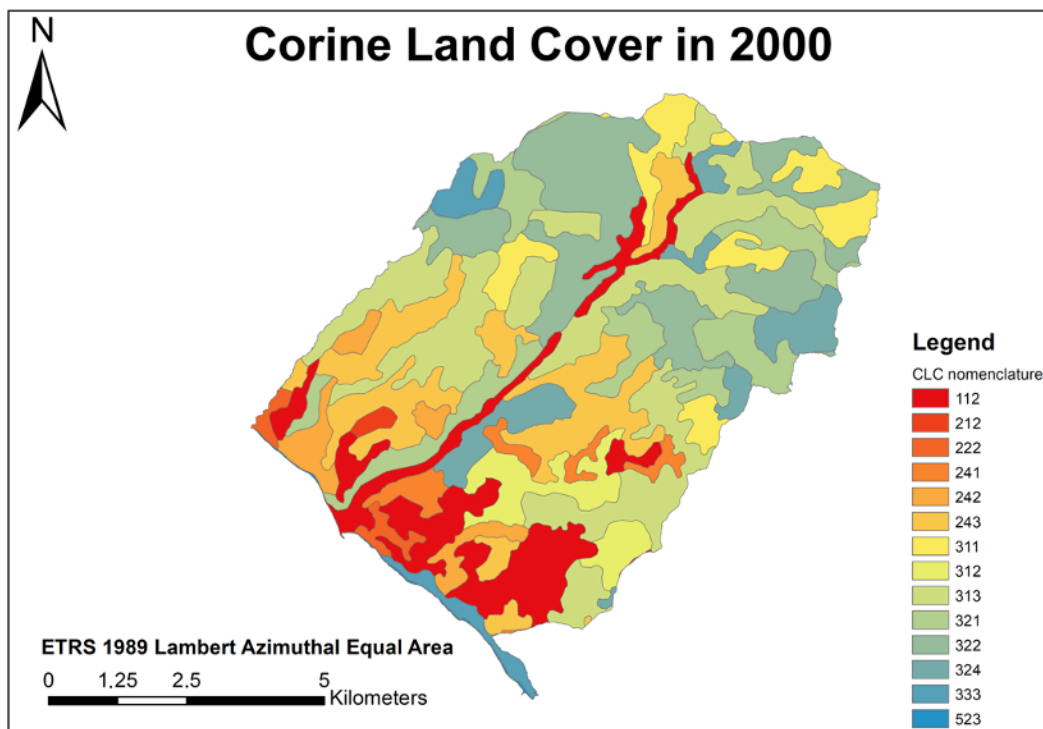


Figure 8. Level 3 CLC designation land uses in the municipality of Ribeira Brava in 2000 (source: authors by ESRI ArcGIS, 2020).

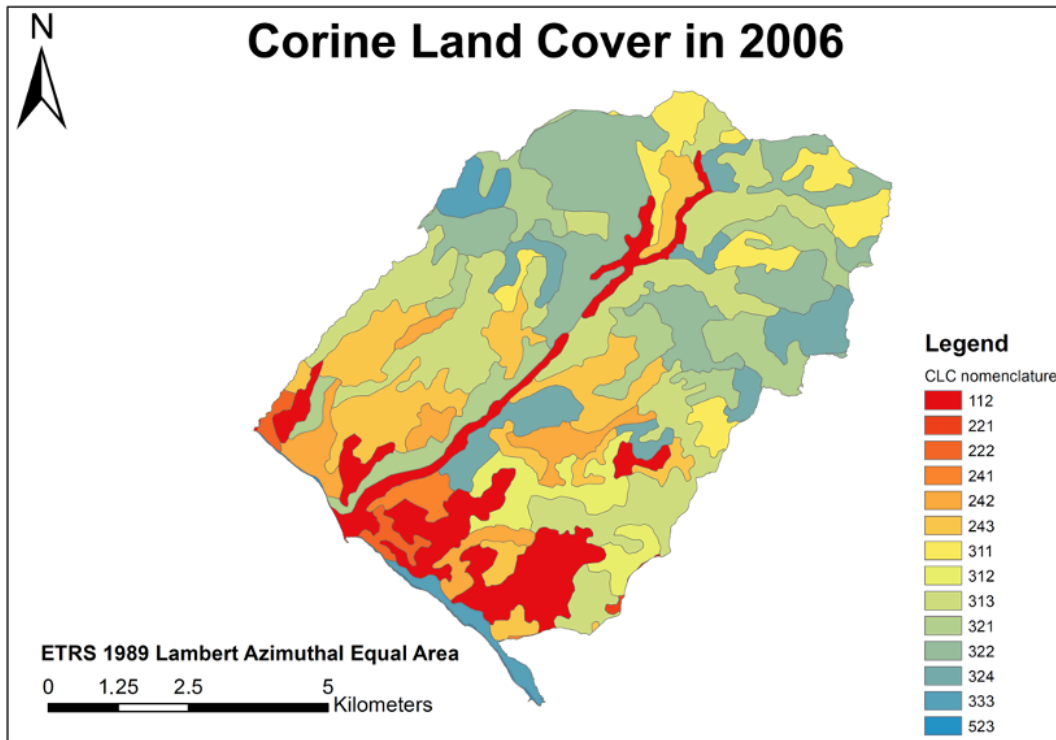


Figure 9. Level 3 CLC designation land uses in the municipality of Ribeira Brava in 2006 (source: authors by ESRI ArcGIS, 2020).

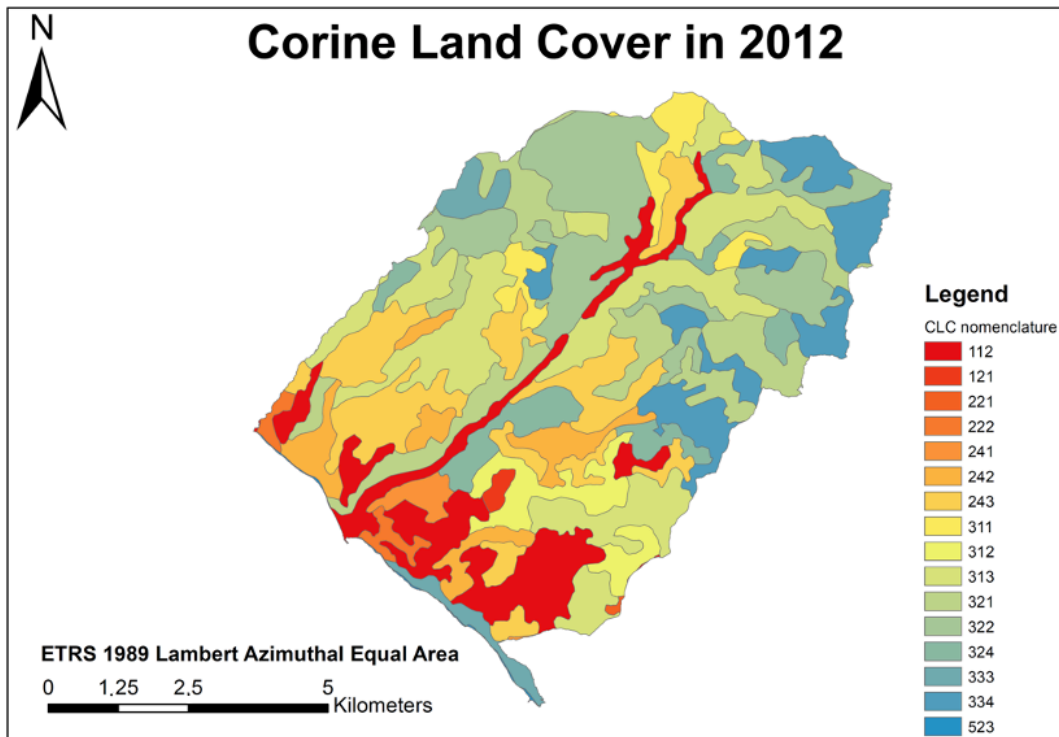


Figure 10. Level 3 CLC designation land uses in the municipality of Ribeira Brava in 2012 (source: authors by ESRI ArcGIS, 2020).

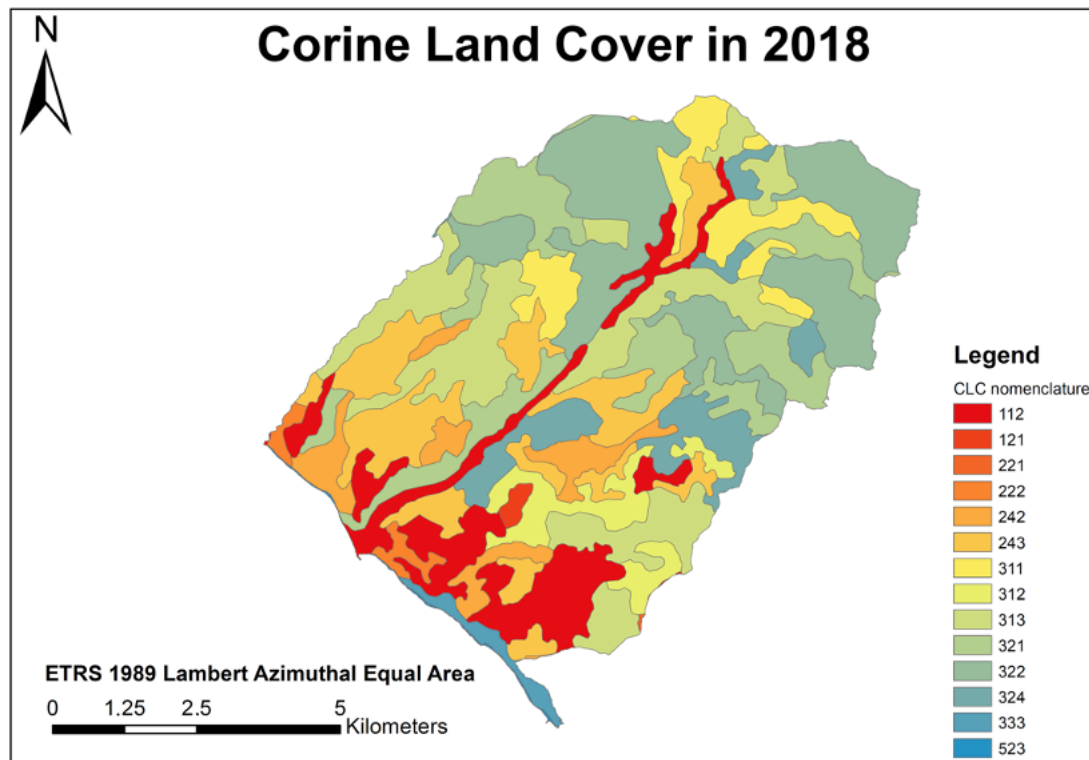


Figure 11. Level 3 CLC designation land uses in the municipality of Ribeira Brava in 2018 (source: authors by ESRI ArcGIS, 2020).

4. Discussion

After applying the methodology previously described, it is possible to analyze each of the classifications according to their respective variation. Class CLC-112 (discontinuous urban fabric surfaces) refers to the class of discontinuous urban fabric, which is assigned when urban structures and associated transport networks, vegetated areas and free surfaces are present and occupy significant surfaces in a discontinuous space pattern [58]. One of the main characteristics is the level of soil permeability, as impermeable areas such as buildings, roads and artificial surface areas vary from 30 to 80% of soil cover [58]. For the case study, the soil permeability for the municipality of Ribeira Brava increased from 10.32% in 1990 to 11.40% in 2012, remaining constant until 2018; the maximum value of the class was 11.79% in 2006. This parameter indicates that there was not a significant increase in the urban fabric, which can be explained by the difficulty of construction due to the irregularity of the land, the distance from the economic center of the island—i.e., Funchal—and the gradual population reduction.

As with the CLC-112 classification (discontinuous urban fabric surfaces), the CLC-121 classification (industrial or commercial units) refers to the implementation of artificial surfaces and with a lower soil absorption capacity. In this sense, this class is assigned to land units that are in industrial or commercial use or serve as public service facilities [58]. In the case of Ribeira Brava, there was an increase from 0.00% in 1990 to 0.39% in 2012, which remained until 2018. Therefore, this indicator suggests that there was only a small increase in the amount of commercial or industrial infrastructure, which was enough to meet local demand. These parameters are very important for the municipality of Ribeira Brava, as it is one of the municipalities in the region that suffer the most from flood events

in the entire Madeira Island, so much so that “*this municipality is so called because its valley is crossed by a very large stream in the rainy season, a fact that caused a lot of damage along its 8 km route*” [55]. So, regions with low soil absorption capacity cause rapid saturation to occur and, thus, allow surface runoff [59], leading to the accumulation of water that exceeds the runoff capacity of the urban drainage system. Thus, the entire volume of excess water from the most intense rainfall tends to cause economic and humanitarian damage [60]. Therefore, the analysis of the progress of the CLC-1 classification (artificial surfaces) becomes essential for the implementation of mitigation measures for the impacts of floods in urbanized regions, both from an administrative perspective—e.g., implementation and optimization of the Municipality’s Master Development Plan—and from a structural perspective—e.g., construction of detention basins or optimization of the existing drainage system [61].

Regarding the CLC-212 classification (permanently irrigated land), it refers to agricultural plots that are permanently or periodically irrigated, using permanent infrastructure such as irrigation canals, drainage networks and additional irrigation facilities. Furthermore, most of these crops cannot be grown without an artificial water supply [58]. For the municipality under study, this class corresponded to 0.39% of the territory in 1990 and 2000; however, it did not exist as of 2006.

Concerning the CLC-221 classification (vineyards), these are areas planted with vines. Specifically for Madeira Island, it is viewed as a common practice to plant vines without a commercial nature, that is, only for their own consumption. Therefore, this factor justifies the very low percentage of land cover for this class, which increased from 0.00% in 1990 and 2000 to 0.08% in 2006 and 2012 and, finally, reduced to 0.03% in the last analysis carried out in 2018. It is necessary to point out that for such low percentages, the variation may have small procedural errors due to the quality of the satellite images used to obtain each of the classifications.

The CLC-222 classification (fruit trees and berry plantations) corresponds to plots cultivated with fruit trees and shrubs, intended for the production of fruits, including nuts [58]. The planting pattern can include either a single- or mixed-fruit species, both associated with permanent grass surfaces [58]. For the municipality under study, this classification indicates that there was evidence of stabilization in this type of cultivation, as the percentage of soil cover for this activity remained at 1.06% from 1990 to 2000, decreasing slightly to 1.05% in 2006 and maintaining the same index until 2018. As mentioned above, this small percentage variation can only be the product of small procedural lapses.

On the other hand, the CLC-241 classification (annual crops associated with permanent crops) refers to areas cultivated with non-permanent crops—i.e., primarily arable land—associated with permanent crops, such as fruit trees, olive trees or vineyards, in the same region [58]. The analysis of this classification indicates its extinction in the municipality under study, as the percentages remained at 2.43% from 1990 to 2000; however, they reduced to 1.02% in 2006 and 2012 and finally to 0.00% in 2018.

Regarding the CLC-242 classification (complex cultivation), which refers to the development of specific agricultural production in the case of the municipality under study, a percentage value of 3.54% was reported in 1990, which reduced to 3.33% in 2000, then increased to 4.97% in 2006 and 2012, and further increased to 4.99% in 2018.

Finally, we analyzed the last classification that belongs to the CLC-2 class (agricultural areas) found in this study, the CLC-243 classification (land occupied by agriculture). This class refers to areas mainly occupied by agriculture, interspersed with significant natural or semi-natural areas—e.g., forests, shrubs, swamps, bodies of water, mineral outcrops—in a mosaic pattern [58]. The analysis of the data indicates that there was a tendency of

percentage decrease for this type of land occupation between 1990 with 14.24% and 2006 with 12.70%. However, there was a small percentage increase in 2018, corresponding to 13.15% of the area of the municipality.

To start the analysis of the CLC-3 class (forests and semi-natural areas), we analyzed the CLC-311 (broad-leaved forest) classification, which deals with the vegetation composed mainly of trees—i.e., including shrubby understory and shrubs—where foliage is predominantly broadleaf species [58]. This classification indicates that this type of vegetation is not predominant in the region, corresponding to 6.88% of the area occupied in 1990 and 2000 and reducing to 6.19% in 2006. In the analysis carried out in 2012, a significant reduction to 3.42% was noted; however, there was also a significant increase in the 2018 study, returning to 6.44% of the area of the municipality under study.

The CLC-312 classification (coniferous forest) refers to vegetation composed mainly of trees, including shrub understory and shrubs, predominantly coniferous species [58]. This classification is also not predominant in the municipality of Ribeira Brava, which varied from 4.25% in 1990 to 4.46% in 2018. This vegetation is located mainly in the higher altitude regions of the municipality, due to the cold boreal climate of the locality.

The CLC-313 classification (mixed forest) corresponds to the vegetation composed mainly of trees, where broadleaf and coniferous species do not predominate [58]. This type of vegetation was predominant in the municipality under study with a percentage value of 21.43% in 1990 and 2000; however, its percentage has been gradually reducing and was recorded as 20.81% in 2006, 18.03% in 2012 and 16.68% in 2018.

Unlike previous forest classifications, CLC-321 (natural grassland) corresponds to grasslands under no or moderate human influence and with low productivity fields. This type of land occupation is often located in areas of rough, uneven terrain and steep slopes, which corresponds precisely to the type of relief in the municipality under study. This type of land occupation has gradually increased, from 10.33% in 1990 and 2000 to 13.45% in 2018.

Another classification that has gradually increased its percentage is CLC-322 (moors and heathland), becoming predominant in the area of the municipality under study. This classification corresponds to the presence of vegetation with low and closed cover, dominated by shrubs and dwarf shrubs—e.g., heather, broom and laburnum. The analysis carried out in 1990 indicated that this classification was present in 16.55% of the total area of the municipality, increasing to 16.22% in 2000 and 2006. As in the previous classifications, in 2012, there was a noticeable reduction in the occupied area, rising to 14.84%. However, in the study carried out in 2018, it is noted that there was a significant recovery of the lost vegetation, which now corresponds to 20.12% and is the predominant vegetation in the area of the municipality under study.

Following the same trend as the previous type of vegetation, the CLC-324 classification (transitional woodland shrub) also showed growth until 2006, with a land-use percentage of 7.46%. However, the 2012 study also suggests a noticeable reduction to 5.37%, and subsequent recovery, increasing to 6.57% in 2018.

Regarding the classification CLC-333 (sparsely vegetated areas) for the municipality under study, there was a constant percentage value between 1990 and 2012 of 2.33%, which subsequently decreased to 1.11% in 2018.

These significant reductions in 2012 and recovery in 2018 can be explained through the classification CLC-334 (burnt areas), which refers to natural woody vegetation affected by recent fires. For the municipality under study, the classification reported a burned area value of 0.00% until the year 2012, which showed a loss of 8.58% of native vegetation in the municipality of Ribeira Brava. This value is the product of a large fire that hit Madeira Island in July 2012, which supposedly stemmed from an environmental crime [62].

Finally, we analyzed the CLC-523 classification (sea and ocean), which corresponds to the seaward zone of the lowest tide limit. For the municipality under study, this classification corresponds to the region of the river mouth of Ribeira Brava, which has depression zones that are flooded by the effects of the tide. The percentages obtained do not vary significantly, from 0.17% in 1990 and 2000 to 0.16% in 2006 and remaining constant until 2018.

From a global view, from 1990 to 2018, it can be concluded that 20.69% of the territory of Ribeira Brava underwent changes. In total, 10.34% of the changes decreased (CLC-212, 222, 241, 243, 311, 313, 333 and 523), while the other 10.35% increased (CLC-112, 121, 221, 242, 312, 321, 322 and 324). More than half of the changes occurred in forests and semi-natural areas (CLC-3), where 4.75% of mixed forests disappeared (CLC-313) and the changes increased by 7.19% regarding shrub and/or herbaceous vegetation association (CLC-32). The latter type of cover performs important ecosystem service functions, especially in pollination processes and in the regulation and retention of water flows [63].

5. Conclusions

The main purpose of the present study was to evaluate the variation in land use and occupation and the regional implications that these changes can cause. Therefore, as shown, the municipality of Ribeira Brava presented stagnation in the growth of its urban fabric and alteration of the predominant vegetation, due to the morphology of this municipality, as can be observed in Figure 2.

The stagnation of the urban fabric has a positive effect, especially regarding the non-aggravation of the effects of extreme climatic phenomena of precipitation, such as the floods and alluviums that occurred in February 2010 [64]. On the other hand, this indicator may denote economic and population stagnation in the region. Therefore, it is evident that it is only possible with the CLC-1 class (artificial surfaces) to carry out various analyses on the municipality under study, both in the economic sphere and in terms of urban and social development.

For the CLC-2 class (agricultural areas), the promising applicability of the methodology for managing agricultural areas and cataloging the main farming activities in the municipality under study is notorious. This indicator can also suggest a change in priority in relation to plantations in the locality, which can change the entire local economic dynamics.

Regarding the CLC-3 class (forests and semi-natural areas), the great potential for handling and preserving forest areas, as well as the inspection of legal activities or the identification of illegal practices of burning or deforestation, is evident. The application of this methodology tends to have even greater relevance in regions of dense forests and with dimensions so accentuated that local quantification becomes unfeasible, as is the case in the Amazon Forest.

Finally, the CLC-5 class (water bodies) was not considered as it has no relevance to the study developed.

In short, through the analysis of land-use change models (land-use changes—LUC), together with practical information on the territory, instructions and guidelines for sustainable development, it is possible to outline the following in relation to the municipality of Ribeira Brava. Changes in land uses are an obvious sign of human impact on the natural world [65,66]. For proper planning, geographical distribution, and administration of the territory, as well as the subsequent implementation of land-use change, variables and natural characteristics such as physiography, slope, relief, soil, and vegetation, among many others, are viewed as essential [65,67].

In addition to what has previously been reported, a lack of planning and information results in the destruction of natural resources, which has a significant negative impact on nearby communities [68–70]. In fact, in these island territories and in this specific case of the municipality of Ribeira Brava, the correct definition and identification of risk areas (while taking into account the domain of land-use planning and management) are critical requirements to prevent and mitigate the damage caused by natural events, as well as hazardous activities [71–73]. Accordingly, this issue is even more relevant in territories with uncontrolled growth [74,75]. This uncontrolled growth has often been associated with the absence of an adequate planning process [74]; we do not have to associate growth only with the number of inhabitants of the aforementioned municipality, which is not the case, but with the infrastructure created from different scopes to serve the local population. As mentioned, built-up areas help to increase the vulnerability of the soil, favoring the possibility of natural disasters [76,77], that is, in cases of erosion or landslides, if we take into account local and territorial characteristics, as well as the increase in waterproofed areas that maximizes the values of surface runoff, as the rainwater drainage systems no longer have adequate response capacities [78,79]. This situation, as previously described, can generate significant problems, affecting the population of the aforementioned municipality of Ribeira Brava, the environment and, consequently, the local economy, meaning that it can lead to a decrease in tourism. Contextually, considering urban and spatial planning criteria, in addition to urban growth-related restraints, namely natural catastrophes, such as those that have already occurred in the recent past in the municipality of Ribeira Brava, the need to establish land-use classes increases [80].

Furthermore, in a manner that is pertinent, the relief can also have an impact on urban expansion and development [81], since it forces the city either to disperse or to become relatively disorganized, leading, ultimately, to urban voids. In this case, it would create a topographic barrier, that is, a natural obstacle to urban expansion; this barrier would, in a certain way, safeguard the fragmentation of natural habitats. In fact, this scenario is often associated with cities that are located in hilly regions, i.e., regions that present a substantial fluctuation in altitude and steep slopes [82]. The change in land uses in the municipality of Ribeira Brava is ultimately significantly influenced by this circumstance. However, regardless of the limitations related to territorial relief, barriers such as the ones previously mentioned would probably enrich this municipality from an environmental perspective, which would enable social and economic growth, as well as the promotion and utilization of endogenous natural resources. Therefore, in this case, it is vital to promote a cooperative relationship between economic activities and the environment, in order to stimulate sustainable growth in this region; in this particular case, due to its unique natural resources, ecosystems and landscapes, there could be enough space to promote sustainable development in this municipality. In addition, the enhancement of agriculture—since there is a strong cultural heritage, not only in Ribeira Brava, but in Madeira Island as a whole, in terms of agriculture, that is emphasized by the existence of multiple typical crops, such as bananas, sugar cane and vines—must be significantly promoted, in line with sustainable development strategies.

Thus, if sustainable development policies are implemented by all concerned parties and the dependent community, they can be measured by the so-called obstacles present in the municipality of Ribeira Brava, the subject of this case study.

As a consequence of this study, it was possible to analyze not only the dynamics of land-use variations in this region, but also the impacts that those changes had for this municipality. Additionally, considering the results obtained through this study, as well as the information empirically obtained from this territory, it became plausible to identify opportunities and restraints regarding Ribeira Brava's sustainable development. In terms of restraints, these can be perceived as challenging, because it is necessary to take into account this municipality's physical spatial dimensions and the difficulties that are associated with promoting a reconversion of land uses. Therefore, a reasonable set of actions that considers the fragile nature of the county, and thus the significant impacts that such policies could have in terms of long-term sustainable development and inhabitants' quality of life, is required from policy makers.

Hence, studies on land-use variation patterns can be considered as crucial to comprehend regional dynamics and trends, and, therefore, to guide decision makers regarding the sustainable development of this region.

As a final consideration, land uses can be understood as another tool that can be used to understand the county by evaluating the past and envisioning the future.

Author Contributions: Conceptualization, S.L., J.C., R.A.C. and J.M.N.G.; Methodology, S.L. and J.M.N.G.; Software, S.L. and J.M.N.G.; Validation, S.L., R.A.C. and J.M.N.G.; Formal analysis, S.L. and R.A.C.; Investigation, S.L.; Resources, S.L.; Data curation, S.L.; Writing—original draft, S.L.; Writing—review & editing, S.L.; Visualization, J.C., R.A.C. and J.M.N.G.; Supervision, J.C., R.A.C. and J.M.N.G.; Project administration, S.L. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This publication has been made possible thanks to funding granted by the Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital from Junta de Extremadura and by the European Regional Development Fund of the European Union through the reference grants GR21135.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data presented in this study are openly available. Additionally, it is possible to contact one of the study authors.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Neumann, K.; Herold, M.; Hartley, A.; Schmillius, C. Comparative assessment of CORINE2000 and GLC2000: Spatial analysis of land cover data for Europe. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2007**, *9*, 425–437. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2007.02.004>.
2. Bartholomé, E.; Belward, A.S. GLC2000: A new approach to global land cover mapping from earth observation data. *Int. J. Remote Sens.* **2005**, *26*, 1959–1977. <https://doi.org/10.1080/01431160412331291297>.
3. Bielecka E. GIS Spatial Analysis Modeling for Land Use Change. A Bibliometric Analysis of the Intellectual Base and Trends. *Geosciences* **2020**, *10*, 421. <https://doi.org/10.3390/geosciences10110421>.
4. Lousada, S.; Cabezas, J.; Castanho, R.A.; Gómez, J.M. Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island—Ribeira Brava. *Water* **2021**, *13*, 2951. <https://doi.org/10.3390/w13212951>.
5. Bildirici, M.E.; Lousada, S.; Yilmaz Genç, S. Terrorism, Freshwater, and Environmental Pollution: Evidence of Afghanistan, Burkina Faso, Iraq, Arab Republic of Egypt, Cameroon, Mali, Mozambique, Niger, Nigeria, Somalia, Syrian Arab Republic, and Pakistan. *Water* **2022**, *14*, 2684. <https://doi.org/10.3390/w14172684>.
6. Baig, M.F.; Mustafa, M.R.U.; Baig, I.; Takaijudin, H.B.; Zeshan, M.T. Assessment of Land Use Land Cover Changes and Future Predictions Using CA-ANN Simulation for Selangor, Malaysia. *Water* **2022**, *14*, 402. <https://doi.org/10.3390/w14030402>.
7. Naranjo Gómez, J.M.; Lousada, S.; Garrido Velarde, J.; Castanho, R.A.; Loures, L. Land-Use Changes in the Canary Archipelago Using the CORINE Data: A Retrospective Analysis. *Land* **2020**, *9*, 232. <https://doi.org/10.3390/land9070232>.
8. Bielecka, E.; Jenerowicz, A. Intellectual Structure of CORINE Land Cover Research Applications in Web of Science: A Europe-Wide Review. *Remote Sens.* **2019**, *11*, 2017. <https://doi.org/10.3390/rs11172017>.

9. Bielecka, E.; Jenerowicz, A.; Pokonieczny, K.; Borkowska, S. Land Cover Changes and Flows in the Polish Baltic Coastal Zone: A Qualitative and Quantitative Approach. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 2088. <https://doi.org/10.3390/rs12132088>.
10. Statuto, D.; Cillis, G.; Picuno, P. Analysis of the effects of agricultural land use change on rural environment and landscape through historical cartography and GIS tools. *J. Agric. Eng.* **2016**, *47*, 28. <https://doi.org/10.4081/jae.2016.468>.
11. Delgado, J. (Ed.) Armonización de las bases de datos de ocupación del suelo y su importancia en la evaluación de parámetros e indicadores medioambientales. In Proceedings of the Congreso Nacional de Medio Ambiente Cumbre Del Desarrollo Sostenible, Madrid, Spain, 1–5 December 2008.
12. García-Álvarez, D.; Camacho Olmedo, M.T. Changes in the methodology used in the production of the Spanish CORINE: Uncertainty analysis of the new maps. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2017**, *63*, 55–67. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.07.001>.
13. Martínez-Fernández J, Ruiz-Benito P, Bonet A, Gómez C. Methodological variations in the production of CORINE land cover and consequences for long-term land cover change studies. The case of Spain. *Int. J. Remote Sens.* **2019**, *40*, 8914–8932.
14. Debowska, A.; Hoscilo, A.; Gruziel, M.; Napiorkowska, M. High Resolution Impervious and Tree Cover Layers as an Additional Source of Data on Land Cover Status in Poland. In Proceedings of the Geoconference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Vol III, Albena, Bulgaria, 16–22 June 2014; Stef92 Technology Ltd.: Sofia, Bulgaria, 2014; pp. 651–658.
15. Kasmaeeyazdi, S.; Abdolmaleki, M.; Ibrahim, E.; Jiang, J.; Marzan, I.; Rodriguez, I.B. Copernicus Data to Boost Raw Material Source Management: Illustrations from the RawMatCop Programme. *Resour. Policy* **2021**, *74*, 102384. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102384>.
16. Brown, G.; Raymond, C.M. Methods for identifying land use conflict potential using participatory mapping. *Landsc. Urban Plan.* **2014**, *122*, 196–208.
17. Feranec, J.; Soukup, T.; Hazeu, G.; Jaffrain, G. *European Landscape Dynamics: CORINE Land Cover Data*; CRC Press, Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL, USA; London, UK; New York, NY, USA, 2016.
18. Puniach, E.; Bieda, A.; Ćwiakala, P.; Kwartnik-Pruc, A.; Parzych, P. Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Updating Farmland Cadastral Data in Areas Subject to Landslides. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2018**, *7*, 331.
19. Melchiorri, M.; Florczyk, A.J.; Freire, S.; Schiavina, M.; Pesaresi, M.; Kemper, T. Unveiling 25 Years of Planetary Urbanization with Remote Sensing: Perspectives from the Global Human Settlement Layer. *Remote Sens.* **2018**, *10*, 768.
20. Yaakub, N.F.; Masron, T.; Marzuki, A.; Soda, R. GIS-Based Spatial Correlation Analysis: Sustainable Development and Two Generations of Demographic Changes. *Sustainability* **2022**, *14*, 1490. <https://doi.org/10.3390/su14031490>.
21. Nelson, E.; Sander, H.; Hawthorne, P.; Conte, M.; Ennaanay, D.; Wolny, S.; Manson, S.; Polasky, S. Projecting Global Land-Use Change and Its Effect on Ecosystem Service Provision and Biodiversity with Simple Models. *PLoS ONE* **2010**, *5*, e14327. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014327>.
22. Juknelienė, D.; Kazanavičiūtė, V.; Valčiukienė, J.; Atkocevičienė, V.; Mozgeris, G. Spatiotemporal Patterns of Land-Use Changes in Lithuania. *Land* **2021**, *10*, 619. <https://doi.org/10.3390/land10060619>.
23. Longley, P.A.; Goodchild, M.F.; Maguire, D.J.; Rhind, D.W. *Geographic Information Science and Systems*, 4th ed.; Wiley: New York, NY, USA, 2015. Available online: <https://www.wiley.com/en-us/Geographic+Information+Science+and+Systems%2C+4th+Edition-p-9781119031307> (accessed on 17 October 2022).
24. Benz, U.C.; Hofmann, P.; Willhauck, G.; Lingenfelder, I.; Heynen, M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS J. Photogramm. Remote. Sens.* **2004**, *58*, 239–258.
25. Washaya, P.; Balz, T. Sar Coherence Change Detection of Urban Areas Affected by Disasters Using Sentinel-1 Imagery. *ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote. Sens. Spat. Inf. Sci.* **2018**, *XLII-3*, 1857–1861.
26. Benedetti, A.; Picchiani, M.; Del Frate, F. Sentinel-1 and Sentinel-2 Data Fusion for Urban Change Detection. In Proceedings of the IGARSS 2018—2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Valencia, Spain, 22–27 July 2018. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8517586>.
27. Fadigas, L. *Urbanismo e Território — As Políticas Públicas*; Edições Sílabo: Lisbon, Portugal, 2015.
28. Loures, L.; Panagopoulos, T.; Burley, J. Assessing user preferences on post-industrial redevelopment. *Environ. Plan. B Plan. Des.* **2016**, *43*, 871–892.
29. Weber, J.-L. Implementation of land and ecosystem accounts at the European Environment Agency. *Ecol. Econ.* **2007**, *61*, 695–707. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.05.023>.
30. Feranec, J.; Jaffrain, G.; Soukup, T.; Hazeu, G. Determining changes and flows in European landscapes 1990–2000 using CORINE land cover data. *Appl. Geogr.* **2010**, *30*, 19–35. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.07.003>.
31. Hazeu, G.; Büttner, G.; Arozarena, A.; Valcárcel, N.; Feranec, J.; Smith, G. Detailed CLC data: Member states with CLC level 4/level 5 and (semi-) automated solutions. In *European Landscape Dynamics CORINE Land Cover Data*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2016; pp. 275–304. <https://doi.org/10.1201/9781315372860-27>.
32. Büttner, G. CORINE land cover and land cover change products. In *Land Use and Land Cover Mapping in Europe*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2014; pp. 55–74. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7969-3>.

33. European Union. *Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 Establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)*; Published in the official Journal on the 25 April 2007; European Parliament and of the Council of the European Union: Brussels, Belgium, 2007.
34. Modugno, S.; Balzter, H.; Cole, B.; Borrelli, P. Mapping regional patterns of large forest fires in Wildland–Urban Interface areas in Europe. *J. Environ. Manag.* **2016**, *172*, 112–126. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.013>.
35. Pereira, M.G.; Aranha, J.; Amraoui, M. Land cover fire proneness in Europe. *For. Syst.* **2014**, *23*, 598–610. <https://doi.org/10.5424/fs/2014233-06115>.
36. Bishr, Y. Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* **1998**, *12*, 299–314. <https://doi.org/10.1080/136588198241806>.
37. Verburg, P.H.; van Berkel, D.B.; van Doorn, A.M.; van Eupen, M.; van den Heiligenberg, H.A.R.M. Trajectories of land use change in Europe: A model-based exploration of rural futures. *Landsc. Ecol.* **2010**, *25*, 217–232. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9347-7>.
38. van Vliet, J.; de Groot, H.L.F.; Rietveld, P.; Verburg, P.H. Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe. *Landsc. Urban Plan.* **2015**, *133*, 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.001>.
39. Levers, C.; Müller, D.; Erb, K.; Haberl, H.; Jepsen, M.R.; Metger, M.J.; Meyfroidt, P.; Plieninger, T.; Plutzer, C.; Stürck, J.; et al. Archetypical patterns and trajectories of land systems in Europe. *Reg. Environ. Chang.* **2015**, *18*, 715–732. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0907-x>.
40. Ustaoglu, E.; Williams, B. Determinants of urban expansion and agricultural land conversion in 25 EU countries. *Environ. Manag.* **2017**, *60*, 717–746. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0908-2>.
41. Food and Agricultural Organization. *The Agri-Environmental Statistics of the Food and Agriculture Organization of the United Nations*; United Nations: New York, NY, USA, 2014.
42. Martin, J. *The European Environment: State and Outlook 2010: Synthesis*; European Environment Agency: Copenhagen, Denmark, 2010.
43. Maul, G. Small islands. In *Schwart Encyclopedia of Coastal Science*; Maurice, L., Ed.; Springer: New York, NY, USA, 2005; pp. 883–887.
44. Heredia-R, M.; Torres, B.; Cabrera-Torres, F.; Torres, E.; Díaz-Ambrona, C.G.H.; Pappalardo, S.E. Land Use and Land Cover Changes in the Diversity and Life Zone for Uncontacted Indigenous People: Deforestation Hotspots in the Yasuní Biosphere Reserve, Ecuadorian Amazon. *Forests* **2021**, *12*, 1539. <https://doi.org/10.3390/f12111539>.
45. Akinyemi, F.O. Vegetation Trends, Drought Severity and Land Use–Land Cover Change during the Growing Season in Semi-Arid Contexts. *Remote Sens.* **2021**, *13*, 836. <https://doi.org/10.3390/rs13050836>.
46. Smith, P.; House, J.I.; Bustamante, M.; Sobocká, J.; Harper, R.; Pan, G.; West, P.C.; Clark, J.M.; Adhya, T.; Rumpel, C.; et al. Global Change Pressures on Soils from Land Use and Management. *Glob. Chang. Biol.* **2016**, *22*, 1008–1028. Available online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.13068> (accessed on 9 November 2022).
47. Amado, M. *Planeamento Urbano Sustentável*; Caleidoscópio: Lisboa, Portugal, 2009; ISBN 9789728801748. (In Portuguese)
48. Baptista, T.; Cabezas, J.; Fernandez, L.; Pinto-Gomes, C. IDE-OTALEX C. The first crossborder SDI between Portugal and Spain Background and development. *J. Earth Sci. Eng.* **2013**, *3*, 393.
49. Pinto-Correia, T.; Kristensen, L. Linking research to practice: The landscape as the basis for integrating social and ecological perspectives of the rural. *Landsc. Urban Plan.* **2013**, *120*, 248–256.
50. Castanho, R.A. Identifying Processes of Smart Planning, Governance and Management in European Border Cities. Learning from City-to-City Cooperation (C2C). *Sustainability* **2019**, *11*, 5476.
51. Castanho, R.A. The Relevance of Political Engagement and Transparency in Cross-Border Cooperation (CBC) Environments: Analyzing Border Cities in Europe. *Lex Localis J. Local Self-Gov.* **2020**, *18*, 487–502.
52. Couto, G.; Castanho, R.; Pimentel, P.; Carvalho, C.; Sousa, Á.; Santos, C. The Impacts of COVID-19 Crisis over the Tourism Expectations of the Azores Archipelago Residents. *Sustainability* **2020**, *12*, 7612.
53. Fernandes, M.J.P. Riscos no Concelho da Ribeira Brava: Movimentos de Vertente Cheias Rápidas e Inundações. Master’s Thesis, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2009.
54. Prada, S.; Gaspar, A.; Sequeira, M.M.; Nunes, A. Disponibilidades Hídricas na Ilha da Madeira. In *AQUAMAC—Técnicas e Métodos para a Gestão Sustentável da Água Na MACARONÉSIA*; Chapter: Disponibilidades Hídricas na Ilha da Madeira; Instituto Tecnológico de Canarias, Ed.; Instituto Tecnológico das Canarias, Cabildo de Lanzarote, Consejo Insular de Aguas de Lanzarote: Las Palmas, Spain, 2005; pp. 261–294.
55. CM-Ribeira Brava. Câmara Municipal da Ribeira Brava. 2022. Available online: <http://www.cm-ribeirabrava.pt/cmrb1/> (accessed on 30 November 2021).
56. European Environmental Agency (EEA). Corine Land Cover. 2021. Available online: <https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover> (accessed on 30 November 2021).

57. European Commission (EC). 2001. Available online: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/96743011-0b4f-11ea-8c1f-01aa75ed71a1> (accessed on 30 November 2021).
58. Copernicus. Corine Land Cover Nomenclature Guidelines. 2022. Available online: <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/html/index.html> (accessed on 4 March 2022).
59. Lousada, S.; Gonçalves, L.; Atmaca, A. *Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island—São Vicente. Water* **2022**, *14*, 112. <https://doi.org/10.3390/w14010112>.
60. Gonçalves, L.B.; Rodrigues, W.T.; Curitiba, A.S.; Torres, H.; Lousada, S.A.N. *Utilização de Bacias de Detenção Para Mitigação de Cheias em Áreas Urbanas, Espacios y Sociedades em Transfo, Rmación*, 1st ed.; Thomson Reuters Aranzadi: Pamplona, Spain, 2020; Volume 6, pp. 20–9221.
61. Gonçalves, L.B. *Análise Teórico-Prática do Risco de Cheias no Arquipélago da Madeira—Caso de Estudo dos Concelhos do Funchal, Machico, Ribeira Brava e São Vicente*. Master's Thesis, Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2020.
62. Correio da Manhã. 2012. Available online: <https://www.cmjornal.pt/portugal/detalhe/pj-detem-suspeito-de-atear-incendio-florestal-na-madeira> (accessed on 30 November 2021).
63. Sieber, I.M.; Hinsch, M.; Vergílio, M.H.; Gil, A.J.F.; Burkhard, B. Assessing the effects of different land-use/land-cover input datasets on modelling and mapping terrestrial ecosystem services: Case study Terceira Island (Azores, Portugal). *One Ecosyst.* **2021**, *6*, 1–26.
64. Freitas, H.F.B.F. *Evento Extremo da Ilha da Madeira 2010: Identificação e Análise das Áreas Afetadas por Deslizamentos de Vertentes na Região do Funchal*; Graduation's Final Test, Universidade Federal de Santa Catarina; 2018.
65. Bertrand, N.; Vanpeene-Bruhier, S. Periurban landscapes in mountain areas. At the crossroads of ecological and socio-economic studies. *J. Alp. Res.* **2007**, *95*, 69–80.
66. Gao, P.; Niu, X.; Wang, B.; Zheng, Y. Land use changes and its driving forces in hilly ecological restoration area based on gis and rs of northern China. *Sci. Rep.* **2015**, *5*, 11038.
67. Haller, A. The “sowing of concrete”: Peri-urban smallholder perceptions of rural–urban land change in the Central Peruvian Andes. *Land Use Policy* **2014**, *38*, 239–247.
68. Institute of Mechanical Engineering (IME). *Natural Disasters Saving Lives Today, Building Resilience for Tomorrow*; Institute of Mechanical Engineering: London, UK, 2013.
69. Castanho, R. *A Sustainable Urban Planning in Transboundary Areas: Analysis of Critical Factors for Territorial Success*. Ph.D. Thesis, University of Extremadura, Badajoz, Spain, 2017.
70. Arévalo, J.R.; Delgado, J.; Otto, R.; Naranjo-Cigala, A.; Salas Pascual, M.; Fernández-Palacios, J. Distribution of alien vs. native plant species in roadside communities along an altitudinal gradient in Tenerife and Gran Canari (Canary Islands). *Perspect. Plant Ecol.* **2005**, *7*, 185–202.
71. Vizzari, M.; Hilal, M.; Sigura, M.; Antognelli, S.; Joly, D. Urban-rural-natural gradient analysis with CORINE data: An application to the metropolitan France. *Landsc. Urban Plan.* **2018**, *171*, 18–29.
72. Zêzere, J.; Pereira, A.; Morgado, P. Perigos Naturais e Tecnológicos no Território de Portugal Continental. In *Apointamentos de Geografia*; Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa: Lisbon, Portugal, 2006.
73. Frias, A.; Cabral, J. Facility localization: Strategic decision on insular territory. *Asian J. Bus. Manag.* **2013**, *1*, 2321–2803.
74. Wirawan, B.; Tambunan, R. Challenges on Java's small city spatial planning. In *Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Bandung, Indonesia, 3–5 April 2018; Volume 158.
75. Edelman, D.; Gursoy, N. Regional development planning in Istanbul: Recent issues and challenges. *Curr. Urban Stud.* **2017**, *5*, 146–163.
76. Jurado Almonte, J.M.; Fernández Trisancho, A. *Experiencias En Turismo Accesible En Andalucía Y Portugal: Especial Atención Al Ámbito Alentejo-Algarve-Provincia De Huelva*; Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva: Huelva, Spain, 2016; Volume 182.
77. Cabrera, M.; Custodio, E. The Canary Islands. In *Water, Agriculture and the Environment in Spain: Can We Square the Circle?*; Di Stefano, L., Llamas, M.R., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2013; pp. 281–289.
78. da Costa, A.M.; de Salis, H.H.C.; Viana, J.H.M.; Leal Pacheco, F.A. Groundwater Recharge Potential for Sustainable Water Use in Urban Areas of the Jequitiba River Basin, Brazil. *Sustainability* **2019**, *11*, 2955.
79. Zimmermann, E.; Bracalenti, L.; Piacentini, R.; Inostroza, L. Urban flood risk reduction by increasing green areas for adaptation to climate change. *Procedia Eng.* **2016**, *161*, 2241–2246.
80. Santos, L.d.; Fortuna, J. Modelo de exigências para uso urbano do solo. Critérios urbanísticos e riscos naturais—Um exemplo em Coimbra. *Territorium* **2005**, *12*, 69–95.
81. Meneses, F.J. *O Urban Sprawl em Cidades Portuguesas de Média Dimensão—Análise da Década de 1991 a 2001*; Universidade Técnica de Lisboa: Lisboa, Portugal, 2010.
82. Hassan, M.M. Monitoring land use/land cover change, urban growth dynamics and landscape pattern analysis in five fastest urbanized cities in Bangladesh. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* **2017**, *7*, 69–83.

4.3. Article 3: Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island, São Vicente.

4.3. Artículo 3: Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, São Vicente.

Article

Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island – São Vicente

Sérgio Lousada ^{1,2,3,4,5,*}, Leonardo Gonçalves ¹ and Alper Atmaca ⁶

- ¹ Department of Civil Engineering and Geology (DECG), Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE), University of Madeira (UMa), 9000-082 Funchal, Portugal; leonardobazilio13@gmail.com (L.G.)
- ² CITUR—Madeira—Research Centre for Tourism Development and Innovation, 9000-082 Funchal, Madeira, Portugal; turismo@mail.uma.pt
- ³ VALORIZA—Research Centre for Endogenous Resource Valorization, Polytechnic Institute of Portalegre (IPP), 7300 Portalegre, Portugal; valoriza@ippportalegre.pt
- ⁴ Environmental Resources Analysis Research Group (ARAM), University of Extremadura, 06071 Badajoz, Spain
- ⁵ Institute of Research on Territorial Governance and Inter-Organizational Cooperation, 41-300 Dąbrowa Górnicza, Poland
- ⁶ Faculty of Engineering, Dumlupınar University, Kütahya 43820, Turkey; alperatmacaa@gmail.com
- * Correspondence: slousada@staff.uma.pt; Tel.: +351-963-611-712

Abstract: This study aims to examine the flood propensity of the main watercourse of São Vicente drainage basin and, if relevant, to propose two methodologies to alleviate the impacts, i.e., detention basin sizing and riverbed roughness coefficient adjustment. Geomorphological data were obtained from the watershed characterization process and used through the SIG ArcGIS software for the flood propensity assessment and then for the calculation of the expected peak flow rate for a return period of 100 years through the Gumbel Distribution. Subsequently, the drainage capacity of the river mouth was verified using the Manning-Strickler equation, in order to establish whether the river mouth of the watershed has the capacity to drain the entire volume of rainwater in a severe flood event. In summary, it was possible to conclude that São Vicente's watershed river mouth is not able to completely drain the rain flow for the established return period. Thus, its drainage capacity was guaranteed by modifying the walls and streambed roughness coefficient and by sizing the detention basin using the Dutch and the Simplified Triangular Hydrograph methods.

Keywords: floods; hydraulics; hydrology; roughness coefficient; territorial management; urban planning

1. Introduction

Global warming with its increasing variability leads to an increased risk of both floods and drought [1]. While increases in temperatures are in question for all seasons of the year, precipitation may decrease in one season while increasing in the other season. According to some strong findings, this variability in precipitation will increase even more in the future [2]. This, in turn, will lead to a discontinuity of precipitation throughout the year and, consequently, to an

increase in sudden and torrential rains. The most natural consequence of this situation is that floods occur in many basins. Floods, depending on the size of the flow in the surrounding area, affect settlements and agriculture by damaging their areas, lower and upper structures, facilities, and living things, and they interrupt human life and socio-economic activities. Sociological effects on humans from floods, psychological disorders, and the like, are also seriously affected. The source of water, in addition to determining the amount of water falling on the surface in terms of vegetation characteristics, influences the amount of water on the floor, underground infiltration of ground in terms of soil properties, plant and underground water leaking from the amount of the residual flow to the understanding of the causes of floods and geomorphology relationship is extremely important. There are also incorrect land uses and engineering structures on stream beds (urbanization, levees, embankments, dams, etc.) that assume important roles in the formation of floods.

As this erroneous and often uncontrolled urban sprawl expands to rural areas, there is obviously the need to put structural and non-structural measures into action to prevent or at least mitigate floods impact [3–5]. A long time ago, the guideline would be to redirect the stream flow, changing the watercourse's spatial disposition and subsequently its river mouth [5]. However, even though this principle is very effective in the upstream region, it worsens and increases flood risk downstream, therefore only benefiting half of the watercourse, population, and assets whilst risking the other half. This concept does not solve the geomorphological and hydrological problem of the watershed which are often assembled with anthropic pressure. Consequently, there is the need for highly-impact measures to further mitigate floods impact and not only redirect the problem from one area to another [4–7].

Taking all of this into consideration, this study aims to perform a hydrological analysis of the municipality of São Vicente, estimating its peak flowrate for a recurring period of 100 years, and establish a comparison with its watershed's river mouth drainage capacity. Based on the premise that the streams river mouth hydraulic features are insufficient to drain the expected peak flow rate, it was designed a detention basin to further control the downstream flowrate and avoiding the need to change the stream cross section. This structural measure was also chosen as it results in considerably reduced urban effects and can be complemented with small changes of the streambed and walls roughness coefficient, thus increasing the drainage capacity of the river mouth without affecting its cross section.

2. Materials and Methods

2.1. Area of Study

This study focuses on the São Vicente's watershed, being located on the northern side of Madeira Island between the latitudes of 32°47' N and the longitudes of 17°2' W [8,9]. This watershed is also integrated in the municipality of São Vicente and ends up supplying its own main watercourse, as illustrated in Figure 1.

Likewise, the island capital's watersheds—i.e., Funchal –, history has recurrently shown that São Vicente's basin suffers with major flooding events, like the ones that took place in 2010 and 2013, resulting in both civil and assets

catastrophic losses. São Vicente also suffers from anthropogenic pressure, much like any other urban municipality, particularly felt by a considerable soil sealing index as a result of an urban sprawl over a semi-rural area [10,11]. Furthermore, its main watershed river mouth is covered in abundant vegetation and a vast track of sediments, that considerably reduce the drainage capacity of this water channel, as shown in Figure 2.

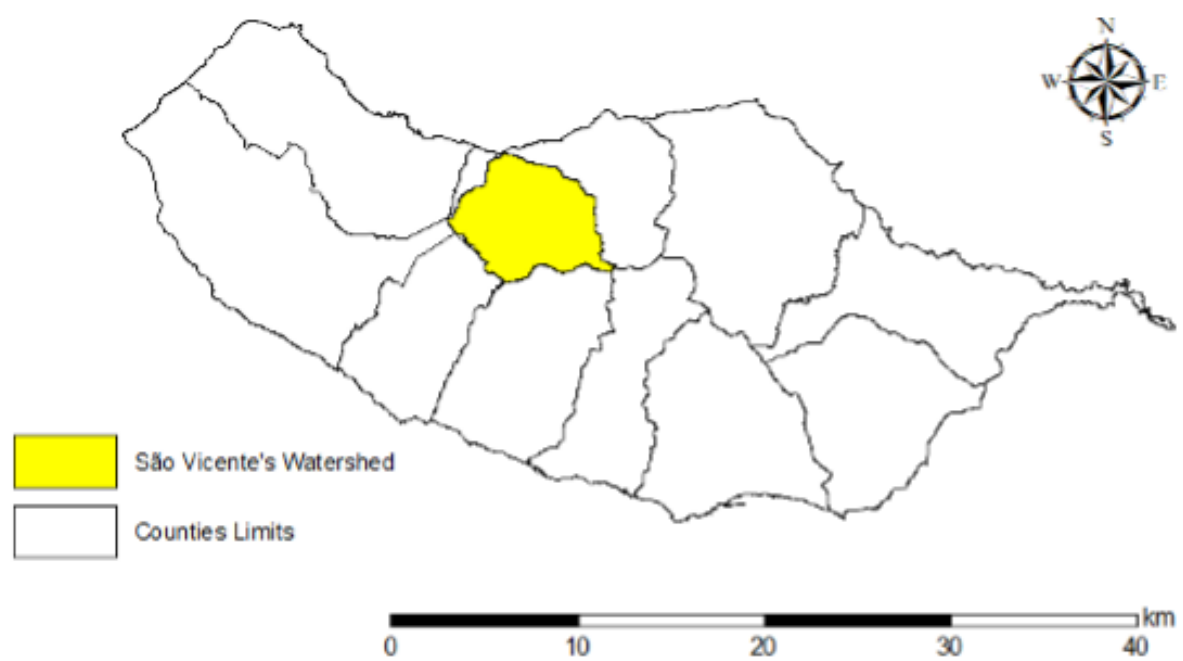


Figure 1. The São Vicente watershed. (Source: Authors by ESRI ArcGIS, 2020).



Figure 2. State of conservation of São Vicente main watercourse river mouth.

The state of conservation of the stream is virtually the same throughout its length within the urban perimeter, which can be clearly confirmed in situ. Abundant vegetation and sediments can be found along the watercourse, mostly due to the low slope of the streambed that reduces the flowrate's velocity and subsequently the ability to expel sediments through the watershed's river mouth.

2.2. Schematic of the Methodology

The methodology adopted can be summarized in 6 phases, as illustrated in Figure 3.

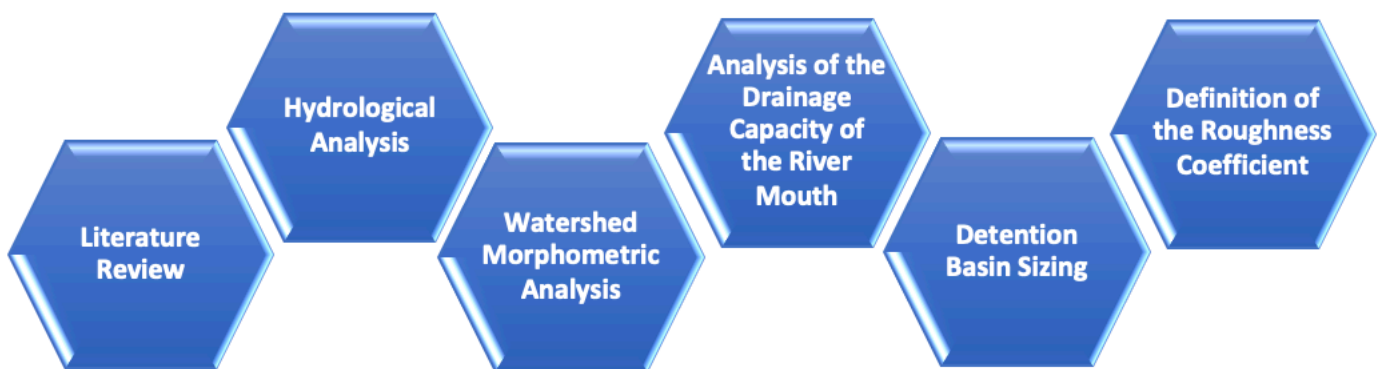


Figure 3. Organogram of the adopted methodology.

This case study followed a methodology with six major stages with the first being a deep literature review with the purpose of getting the much needed hydrological and morphometric analysis of São Vicente's watershed. To present a valid contribution for the study of flood-prone watercourses, different methodologies were also taken into consideration suggested by prestigious authors, thus ensuring the liability of this study's outcome. The following steps are further explained above.

2.3. Morphometric Characterization of the Watershed

The key parameters used for the morphometric characterization of a watershed are [4,5,12–17]:

- **Gravelius Index—K_C**: This parameter ratio between the perimeter of the watershed with a hypothetical circular watershed with the same area, telling how close to a circular shape the watershed is [13,16]. The Gravelius index can therefore be calculated using Equation (1), being a dimensionless parameter and characterizing the watershed as flood-prone the closer it is to 1 [16].

$$K_C = P/2 \times \sqrt{\pi \times A} \quad 1)$$

where:

P = Perimeter of the watershed, km;

A = Watershed area, km².

- **Elongation Factor—K_L**: The elongation factor determines the ratio between the watershed shape and a rectangle with the same area and can be calculated

using Equation (2). It is dimensionless and characterizes the watershed as elongated if the result is higher than 2 [16].

$$K_L = \frac{L_E}{l_E} = \frac{\frac{K_C \times \sqrt{A}}{1.128} \times \left| 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_C}\right)^2} \right|}{\frac{K_C \times \sqrt{A}}{1.128} \times \left| 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_C}\right)^2} \right|} \quad (2)$$

where:

L_E = Equivalent length, km;

l_E = Equivalent width, km;

K_C = Gravelius Index, dimensionless;

A = Watershed area, km².

- **Shape Factor— K_F :** The Shape Factor describes the ratio between the average width of the watershed with its length. It can be calculated using Equation (3) and is also dimensionless, indicating the basin's elongation degree. The higher is the Shape Factor, the less flood-prone the watershed is and more elongated.

$$K_F = A/L_B^2 \quad (3)$$

where:

A = Watershed area, km²;

L_B = Length of the watershed, km.

The watershed's length can be found measuring the distance between the farthest point to the watershed's river mouth. The watershed's length must not be confused with its main watercourse length, as the last is commonly bigger due to the stream's sinuosity. Using the MDE file provided by the Regional Civil Engineering Laboratory of the Autonomous Region of Madeira (LREC-RAM), it was possible to morphometrically characterize São Vicente's watershed and therefore its main watercourse. The morphometrical data gathered in this study was then processed using different author's methodologies with their very own specific restraints.

A morphometric analysis consists of establishing a hierarchy between the watershed's watercourses—i.e., Strahler or Shreve's hierarchies—according with their order or magnitude [17]. Both types of hierarchy can be conducted following a hydrological analysis of the DEM file, thus obtaining the "flow accumulation" and the "flow direction" rasters using the "flow order" tool [15]. Nevertheless, the Strahler's hierarchy is deeply associated to a given watershed's bifurcation ratio, with the many degrees of bifurcation being calculated using the Equation (4) [7,12,14–18].

$$R_B = \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad (4)$$

where:

N_i = Number of watercourses classified as "i"; dimensionless;

N_{i+1} = Number of watercourses classified as "i + 1", dimensionless.

This dimensionless coefficient is obtained by the ratio of the number of watercourses of a given order by the number of watercourses of the immediately

higher order. The average bifurcation value can be calculated based on Equation (5).

$$\overline{R_B} = \sqrt[i-1]{\prod_{i=1}^{i-1} \frac{N_i}{N_{i+1}}} = \sqrt[i-1]{N_1} \quad (5)$$

where:

N_i = Number of watercourses classified as “i”; dimensionless;

N_{i+1} = Number of watercourses classified as “i + 1”, dimensionless;

N_1 = Number of first-order watercourses.

The bifurcation ratio is also a dimensionless parameter as it merely represents an arithmetic mean of all bifurcation ratios. Moreover, the concentration time of a watershed reveals itself as a key-factor towards the good morphometric characterization of a watershed. It determines the required amount of time needed for all the watershed area contribute to the process of rainfall drainage until it finally crosses the river mouth [12,14,17,18].

Since the equations used to determine the concentration time of a watershed are empirical, each methodology presents different values for the same parameters, and therefore it is advised to use an arithmetic mean of them all, avoiding extremes. In this study, it was used to gather values from the Kirpich (Equation (6)), Témez (Equation (7)), and Giandotti (Equation (8)) methodologies [15].

$$t_c = 57 \times (L^3 / (H_{MAX} - H_{MIN}))^{0.385} \quad (6)$$

where:

t_c = Time of concentration, minutes;

L = Length of the main watercourse, km;

H_{MAX} = Maximum height of the main watercourse, m;

H_{MIN} = Minimum height of the main watercourse l, m.

$$t_c = \left(\frac{L}{i^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (7)$$

where:

t_c = Time of concentration, hours;

L = Length of the main watercourse, km;

i = Slope of the main watercourse, m/m.

$$t_c = \frac{(4 + \sqrt{A}) + (1.5 \times L)}{0.8 \times \sqrt{H_M}} \quad (8)$$

where:

t_c = Time of concentration, hours;

A = Watershed area, km²;

L = Length of the main watercourse, km;

H_M = Average height of the watershed, m.

2.4. Precipitation Analysis

The hydrological study is performed based on a probabilistic analysis of extreme high-intensity and short-duration events that took place in São Vicente’s watershed throughout history. This data was obtained using National Weather Resources Information System (SNIRH), which also publishes precipitation data

recorded automatically in many different stations through the island. Regarding the implemented probabilistic methodology, the Gumbel's Distribution was adopted as it seemed more appropriate to process the obtained data and meet Madeira Island's watersheds projections [19]. Hence, the maximum annual daily precipitation can be calculated using Equation (9).

$$P_{EST} = P_M + S' \times K_T \quad (9)$$

where:

P_{EST} = Estimated annual maximum daily precipitation, mm;

P_M = Average annual precipitation, mm;

S' = Sample standard deviation, mm;

K_T = Frequency Factor, dimensionless.

where:

$$S' = \left(\frac{\sum (X_i - X_M)^2}{n'} \right)^{0.5} \quad (10)$$

where:

X_i = Sample value, mm;

X_M = Sample mean, mm;

n' = Number of samples.

$$K_T = -\frac{6^{0.5}}{\pi} \times \left\{ 0.577216 + \ln \left(\ln \left(\frac{T_R}{T_R - 1} \right) \right) \right\} \quad (11)$$

where:

T_R = Return period, years.

After establishing the daily precipitation for an extreme phenomenon, the precipitation intensity with a particular duration can be obtained using Equation (12).

$$I = \frac{P_{EST} \times k}{t_c} \quad (12)$$

where:

I = Precipitation intensity, mm/h;

P_{EST} = Estimated annual maximum daily precipitation, mm;

t_c = Time of concentration, hours;

k = Time distribution coefficient, dimensionless.

where:

$$k = 0.181 \times \ln(t_c) + 0.4368 \quad (13)$$

where:

t_c = Time of concentration, hours.

The time distribution coefficient is a primary parameter since the annual maximum daily precipitation is only valid for events lasting 24 h. Thus, as the duration of precipitation is equal to the time of concentration of the watershed, using the total amount of daily precipitation in the hydrologic analysis would lead to oversized hydraulic structures [15,20]

2.5. Drainage Capacity of the River Mouth and Peak Flow Rate

A river mouth's drainage capacity can be calculated using the Manning-Strickler equation (Equation (14)) and compared to the expected flow for an extreme event with a return period of 100 years. On the other hand, the expected flow for these type of events can also be calculated using the commonly known and used Forti (Equation (16)); Rational (Equation (17)); Giandotti (Equation (18)); and Mockus' (Equation (19)). equations.

$$Q_M = \left(\frac{1}{n}\right) \times A_M \times R^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i} \quad (14)$$

where:

Q_M = Drainage capacity of the river mouth, m³/s.

A_M = Area of the river mouth cross-section, m²;

R = Hydraulic radius, m;

i = Average slope of the river mouth region, m/m;

n = Roughness coefficient of the riverbed and walls, m^{-1/3} s, Table A1.

where:

$$R = \frac{B + 2 \times h}{A_M} \quad (15)$$

where:

B = Width of the river mouth runoff section, m;

h = Height of the river mouth runoff section, m;

A_M = Area of the river mouth cross-section, m².

The width and height of the stream in the region of the mouth were obtained through previous studies in the region [15], and the first parameter was confirmed via the georeferencing process.

$$Q_{Forti} = A \times \left(b \times \frac{500}{125 + A}\right) + c \quad (16)$$

where:

Q_{Forti} = Peak flow rate by Forti, m³/s;

A = Watershed area, km²;

b = 2.35 for maximum daily precipitation below 200 mm and 3.25 for values above 200 mm;

c = 0.5 for maximum daily precipitation below 200 mm and 1 for values above 200 mm.

$$Q_{Rational} = \frac{C \times I \times A}{3.6} \quad (17)$$

where:

$Q_{Rational}$ = Peak flow rate by the rational methodology, m³/s;

C = Surface runoff coefficient, Table A2;

I = Precipitation intensity, mm/h;

A = Watershed area, km².

$$Q_{Giandotti} = \frac{\lambda \times A \times P_{MAX}}{t_C} \quad (18)$$

where:

$Q_{Giandotti}$ = Peak flow rate by Giandotti, m³/s;

λ = Reduction coefficient, Table A3;

A = Watershed area, km²;

P_{MAX} = Precipitation height for a duration equal to the concentration time, mm;
 t_c = Concentration time, hours.

$$Q_{Mockus} = \frac{2.08 \times A \times P_{EST} \times C}{\sqrt{t_c} + 0.6 \times t_c} \quad (19)$$

where:

Q_{Mockus} = Peak flow rate by Mockus, m³/s;

A = Watershed area, km²;

P_{EST} = Estimated precipitation, cm;

C = Surface runoff coefficient, Table A2;

t_c = Concentration time, hours.

One of the most important design criteria for hydraulic infrastructures is to determine a Fill Rate value lower than 85%, therefore considering a safety margin thus ensuring the safety of the population and their assets [15,21]. Additionally, to control the river mouth's flowrate, it is also required to implement runoff restraining mechanisms, namely spillways.

As mentioned before, the Fill Rate value can be calculated using Equation (20) and if the river mouth's runoff capacity proves to be insufficient to drain the rain flow of the given watershed and respect the proposed safety margin, then it must be designed a flood mitigation mechanism, such as a detention basin.

$$FR = \frac{Q_P}{Q_M} \times 100 \quad (20)$$

where:

FR = Fill Rate, %;

Q_P = Peak flow rate of each methodology, m³/s;

Q_M = Drainage capacity of the river mouth, m³/s.

The Fill Rate parameter refers to the ability of a drainage section to drain a particular flow. Therefore, if the Fill Rate value is greater than 100%, the section is no longer able to drain the total volume of water without overflowing [15].

2.6. Detention Basin Sizing

As stated before, if the river mouth cross section is insufficient to drain all the rain flow collected along the watershed, it must be designed some type of spillway to restrain the flowrate, keeping it under the downstream expected limit. In this study, it was adopted a Cipolletti type of spillway as this is a type has features that reduce turbulence regions of contact with the water, thus making it easier to drain all the stream's runoff [5,6,20]. The design of this type of spillways can be performed using the Equation (21).

Knowing the amount of flowrate that must be drained by the stream's river mouth, it is also possible to estimate the volume of water that needs to and will be retained by the detention basin. In this sense, two different methodologies were adopted, namely the Dutch Method (Equation (22)) and the Simplified Triangular Hydrograph (STH; Equation (23)).

$$Q_S = 1.86 \times L_{SD} \times H_D^{1.5} \quad (21)$$

where:

Q_S = Flow drained by spillway, m³/s;

L_{SD} = Width of the sill, m³/s;

H_D = Height of the waterline above the sill, m.

$$V_A = (Q_P - Q_S) \times t_c \times 3600 \tag{22}$$

$$V_A = \frac{(Q_P - Q_S) \times (2 \times t_c - 2 \times [Q_S / \{Q_P / t_c\}])}{2} \tag{23}$$

where:

V_A = Storage Volume, m^3 ;

Q_P = Peak flow rate of each methodology, m^3/s ;

Q_S = Flow drained by the spillway, m^3/s ;

t_c = Concentration time, hours.

Based on the STH geometric analysis (Figure A1), the Equation (23) was then formulated, considering an event with a duration of at least twice the concentration time of the given watershed. This, took into consideration that the last rain particle to reach the river mouth came from the farthest region and that it also would take place at the last instant of precipitation, indicating that it would need to be equal to the time of concentration to be considered as drained by the river mouth [15].

These methodologies were selected since the Dutch Method does not consider the delay and damping of the precipitation hydrograph, ultimately resulting in the overdesign of the infrastructure [22], as illustrated in Figure 4, where q_s : states for the runoff capacity of the spillway; t_c : meaning the concentration time; t_{MAX} : being the maximum precipitation duration (standard); t_d : being the time delay until the beginning of water accumulation in the detention basin; $H_{a,MAX}$: being the maximum storage capacity; and $i(t_{MAX})$: meaning the precipitation intensity for the maximum duration.

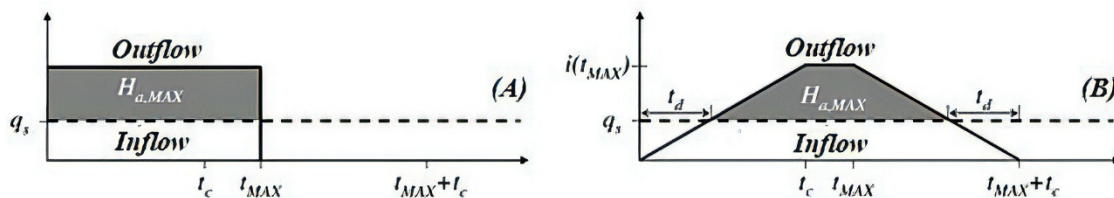


Figure 4. (A) Dutch method; (B) STH method (Source: [22]).

Thus, it was confirmed that, in the Dutch Method, storage begins at the same time with precipitation, which does not correspond to reality as storage will only begin when the flow drained downstream is greater than the spillway’s runoff capacity.

2.7. Modification of the Roughness Coefficient

Another structural measure that was taken into consideration was the modification of the roughness coefficient of the walls and streambed of the main watercourse, as this would avoid friction between the water and the channel, therefore increasing its drainage capacity. This methodology is based on changing the value of the parameter “n” in the Manning–Strickler equation to improve the flowrate of a given watercourse by considering another type of material or at least its conservation status for its walls and streambed [15].

3. Results

The results shown here correspond to the data obtained by applying the formulas already described. Thus, to evaluate the morphometric features of the main watercourse of São Vicente, an individual analysis of each parameter listed in Table 1 was conducted, correlating them with reference values proposed in various bibliographies.

Table 1. Parameters calculated or extracted from ArcGIS.

Parameter	Unit of Measurement	Value
Area	km ²	38.262
Perimeter	km	37.790
Length of Main Watercourse	km	10.813
Maximum Height of Main Watercourse	m	1556.270
Minimum Height of Main Watercourse	m	0.000
Average Concentration Time	hours	1.799
Gravelius Coefficient of Compactness	dimensionless	1.723
Elongation Factor	dimensionless	7.198
Shape Factor	dimensionless	0.513
Number of Watercourses	units	2020.000
Average Bifurcation Ratio	dimensionless	4.492
Strahler Classification	dimensionless	6.000

The first parameter refers to the watershed's area, a key-factor for the volume of water that needs to be drained through the river mouth. It can be classified as: Very Large > 20 km²; Large > 10 km²; Medium > 1 km² and Small < 1 km² [23]. This way, as illustrated in Table 1, the considered watershed can be classified as "Very Large", and more flood prone compared to smaller watersheds. Nevertheless, the standard values are arbitrary and may vary according to the analysis conducted throughout the study [23] and with the flood-prone character of the basin.

As shown in Figure 5, the São Vicente watershed's borders are considerably higher than the central area, indicating a steep slope and subsequently a very fast supply of the main watercourse, thus increasing the volume of water flowing through the stream that will end in its river mouth.

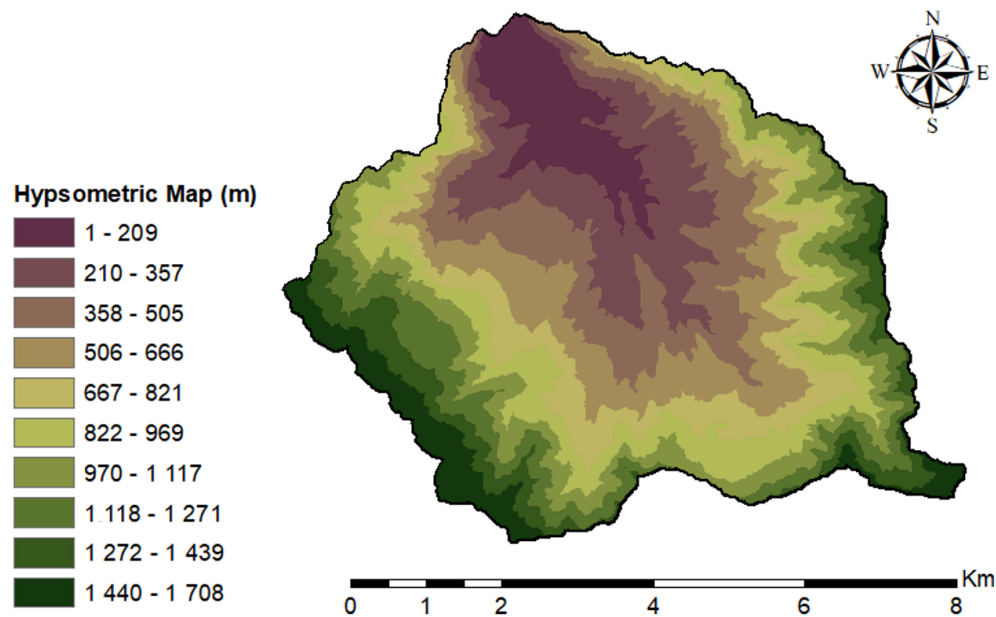


Figure 5. Hypsometric map—DEM file (Source: Authors by ESRI ArcGIS, 2020).

Regarding this watershed's singularities, Figure 6 shows a higher number of streams which also suggests that it has a higher drainage capacity—there are many low and medium order tributary streams that supply the main watercourse. In addition, the drainage system is an index that translates to the hydrographic tendency that a watershed has to create new streams. Thus, basins with higher hydric densities tend to present more tributary streams, this happening as a consequence of the ability to generate new streams [15,17].

Once again, this analysis was only possible thanks to the data available on the National Information System on Water Resources (SNIRH) [24], assessing data samples from a considered period of sixteen years as shown in Table A4 and Figure A2. Therefore, using the Gumbel Distribution's probabilistic process, it was possible to obtain the values shown in Table 2.

After obtaining the precipitation intensity index estimated for a return period of 100 years, it was calculated peak flowrates, as presented in Table 3, using the aforementioned methodologies and equations. The surface runoff coefficient particularly used in the rational methodology was 0.500 (Table 4) since the area under study is a peripheral region with commercial buildings. This value translates essentially to the ratio of water that tends to run on the stream's surface, i.e., 50% of the total precipitation.

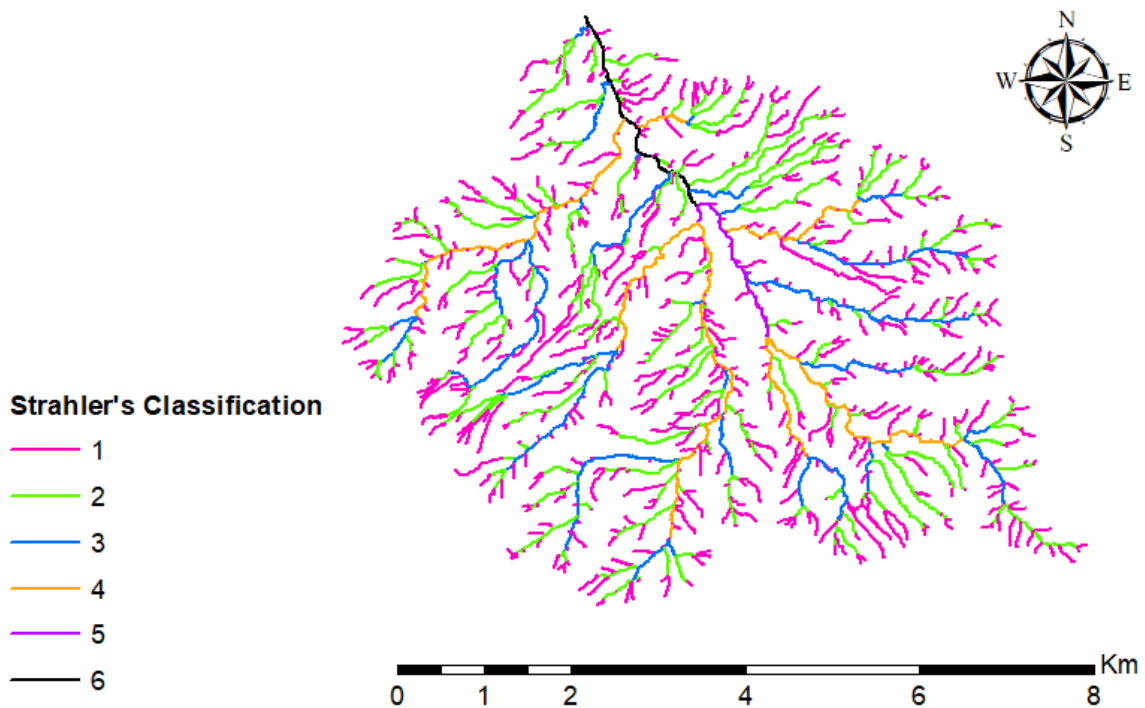


Figure 6. Strahler classification (Source: Authors by ESRI ArcGIS, 2020).

Table 2. Precipitation parameters.

Parameter	Symbol	Unit of Measurement	Value
Average Annual Precipitation	P_M	mm	164.443
Standard Deviation	S'	mm	64.424
Frequency Factor	K_T	dimensionless	3.136
Time Distribution Coefficient	k	dimensionless	0.543
Annual Maximum Daily Precipitation	P_{EST}	mm	366.521
Precipitation Intensity	I	mm/h	110.646

Table 3. Peak flow rate.

Methodology	Flow (m ³ /s)
Forti	419.096
Rational	594.284
Giandotti	822.796
Mockus	602.432

Table 4. Surface drainage coefficient adopted (Source: [25]).

Urban Areas		
Land Occupation	Surface Drainage Coefficient	
Commercial Area	City Center	0.700–0.950
	Peripheral Areas	0.500–0.700

The value of the reduction coefficient (λ) used in the calculation of the flow through Giandotti’s methodology is presented in Table 5.

Table 5. Adopted Giandotti’s reduction coefficient (Source: [26]).

Area (km ²)	λ	Equivalent “C”
<300	0.346	1.250

Regarding the drainage capacity of the considered watershed’s river mouth, the Manning–Strickler equation ultimately confirmed the need to further implement a structural flood mitigation measure like the detention basin, where the values obtained are summarized in Table 6. It must also be noted that the walls and the streambed have different roughness coefficients. Consequently, the drainage capacity of the river mouth was calculated through the weighted arithmetic mean of the corresponding coefficients, considering that the stone and mortar walls are in good condition ($n = 0.020$) and the streambed is made of a rocky surface with abundant vegetation in poor condition ($n = 0.040$). Another key-factor that must be taken into consideration is the very low slope of the river mouth, tending to reduce the flowrate velocity and consequently the drainage capacity of the cross section. To simulate and model a critical situation, it was then considered a slope of 0.01 m/m in the reference section.

Table 6. Assessment of the need for detention basin implementation.

Parameter	Unit of Measurement	Value
Width of the River Mouth	m	40.000
Height of the River Mouth	m	3.000
Drainage Capacity of the River Mouth	m ³ /s	608.172
Fill Rate—Forti (pre-regularization)	%	69
Fill Rate—Rational (pre-regularization)	%	98
Fill Rate—Giandotti (pre-regularization)	%	135
Fill Rate—Mockus (pre-regularization)	%	99

As presented in Table 6, the Fill Rate is higher than the established limit of 69% for the Rational, Giandotti, and Mockus methods, yet again clearly indicating the need to implement mitigation and flowrate control measures for the river mouth section. Considering this, it was designed a detention basin with the flowrates calculated of the methodologies, affected by the spatial restrains and the anthropogenic pressures of an urban area, namely the already existing infrastructures nearby the watercourse.

Since the design of detention basins depend on the exceeding limits of the flowrate for the watershed’s river mouth, a Cipolletti’s trapezoid spillway was also designed to restrain and control the flowrate that will end downstream. This type of spillway’s features can be found in Table 7.

Table 7. Application of the Cipolletti spillway.

Parameter	Unit of Measurement	Value
Width of the Spillway	m	38.500
Height of the Spillway Sill	m	3.000
Spillway Outflow	m ³ /s	372.096
Fill Rate—Rational (post-regularization)	%	61
Fill Rate—Giandotti (post-regularization)	%	61
Fill Rate—Mockus (post-regularization)	%	61

Afterwards, the detention basins were also designed through the Dutch and the STH Methods, which are merely simplified methodologies that do not take into consideration many key-factors and consequently result in the overdesign of the hydraulic infrastructure. Also, the width and height of the detention basin cross section were both fixed with same values of the existing one to reduce this measure’s environmental impacts on an urban area. Thereupon, the only geometric parameter that may vary was its length, being limited to the main watercourse length.

Using all the methodologies and both methods made possible to present the following length values in Table 8.

Table 8. Detention basin sizing.

Parameter	Unit of Measurement	Value
Width	m	40.000
Height	m	3.000
Length—Dutch Method (Rational)	m	11,991.486
Length—STH Method (Rational)	m	4483.318
Length—Dutch Method (Giandotti)	m	24,324.279
Length—STH Method (Giandotti)	m	13,324.023
Length—Dutch Method (Mockus)	m	12,431.234
Length—STH Method (Mockus)	m	4753.002

Finally, changing the roughness coefficient of the streambed and walls was also considered as an alternative flood mitigation structural measure towards preventing its impacts whilst maintaining the same amount and features of the streambed vegetation. This way, Table 9 values were particularly chosen to clearly improve the conservation status of the streambed, thus reducing friction between the drained water and the material covering the watercourse, subsequently increasing its drainage capacity.

Table 9. Modification of the roughness coefficient.

Parameter	Unit of Measurement	Value
Wall Roughness Coefficient—Modified	m ^{-1/3}	0.012
Riverbed Roughness Coefficient—Modified	m ^{-1/3}	0.030
Drainage Capacity of the River Mouth—Modified	m ³ /s	822.371
Fill Rate—Rational (post-modification)	%	72
Fill Rate—Giandotti (post-modification)	%	100
Fill Rate—Mockus (post-modification)	%	73

At last, the modified roughness coefficients of the stream walls were considered to have its surface covered in concrete in a good condition status, although the streambed would remain with the same rocky and abundant vegetation features, nevertheless in good condition. The values used for these coefficients are summed in Table 10.

Table 10. Adopted roughness coefficient (Source: [26]).

Channel Typology	Very Good	Good	Regular	Bad
Channel with stony and vegetated slope	0.025	0.030	0.035	0.040
Surface with concrete finishing	0.011	0.012	0.013	0.015

4. Discussion

As this study’s main goal was to check if it was needed to put into action flood mitigation measures to further prevent major impacts in São Vicente’s watershed, the use of a detention basin revealed itself as valid and useful structural measure towards controlling its river mouth’s flowrate [27]. At first, the Fill Rate was 98%, 135%, and 99%, respectively for Rational, Giandotti, and Mocku’s methodologies, which ultimately decreased to only 61% after adopting the detention basin measure. This structural measure’s outcome is clear evidence that it may enable the river mouth to work below 85% of its full capacity. Moreover, this proves the accuracy of the Regional Directorate for Territorial Management and Environment (DROTA) prediction, as presented in Table 11.

Table 11. Watersheds with high flood risk. (Source: [28]).

Municipality	Watershed
São Vicente	São Vicente

This study aimed to cause the least possible impact over the considered watercourse and its surroundings since it is believed that the presence of natural elements in cities present itself and act as a vital condition for the environmental recovery of the urban territory [29]. Additionally, a nature and urban systems symbiosis is typically found as a key-factor or goal to further achieve a territory or city’s sustainability [30,31]. Nevertheless, uncontrolled urban sprawl is something that can take place especially in rural areas, thus creating urban voids [32].

As it was not made any change to the stream’s cross section, namely its height and width, the only variable parameter was its length. It was based on this concept that the Dutch Method presented an abnormal oversize of the detention basin’s length when compared to the watershed’s main course’s length. Therefore, according to this method it would be needed to change one or both cross section dimensions and so it cannot be considered valid for the aforementioned urban design settings.

The exact same conditions were imposed for the STH method, with it showing a different and this time valid approach since the detention basin’s length was shorter than the watershed’s main watercourse length.

As for the change of the stream bed and walls roughness coefficient, it was decided to remain with the abundant vegetation and sediments along the watercourse but improving its conservation status by performing a correct

maintenance as this would outcome in a cheaper process with less wasting of time and resources. Also, there's no need to perform maintenance on the stream walls frequently, since the mechanical abrasion only happens in alluvial events that tend to result in the drainage of higher volumes of water and large sediments.

Despite being a relatively simple structural measure, the change of the roughness coefficient of this stream, resulted in a significant way, enabling its river mouth to work below the Fill Rate limit, that itself, emphasizing that both methodologies—i.e., the STH method and the changing of the stream's roughness coefficient—can be implemented together, to optimize and reduce the required detention basin's length. As a final remark, it should be noted that the methodologies were simplified and therefore do not consider local peculiarities. Thus, this may result in oversized hydraulic infrastructures because of conservative considerations and inputs.

5. Conclusions

This study revealed how flood-prone São Vicente's watershed is in the event of extreme rainfall occurrence, as it was already predicted by DROTA's own Flood Risk Report. The watershed's drainage capacity is highly decreased by the presence of abundant vegetation and a huge number of sediments throughout the watercourse, resulting in a lower flowrate in an already low-slope stream and river mouth. The insufficient drainage capacity of the river mouth was verified through 3 of 4 methodologies used in this study namely: Rational, Giandotti, and Mocku's.

Regarding the two methods used during this study, the Dutch Method did not present coherent results as it indicates the need for very long detention basins in relation to the watershed's main watercourse. On the other hand, the Simplified Hydrograph Method presented not only satisfactory results but also to be easier to implement as there is no need for change either the stream's height or width.

Even though changing the watershed's streambed and walls roughness coefficient may seem a relatively simple and unworthy measure to consider, it surely proved to mitigate the flood's impact, fulfilling its main goal by preserving infrastructures and people's assets.

Afterall, this study leaves a clear open-door to others that may complement its contents and methodologies by optimizing its techniques. To improve the often-complex urban hydraulic system and demand, it is also expected that new studies take notice of the need to reduce sediment deposition as it seems to make a huge long-term impact over the watercourse's drainage capacity and ultimately to prevent a major flood impact [33]. On the other hand, mechanical abrasion of this stream's walls and the amount of time that often takes to local public authorities to perform any type of maintenance have been two strong reasons for how degraded the main course tributaries are and subsequently by the lower water quality discharged [34,35] and therefore also need to be studied and improved. Furthermore, the urban growth ratio projected for the municipality of São Vicente and how it may impact soil waterproofing and ultimately surface run-off should be a top concern and studied, complementing this work's outcome.

Generally, this study enhances the methodologies and techniques used in similar case studies as valid and appropriate towards scientific development based on flood scenarios modelling and simulations [36,37].

Author Contributions: For research articles with several authors, the following statements should be used "Conceptualization, S.L., L.G. and A.A.; methodology, S.L.; software, S.L. and L.G.; validation, S.L. and L.G.; formal analysis, S.L. and L.G.; investigation, S.L.;

resources, L.G.; data curation, S.L. and L.G.; writing—original draft preparation, S.L.; writing—review and editing, S.L., L.G. and A.A.; visualization, S.L. and L.G.; supervision, S.L. and L.G.; project administration, S.L. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.”

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: The data presented in this study are openly available. Also, it is possible to contact one of the study authors.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Appendix A

Table A1. Manning–Strickler roughness coefficients (Source: [26]).

Type of Channel and Description	Very Good	Good	Regular	Bad
Mortared stone masonry	0.017	0.020	0.025	0.030
Rigged stone masonry	0.013	0.014	0.015	0.017
Dry stone masonry	0.025	0.033	0.033	0.035
Brick masonry	0.012	0.013	0.015	0.017
Smooth metal gutters (semicircular)	0.011	0.012	0.013	0.016
Open channels in rock (irregular)	0.035	0.040	0.045	-
Channels with bottom on land and slope with stones	0.028	0.030	0.033	0.035
Channels with stony bed and vegetated slope	0.025	0.030	0.035	0.040
Channels with concrete coating	0.012	0.014	0.016	0.018
Earth channels (rectilinear and uniform)	0.017	0.020	0.023	0.025
Dredged canals	0.025	0.028	0.030	0.033
Clay conduits (drainage)	0.011	0.012	0.014	0.017
Vitrified clay conduits (sewage)	0.011	0.013	0.015	0.017
Flattened wooden plank conduits	0.010	0.012	0.013	0.014
Gabion	0.022	0.030	0.035	-
Cement mortar surfaces	0.011	0.012	0.013	0.015
Smoothed cement surfaces	0.010	0.011	0.012	0.013
Cast iron coated tube with tar	0.011	0.012	0.013	-
Uncoated cast iron pipe	0.012	0.013	0.014	0.015
Brass or glass tubes	0.009	0.010	0.012	0.013
Concrete pipes	0.012	0.013	0.015	0.016
Galvanized iron pipes	0.013	0.014	0.015	0.017
Rectilinear and uniform clean streams and rivers	0.025	0.028	0.030	0.033
Streams and rivers cleared rectilinear and uniform with stones and vegetation	0.030	0.033	0.035	0.040
Streams and rivers cleared rectilinear and uniform with intricacies and wells	0.035	0.040	0.045	0.050
Spread margins with little vegetation	0.050	0.060	0.070	0.080
Spread margins with lots of vegetation	0.075	0.100	0.125	0.150

Table A2. Surface runoff coefficients (Source: [25]).

Urban Areas		
Land Occupation		Surface Runoff Coefficient
Green Areas	Lawns in sandy soils	0.050–0.200
	Lawns on heavy soils	0.150–0.350
	Parks and cemeteries	0.100–0.350
	Sports fields	0.200–0.350
Commercial Areas	City district	0.700–0.950
	Periphery	0.500–0.700
Residential Areas	Town-center villas	0.300–0.500
	Villas on the outskirts	0.250–0.400
	Apartment buildings	0.500–0.700
Industrial Areas	Dispersed industry	0.500–0.800
	Concentrated industry	0.600–0.900
	Railways	0.200–0.400
Streets and Roads	Paved	0.700–0.900
	Concrete	0.800–0.950
	In brick	0.700–0.850

Table A3. Giandotti reduction coefficients (Source: [26]).

A (km²)	λ	"C" Equivalent
<300	0.346	1.250
300–500	0.277	1.000
500–1000	0.197	0.710
1000–8000	0.100	0.360
8000–20,000	0.076	0.270
20,000–70,000	0.055	0.200

Table A4. Precipitation historical data (Source: [24]).

n	Year	(mm)
1	1998/1999	170.000
2	1999/2000	180.700
3	2000/2001	135.000
4	2001/2002	190.000
5	2002/2003	195.400
6	2003/2004	141.000
7	2004/2005	103.200
8	2005/2006	91.400
9	2006/2007	141.400
10	2007/2008	104.600
11	2008/2009	155.000
12	2009/2010	257.800
13	2010/2011	148.400
14	2011/2012	288.600
15	2012/2013	267.400
16	2013/2014	61.200

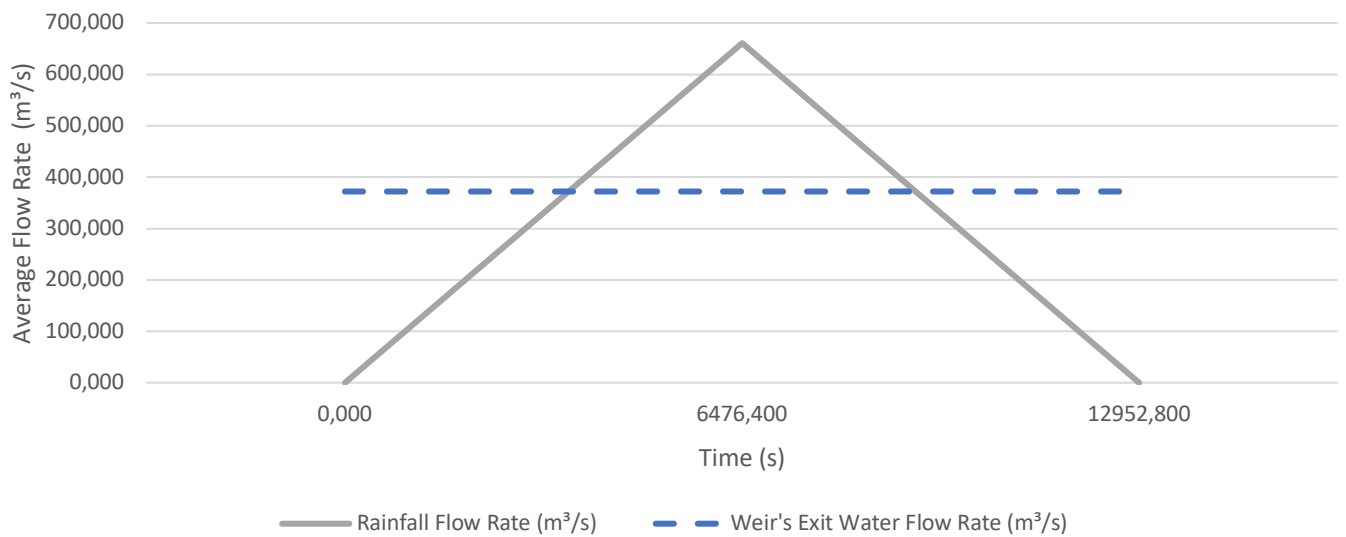


Figure A1. Ternary phase diagram.

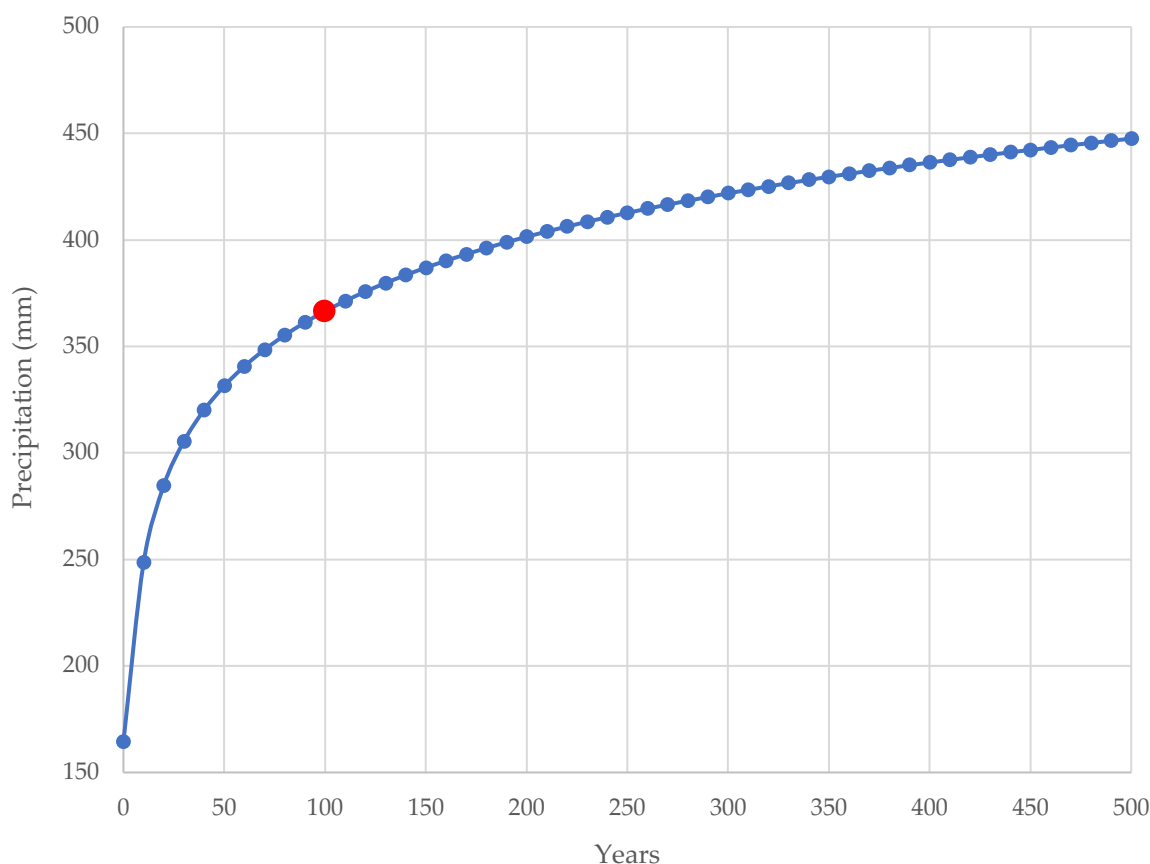


Figure A2. Expected rainfall for São Vicente's watershed.

References

1. Wetherald, R.T.; Manabe, S. IPCC, Climate Change: Genève, Switzerland, 2007.
2. Trenberth, K.E.; Dai, A.; Rasmussen, R.M.; Parsons, D.B. *The Changing Character of Precipitation*; American Meteorological Society: Boston, MA, USA, 2003.
3. Barichivichi, J.; Gloor, E.; Peylin, P.; Brienen, R.; Schöngart, J.; Espinoza, J.; Pattnayak, K. Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation. *Sci. Adv.* **2018**, *4*, 8785.
4. Gonçalves, L.B.; Lousada, S.A.N. *Análise Probabilística de Cheias e o Uso de Bacias de Detenção como Medida Mitigadora: Aplicação à Bacia de Santa Luzia*; Revista Científica Monfragüe Desarrollo Resiliente: Extremadura, Spain, 2020; Volume 13, ISSN 2340-5457.
5. Gonçalves, L.B.; Rodrigues, W.T.; Curitiba, A.S.; Torres, H.; Lousada, S.A.N. *Utilização de Bacias de Detenção Para Mitigação de Cheias em Áreas Urbanas, Espacios y Sociedades em Transfo, Rmación*, 1st ed.; Thomson Reuters Aranzadi: Pamplona, Spain, 2020; Volume 6, pp. 20-9221.
6. Gonçalves, L.B.; Lousada, S.A.N.; Lis, M. A Utilização da Bacia de Detenção Para o Controlo e Regularização de Caudais a Jusante, sua Sustentabilidade. In *Espacios y Sociedades em Transformación*, 1st ed.; Thomson Reuters Aranzadi: Pamplona, Spain, 2020; Volume 6, pp. 505–518.
7. Tucci, C.E.M.; Porto, R.L.; Barros, M.T. *Drenagem Urbana*; Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS): Rio Grande do Sul, Brazil, 1995; 414p.
8. Fernandes, M.J.P. Riscos no Concelho da Ribeira Brava: Movimentos de Vertente Cheias Rápidas e Inundações. Master's Thesis, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2009.
9. Prada, S.; Gaspar, A.; Sequeira, M.M.; Nunes, A. Disponibilidades Hídricas na Ilha da Madeira. In *AQUAMAC—Técnicas e Métodos Para a Gestão Sustentável da Água na Macaronésia, Disponibilidades Hídricas na Ilha da Madeira*; Instituto Tecnológico de Canarias, Ed.; Instituto Tecnológico das Canarias, Cabildo de Lanzarote, Consejo Insular de Aguas de Lanzarote, Santa Cruz de Tenerife, Canary Islands, Spain, 2005; pp. 261–294.

10. Moura, A.; Silva, A.; Gonçalves, L.; Lousada, S. *Numerical Modelling of the Flow rate in Artificial Water Channels: Application to Ribeira Brava's Stream*; Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento; UFPR, Paraná, Brazil, 2020; Volume 9, pp. 39-59.
11. Silva, A.R.F.; Lousada, S.A.N.; Moura, A.D. S.; Gonçalves, L.B. *Modelação Numérica do Escoamento em Canais Artificiais: Aplicação à Ribeira da Ribeira Brava*; Revista Científica Monfragüe Desarrollo Resiliente: Extremadura, Spain, 2020; Volume 13, ISSN 234-5457.
12. Tucci, C.E.M. *Controle de Enchentes. Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 2nd ed.; Editora da Universidade UFRGS: Rio Grande do Sul, Brazil, 1993.
13. Lousada, S.A.N.; Gonçalves, L. B.; Velarde, J.G. *Controlo e Regularização de Caudais Excedentes por Meio de Bacia de Detenção: Simulação Para Bacia Hidrográfica de João Gomes, Funchal*, 1st ed.; Espacios y Sociedades em Transformación; Thomson Reuters Aranzadi: Pamplona, Spain, 2020, Volume 6, pp. 47–60.
14. Chow, V.T. *Applied Hydrology, McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering*; Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., Eds.; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1988; ISBN 0 07-010810-2.
15. Gonçalves, L.B. *Análise Teórico-prática do Risco de Cheias no Arquipélago da Madeira—Caso de Estudo dos Concelhos do Funchal, Machico, Ribeira Brava e São Vicente*. Master's Thesis, Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2020.
16. Lousada, S.A.N.; Camacho, R. *Hidrologia, Recursos Hídricos e Ambiente-Aulas Teóricas*; Universidade da Madeira, Funchal, Madeira, Portugal, 2018; 230p, ISBN 978-989-8805-33-1.
17. Christofolletti, A. *Geomorfologia*; Edgard Blücher: São Paulo, Brazil, 1980.
18. Strahler, A.N. *Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks, Section 4–II*; Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., Eds.; Applied Hydrology, McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1988.
19. Camacho, R.F. *Caracterização, Simulação (à escala) e Modelação do Escoamento em Canais Artificiais. Aplicação a caso de Estudo*. Master's Thesis, Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2015.
20. Vieira, I.L.S.; Barreto, V.; Figueira, C.; Lousada, S.; Prada, S. The use of detention basins to reduce flash flood hazard in small and step volcanic watersheds—a simulation from Madeira Island. *J. Flood Risk Manag.* **2016**, *15*, 931, doi:10.1111/jfr3.12285.
21. Porto, R.L.; Filho, K.Z.; Tucci, C.E. M.; Bidone, F. *Drenagem Urbana, Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 2nd ed.; Editora da Universidade UFRGS: Rio Grande do Sul, Brazil, 1993.
22. David, L.M.; Carvalho, R.F. *Bacias de Retenção para Controlo de Cheias: Reflexão Sobre os Métodos de Dimensionamento*; Encontro Nacional de Saneamento Básico, UBI: Beira Interior, Portugal, 2008.
23. Beck, H.E.; Bruijnzeel, L.A.; Van Dijk, A.I.J.M.; McVicar, T.R.; Scatena, F. N.; Schellekens, J. The impact of forest regeneration on streamflow in 12 mesoscale humid tropical catchments. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2013**, *17*, 2613–2635, doi:10.5194/hess-17-2613-2013.
24. SNIRH. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. 2021. Available online: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1&objCover=920123704&objSite=920685506> (accessed on 20 June 2021).
25. Chow, V. *Handbook of Applied Hydrology*; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1964.
26. Gonçalves, J. *Caracterização do Coeficiente de Rugosidade e seu Efeito no Escoamento em Canais Naturais. Simulação e Modelação (à escala) no Laboratório de Hidráulica. Aplicação às Ribeiras do Funchal*. Master's Thesis, Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2016.
27. Lousada, S.; Castanho, R.A. GIS-based Assessment of Morphological and Hydrological Parameters of Ribeira dos Socorridos and Ribeira do Vigário Basins, Madeira Island, Portugal. *Curr. World Environ.* **2021**, *16*, 2.
28. DROTA. *Identificação das Zonas Críticas a Cartografar Considerando os Impactos da Ocorrência de Inundações (Com Risco Potencial Significativo)*; Direção Regional de Ordenamento do Território e Ambiente: Funchal, Madeira, Portugal, 2017.
29. Castanho, R.A.C.; Fernández, J.C.; Loures, L.; Pozo, L.F. *Evolución del Procedimiento de Planeamiento Urbano en la Península Ibérica y sus Huellas en el Paisaje Urbano, Retos de Futuro*; Revista Científica Monfragüe Desarrollo Resiliente: Extremadura, Spain, 2017; Volumen 8, ISSN 2340-5457.
30. Fadigas, L. *Urbanismo e Território-As Políticas Públicas*; Editorial Estampa: Lisboa, Portugal, 2015.
31. Loures, L. *Planning and Design in Post-industrial Landscapes: East Bank Arade River–Lagoa, Case Study*. Ph.D. Thesis, University of Algarve, Faro, Portugal, 2011.
32. Castanho, R.; Lousada, S.; Gómez, J.M.N.; Escorcio, P.; Cabezas, J.; Pozo-Fernández, L.; Loures, L. *Dynamics of the Land Use Changes and the Associated Barriers and Opportunities for Sustainable Development on Peripheral and Insular Territories: The Madeira Island (Portugal)*; Intechopen: London, UK, 2019, doi:10.5772/intechopen.80827.
33. Yu, B.Y.; Wu, P.; Sui, J.; Ni, J.; Whitcombe, T. Variation of Runoff and Sediment Transport in the Huai River—A Case Study. *J. Environ. Inform.* **2020**, *35*, 138–147.

34. Shrestha, N.K.; Wang, J. Water Quality Management of a Cold Climate Region Watershed in Changing Climate. *J. Environ. Inform.* **2020**, *35*, 56–80.
35. Li, Z.; Li, J.J.; Shi, X.P. A Two-Stage Multisite and Multivariate Weather Generator. *J. Environ. Inform.* **2020**, *35*, 148–159.
36. Vargues, P.; Loures, L. Using Geographic Information Systems in Visual and Aesthetic Analysis: The case study of a golf course in Algarve. *WSEAS Trans. Environ. Dev.* **2008**, *4*, 774–783.
37. Nunes, J.R.; Ramos-Miras, J.; Lopez-Pineiro, A.; Loures, L.; Gil, C.; Coelho, J.; Loures, A. Concentrations of available heavy metals in Mediterranean agricultural soils and their relation with some soil selected properties: A case study in typical Mediterranean soils. *Sustainability* **2014**, *6*, 9124–9138.

CAPÍTULO 5. EXPOSICIÓN EXPLICATIVA DE LOS ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN PUBLICADOS

CONTENIDO DEL CAPÍTULO 5:

EXPOSICIÓN EXPLICATIVA DE LOS ARTÍCULOS PUBLICADOS

5.1 ARTÍCULO 1:

Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island, Ribeira Brava.

Planificación Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, Ribeira Brava.

5.2 ARTÍCULO 2:

Land-Use Changes in Insular Urban Territories: A Retrospective Analysis from 1990 to 2018. The Case of Madeira Island, Ribeira Brava.

Cambios en el uso del suelo en territorios urbanos insulares: un análisis retrospectivo de 1990 a 2018. El caso de la isla de Madeira: Ribeira Brava.

5.3. ARTÍCULO 3:

Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island, São Vicente.

Planificación Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, São Vicente.

5.1. Exposición Explicativa del Artículo 1: Planificación Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, *Ribeira Brava*

5.1.1. Introducción

A pesar del desarrollo económico y tecnológico posterior a la Revolución Industrial, la Tierra ha sufrido constantemente los efectos de las acciones antropogénicas. Como resultado, los fenómenos climáticos extremos se han convertido en uno de los principales problemas que enfrenta la humanidad, y las inundaciones son los más frecuentes de estos eventos en regiones con alta urbanización [1–4]. Por lo tanto, vivir con eventos de inundación se ha vuelto cada vez más intolerable con el tiempo, aumentando el riesgo de pérdidas humanas y económicas [5].

Como se señaló, las inundaciones tienden a ser más severas en áreas urbanas porque ocurren durante precipitaciones de alta intensidad y donde la tasa de filtración del suelo es insuficiente para absorber todo el volumen de agua de lluvia, lo que favorece el drenaje superficial [6–9]. Sin embargo, hay que destacar que esta no absorción de las precipitaciones por parte del suelo puede darse tanto por el proceso de saturación como por la impermeabilización del terreno [10]. No obstante, en este contexto, debido al aumento de la trama urbana en regiones que antes eran llanuras aluviales, se incrementa la magnitud de las consecuencias negativas en una región densamente urbanizada [11].

Cabe señalar que las inundaciones también ocurren cuando la capacidad de drenaje de los sistemas de drenaje urbano es insuficiente para hacer frente al flujo que excede la capacidad de absorción del suelo. En tales casos, este volumen no drenado puede inundar calles, negocios, casas e industrias [9,12,13]. Además, las regiones montañosas son más propensas a la ocurrencia de inundaciones repentinas porque las pendientes pronunciadas permiten una mayor energía

gravitacional y, en consecuencia, una mayor fuerza destructiva para los flujos superficiales [12,14]. Por lo tanto, es posible determinar que las islas volcánicas de gran altitud como Hawái, Gran Canaria, Reunión y Madeira tienen características geomorfológicas y litológicas que las hacen más susceptibles y vulnerables a las inundaciones [13–15].

Como resultado del aumento de este problema a nivel mundial, y especialmente en las regiones tropicales, se ha vuelto necesario desarrollar medidas y dispositivos para mitigar los impactos de las inundaciones [3–5]. Inicialmente, la pauta principal para el drenaje urbano fue el principio convencional de eliminación rápida de la causa del problema, es decir, redirigir el exceso de flujo desde su origen a otra ubicación [5]. Sin embargo, el principio de eliminación rápida del problema, incluso si es eficiente para las regiones aguas arriba, hace que las inundaciones empeoren en las zonas aguas abajo. En este caso, el problema simplemente se traslada de un área a otra. Por lo tanto, el problema, que es causado por las acciones antrópicas y las características geomorfológicas e hidrológicas de la cuenca, no está realmente resuelto en la fuente. Por lo tanto, existe la necesidad de utilizar prácticas con la mayor capacidad para mitigar los efectos de las inundaciones; es decir, establecer procedimientos efectivos en el origen del problema, sin redirigir los efectos destructivos de una zona a otra [4,5,14,16].

Partiendo de esta premisa, este estudio tuvo como objetivo realizar el análisis hidrológico de la región de estudio, con el fin de verificar el caudal máximo esperado para un tiempo de recurrencia de 100 años, y luego compararlo con la capacidad de drenaje de la desembocadura del arroyo Ribeira. cuenca del río Brava. Tras la evaluación de que las características hidráulicas de la desembocadura no son suficientes para el drenaje del caudal máximo estimado, se dimensionó una cuenca de detención como medio para regularizar el caudal aguas abajo, permitiendo que la desembocadura del río funcione dentro de sus

características dimensionales actuales. Además, este estudio también tuvo como objetivo indicar una intervención estructural para la desembocadura del arroyo, con impactos urbanos significativamente reducidos. Esta intervención se refiere a modificar las características físicas de las paredes y cauce del arroyo, a saber, el coeficiente de rugosidad. Por lo tanto, se verifican las características mínimas del arroyo para aumentar la capacidad de drenaje, sin necesidad de cambios dimensionales.

5.1.2. Materiales y Métodos

5.1.2.1. Área de Estudio

El área de estudio, es decir, la cuenca de la *Ribeira Brava*, está ubicada en la vertiente sur de la isla de Madeira, entre las latitudes 30°01' N y 33°08' N y las longitudes 15°51' W y 17°30' W [17 ,18]. Esta cuenca pertenece al municipio homónimo, *Ribeira Brava*, y corresponde a la zona de captación de precipitaciones que abastece el cauce principal del municipio, como se muestra en la Ilustración 10.

Además de Funchal, el principal municipio de la isla, la cuenca de la *Ribeira Brava* sufre graves problemas de inundaciones, como se observó en 2010 y 2013, cuando la región sufrió importantes pérdidas, tanto en términos materiales como humanos. Debido a que se encuentra en una zona considerablemente urbanizada, la cuenca de la *Ribeira Brava* tiene una importante tasa de sellado del suelo de los edificios y pavimentos presentes [19,20]. Además, como se puede observar en la Ilustración 11, la desembocadura de la cuenca de la *Ribeira Brava* tiene presencia de vegetación y sedimentación, lo que reduce significativamente la capacidad de drenaje del cauce.

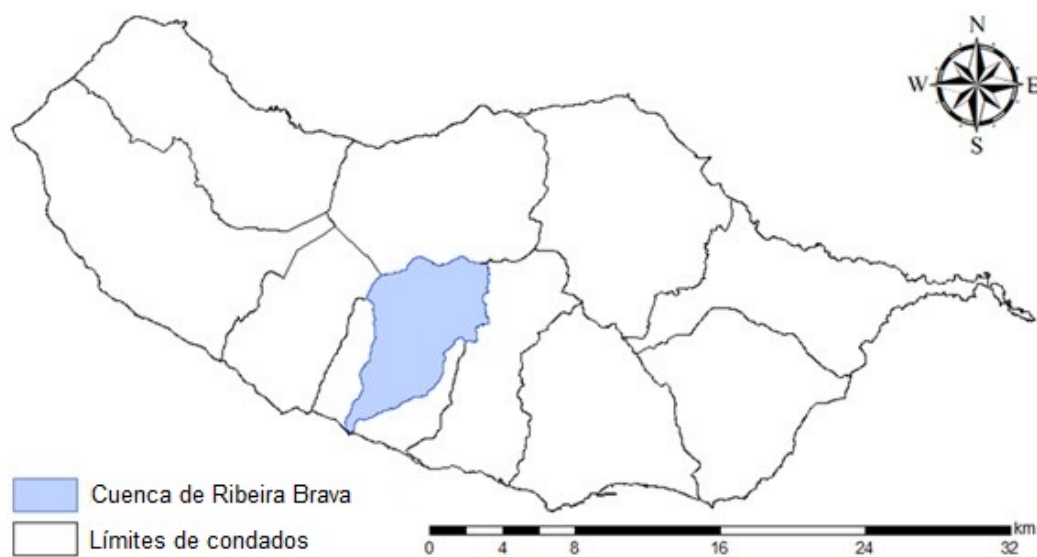


Ilustración 10 - La cuenca de la Ribeira Brava. (Fuente: Autores por ESRI ArcGIS, 2020).



Ilustración 11 - Estado de conservación de la desembocadura del cauce principal de la Ribeira Brava.

El estado de conservación del arroyo es prácticamente el mismo en todo su recorrido dentro del perímetro urbano, lo que puede comprobarse fácilmente in situ. El exceso de sedimentación y presencia de vegetación se explica por la pendiente significativamente reducida, lo que reduce la velocidad de drenaje y la

capacidad de arrastrar sedimentos de mayor tamaño de grano.

5.1.2.2. Esquema de la Metodología

La metodología adoptada se puede sintetizar en 6 etapas, como se muestra en la Ilustración 12.

La metodología adoptada partió de una revisión bibliográfica, con el objetivo de recopilar toda la información necesaria para la caracterización hidrológica y morfométrica de la cuenca de *Ribeira Brava*. Por lo tanto, a través de la revisión antes mencionada, se seleccionaron las metodologías recomendadas por varios autores en el campo como un medio para obtener un análisis más confiable de la propensión a inundaciones en la cuenca en estudio. Finalmente, a continuación, se describen los diversos pasos de la metodología adoptada que se presenta en la Ilustración 12.



Ilustración 12 - Organigrama de la metodología adoptada.

5.1.2.3. Caracterización Morfométrica de la Cuenca

Los principales parámetros utilizados para la caracterización morfométrica de una cuenca son [1,4,5,9,10,21–23]:

- **Índice de Gravelius— K_C** : Establece la relación entre el perímetro real de la cuenca en estudio y el perímetro de una cuenca perfectamente circular, pero con la misma área, estableciendo así qué tan cerca está la forma geométrica de la cuenca a un círculo perfecto [9 ,22]. Se puede calcular usando la Ecuación (1). Es un parámetro adimensional, y cuanto más cerca está de “1”, más redondeada es la cuenca y mayor es su propensión a inundarse [22].

$$K_C = P / 2 \times \sqrt{\pi \times A} \quad (1)$$

donde:

P = Perímetro de la cuenca, km;

A = Área de la cuenca, km².

- **Factor de Elongación— K_L** : Establece la relación entre la cuenca en estudio con un rectángulo equivalente de la misma área. Se puede calcular utilizando la Ecuación (2). Este parámetro es adimensional y, si es superior a “2”, es una cuenca alargada [22].

$$K_L = \frac{L_E}{l_E} = \frac{\frac{K_C \times \sqrt{A}}{1.128} \times \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_C} \right)^2} \right]}{\frac{K_C \times \sqrt{A}}{1.128} \times \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_C} \right)^2} \right]} \quad (2)$$

donde:

L_E = Longitud equivalente, km;

l_E = Ancho equivalente, km;

K_C = Índice de Gravelius, adimensional;

A = Área de la cuenca, km².

• **Factor de forma— K_F :** Establece la relación entre el ancho y el largo promedio de la cuenca bajo análisis. Se puede calcular usando la Ecuación (3). Este parámetro es adimensional y también indica el grado de elongación de la cuenca; sin embargo, cuanto menor sea el valor obtenido, mayor será el alargamiento y menor la propensión a inundarse. Los valores iguales a la unidad “1” indican una cuenca cuadrada.

$$K_F = A/L_B^2 \quad (3)$$

donde:

A = Área de la cuenca, km²;

L_B = Longitud de la cuenca, km.

La longitud de la cuenca se puede determinar midiendo la distancia entre la desembocadura del arroyo y el punto más lejano. Sin embargo, se advierte que la longitud de la cuenca no necesariamente corresponde a la longitud de su cauce principal, ya que este último generalmente tiene una dimensión mayor debido a su sinuosidad. A partir del archivo MDE proporcionado por el LREC-RAM (Laboratorio Regional de Ingeniería Civil de la RAM), fue posible realizar la caracterización morfológica de la cuenca de la *Ribeira Brava* y su respectivo cauce principal. Los datos morfológicos recopilados en este análisis se utilizaron en las ecuaciones empíricas de varios autores, como un medio para evitar restricciones de un solo método.

A priori, un análisis morfométrico debe tener su origen en el establecimiento de una jerarquía de los cursos de agua, por ejemplo, Strahler o Shreve, según su orden o magnitud, respectivamente [23]. Las clasificaciones antes mencionadas se pueden obtener realizando un análisis hidrológico del archivo Modelo Digital de Elevaciones (MDE), obteniendo los rasters “acumulación de flujo” y “dirección del flujo”, de la herramienta “orden de flujo” [21]. Además, se evidencia que la jerarquía de Strahler está profundamente asociada con la relación de ramificación o bifurcación de una cuenca, en la que cada grado de ramificación o bifurcación se puede calcular utilizando la Ecuación (4) [1,10,16,21–24].

$$R_B = \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad (4)$$

donde:

N_i = Número de cursos de agua clasificados como “i”; adimensional;

N_{i+1} = Número de cursos de agua clasificados como “i+1”, adimensional.

Es un coeficiente adimensional, obtenido por la relación del número de cursos de agua de un orden dado por el número de cursos de agua del orden inmediatamente superior. El valor promedio de bifurcación se puede calcular con base en la Ecuación (5).

$$\overline{R_B} = \sqrt[i-1]{\prod_{i=1}^{i-1} \frac{N_i}{N_{i+1}}} = \sqrt[i-1]{N_1} \quad (5)$$

donde:

N_i = Número de cursos de agua clasificados como “i”; adimensional;

N_{i+1} = Número de cursos de agua clasificados como “i+1”, adimensional;

N_1 = Número de cursos de agua de primer orden.

Al igual que los parámetros anteriores, la relación de bifurcación promedio es un parámetro adimensional porque solo representa una media aritmética de las relaciones de bifurcación. Además, uno de los parámetros fundamentales para una buena caracterización morfométrica de una cuenca se refiere al tiempo de concentración, el cual establece el tiempo requerido para que toda el área de la cuenca contribuya al proceso de drenaje pluvial hacia la desembocadura [1, 10,23,24].

Debido a que las ecuaciones para determinar el tiempo de concentración tienen un carácter empírico, cada metodología indica valores diferentes para un mismo parámetro, donde es prudente establecer la media aritmética para evitar valores extremos. Para el presente estudio se utilizó la media aritmética de los valores obtenidos por *Kirpich* (Ecuación (6)), *Témez* (Ecuación (7)) y *Giandotti* (Ecuación (8)) [21].

$$t_c = 57 \times (L^3 / (H_{MAX} - H_{MIN}))^{0.385} \quad (6)$$

donde:

t_c = Tiempo de concentración, minutos;

L = Longitud del curso de agua principal, km;

H_{MAX} = Altura máxima del curso de agua principal, m;

H_{MIN} = Altura mínima del curso de agua principal, m.

$$t_c = \left(\frac{L}{i^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (7)$$

donde:

t_c = Tiempo de concentración, horas;

L = Longitud del curso de agua principal, km;

i = Pendiente del curso de agua principal, m/m.

$$t_c = \frac{(4 + \sqrt{A}) + (1.5 \times L)}{0.8 \times \sqrt{H_M}} \quad (8)$$

donde:

t_c = Tiempo de concentración, horas;

A = Área de la cuenca, km^2 ;

L = Longitud del curso de agua principal, km;

H_M = Altura promedio de la cuenca, m.

5.1.2.4. Análisis de Precipitaciones

El estudio hidrológico de la precipitación consistió en un análisis probabilístico de eventos extremos de corta duración y alta intensidad ocurridos en la cuenca de la *Ribeira Brava*. Los datos utilizados en este análisis se obtuvieron a través de fuentes públicas como el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH), que brinda datos de precipitación registrados automáticamente en las estaciones pluviométricas. En cuanto a la metodología probabilística adoptada, se eligió la Distribución Gumbel porque mostró un mejor ajuste con los datos obtenidos y la proyección esperada para las cuencas hidrográficas en la isla de Madeira [25]. Por lo tanto, la precipitación diaria máxima anual se puede calcular con base en la Ecuación (9).

$$P_{EST} = P_M + S' \times K_T \quad (9)$$

donde:

P_{EST} = Precipitación diaria máxima anual estimada, mm;

P_M = Precipitación media anual, mm;

S' = desviación estándar de la muestra, mm;

K_T = Factor de Frecuencia, adimensional.

donde:

$$S' = \left(\frac{\sum (X_i - X_M)^2}{n'} \right)^{0.5} \quad (10)$$

donde:

X_i = valor de la muestra, mm;

X_M = Media muestral, mm;

n' = Número de muestras.

$$K_T = -\frac{6^{0.5}}{\pi} \times \left\{ 0.577216 + \ln \left(\ln \left(\frac{T_R}{T_R - 1} \right) \right) \right\} \quad (11)$$

donde:

T_R = Periodo de retorno, años.

Después de determinar la precipitación diaria para un fenómeno extremo, se puede obtener la intensidad de la precipitación con una duración específica utilizando la Ecuación (12).

$$I = \frac{P_{EST} \times k}{t_c} \quad (12)$$

donde:

I = Intensidad de precipitación, mm/h;

P_{EST} = Precipitación diaria máxima anual estimada, mm;

t_c = Tiempo de concentración, horas;

k = Coeficiente de distribución del tiempo, adimensional.

donde:

$$k = 0.181 \times \ln(t_c) + 0.4368 \quad (13)$$

donde:

t_c = Tiempo de concentración, horas.

El coeficiente de distribución temporal se presenta como un parámetro primario porque la precipitación diaria máxima anual solo es válida para eventos que duran 24 horas. Por lo tanto, debido a que la duración de la precipitación es igual al tiempo de concentración de la cuenca, utilizar la cantidad total de precipitación diaria en el análisis hidrológico causaría un sobredimensionamiento de las estructuras hidráulicas [13,21].

5.1.2.5. Capacidad de Drenaje de la Boca del Río y Caudal Máximo

La capacidad de drenaje de la desembocadura del río se calculó utilizando la ecuación de *Manning-Strickler* (Ecuación (14)), y luego se comparó con el caudal esperado para un evento extremo con un período de recurrencia de 100 años. Para el cálculo del caudal esperado se utilizaron metodologías empíricas ya difundidas a nivel mundial, a saber: *Forti* (Ecuación (16)); *Racional* (Ecuación (17)); *Giandotti* (Ecuación (18)); y *Mockus* (Ecuación (19)).

$$Q_M = \left(\frac{1}{n}\right) \times A_M \times R^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i} \quad (14)$$

donde:

Q_M = Capacidad de drenaje de la desembocadura del río, m³/s.

A_M = Área de la sección transversal de la desembocadura del río, m²;

R = Radio hidráulico, m;

i = Pendiente promedio de la región de la desembocadura del río, m/m;

n = Coeficiente de rugosidad del cauce y paredes, m^{-1/3} s, Tabla A1.

donde:

$$R = \frac{B + 2 \times h}{A_M} \quad (15)$$

donde:

B = Ancho de la sección de escurrimiento de la boca del río, m;

h = Altura de la sección de esorrentía de la desembocadura del río, m;

A_M = Área de la sección transversal de la desembocadura del río, m².

Tanto el ancho como la altura del arroyo en la región de la desembocadura se obtuvieron mediante estudios previos en la región [21], y el primer parámetro se confirmó mediante el proceso de georreferenciación.

$$Q_{Forti} = A \times \left(b \times \frac{500}{125 + A} \right) + c \quad (16)$$

donde:

Q_{Forti} = Caudal máximo por *Forti*, m³/s;

A = Área de la cuenca, km²;

b = 2,35 para precipitación máxima diaria inferior a 200 mm y 3,25 para valores superiores a 200 mm;

c = 0,5 para precipitación máxima diaria inferior a 200 mm y 1 para valores superiores a 200 mm.

$$Q_{Racional} = \frac{C \times I \times A}{3.6} \quad (17)$$

donde:

Q_{Racional} = Caudal pico por la metodología racional, m^3/s ;

C = Coeficiente de escorrentía superficial, Tabla A2;

I = Intensidad de precipitación, mm/h ;

A = Área de la cuenca, km^2 .

$$Q_{\text{Giandotti}} = \frac{\lambda \times A \times P_{\text{MAX}}}{t_c} \quad (18)$$

donde:

$Q_{\text{Giandotti}}$ = Caudal máximo por *Giandotti*, m^3/s ;

λ = Coeficiente de reducción, Tabla A3;

A = Área de la cuenca, km^2 ;

P_{MAX} = Altura de precipitación de duración igual al tiempo de concentración, mm ;

t_c = Tiempo de concentración, horas.

$$Q_{\text{Mockus}} = \frac{2.08 \times A \times P_{\text{EST}} \times C}{\sqrt{t_c} + 0.6 \times t_c} \quad (19)$$

donde:

Q_{Mockus} = Caudal máximo por *Mockus*, m^3/s ;

A = Área de la cuenca, km^2 ;

P_{EST} = Precipitación estimada, cm ;

C = Coeficiente de escorrentía superficial, Tabla A2;

t_c = Tiempo de concentración, horas.

A la hora de dimensionar obras hidráulicas, uno de los principales criterios de diseño es establecer un valor de *Fill Rate* inferior al 85%, como medio para determinar un margen de error significativo y así garantizar la seguridad de la

población y sus bienes [21,26]. Por lo tanto, para el control del caudal a la desembocadura del río, es necesario implementar mecanismos de regulación de escurrimientos, como aliviaderos.

Como se mencionó anteriormente, el valor de la Tasa de Llenado debe calcularse mediante la Ecuación (20) y, en caso de que la capacidad de esorrentía de la desembocadura del río sea insuficiente para drenar el caudal de lluvia en la cuenca y garantizar el margen de seguridad establecido, es necesario dimensionar la mitigación. mecanismos, tales como estanques de detención.

$$FR = \frac{Q_P}{Q_M} \times 100 \quad (20)$$

donde:

FR = tasa de llenado, %;

Q_P = Caudal pico de cada metodología, m³/s;

Q_M = Capacidad de drenaje de la desembocadura del río, m³/s.

El parámetro Tasa de Llenado, en resumen, se refiere a la capacidad de una sección de drenaje para drenar un flujo dado. Por lo tanto, si el valor de *Fill Rate* es superior al 100%, significa que la sección ya no puede drenar todo el volumen de agua sin desbordarse [21].

5.1.2.6. Tamaño de la Cuenca de Detención

Como se ha comentado anteriormente, si la capacidad de esorrentía de la desembocadura es insuficiente para drenar toda el agua pluvial y escurrida a la desembocadura, es necesario dimensionar un aliviadero para regular el caudal que llegará a la desembocadura, manteniendo el caudal aguas abajo por debajo el límite esperado. Para el presente estudio se eligió un aliviadero tipo Cipolletti

debido a que este modelo tiene características que reducen la turbulencia en las regiones de contacto con el agua y facilitan la escorrentía [4,5,13]. El tamaño de este aliviadero se puede determinar usando la Ecuación (21).

Luego de la definición y regularización del caudal que será drenado a la desembocadura del río, es posible estimar el volumen de agua que será retenido a lo largo de la cuenca de detención. Para ello, se utilizaron dos metodologías, a saber, el Método holandés (Ecuación (22)) y el Hidrograma Triangular Simplificado (HTS; Ecuación (23)).

$$Q_S = 1.86 \times L_{SD} \times H_D^{1.5} \quad (21)$$

donde:

Q_S = Caudal drenado por vertedero, m³/s;

L_{SD} = Ancho del umbral, m³/s;

H_D = Altura de la línea de flotación sobre el umbral, m.

$$V_A = (Q_P - Q_S) \times t_C \times 3600 \quad (22)$$

$$V_A = \frac{(Q_P - Q_S) \times (2 \times t_C - 2 \times [Q_S / \{Q_P / t_C\}])}{2} \quad (23)$$

donde:

V_A = Volumen de Almacenamiento, m³;

Q_P = Caudal pico de cada metodología, m³/s;

Q_S = Caudal drenado por el aliviadero, m³/s;

t_C = Tiempo de concentración, horas.

Nótese que la Ecuación (23) fue formulada con base en el análisis geométrico de la HTS (Figura A1), considerando un evento con una duración total de al menos el doble del tiempo de concentración de la cuenca en estudio. Esta

consideración tuvo en cuenta que la última partícula de agua de lluvia en llegar a la desembocadura del río ocurriría en el último instante de precipitación y en la región más lejana, lo que sugiere que se necesitaría un valor igual al tiempo de concentración para ser considerado para la cantidad drenada por la boca [21].

Las metodologías fueron escogidas debido a que el Método holandés no contempla el retardo y amortiguamiento del hidrograma de precipitación, provocando un cierto sobredimensionamiento de la estructura [27], como se muestra en la Ilustración 13, donde q_s : capacidad de escorrentía del aliviadero; t_c : tiempo de concentración; t_{MAX} : duración máxima de la precipitación (base); t_d : tiempo de retardo hasta el inicio de la acumulación de agua en el estanque de detención; $H_{a,MAX}$: capacidad máxima de almacenamiento; $i(t_{MAX})$: intensidad de precipitación correspondiente a la duración máxima.

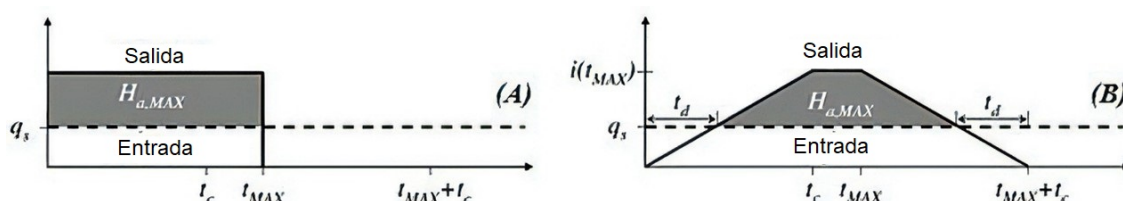


Ilustración 13 - (A) Método holandés; (B) Método HTS (Fuente: [27]).

Por lo tanto, se verificó que, en el Método holandés, el almacenamiento comienza simultáneamente con la precipitación, lo cual no se corresponde con la realidad porque el almacenamiento solo comenzará cuando el caudal drenado aguas abajo sea mayor que la capacidad de escorrentía del vertedero.

5.1.2.7. Modificación del Coeficiente de Rugosidad

Además, una medida de mitigación estructural que se tuvo en cuenta fue la modificación del coeficiente de rugosidad de los muros y cauce del cauce, evitando así la reducción de la capacidad de drenaje por fricción. Esta metodología consiste en cambiar el valor del parámetro “n” en la ecuación de *Manning-Strickler* con el fin de mejorar el caudal de un determinado curso de agua considerando otro material para la cobertura de la pared del arroyo y cauce [21].

5.1.3. Resultados

Los Resultados obtenidos se recogen en el CAPÍTULO 6 RESULTADOS GLOBALES ESTRUCTURADOS.

5.1.4. Conclusiones

Las Conclusiones de este artículo se recogen en el CAPÍTULO 7 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

5.2. Exposición Explicativa del Artículo 2: Cambios en el Uso del Suelo en Territorios Urbanos Insulares: Un Análisis Retrospectivo de 1990 a 2018. El Caso de la Isla de Madeira: *Ribeira Brava*.

5.2.1. Introducción

El desarrollo de múltiples conjuntos mundiales de datos sobre la tierra, que permiten la adquisición de datos sobre la cubierta terrestre recopilados de la observación de uso del suelo a través de satélites, ha sido impulsado por la creciente necesidad de información exhaustiva y confiable sobre la cubierta terrestre, los usos del suelo y su dinámica y tendencias [1]. Numerosas iniciativas y programas a nivel nacional e internacional impulsaron este desarrollo. También debe mencionarse que varios conjuntos de datos mundiales o continentales sobre la cubierta terrestre procedentes de la observación de uso del suelo por satélite han promovido y producido una serie de patrones cartográficos [2-10].

En pocas palabras, los mapas de cobertura del uso del suelo son datos increíblemente útiles debido a su amplia difusión de uso y su carácter interdisciplinario. Estos mapas nos dan acceso a datos sobre la cobertura terrestre y biofísica de la superficie terrestre [11], por lo que su uso es crucial para la investigación y el modelado de la dinámica territorial [12].

Además, los mapas de uso y cobertura del suelo pueden desempeñar un papel importante en el equilibrio de los factores económicos, políticos, culturales y ambientales en un territorio determinado [13], ya que permiten el análisis de cambios significativos en los paisajes, los ciclos de estudio y las tendencias. En este contexto, *Initial Operations of the Land Monitoring Service* (GIO-Land) es un proyecto operativo del Programa Europeo Copernicus que tiene como objetivo proporcionar varios conjuntos de datos de cobertura terrestre, empleando imágenes satelitales que se actualizan cada seis años en casi todas las naciones europeas, como ya han retratado diferentes autores [14,15]. Además, los sistemas

de información geográfica (SIG) brindan a los usuarios acceso a una variedad de fuentes de datos y permiten el seguimiento de los cambios en la tierra, respaldados por análisis detallados de la cubierta terrestre y evaluaciones de los cambios, particularmente en regiones urbanizadas [16–19]. La urbanización es un proceso que crea y deja un impacto en el desarrollo económico y social de los países en desarrollo [20]. Estos problemas dependen globalmente del conflicto no resuelto entre los sistemas antrópicos y los componentes ambientales [21]. La necesidad de herramientas para apoyar la formulación de políticas orientadas a la planificación sostenible surge en varios niveles de gobernanza. En este sentido, el rápido progreso de los sistemas de información geográfica (SIG) durante las últimas décadas proporcionó a los investigadores herramientas poderosas para realizar análisis espaciales y modelos [22,23]. Además, este sistema es capaz de rastrear los cambios en la actividad humana y la condición ecológica de las áreas metropolitanas [24,25].

Siguiendo con el apartado anterior, el Atlas Urbano (UA) incluye muchos otros datos más detallados, es decir, clasifica las imágenes satelitales de resolución (SPOT 2,5 m, ALOS 2,5 m; RapidEye 5 m), que promueve la separación de clases de cobertura significativas. La unidad cartográfica más pequeña es de 0,25 hectáreas y tiene una precisión estimada de 5 m, lo que respalda la producción de mapas de cobertura terrestre para solo 305 grandes ciudades europeas con una población de más de 100.000 habitantes. Sin embargo, el AU comprende solo 20 clasificaciones de cobertura del suelo, un número que es considerablemente inferior al de la cobertura terrestre CORINE (CLC o «Corine») [7]. Juntos, los sistemas terrestres incorporan todos los procesos y actividades relacionados con el uso humano de los territorios, incluidos los avances tecnológicos y organizativos, así como las clasificaciones, las ganancias de uso del suelo y los factores culturales y ambientales no deseados, de las actividades sociales [26-28].

Como resultado, se hizo un esfuerzo adicional en toda Europa para monitorear el cambio de la cubierta terrestre de manera consistente. Esto se logró mediante la creación del llamado inventario (CLC), que se llevó a cabo utilizando imágenes satelitales. La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) ha procesado esta base de datos compartida, que es utilizada por varias organizaciones en toda Europa y está cofinanciada por la Comisión Europea y los Estados miembros [7]. Con respecto a las características del mapa, la heterogeneidad de la cubierta terrestre se produce mediante la aplicación de múltiples técnicas y patrones subyacentes, incluidos diseños variados, problemas sintácticos, heterogeneidad esquemática y factores semánticos [25]. Por lo tanto, dado que estos cambios son el resultado de una estrategia distinta empleada en el desarrollo del mapa, parece difícil diferenciar el uso del suelo cuando se utilizan metodologías de mapeo alternativas [1]. Creada en 1985, la Coordinación de Información sobre el Medio Ambiente *CORINE Land Cover* (CLC) es el resultado del esfuerzo conjunto de las naciones que forman la Comunidad Europea (CE). Su objetivo principal radica en recopilar e interpretar datos geoespaciales de una manera más precisa y coordinada, ya que tiene como objetivo lograr los siguientes objetivos: a) recopilar y coordinar datos interdisciplinarios sobre el estado del medio ambiente; b) centrarse principalmente en ámbitos que se consideran prioritarios dentro de cada Estado de la UE; c) gestionar y organizar esos datos, no sólo desde una perspectiva internacional, sino también local; y d) garantizar que todos los datos sean compatibles [7]. Por lo tanto, esta base de datos puede entenderse como una herramienta importante cuando se realizan análisis geográficos más complejos, especialmente si consideran múltiples categorías relacionadas con el uso del suelo. En consecuencia, la estructura jerárquica de CLC se puede dividir en tres niveles. El primero cubre los siguientes cinco tipos principales de uso y cobertura del suelo: áreas artificiales, áreas agrícolas, áreas forestales y seminaturales, humedales y cuerpos de agua. Por otro lado, el segundo nivel tiene quince componentes, mientras que el tercero representa cuarenta y cuatro componentes. Además, los componentes del tercer nivel surgen

con la definición clara del alcance metodológico de estas tres clases como su objetivo principal [7,26]. Dentro de Europa, se ha llevado a cabo un esfuerzo conjunto, en términos de establecer ciertos parámetros estandarizados para hacer un seguimiento de los cambios en la cubierta terrestre. Como consecuencia, esta base de datos desempeña un papel decisivo en la integración del sistema de información de la AEMA y actualmente se considera una adición significativa en términos de disponibilidad de información sobre el tema de las principales variaciones de la cubierta terrestre [29,30]. A pesar de que el proceso de recopilación de datos del CLC se ha basado tradicionalmente en la interpretación de imágenes de satélites, varios países, a saber, Alemania, Austria, Finlandia, Irlanda, Islandia, Noruega, Reino Unido, Suecia y Suiza, principalmente desde 2006, han estado recopilando estos datos de mapas nacionales detallados, a través de técnicas de generalización [31]. En contraste, naciones como Eslovaquia, Hungría y Polonia recurren a CLC con la intención de obtener información más detallada, mapas a escala 1:50,000, con una unidad cartográfica mínima (MMU) de 4 además de una leyenda adaptada, que considera las especificidades geográficas del territorio [31]. También se han aplicado métodos idénticos para estimar la información antes de los datos del CLC de 1990 [30]. Por lo tanto, es posible verificar que hay muchas formas de obtener datos de CLC. Sin embargo, es importante mencionar que naciones como Alemania e Irlanda han modificado los métodos utilizados para obtener mapas de uso del suelo CORINE, como para la interpretación fotográfica generalmente utilizada, mientras que, por ejemplo, en los Países Bajos, el gobierno determinó que los datos de CLC deberían producirse de forma autónoma [31,32]. En general, a pesar de estos problemas administrativos y técnicos, los mapas de CORINE sobre el uso del suelo siguen siendo una herramienta importante para los análisis relacionados con la aplicación del suelo. De hecho, la directiva INSPIRE 2007-2-EC [33] considera a CLC como un conjunto de datos superlativo que se destaca del resto de conjuntos de datos europeos debido a su nivel de estandarización; además, esta estandarización abarca tanto el campo semántico como el técnico, ya que CLC se

basa en una clasificación genérica de cobertura del suelo que se aplica en toda Europa [34,35]. De hecho, otras fuentes de información solo tienen compatibilidad y comparabilidad entre diferentes fuentes de mapas de cobertura del suelo y el tema de sus leyendas, ya que es necesario considerar que son conjuntos de datos independientes [1]. Por lo general, diferentes metodologías pueden causar un nivel significativo de heterogeneidad dentro de múltiples mapas de cobertura del suelo, debido, por ejemplo, a múltiples diseños, problemas sintácticos, heterogeneidad esquemática y aspectos semánticos [36]. Por lo tanto, en un escenario donde se han utilizado diferentes metodologías de mapeo, es difícil analizar efectivamente los cambios en el uso del suelo, ya que algunos de estos cambios pueden ser el resultado de la heterogeneidad metodológica [1]. Sin embargo, a pesar de la tasa de cambio en los usos del suelo en el paisaje europeo, solo hay una pequeña cantidad de investigación que examina el patrón de los períodos de cambio en el uso del suelo a nivel paneuropeo. En este sentido, varios estudios y trabajos de investigación se han centrado en el cambio en el paisaje de los territorios europeos, apuntando a un cambio significativo [37-39]. La agricultura es uno de los usos más importantes del suelo en Europa, que tiene una amplia gama de rasgos regionales y dinámicas bien definidas [40]. Más del 35% del territorio europeo se utiliza para la agricultura, lo que equivale a aproximadamente 10 veces más suelo que la utilizada para fines urbanos [41,42].

Al igual que otros territorios, los territorios insulares sufren desafíos únicos y son particularmente vulnerables al cambio debido a su situación geográfica, lo que resulta en un alto grado de aislamiento y su tamaño limitado (limitaciones espaciales) [43]. Este tipo de territorio se considera un territorio costero, ya que se ve afectado directa e indirectamente por la presencia del agua [44-46]. La planificación territorial, en este sentido, sirve como una herramienta crucial para asegurar que las circunstancias de prosperidad se transmitan a las generaciones presentes y futuras, apoyando la reducción de las desigualdades sociales y los desequilibrios geográficos, y actuando como catalizador del crecimiento.

En la sociedad contemporánea, la planificación regional debe, inevitablemente, tener en cuenta el futuro y desarrollarse de manera ordenada para satisfacer las necesidades públicas y no estar ordenada por una progresión casuística e incontrolada desde el punto de vista político e individual de las inversiones. Por lo tanto, el desarrollo sostenible y el crecimiento son, sin duda, las principales preocupaciones y objetivos de los territorios [47-52].

A través de un enfoque de experiencia práctica para un estudio de caso que involucra al municipio de *Ribeira Brava*, Isla de Madeira, Portugal, el objetivo principal de este estudio es evaluar y evaluar los cambios en el uso del suelo en las áreas periféricas o "ultraperiféricas" e insulares, es decir, las islas. Además, los impedimentos y las posibilidades de crecimiento y desarrollo sostenibles pueden examinarse y manejarse comprendiendo la tierra, utilizando cambios y, en consecuencia, dinámicas y tendencias territoriales. El objetivo del presente estudio es mapear y explicar los cambios de uso del suelo en el municipio de *Ribeira Brava*, Isla de Madeira, Portugal, entre 1990 y 2018. En este sentido, destacamos que el presente estudio contribuirá a la ciencia al permitir la recopilación de *big data* relacionados con los cambios de uso del suelo, así como al proporcionar una visión general de cómo han evolucionado en el municipio de *Ribeira Brava*, en las últimas tres décadas. Los datos deben utilizarse para evitar o minimizar los eventos de inundación que se han vuelto cada vez más intolerables con el tiempo, trayendo riesgos constantes de pérdida humana y daños económicos, como ya ha ocurrido en el pasado reciente en el municipio de *Ribeira Brava*, que se desarrolla principalmente a lo largo de su línea de agua principal.

En las primeras décadas del siglo actual, el municipio de *Ribeira Brava* experimentó un fuerte crecimiento territorial, un desarrollo que se produjo a lo largo de su línea de agua principal (río). Por lo tanto, este desarrollo resulta en claros cambios en el uso del suelo, lo que tiene una importancia relevante en términos de cuestiones de gestión hidrológica, a saber, episodios de lluvias extremas. Es decir,

los cambios en el uso de la tierra a lo largo de los años han contribuido a un claro aumento del área de impermeabilización y, por lo tanto, a un consiguiente aumento de la escorrentía superficial, lo que inevitablemente causa inundaciones. El nivel de agua en el suelo deriva no solo del origen del agua, sino también de las características de la vegetación circundante. Además, procesos como la infiltración subterránea, que puede verse influenciada por las características del suelo, y las fugas de agua subterránea se asocian comúnmente con la ocurrencia de inundaciones. Además, las inundaciones se ven parcialmente agravadas por una planificación urbana incorrecta, que a menudo conduce a usos inadecuados del suelo, por ejemplo, el crecimiento incontrolado de las áreas urbanas, e infraestructuras en los lechos de los arroyos, como diques, terraplenes o presas. Además, cuando este fenómeno de urbanización defectuoso comienza a afectar también a las zonas rurales, los responsables de la toma de decisiones de planificación y gestión territorial tienen que crear medidas de mitigación estructurales y no estructurales para prevenir o al menos mitigar los impactos de las inundaciones.

El estudio de los cambios de uso del suelo en el municipio de *Ribeira Brava* revela que esta zona tiene un carácter innovador, basado en algunas características únicas, como el desarrollo en el fondo de un valle muy estrecho (con grandes derivas y pendientes pronunciadas) con un gran número de recipientes de evacuación de agua completamente sellados por la infraestructura; el corto recorrido de la línea de agua, que es de aproximadamente 15 km, por lo que hay poca advertencia en casos de desastres de inundaciones; Como también se observa en las tierras altas, la sustitución del tipo de vegetación en esta zona (cambios en el uso del suelo), que contribuyó al aumento de la escorrentía superficial debido a desniveles y pendientes, contribuirá a un aumento del caudal, así como de la velocidad del caudal (esto debe evitarse en caso de que ocurra un episodio de lluvias extremas).

Sin embargo, la correcta gestión de los cambios de uso del suelo ayuda a paliar el problema geomorfológico e hidrológico de este municipio, que ha ido creciendo debido a la presión antrópica. En consecuencia, se necesitan medidas de alto impacto para mitigar aún más el impacto de las inundaciones y no solo redirigir el problema de un área a otra, del área de gestión de la tierra al área hidráulica.

Finalmente, discutimos los patrones espaciales observados y proporcionamos algunos principios y recomendaciones para futuras estrategias y políticas regionales de planificación y gestión que podrían desarrollarse e implementarse en todo el municipio de *Ribeira Brava*.

5.2.2. Materiales y Métodos

5.2.2.1. Área de Estudio

El archipiélago de Madeira se encuentra en el Atlántico Norte, más precisamente en la región llamada Macaronesia, entre los paralelos 30° 01' N y 33° 08' N y los meridianos 15° 51' W y 17° 30' W de Greenwich [53]. Con un total de 796,77 km², el archipiélago está formado por la isla de Madeira, la isla más grande e importante del grupo, con una superficie de 736,75 km²; *Porto Santo*, con una superficie de 42,17 km²; las Islas *Desertas*, con una superficie de 14,23 km² y las *Selvagens*, con una superficie de 3,62 km² [54].

En concreto, el municipio de *Ribeira Brava*, situado en la costa sur de la isla de Madeira, tiene una superficie aproximada de 65 km² y comprende las siguientes cuatro parroquias civiles: *Campanário*, *Ribeira Brava*, *Serra de Água* y *Tabua*. Además, está situado en el Océano Atlántico y limita con los municipios de *Câmara de Lobos* (este), *Ponta do Sol* (oeste) y *São Vicente* (norte) [55], como se muestra en la Ilustración 14.

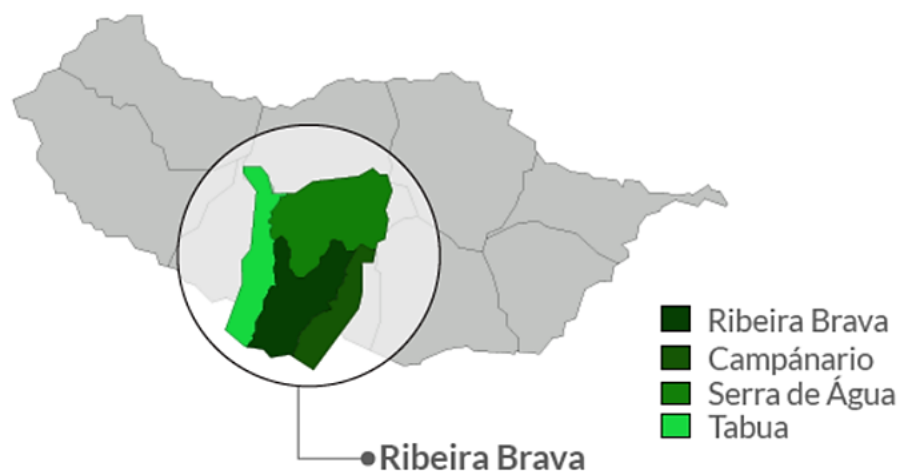


Ilustración 14 - Ubicación del área de estudio—municipio de *Ribeira Brava* (fuente: [55]).

El relieve de la ciudad de *Ribeira Brava* es muy accidentado, con valles profundos y pendientes pronunciadas, mientras que rara vez se observan zonas casi verticales y de meseta. Sus puntos más altos son Pico Grande y Pico do Cerco, con alturas de 1675 m y 1586 m, respectivamente, como se muestra en la Ilustración 15.



Ilustración 15 - Observación del área de estudio-municipio de *Ribeira Brava* (desde la desembocadura del río hacia el este) (fuente: autores).

Tiene un clima mediterráneo suave, con temperaturas medias en verano de 27 °C y temperaturas invernales alrededor de 16 °C. En cuanto a la población, el municipio de *Ribeira Brava* sigue la tendencia de reducción de la población, de 14.132 habitantes en 1920 a 13.375 en 2011, y a 12.411 en el último censo realizado en 2021 [55].

5.2.2.2. Metodología Aplicada

Había dos capas de información en los datos utilizados. Estos se pueden utilizar para duplicar este trabajo en otra área de trabajo porque son públicos y abiertos. El municipio de *Ribeira Brava* en la isla de Madeira es el tema del análisis.

Primero se recopilaron datos sobre el uso de la tierra. La Agencia Espacial Europea (AEMA) proporciona una geodatabase que emplea características gráficas poligonales que indican el uso del suelo en toda la Unión Europea para los años 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018 a través del proyecto *CORINE Land Cover* (*Coordination of Information, CLC*) [56]. En cuanto a la utilización de datos de teledetección, la información se suministró mediante *shapefiles*. Estos archivos se administraron mediante ArcGIS 10.5. Se generó un proyecto y subsecuencialmente, los *shapefiles* se agregaron como capas, es decir, información vectorial.

El sistema cartográfico utilizado fue el Universal Transverse Mercator (UTM), y la escala fue de 1:100.000 en el Sistema de Referencia Geodésica, que corresponde al Sistema Europeo de Referencia Terrestre 1989 (ETRS89), siendo la unidad cartográfica mínima (MCU) equivalente a 25 hectáreas. La precisión alcanzada ha mejorado con el tiempo, pasando de menos de 50 m en 1990 a menos de 25 m en 2000, 2006 y 2012, y finalmente, menos de 10 m en 2018. Además, la información de los polígonos se organizó jerárquicamente en tres capas (Tabla 2).

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	
1. Superficies artificiales	1.1. Tejido urbano	1.1.1. Tejido urbano continuo	
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
	1.2. Industrial, comercial y de transporte	1.2.1. Unidades industriales o comerciales	
		1.2.2. Redes viarias y ferroviarias y terrenos asociados	
		1.2.3. Zonas portuarias	
		1.2.4. Aeropuertos	
	1.3. Minas, vertederos y obras de construcción	1.3.1. Lugares de extracción de minerales	
		1.3.2. Vertederos	
		1.3.3. Obras de construcción	
	1.4. Superficies artificiales con vegetación no agrícola	1.4.1. Zonas urbanas verdes	
1.4.2. Instalaciones deportivas y de ocio			
2. Zonas agrícolas	2.1. Tierras cultivables	2.1.1. Tierras cultivables no regadas	
		2.1.2. Tierras de regadío permanente	
		2.1.3. Arrozales	
	2.2. Cultivos permanentes	2.2.1. Viñedos	
		2.2.2. Plantaciones de árboles frutales y bayas	
		2.2.3. Olivares	
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos	
		2.4.1. Cultivos anuales asociados a cultivos permanentes	
	2.4. Superficies agrícolas heterogéneas	2.4.2. Cultivo complejo	
		2.4.3. Tierras ocupadas por la agricultura	
3.1.1. Bosque de hoja ancha			
3. Bosques y áreas seminaturales	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque de coníferas	
		3.1.3. Bosque mixto	
		3.2.1. Pastos naturales	
	3.2. Asociación de vegetación arbustiva y/o herbácea	3.2.2. Moros y brezales	
		3.2.3. Vegetación esclerófila	
		3.2.4. Arbusto forestal de transición	
		3.3.1. Playas, dunas y llanuras	
	3.3. Espacios abiertos con poca o ninguna vegetación	3.3.2. Roca desnuda	
		3.3.3. Superficies con escasa vegetación	
		3.3.4. Zonas quemadas	
3.3.5. Glaciares y nieve perpetua			
4.1.1. Marismas interiores			
4. Humedales	4.1. Humedales continentales	4.1.2. Turberas	
		4.2.1. Marismas saladas	
	4.2. Humedales costeros	4.2.2. Solución salina	
		4.2.3. Planicies intermareales	
		5.1. Aguas interiores	5.1.1. Cursos de agua
			5.1.2. Masas de agua
5. Masas de agua	5.2. Aguas marinas	5.2.1. Lagunas costeras	
		5.2.2. Estuarios	
		5.2.3. Mar y océano	

Tabla 2 - Nomenclatura de la cubierta terrestre CORINE (fuente: [56] *).

* Los autores sugieren visitar www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover, consultado el 30 de noviembre de 2021, para obtener información completa sobre los códigos CLC.

La delimitación administrativa del municipio de *Ribeira Brava* está representada por la segunda capa de información. La Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP2020) para la Región Autónoma de Madeira se recuperó del Sistema Nacional de Información Geográfica de Portugal (SNIG), como se muestra en la Ilustración 16.

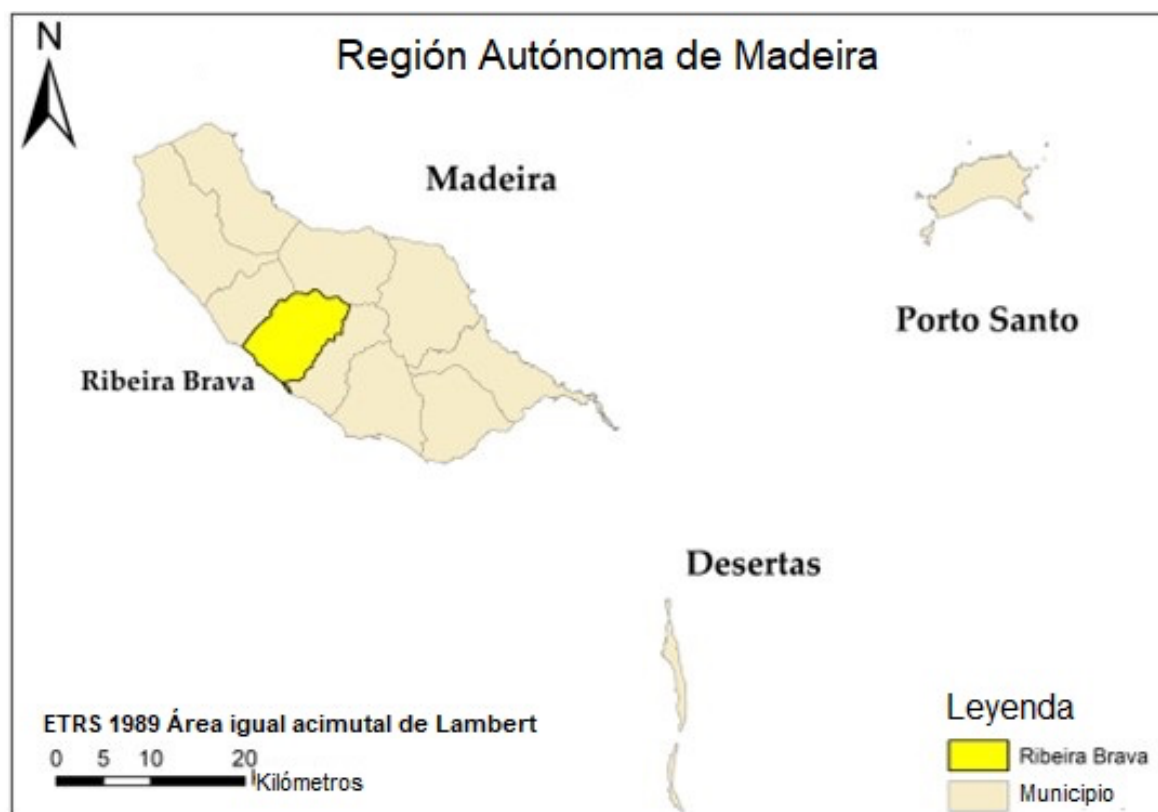


Ilustración 16 - Delimitación del alcance geográfico del estudio por parte del municipio de *Ribeira Brava* (fuente: autores de ESRI ArcGIS, 2020).

A continuación, se utilizó el software de administración de sistemas de información geográfica (SIG) ArcGIS 10.5 para procesar ambos niveles de datos. Cuando el ETRS-LAEA de Lambert-2001 se adoptó por primera vez como el sistema oficial de referencia de coordenadas, todas las capas de información se convirtieron a este sistema mediante la designación de proyección en el proyecto [57], debido al hecho de que son las entradas, la proyección de regiones equivalentes dentro del territorio, en las que se basa ETRS-LAEA. De esta manera, actúa como un estándar para unidades homogéneas en toda Europa. Por lo tanto, la representación de datos analíticos y estadísticos utiliza este sistema de coordenadas.

Después de realizar una consulta de selección utilizando datos alfanuméricos, el municipio de *Ribeira Brava* fue elegido para la capa que se refiere a las divisiones administrativas de la Región Autónoma de Madeira. Este municipio en particular se mantuvo en una sola capa de información. El alcance de la acción para este estudio se limitó a esta capa de información. El límite de *Ribeira Brava* se utilizó como capa de referencia para la herramienta de clip. Para cada uno de los años considerados, se utilizó este proceso (1990, 2000, 2006, 2012 y 2018). Los usos de la tierra se adquirieron de esta manera, pero solo aquellos que formaban parte del municipio. El área de cada polígono se midió geométricamente y se convirtió en hectáreas por medio de la geometría de comando. Como resultado, se determinaron las hectáreas totales de cada polígono, que corresponden a la representación de los usos de la tierra de la nomenclatura CLC.

Los datos alfanuméricos almacenados en cada una de las tablas para los años bajo análisis se exportaron mediante el comando *export* y se importaron a una base de datos mantenida por el programa de administración de bases de datos Microsoft Access, un componente del conjunto de aplicaciones Microsoft Office 365.

Usando el lenguaje de consulta estructurado (SQL), se crearon consultas de selección para la base de datos que se seleccionaría de acuerdo con la nomenclatura CLC y, a continuación, se anexó otra consulta de agrupación a la consulta original. Finalmente, para los años 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018, se determinó el número de hectáreas para cada tipo de uso de suelo.

También se obtuvieron mapas temáticos para cada año a fin de tener en cuenta los resultados numéricos y geográficos. Esto permitió identificar tanto las áreas con mayor variedad en los usos del suelo como aquellas con usos predominantes de la tierra. El flujo de datos descrito en los párrafos anteriores se puede observar en la Ilustración 17.

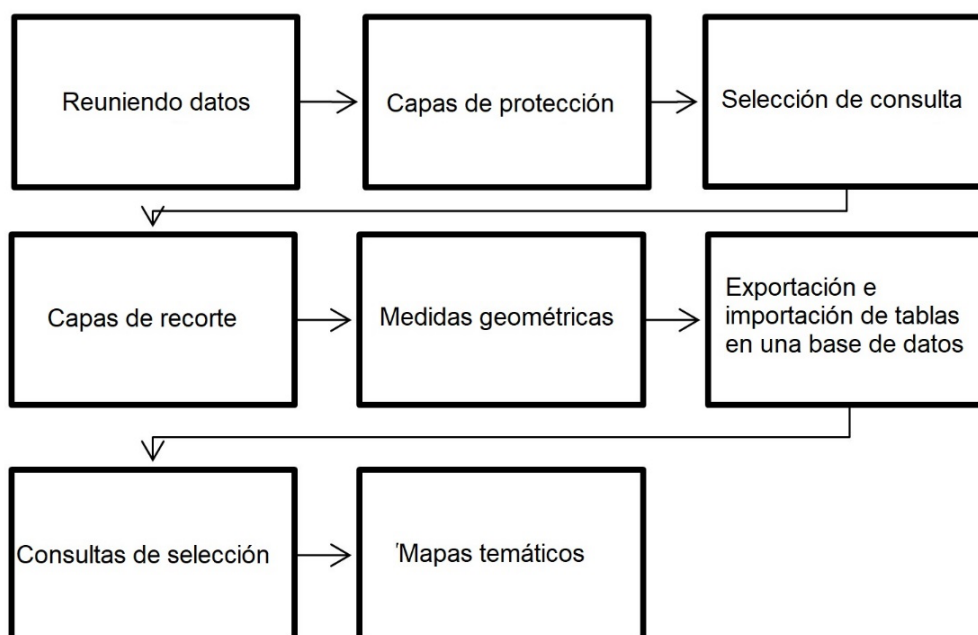


Ilustración 17 - Flujo de datos utilizado para realizar el análisis (fuente: autores).

Se diseñó un sistema para obtener una mejor comprensión de la técnica utilizada y los criterios para seleccionar estudios de caso (Ilustración 18).

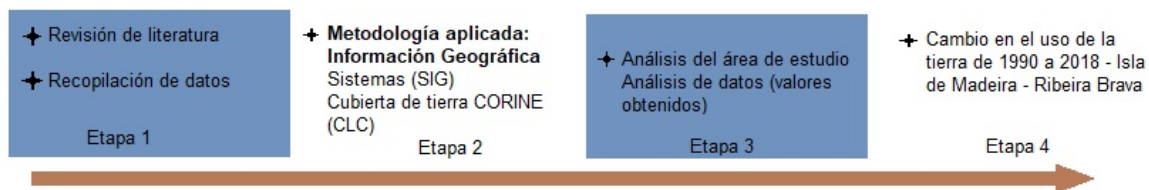


Ilustración 18 - Resumen de los criterios de selección de la metodología y del proceso de selección de casos prácticos (fuente: autores).

5.2.3. Resultados

Los Resultados obtenidos se recogen en el **CAPÍTULO 6 RESULTADOS GLOBALES ESTRUCTURADOS**.

5.2.4. Conclusiones

Las Conclusiones de este artículo se recogen en el **CAPÍTULO 7 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**.

5.3. Exposición Explicativa del Artículo 3: Planificación Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, São Vicente.

5.3.1. Introducción

El calentamiento global con su creciente variabilidad conduce a un mayor riesgo de inundaciones y sequías [1]. Si bien los aumentos de temperatura están en duda en todas las estaciones del año, la precipitación puede disminuir en una estación y aumentar en la otra. Según algunos hallazgos sólidos, esta variabilidad en la precipitación aumentará aún más en el futuro [2]. Esto, a su vez, provocará una discontinuidad de las precipitaciones a lo largo del año y, en consecuencia, un aumento de las lluvias repentinas y torrenciales. La consecuencia más natural de esta situación es que se producen inundaciones en muchas cuencas. Las inundaciones, dependiendo del tamaño del flujo en el área circundante, afectan a los asentamientos y la agricultura al dañar sus áreas, estructuras inferiores y superiores, instalaciones y seres vivos, e interrumpen la vida humana y las actividades socioeconómicas. Los efectos sociológicos en los seres humanos de las inundaciones, los trastornos psicológicos y similares, también se ven gravemente afectados.

La fuente de agua, además de determinar la cantidad de agua que cae en la superficie en términos de las características de la vegetación, influye en la cantidad de agua en el suelo, la infiltración subterránea del suelo en términos de las propiedades del suelo, la planta y el agua subterránea que se filtra de la cantidad del flujo residual para la comprensión de las causas de las inundaciones y la relación geomorfológica es extremadamente importante. También hay usos del suelo incorrectos y estructuras de ingeniería en los lechos de los arroyos (urbanización, diques, terraplenes, represas, etc.) que asumen un papel importante en la formación de inundaciones.

A medida que esta expansión urbana errónea y, a menudo, descontrolada se expande a las áreas rurales, obviamente existe la necesidad de poner en práctica medidas estructurales y no estructurales para prevenir o al menos mitigar el impacto de las inundaciones [3–5]. Hace mucho tiempo, la pauta sería redirigir el flujo de la corriente, cambiando la disposición espacial del curso de agua y, posteriormente, su desembocadura [5]. Sin embargo, aunque este principio es muy efectivo en la región aguas arriba, empeora y aumenta el riesgo de inundación aguas abajo, por lo que solo beneficia a la mitad del curso de agua, la población y los bienes, mientras que pone en riesgo a la otra mitad. Este concepto no resuelve el problema geomorfológico e hidrológico de la cuenca que muchas veces se ensamblan con la presión antrópica. En consecuencia, existe la necesidad de medidas de alto impacto para mitigar aún más el impacto de las inundaciones y no solo redirigir el problema de un área a otra [4–7].

Teniendo todo esto en consideración, este estudio tiene como objetivo realizar un análisis hidrológico del municipio de *São Vicente*, estimando su caudal máximo para un período recurrente de 100 años, y establecer una comparación con la capacidad de drenaje de la desembocadura del río de su cuenca. Con base en la premisa de que las características hidráulicas de la desembocadura de los arroyos son insuficientes para drenar el caudal máximo esperado, se diseñó una cuenca de detención para controlar aún más el caudal aguas abajo y evitar la necesidad de cambiar la sección transversal del arroyo. También se optó por esta medida estructural ya que reduce considerablemente los efectos urbanísticos y puede complementarse con pequeños cambios en el coeficiente de rugosidad del cauce y de las paredes, aumentando así la capacidad de drenaje de la desembocadura del río sin afectar su sección transversal.

5.3.2. Materiales y Métodos

5.3.2.1. Área de Estudio

Este estudio se centra en la cuenca hidrográfica de *São Vicente*, que se encuentra en el lado norte de la isla de Madeira entre las latitudes de 32 ° 47 'N y las longitudes de 17 ° 2' W [8,9]. Esta cuenca también está integrada en el municipio de *São Vicente* y termina por abastecer su propio curso de agua principal, como se ilustra en la Ilustración 19.

Asimismo, en las cuencas hidrográficas de la capital de la isla, es decir, Funchal, la historia ha demostrado de manera recurrente que la cuenca de *São Vicente* sufre grandes inundaciones, como las que ocurrieron en 2010 y 2013, resultando en pérdidas catastróficas tanto civiles como patrimoniales. *São Vicente* también sufre de presión antrópica, como cualquier otro municipio urbano, particularmente sentida por un índice de sellado del suelo considerable como resultado de una expansión urbana sobre un área semi-rural [10,11]. Además, la desembocadura del río en su cuenca principal está cubierta de abundante vegetación y una gran cantidad de sedimentos, que reducen considerablemente la capacidad de drenaje de este cauce de agua, como se muestra en la Ilustración 20.



Ilustración 19 - La cuenca del *São Vicente*. (Fuente: Autores por ESRI ArcGIS, 2020)



Ilustración 20 - Estado de conservación de la desembocadura del río principal del curso de agua de *São Vicente*

El estado de conservación del arroyo es prácticamente el mismo en todo su recorrido dentro del perímetro urbano, lo que puede comprobarse claramente *in situ*. Se puede encontrar abundante vegetación y sedimentos a lo largo del curso de agua, principalmente debido a la baja pendiente del cauce que reduce la velocidad del caudal y, posteriormente, la capacidad de expulsar sedimentos a través de la desembocadura del río de la cuenca.

5.3.2.2. Esquema de la Metodología

La metodología adoptada se puede resumir en 6 fases, como se ilustra en la Ilustración 21.



Ilustración 21 - Organigrama de la metodología adoptada.

Este estudio de caso siguió una metodología con seis etapas principales, siendo la primera una revisión profunda de la literatura con el fin de obtener el análisis hidrológico y morfométrico tan necesario de la cuenca de *São Vicente*. Para presentar una contribución válida para el estudio de cursos de agua inundables, también se tomaron en consideración diferentes metodologías sugeridas por autores de prestigio, asegurando así la responsabilidad del resultado de este estudio. Los siguientes pasos se explican a continuación.

5.3.2.3. Caracterización Morfométrica de la Cuenca

Los parámetros clave utilizados para la caracterización morfométrica de una cuenca hidrográfica son [4,5,12–17]:

- **Índice de Gravelius— K_C** : Esta relación de parámetros entre el perímetro de la cuenca con una hipotética cuenca circular con la misma área, indica qué tan cerca de una forma circular está la cuenca [13,16]. Por lo tanto, el índice de Gravelius se puede calcular utilizando la Ecuación (1), siendo un parámetro adimensional y caracterizando la cuenca como propensa a inundaciones cuanto más cerca esté de 1 [16].

$$K_C = P / 2 \times \pi \times A \quad (1)$$

donde:

P = Perímetro de la cuenca, km;

A = Área de la cuenca, km².

- **Factor de Elongación— K_L** : El factor de elongación determina la relación entre la forma de la cuenca hidrográfica y un rectángulo con la misma área y puede calcularse usando la Ecuación (2). Es adimensional y caracteriza la cuenca como alargada si el resultado es superior a 2 [16].

$$K_L = \frac{L_E}{I_E} = \frac{\frac{K_C \times \sqrt{A}}{1.128} \times \left| 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_C}\right)^2} \right|}{\frac{K_C \times \sqrt{A}}{1.128} \times \left| 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_C}\right)^2} \right|} \quad (2)$$

donde:

L_E = Longitud equivalente, km;

l_E = Ancho equivalente, km;

K_C = Índice de Gravelius, adimensional;

A = Área de la cuenca, km².

• **Factor de forma— K_F** : El factor de forma describe la relación entre el ancho promedio de la cuenca con su longitud. Se puede calcular mediante la Ecuación (3) y también es adimensional, indicando el grado de elongación de la cuenca. Cuanto más alto es el factor de forma, menos propensa a inundaciones es la cuenca y más alargada.

$$K_F = A / L_B^2 \quad (3)$$

donde:

A = Área de la cuenca, km²;

L_B = Longitud de la cuenca, km.

La longitud de la cuenca se puede encontrar midiendo la distancia entre el punto más lejano a la desembocadura del río de la cuenca. La longitud de la cuenca no debe confundirse con la longitud de su cauce principal, ya que este último suele ser mayor debido a la sinuosidad del cauce. Utilizando el archivo MDE proporcionado por el Laboratorio Regional de Ingeniería Civil de la Región Autónoma de Madeira (LREC-RAM), fue posible caracterizar morfométricamente la cuenca hidrográfica de *São Vicente* y, por lo tanto, su principal curso de agua. Los datos morfométricos recopilados en este estudio luego se procesaron utilizando metodologías de diferentes autores con sus propias restricciones específicas.

Un análisis morfométrico consiste en establecer una jerarquía entre los

cursos de agua de la cuenca, es decir, las jerarquías de Strahler o Shreve, de acuerdo con su orden o magnitud [17]. Ambos tipos de jerarquía se pueden realizar siguiendo un análisis hidrológico del archivo MDE, obteniendo así los rásteres de "acumulación de flujo" y "dirección de flujo" utilizando la herramienta "orden de flujo" [15]. Sin embargo, la jerarquía de Strahler está profundamente asociada a la relación de bifurcación de una cuenca dada, y los muchos grados de bifurcación se calculan utilizando la Ecuación (4) [7,12,14–18].

$$R_B = \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad (4)$$

donde:

N_i = Número de cursos de agua clasificados como "i"; adimensional;

N_{i+1} = Número de cursos de agua clasificados como "i+1", adimensional.

Este coeficiente adimensional se obtiene de la relación del número de cursos de agua de un orden dado por el número de cursos de agua del orden inmediatamente superior. El valor promedio de bifurcación se puede calcular con base en la Ecuación (5).

$$\bar{R}_B = \sqrt[i-1]{\prod_{i=1}^{i-1} \frac{N_i}{N_{i+1}}} = \sqrt[i-1]{N_1} \quad (5)$$

donde:

N_i = Número de cursos de agua clasificados como "i"; adimensional;

N_{i+1} = Número de cursos de agua clasificados como "i+1", adimensional;

N_1 = Número de cursos de agua de primer orden.

La relación de bifurcación también es un parámetro adimensional, ya que simplemente representa una media aritmética de todas las relaciones de bifurcación. Además, el tiempo de concentración de una cuenca se revela como un factor clave para la buena caracterización morfométrica de una cuenca. Determina el tiempo requerido para que toda el área de la cuenca contribuya al proceso de drenaje pluvial hasta que finalmente cruce la desembocadura del río [12,14,17,18].

Dado que las ecuaciones utilizadas para determinar el tiempo de concentración de una cuenca son empíricas, cada metodología presenta valores diferentes para los mismos parámetros, por lo que se recomienda utilizar la media aritmética de todos ellos, evitando los extremos. En este estudio se utilizó para recolectar valores de las metodologías *Kirpich* (Ecuación (6)), *Témez* (Ecuación (7)) y *Giandotti* (Ecuación (8)) [15].

$$t_c = 57 \times (L^3 / (H_{MAX} - H_{MIN}))^{0.385} \quad (6)$$

donde:

t_c = Tiempo de concentración, minutos;

L = Longitud del curso de agua principal, km;

H_{MAX} = Altura máxima del curso de agua principal, m;

H_{MIN} = Altura mínima del curso de agua principal, m.

$$t_c = \left(\frac{L}{i^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (7)$$

donde:

t_c = Tiempo de concentración, horas;

L = Longitud del curso de agua principal, km;

i = Pendiente del curso de agua principal, m/m.

$$t_c = \frac{(4 + \sqrt{A}) + (1.5 \times L)}{0.8 \times \sqrt{H_M}} \quad (8)$$

donde:

t_c = Tiempo de concentración, horas;

A = Área de la cuenca, km²;

L = Longitud del curso de agua principal, km;

H_M = Altura promedio de la cuenca, m.

5.3.2.4. Análisis de Precipitaciones

El estudio hidrológico se realiza a partir de un análisis probabilístico de eventos extremos de alta intensidad y corta duración ocurridos en la cuenca hidrográfica de *São Vicente* a lo largo de la historia. Estos datos se obtuvieron utilizando el Sistema Nacional de Información de Recursos Meteorológicos (SNIRH), que también publica datos de precipitación registrados automáticamente en muchas estaciones diferentes a lo largo de la isla. En cuanto a la metodología probabilística implementada, se adoptó la Distribución de Gumbel por parecer más adecuada para procesar los datos obtenidos y cumplir con las proyecciones de las cuencas hidrográficas de la isla de Madeira [19]. Por lo tanto, la precipitación diaria máxima anual se puede calcular utilizando la Ecuación (9).

$$P_{EST} = P_M + S' \times K_T \quad (9)$$

donde:

P_{EST} = Precipitación diaria máxima anual estimada, mm;

P_M = Precipitación media anual, mm;

S' = desviación estándar de la muestra, mm;

K_T = Factor de Frecuencia, adimensional.

donde:

$$S' = \left(\frac{\sum (X_i - X_M)^2}{n'} \right)^{0.5} \quad (10)$$

donde:

X_i = valor de la muestra, mm;

X_M = Media muestral, mm;

n' = Número de muestras.

$$K_T = -\frac{6^{0.5}}{\pi} \times \left\{ 0.577216 + \ln \left(\ln \left(\frac{T_R}{T_R - 1} \right) \right) \right\} \quad (11)$$

donde:

T_R = Periodo de retorno, años.

Después de establecer la precipitación diaria para un fenómeno extremo, se puede obtener la intensidad de la precipitación con una duración determinada mediante la Ecuación (12).

$$I = \frac{P_{EST} \times k}{t_c} \quad (12)$$

donde:

I = Intensidad de precipitación, mm/h;

P_{EST} = Precipitación diaria máxima anual estimada, mm;

t_c = Tiempo de concentración, horas;

k = Coeficiente de distribución del tiempo, adimensional.

donde:

$$k = 0.181 \times \ln(t_c) + 0.4368 \quad (13)$$

donde:

t_c = Tiempo de concentración, horas.

El coeficiente de distribución temporal es un parámetro primario ya que la precipitación máxima diaria anual solo es válida para eventos que duran 24 horas. Por lo tanto, como la duración de la precipitación es igual al tiempo de concentración de la cuenca, utilizar la cantidad total de precipitación diaria en el análisis hidrológico conduciría a estructuras hidráulicas sobredimensionadas [15,20]

5.3.2.5. Capacidad de Drenaje de la Boca del Río y Caudal Máximo

La capacidad de drenaje de la desembocadura del río se calculó utilizando la ecuación de *Manning-Strickler* (Ecuación (14)), y luego se comparó con el caudal esperado para un evento extremo con un período de recurrencia de 100 años. Para el cálculo del caudal esperado se utilizaron metodologías empíricas ya difundidas a nivel mundial, a saber: *Forti* (Ecuación (16)); *Racional* (Ecuación (17)); *Giandotti* (Ecuación (18)); y *Mockus* (Ecuación (19)).

$$Q_M = \left(\frac{1}{n}\right) \times A_M \times R^{\frac{2}{3}} \times \sqrt{i} \quad (14)$$

donde:

Q_M = Capacidad de drenaje de la desembocadura del río, m³/s.

A_M = Área de la sección transversal de la desembocadura del río, m²;

R = Radio hidráulico, m;

i = Pendiente promedio de la región de la desembocadura del río, m/m;

n = Coeficiente de rugosidad del cauce y paredes, $m^{-1/3}$ s, Tabla A1.

donde:

$$R = \frac{B + 2 \times h}{A_M} \quad (15)$$

donde:

B = Ancho de la sección de escurrimiento de la boca del río, m;

h = Altura de la sección de escurrimiento de la desembocadura del río, m;

A_M = Área de la sección transversal de la desembocadura del río, m^2 .

Tanto el ancho como la altura del arroyo en la región de la desembocadura se obtuvieron mediante estudios previos en la región [21], y el primer parámetro se confirmó mediante el proceso de georreferenciación.

$$Q_{Forti} = A \times \left(b \times \frac{500}{125 + A} \right) + c \quad (16)$$

donde:

Q_{Forti} = Caudal máximo por *Forti*, m^3/s ;

A = Área de la cuenca, km^2 ;

b = 2,35 para precipitación máxima diaria inferior a 200 mm y 3,25 para valores superiores a 200 mm;

c = 0,5 para precipitación máxima diaria inferior a 200 mm y 1 para valores superiores a 200 mm.

$$Q_{Racional} = \frac{C \times I \times A}{3.6} \quad (17)$$

donde:

Q_{Racional} = Caudal pico por la metodología racional, m³/s;

C = Coeficiente de escorrentía superficial, Tabla A2;

I = Intensidad de precipitación, mm/h;

A = Área de la cuenca, km².

$$Q_{\text{Giandotti}} = \frac{\lambda \times A \times P_{\text{MAX}}}{t_c} \quad (18)$$

donde:

$Q_{\text{Giandotti}}$ = Caudal máximo por *Giandotti*, m³/s;

λ = Coeficiente de reducción, Tabla A3;

A = Área de la cuenca, km²;

P_{MAX} = Altura de precipitación de duración igual al tiempo de concentración, mm;

t_c = Tiempo de concentración, horas.

$$Q_{\text{Mockus}} = \frac{2.08 \times A \times P_{\text{EST}} \times C}{\sqrt{t_c + 0.6 \times t_c}} \quad (19)$$

donde:

Q_{Mockus} = Caudal máximo por *Mockus*, m³/s;

A = Área de la cuenca, km²;

P_{EST} = Precipitación estimada, cm;

C = Coeficiente de escorrentía superficial, Tabla A2;

t_c = Tiempo de concentración, horas.

Uno de los criterios de diseño más importantes para las infraestructuras hidráulicas es determinar un valor de *Fill Rate* inferior al 85%, considerando así un margen de seguridad que garantice la seguridad de la población y sus bienes

[15,21]. Además, para controlar el caudal de la desembocadura del río, también se requiere implementar mecanismos de restricción de escorrentía, a saber, vertederos.

Como se mencionó anteriormente, el valor de la Tasa de Llenado se puede calcular utilizando la Ecuación (20) y si la capacidad de escorrentía de la desembocadura del río resulta ser insuficiente para drenar el caudal de lluvia de la cuenca dada y respetar el margen de seguridad propuesto, entonces debe diseñarse un mecanismo de mitigación de inundaciones, como una cuenca de detención.

$$FR = \frac{Q_P}{Q_M} \times 100 \quad (20)$$

donde:

FR = tasa de llenado, %;

Q_P = Caudal pico de cada metodología, m³/s;

Q_M = Capacidad de drenaje de la desembocadura del río, m³/s.

El parámetro Tasa de Llenado se refiere a la capacidad de una sección de drenaje para drenar un flujo particular. Por lo tanto, si el valor de *Fill Rate* es superior al 100 %, la sección ya no podrá drenar el volumen total de agua sin desbordarse [15].

5.3.2.6. Tamaño de la Cuenca de Detención

Como se indicó anteriormente, si la sección transversal de la desembocadura del río es insuficiente para drenar todo el caudal de lluvia recogido a lo largo de la cuenca, se debe diseñar algún tipo de vertedero para contener el caudal, manteniéndolo por debajo del límite esperado aguas abajo. En este estudio

se adoptó un aliviadero tipo Cipolletti por ser un tipo que tiene características que reducen las regiones de turbulencia de contacto con el agua, facilitando así el drenaje de todo el escurrimiento del arroyo [5,6,20]. El diseño de este tipo de aliviaderos se puede realizar mediante la Ecuación (21).

Conociendo la cantidad de caudal que debe drenarse por la desembocadura del río, también es posible estimar el volumen de agua que necesita y será retenida por la cuenca de detención. En este sentido, se adoptaron dos metodologías diferentes, a saber, el Método holandés (Ecuación (22)) y el Hidrograma Triangular Simplificado (HTS; Ecuación (23)).

$$Q_S = 1.86 \times L_{SD} \times H_D^{1.5} \quad (21)$$

donde:

Q_S = Caudal drenado por vertedero, m³/s;

L_{SD} = Ancho del umbral, m³/s;

H_D = Altura de la línea de flotación sobre el umbral, m.

$$V_A = (Q_P - Q_S) \times t_C \times 3600 \quad (22)$$

$$V_A = \frac{(Q_P - Q_S) \times (2 \times t_C - 2 \times [Q_S / \{Q_P / t_C\}])}{2} \quad (23)$$

donde:

V_A = Volumen de Almacenamiento, m³;

Q_P = Caudal pico de cada metodología, m³/s;

Q_S = Caudal drenado por el aliviadero, m³/s;

t_C = Tiempo de concentración, horas.

Con base en el análisis geométrico HTS (Figura A1), se formuló la Ecuación (23), considerando un evento con una duración de al menos el doble del tiempo de

concentración de la cuenca dada. Esto, teniendo en cuenta que la última partícula de lluvia en llegar a la desembocadura del río provino de la región más lejana y que también se produciría en el último instante de la precipitación, indicando que tendría que ser igual al tiempo de concentración para ser considerada, como drenado por la desembocadura del río [15].

Se seleccionaron estas metodologías debido a que el método holandés no considera el retraso ni la amortiguación del hidrograma de precipitación, lo que en última instancia da como resultado el sobredimensionamiento de la infraestructura [22], como se ilustra en la Ilustración 22, donde q_s : indica la capacidad de escorrentía del aliviadero; t_c : significa el tiempo de concentración; t_{MAX} : siendo la duración máxima de la precipitación (estándar); t_d : siendo el tiempo de retardo hasta el inicio de la acumulación de agua en el estanque de detención; $H_{a,MAX}$: siendo la capacidad máxima de almacenamiento; e $i(t_{MAX})$: es decir, la intensidad de la precipitación durante la duración máxima.

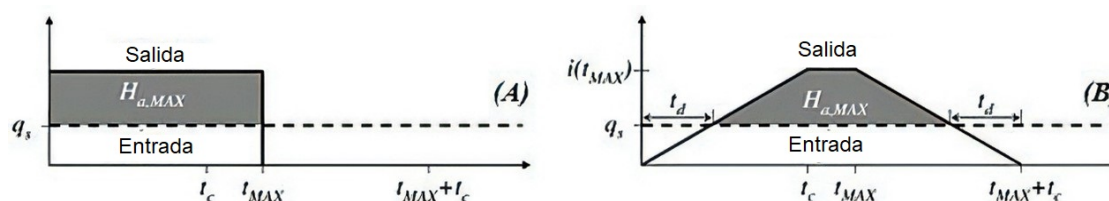


Ilustración 22 - (A) Método holandés; (B) Método HTS (Fuente: [22]).

Así, se confirmó que, en el Método holandés, el almacenamiento comienza al mismo tiempo que la precipitación, lo que no se corresponde con la realidad ya que el almacenamiento solo comenzará cuando el caudal drenado aguas abajo sea mayor que la capacidad de escorrentía del aliviadero.

5.3.2.7. Modificación del Coeficiente de Rugosidad

Otra medida estructural que se tuvo en cuenta fue la modificación del coeficiente de rugosidad de los muros y cauce del cauce principal, ya que esto evitaría el rozamiento entre el agua y el cauce, aumentando así su capacidad de drenaje. Esta metodología se basa en cambiar el valor del parámetro “n” en la ecuación de *Manning-Strickler* para mejorar el caudal de un determinado curso de agua considerando otro tipo de material o al menos su estado de conservación para sus paredes y cauce [15].

5.3.3. Resultados

Los Resultados obtenidos se recogen en el CAPÍTULO 6 RESULTADOS GLOBALES ESTRUCTURADOS.

5.3.4. Conclusiones

Las Conclusiones de este artículo se recogen en el CAPÍTULO 7 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS GLOBALES ESTRUCTURADOS

CONTENIDO DEL CAPÍTULO 6: RESULTADOS GLOBALES ESTRUCTURADOS

6.1 ARTÍCULO 1:

Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island, Ribeira Brava.

Planificación Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, Ribeira Brava.

6.2 ARTÍCULO 2:

Land-Use Changes in Insular Urban Territories: A Retrospective Analysis from 1990 to 2018. The Case of Madeira Island, Ribeira Brava.

Cambios en el uso del suelo en territorios urbanos insulares: un análisis retrospectivo de 1990 a 2018. El caso de la isla de Madeira: Ribeira Brava

6.3. ARTÍCULO 3:

Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island, São Vicente.

Planificación Hidráulica en Territorios Urbanos Insulares: El Caso de la Isla de Madeira, São Vicente.

6.1. Resultados del Artículo 1

Los resultados aquí presentados corresponden a los datos obtenidos aplicando las fórmulas descritas anteriormente. Por lo tanto, para evaluar las características morfométricas del curso principal de *Ribeira Brava*, se realizó un análisis individual de cada uno de los parámetros enumerados en la Tabla 3, correlacionándolos con los valores de referencia sugeridos en varias bibliografías.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Área	km ²	41,059
Perímetro	Km	42,430
Longitud del curso de agua principal	Km	14,619
Altura máxima del curso de agua principal	m	1316,030
Altura mínima del curso de agua principal	m	0,000
Tiempo medio de concentración	horas	2,362
Coefficiente de compacidad de Gravellius	adimensional	1,868
Factor de elongación	adimensional	8,856
Factor de forma	adimensional	0,298
Número de cursos de agua	unidades	1668,000
Relación de bifurcación promedio	adimensional	4,286
Clasificación Strahler	adimensional	6,000

Tabla 3 - Parámetros calculados o extraídos de ArcGIS.

El primer parámetro a analizar se refiere al área de la cuenca, que tiene un papel primordial en el análisis del volumen de agua drenada a la desembocadura del río. Este parámetro se puede clasificar como: Muy Grande > 20 km²; Grande > 10 km²; Medio > 1 km² y Pequeño < 1 km² [28]. En este sentido, como se puede observar en el cuadro anterior, la cuenca en estudio tiene una clasificación de “Muy Grande”, lo que indica una mayor propensión a inundarse en comparación con las cuencas de menor tamaño. Sin embargo, se advierte que los valores de referencia antes mencionados son arbitrarios y pueden diferir según el tipo de análisis a realizar [28], y la propensión a inundaciones.

Como se muestra en la Ilustración 23, la cuenca de *Ribeira Brava* tiene

bordes con altitudes significativamente mayores que la región central, lo que denota una fuerte pendiente que tiende a abastecer rápidamente el curso de agua principal y, por lo tanto, aumenta el volumen de agua presente en el arroyo que, en consecuencia, es redirigido a la desembocadura del río.

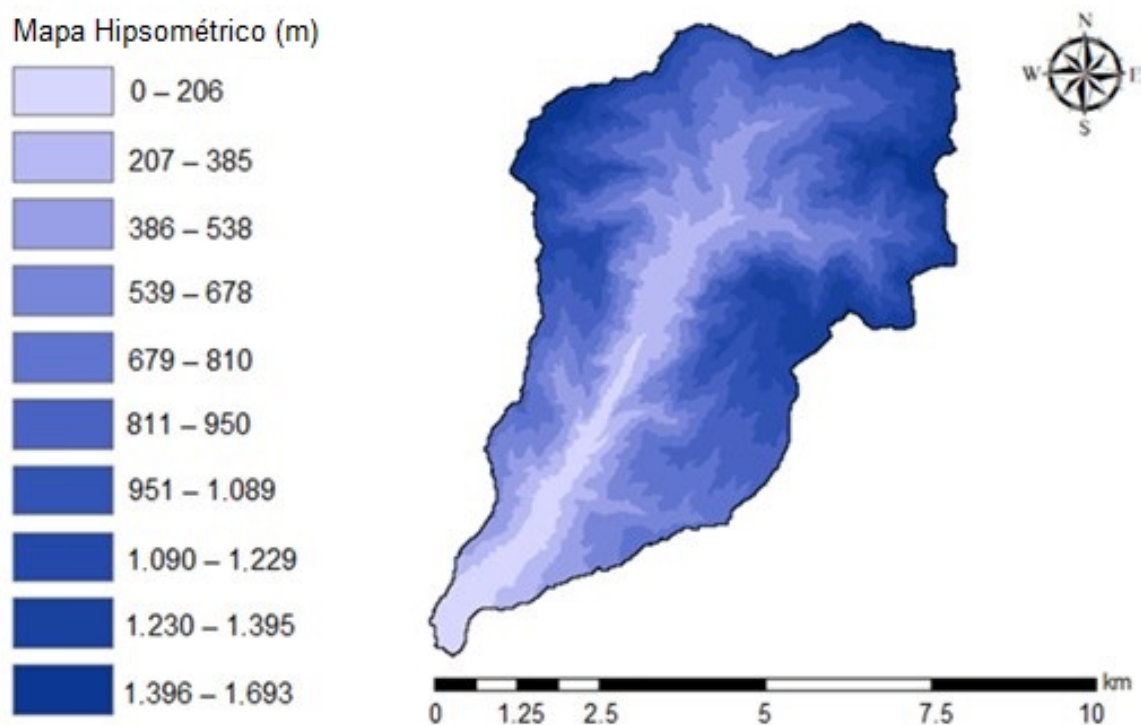


Ilustración 23 - Mapa hipsométrico: archivo DEM (Fuente: Autores de ESRI ArcGIS, 2020).

En cuanto al sistema de drenaje de la cuenca en estudio, como se muestra en la Ilustración 24, el alto número de cursos de agua indica una alta capacidad de drenaje, es decir, la cuenca tiene muchos cursos de agua de orden bajo y medio que abastecen al curso de agua principal. Además, este índice representa el comportamiento hidrográfico de un área determinada, donde el aspecto fundamental es su propensión a generar nuevos cursos de agua. Por tanto, las cuencas con alta densidad hídrica tienden a presentar un mayor número de cauces efímeros, precisamente por la capacidad de generar nuevos cursos de agua [21,23].

El análisis de la precipitación se basó en datos proporcionados por el Sistema Nacional de Información sobre Recursos Hídricos (SNIRH) [29], a través de datos muestrales de un período de dieciséis años, presentados en la Tabla A4 y la Figura A2. Así, a través del procesamiento probabilístico de la Distribución Gumbel, se obtuvieron los valores presentados en la Tabla 4.

Luego de determinar la intensidad de precipitación estimada para un tiempo de recurrencia de 100 años, se procedió al cálculo de los caudales pico, como se muestra en la Tabla 5, a través de las fórmulas y metodologías indicadas en la sección anterior. El coeficiente de drenaje superficial utilizado en la metodología racional corresponde al valor de 0,500 (Cuadro 4) debido a que la región de estudio es una región periférica con edificaciones comerciales. Este valor corresponde, básicamente, al porcentaje de agua que tiende a escurrirse superficialmente, es decir, el 50% de la precipitación total.

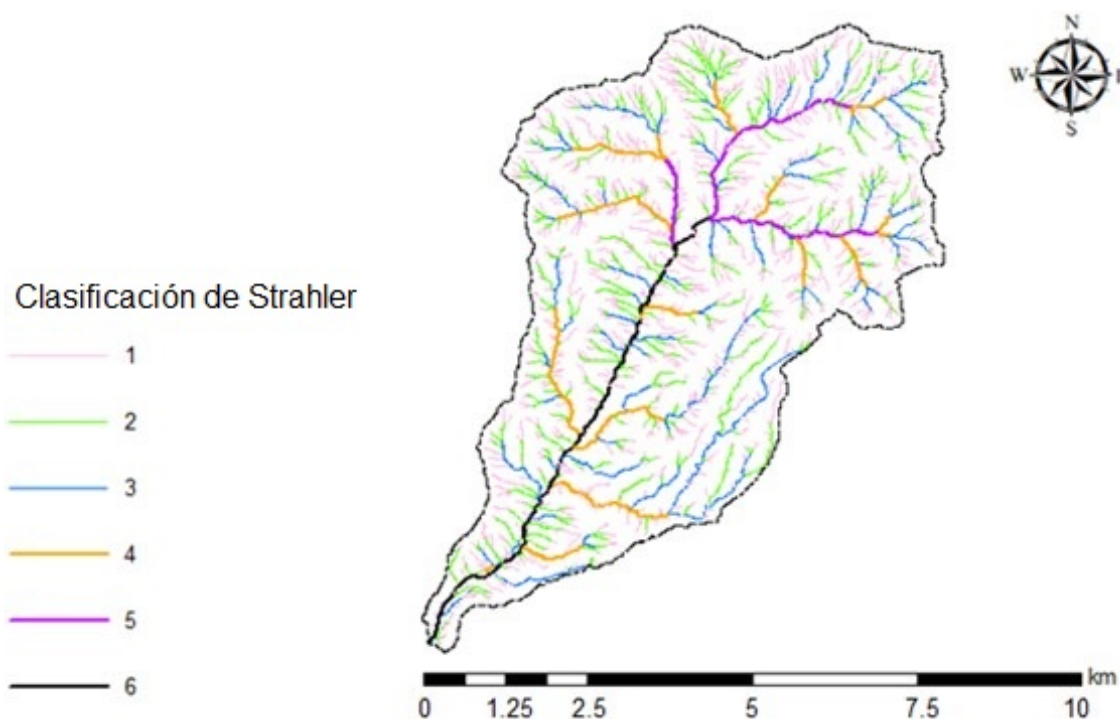


Ilustración 24 - Clasificación de Strahler (Fuente: Autores por ESRI ArcGIS, 2020).

Parámetro	Símbolo	Unidad de medida	Valor
Precipitación media anual	P_M	milímetro	164,443
Desviación estándar	S'	milímetro	64,424
Factor de frecuencia	K_T	adimensional	3,136
Coefficiente de distribución temporal	k	adimensional	0,592
Precipitación diaria máxima anual	P_{EST}	milímetro	366,521
Intensidad de la precipitación	Y_0	mm/h	91,920

Tabla 4 - Parámetros de precipitación.

Metodología	Caudal (m^3/s)
<i>Forti</i>	442,849
<i>Racional</i>	531,782
<i>Giandotti</i>	560,848
<i>Mockus</i>	529,792

Tabla 5 - Caudal máximo.

Áreas urbanas		
Ocupación de tierras	Coefficiente de drenaje superficial	
Área Comercial	Centro de la ciudad	0,700–0,950
	Zonas periféricas	0,500–0,700

Tabla 6 - Coeficiente de drenaje superficial adoptado (Fuente:[30]).

El valor del coeficiente de reducción (λ) utilizado en el cálculo del caudal mediante la metodología de *Giandotti* se muestra en la Tabla 7.

Área (km^2)	λ	Equivalente "C"
<300	0,346	1,250

Tabla 7 - Coeficiente de reducción de *Giandotti* adoptado (Fuente: [31]).

En cuanto al análisis de la capacidad de drenaje de la desembocadura del río, se utilizó la ecuación de *Manning-Strickler* para verificar la necesidad de implementar una cuenca de detención, donde los valores obtenidos se resumen en la Tabla 8. Sin embargo, es necesario resaltar que las paredes del arroyo y del lecho tienen diferentes coeficientes de rugosidad. Por tanto, la capacidad de drenaje de la desembocadura del río se calculó mediante la media ponderada de

los respectivos coeficientes, donde los muros de piedra y mortero se encuentran en buen estado ($n = 0,020$) y el cauce consiste en una superficie pedregosa y vegetada en mal estado ($n = 0,040$). Otro factor importante a destacar es la muy baja pendiente en la zona de la desembocadura del río, que tiende a disminuir la velocidad del flujo de agua y, en consecuencia, la capacidad de drenaje del tramo. Como medio para simular una situación crítica, se optó por tener en cuenta una pendiente de $0,01$ m/m en el tramo de referencia.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Anchura de la desembocadura del río	m	20,000
Altura de la desembocadura del río	m	4,500
Capacidad de drenaje de la desembocadura del río	m ³ /s	566,645
Tasa de relleno: <i>Forti</i> (pre-regularización)	%	78
Tasa de relleno: <i>Racional</i> (pre-regularización)	%	94
Tasa de relleno: <i>Giandotti</i> (pre-regularización)	%	99
Tasa de relleno: <i>Mockus</i> (pre-regularización)	%	93

Tabla 8 - Evaluación de la necesidad de implementación de cuencas de detención.

Como se muestra en la Tabla 8, la Tasa de Llenado es superior al límite establecido de 85% para los métodos *Racional*, *Giandotti* y *Mockus*, lo que indica la necesidad de implementar medidas de mitigación y control de caudal para la región de la desembocadura del río. Por lo tanto, se dimensionó una cuenca de detención con los caudales encontrados en las metodologías antes mencionadas, considerando las limitaciones urbanas y espaciales debido a las infraestructuras ya existentes cerca del arroyo.

Debido a que el dimensionamiento de la cuenca de detención depende del caudal que exceda el límite establecido para la desembocadura del río, primero se dimensionó un aliviadero trapezoidal tipo *Cipolletti* para la regularización y control del caudal que va a desaguar aguas abajo. Las características del aliviadero se presentan en la Tabla 9.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Ancho del aliviadero	m	18,000
Altura del alféizar del aliviadero	m	4,500
Salida del aliviadero	m ³ /s	319,598
Tasa de relleno: <i>Racional</i> (post-regularización)	%	56
Tasa de relleno: <i>Giandotti</i> (post-regularización)	%	56
Tasa de relleno: <i>Mockus</i> (post-regularización)	%	56

Tabla 9 - Aplicación del aliviadero *Cipolletti*.

A posteriori, las cuencas de detención se dimensionaron utilizando el Método holandés y el HTS, que son metodologías simplificadas que descuidan varios factores y, por lo tanto, pueden resultar en un sobredimensionamiento de la estructura hidráulica. Adicionalmente, se fijó la altura y el ancho de la dársena de detención con los mismos valores de la sección transversal existente, como forma de reducir los impactos ambientales y urbanísticos de las obras de implementación de esta medida. Por lo tanto, la única variable geométrica de la cuenca de detención fue su longitud, que está limitada por la longitud total del curso de agua principal.

Después de realizar los cálculos con las metodologías antes mencionadas, se encontraron los valores que se muestran en la Tabla 10.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Ancho	m	20,000
Altura	m	4,500
Longitud: método holandés (<i>Racional</i>)	m	20047,874
Longitud: método HTS (<i>Racional</i>)	m	7999,198
Longitud: método holandés (<i>Giandotti</i>)	m	22794,149
Longitud: método HTS (<i>Giandotti</i>)	m	9804,940
Longitud: método holandés (<i>Mockus</i>)	m	19859,934
Longitud: método HTS (<i>Mockus</i>)	m	7879,396

Tabla 10 - Tamaño de la cuenca de detención.

Finalmente, se utilizó la modificación del coeficiente de rugosidad como medida alternativa para mitigar los impactos de la inundación, manteniendo las características de la vegetación del cauce. En este contexto, los valores que se muestran en la Tabla 11 corresponden, más precisamente, a la mejora del estado de conservación del cauce del río, como medio para reducir la pérdida de capacidad de drenaje provocada por el rozamiento excesivo entre el fluido y el material de cobertura.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Coeficiente de rugosidad de la pared: modificado	$m^{-1/3}$	0,012
Coeficiente de rugosidad del lecho del río: modificado	$m^{-1/3}$	0,030
Capacidad de drenaje de la desembocadura del río: modificada	m^3/s	488,881
Tasa de relleno: <i>Racional</i> (posterior a la modificación)	%	68
Tasa de relleno: <i>Giandotti</i> (posterior a la modificación)	%	72
Tasa de relleno: <i>Mockus</i> (posterior a la modificación)	%	68

Tabla 11 - Modificación del coeficiente de rugosidad.

En definitiva, los coeficientes de rugosidad modificados de los muros corresponden a la superficie con acabado de hormigón en buen estado, mientras que el cauce se mantiene con la característica pedregosa y vegetada, aunque en buen estado. Los valores utilizados para estos coeficientes se resumen en la Tabla 12.

Tipología de canal	Muy bien	Bien	Regular	Malo
Canal con pendiente pedregosa y vegetada	0,025	0,030	0,035	0,040
Superficie con acabado de hormigón	0,011	0,012	0,013	0,015

Tabla 12 - Coeficiente de rugosidad adoptado (Fuente: [31]).

6.2. Resultados del Artículo 2

Los resultados se basan en un examen de los cambios de uso del suelo en el municipio de *Ribeira Brava* entre 1990 y 2018, así como entre 1990 y 2000, 2006 y 2012. Los gráficos, tablas y mapas temáticos se utilizan para mostrar los resultados. Esta tipología de resultados divulgados permite extraer la información más pertinente y caracteriza la progresión del uso del suelo en función de los 44 usos del suelo identificados por CLC. Los datos están organizados como porcentajes y se muestran en la Tabla 13.

Nomenclatura CLC/Año	1990	2000	2006	2012	2018
112	10,32%	11,64%	11,79%	11,40%	11,40%
121	0,00%	0,00%	0,00%	0,39%	0,39%
212	0,39%	0,39%	0,00%	0,00%	0,00%
221	0,00%	0,00%	0,08%	0,08%	0,03%
222	1,06%	1,06%	1,05%	1,05%	1,05%
241	2,43%	2,43%	1,02%	1,02%	0,00%
242	3,54%	3,33%	4,97%	4,97%	4,99%
243	14,24%	13,42%	12,70%	12,78%	13,15%
311	6,88%	6,88%	6,19%	3,42%	6,44%
312	4,25%	4,39%	4,08%	3,98%	4,46%
313	21,43%	21,43%	20,81%	18,03%	16,68%
321	10,33%	10,33%	11,14%	11,60%	13,45%
322	16,55%	16,22%	16,22%	14,84%	20,12%
324	6,07%	5,97%	7,46%	5,37%	6,57%
333	2,33%	2,33%	2,33%	2,33%	1,11%
334	0,00%	0,00%	0,00%	8,58%	0,00%
523	0,17%	0,17%	0,16%	0,16%	0,16%

Tabla 13 - Porcentaje de uso de suelo de la nomenclatura CLC de nivel 3 en el municipio de *Ribeira Brava* (fuente: autores).

Nota: Los valores más altos encontrados están en negrita.

Con el fin de obtener una mejor visualización de la variación del área por clasificación CLC, se elaboró el gráfico de la Ilustración 25 utilizando porcentajes.

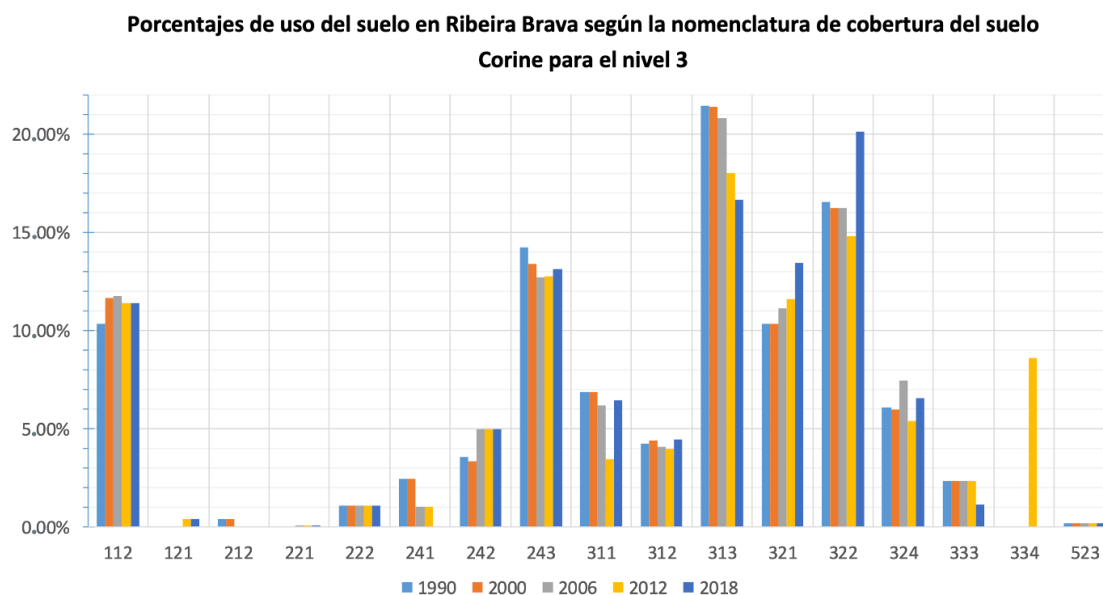


Ilustración 25 - Porcentaje de uso del suelo en el municipio de *Ribeira Brava* clasificado como nivel 3 de la terminología CLC (fuente: autores).

Además, utilizando ArcGIS 10.5, software de sistemas de información geográfica (SIG), fue factible ilustrar la ubicación de cada área (cartografía temática) de manera más correcta, específicamente de acuerdo con las clasificaciones CLC individuales y la varianza de tiempo de cada área, como se muestra en las Ilustraciones 26-30.

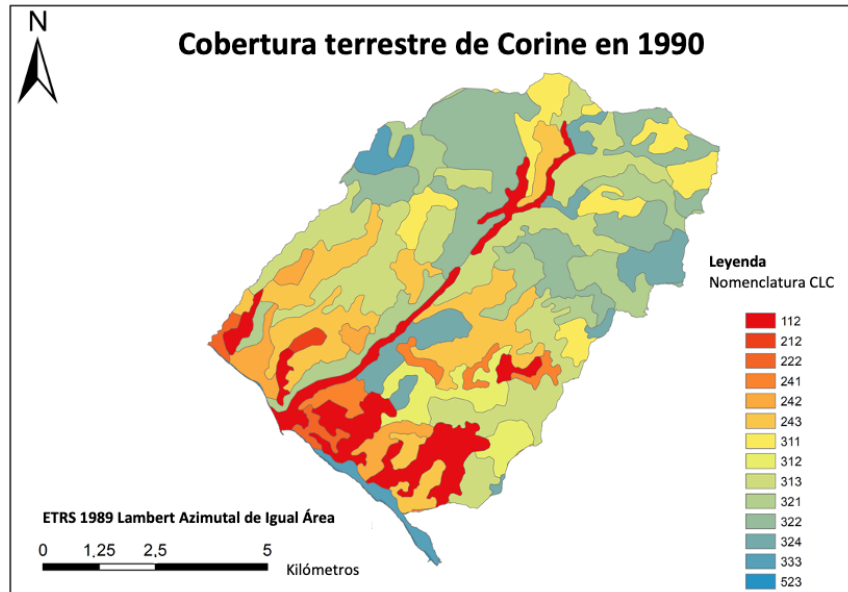


Ilustración 26 - Usos del suelo de designación CLC de nivel 3 en el municipio de *Ribeira Brava* en 1990 (fuente: autores de ESRI ArcGIS, 2020).

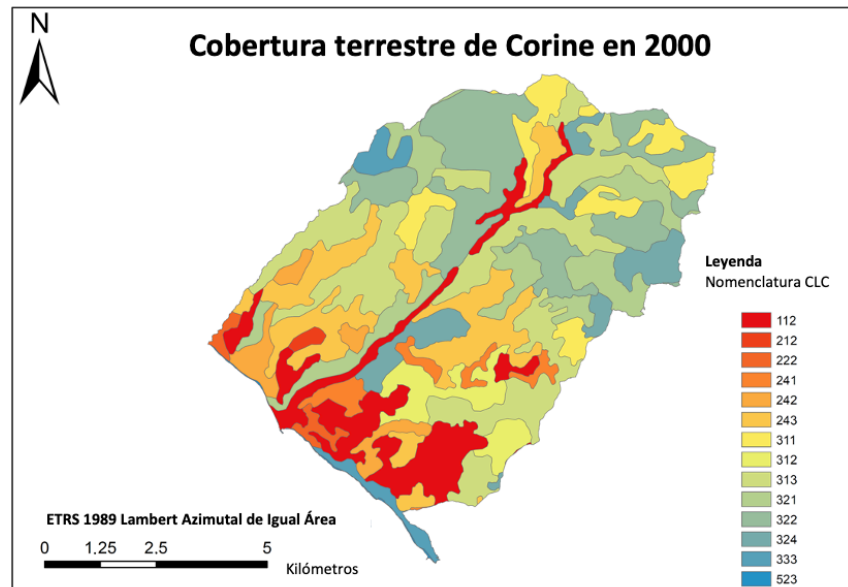


Ilustración 27 - Usos del suelo de designación CLC de nivel 3 en el municipio de *Ribeira Brava* en 2000 (fuente: autores de ESRI ArcGIS, 2020).

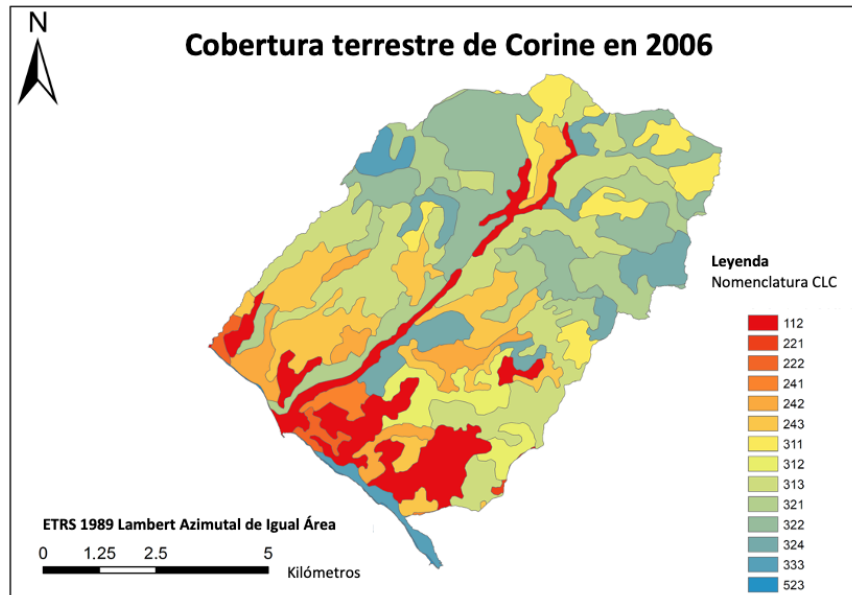


Ilustración 28 - Usos del suelo de designación CLC de nivel 3 en el municipio de *Ribeira Brava* en 2006 (fuente: autores de ESRI ArcGIS, 2020).

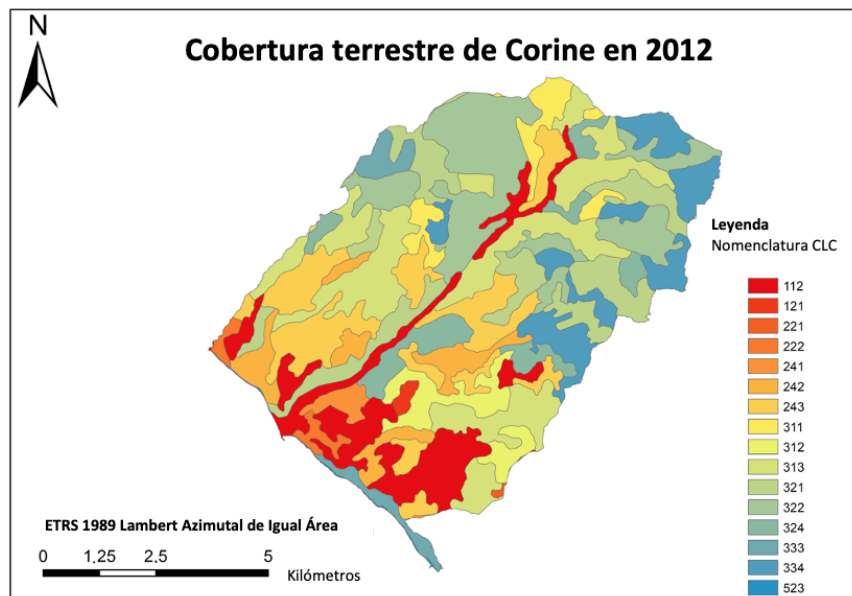


Ilustración 29 - Usos del suelo de designación CLC de nivel 3 en el municipio de *Ribeira Brava* en 2012 (fuente: autores de ESRI ArcGIS, 2020).

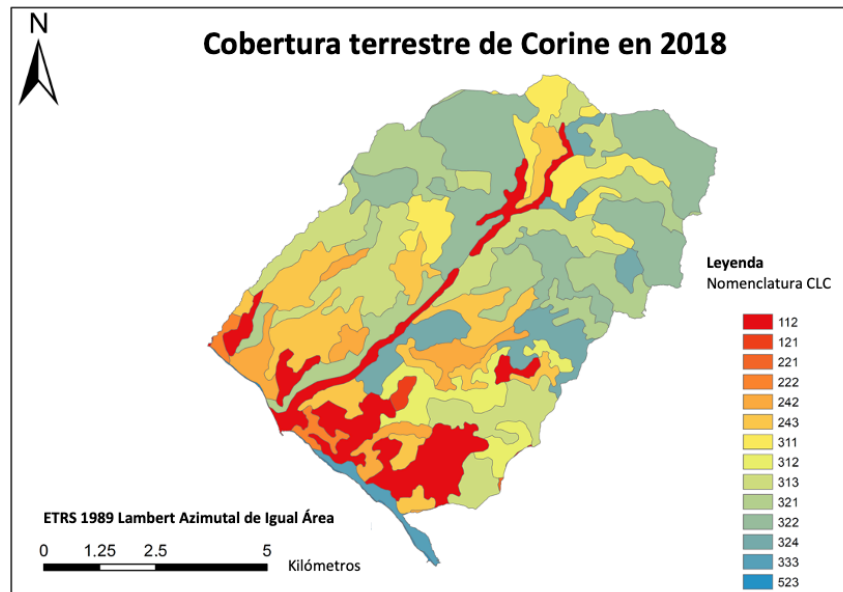


Ilustración 30 - Usos del suelo de designación CLC de nivel 3 en el municipio de *Ribeira Brava* en 2018 (fuente: autores de ESRI ArcGIS, 2020).

6.3. Resultados del Artículo 3

Los resultados aquí mostrados corresponden a los datos obtenidos aplicando las fórmulas ya descritas. Así, para evaluar las características morfométricas del curso de agua principal de *São Vicente*, se realizó un análisis individual de cada parámetro enumerado en la Tabla 14, correlacionándolos con valores de referencia propuestos en diversas bibliografías.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Área	km ²	38,262
Perímetro	Km	37,790
Longitud del curso de agua principal	Km	10,813
Altura máxima del curso de agua principal	m	1556,270
Altura mínima del curso de agua principal	m	0,000
Tiempo medio de concentración	horas	1,799
Coefficiente de compacidad de Gravellius	adimensional	1,723
Factor de elongación	adimensional	7,198
Factor de forma	adimensional	0,513
Número de cursos de agua	unidades	2020,000
Relación de bifurcación promedio	adimensional	4,492
Clasificación Strahler	adimensional	6,000

Tabla 14 - Parámetros calculados o extraídos de ArcGIS.

El primer parámetro se refiere al área de la cuenca, un factor clave para el volumen de agua que se necesita drenar por la desembocadura del río. Puede clasificarse como: Muy Grande > 20 km²; Grande > 10 km²; Medio > 1 km² y Pequeño < 1 km² [23]. De esta manera, como se ilustra en la Tabla 14, la cuenca considerada puede clasificarse como “Muy Grande”, y más propensa a inundaciones en comparación con las cuencas más pequeñas. Sin embargo, los valores estándar son arbitrarios y pueden variar según el análisis realizado a lo largo del estudio [23] y con el carácter inundable de la cuenca.

Como se muestra en la Ilustración 31, los límites de la cuenca del *São Vicente* son considerablemente más altos que el área central, lo que indica una

fuerte pendiente y, posteriormente, un suministro muy rápido del curso de agua principal, aumentando así el volumen de agua que fluye por el arroyo que desembocará en su río boca.

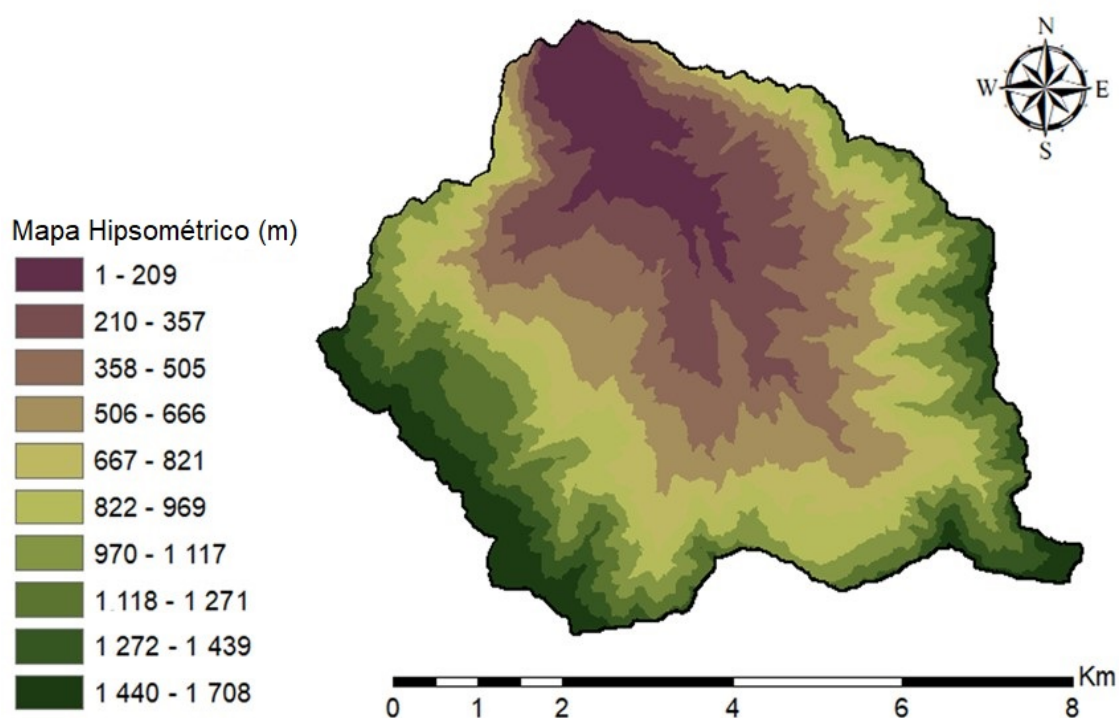


Ilustración 31 - Mapa hipsométrico: archivo MDE (Fuente: Autores de ESRI ArcGIS, 2020).

En cuanto a las singularidades de esta cuenca, la Ilustración 32 muestra un mayor número de arroyos, lo que también sugiere que tiene una mayor capacidad de drenaje, hay muchos arroyos tributarios de orden bajo y medio que abastecen el curso de agua principal. Además, el sistema de drenaje es un índice que se traduce en la tendencia hidrográfica que tiene una cuenca para crear nuevos arroyos. Así, cuencas con mayores densidades hídricas tienden a presentar más caudales tributarios, esto ocurre como consecuencia de la capacidad de generar nuevos caudales [15,17].

Nuevamente, este análisis solo fue posible gracias a los datos disponibles

en el Sistema Nacional de Información sobre Recursos Hídricos (SNIRH) [24], evaluando muestras de datos de un período considerado de dieciséis años como se muestra en la Tabla A4 y la Figura A2. Por lo tanto, utilizando el proceso probabilístico de la Distribución Gumbel, fue posible obtener los valores que se muestran en la Tabla 15.

Luego de obtener el índice de intensidad de precipitación estimado para un período de retorno de 100 años, se calcularon los caudales pico, como se presenta en la Tabla 16, utilizando las metodologías y ecuaciones antes mencionadas. El coeficiente de escorrentía superficial particularmente utilizado en la metodología racional fue de 0,500 (Cuadro 4) ya que el área de estudio es una región periférica con edificaciones comerciales. Este valor se traduce esencialmente en la proporción de agua que tiende a correr sobre la superficie del arroyo, es decir, el 50% de la precipitación total.

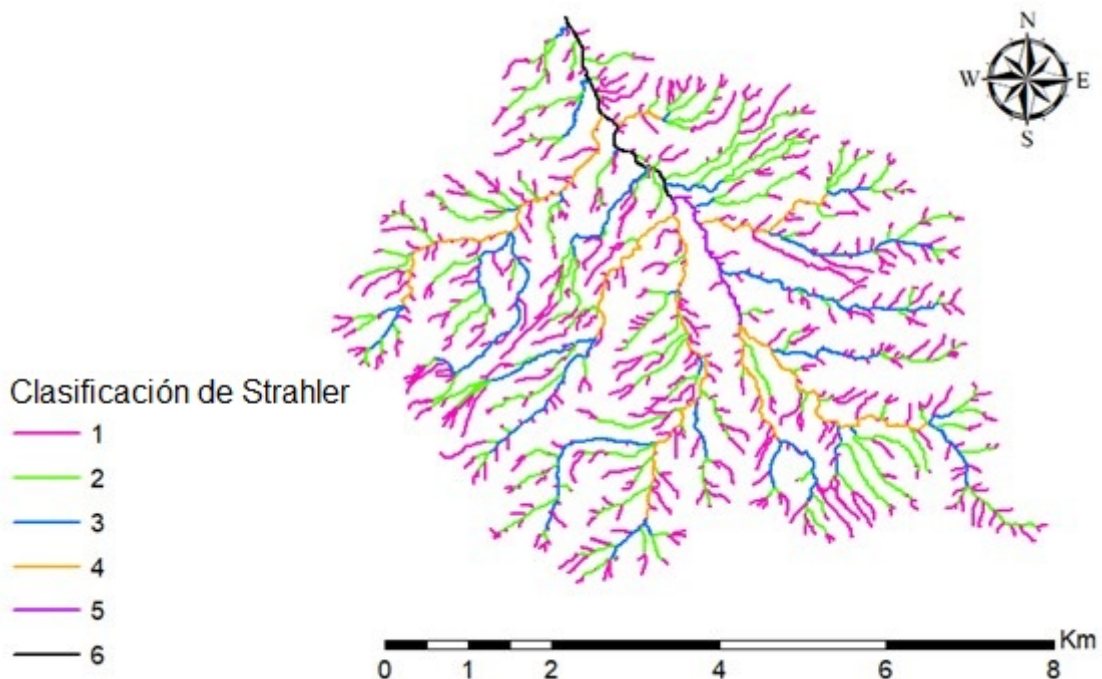


Ilustración 32 - Clasificación de Strahler (Fuente: Autores por ESRI ArcGIS, 2020).

Parámetro	Símbolo	Unidad de medida	Valor
Precipitación media anual	P_M	milímetro	164,443
Desviación estándar	S'	milímetro	64,424
Factor de frecuencia	K_T	adimensional	3,136
Coefficiente de distribución temporal	k	adimensional	0,543
Precipitación diaria máxima anual	P_{EST}	milímetro	366,521
Intensidad de la precipitación	Y_o	mm/h	110,646

Tabla 15 - Parámetros de precipitación.

Metodología	Caudal (m^3/s)
<i>Forti</i>	419,096
<i>Racional</i>	594,284
<i>Giandotti</i>	822,796
<i>Mockus</i>	602,432

Tabla 16 - Caudal máximo.

Áreas urbanas		
Ocupación de tierras	Coefficiente de drenaje superficial	
Área Comercial	Centro de la ciudad	0,700–0,950
	Zonas periféricas	0,500–0,700

Tabla 17 - Coeficiente de drenaje superficial adoptado (Fuente: [25]).

El valor del coeficiente de reducción (λ) utilizado en el cálculo del caudal a través de la metodología de *Giandotti* se presenta en la Tabla 18.

Área (km^2)	λ	Equivalente "C"
<300	0,346	1,250

Tabla 18 - Coeficiente de reducción de *Giandotti* adoptado (Fuente: [26]).

En cuanto a la capacidad de drenaje de la desembocadura del río de la cuenca considerada, la ecuación de *Manning-Strickler* finalmente confirmó la necesidad de seguir implementando una medida estructural de mitigación de inundaciones como la cuenca de detención, donde los valores obtenidos se resumen en la Tabla 19. También se debe señalar que las paredes y el cauce tienen diferentes coeficientes de rugosidad. En consecuencia, se calculó la

capacidad de drenaje de la desembocadura del río mediante la media aritmética ponderada de los coeficientes correspondientes, considerando que los muros de piedra y mortero se encuentran en buen estado ($n = 0.020$) y el cauce está formado por una superficie rocosa con abundante vegetación en mal estado ($n = 0,040$). Otro factor clave que debe tenerse en cuenta es la muy baja pendiente de la desembocadura del río, que tiende a reducir la velocidad del caudal y, en consecuencia, la capacidad de drenaje de la sección transversal. Para simular y modelar una situación crítica, se consideró entonces una pendiente de 0,01 m/m en el tramo de referencia.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Anchura de la desembocadura del río	m	40,000
Altura de la desembocadura del río	m	3,000
Capacidad de drenaje de la desembocadura del río	m ³ /s	608,172
Tasa de relleno: <i>Forti</i> (pre-regularización)	%	69
Tasa de relleno: <i>Racional</i> (pre-regularización)	%	98
Tasa de relleno: <i>Giandotti</i> (pre-regularización)	%	135
Tasa de relleno: <i>Mockus</i> (pre-regularización)	%	99

Tabla 19 - Evaluación de la necesidad de implementación de cuencas de detención.

Como se presenta en la Tabla 19, la Tasa de Llenado es superior al límite establecido de 69% para los métodos *Racional*, *Giandotti* y *Mockus*, lo que nuevamente indica claramente la necesidad de implementar medidas de mitigación y control de caudal para la sección de la desembocadura del río. Considerando esto, se diseñó una cuenca de detención con los caudales calculados de las metodologías, afectados por las restricciones espaciales y las presiones antropogénicas de un área urbana, es decir, las infraestructuras ya existentes cerca del curso de agua.

Dado que el diseño de las dársenas de detención depende de que se excedan los límites del caudal para la desembocadura del río de la cuenca, también se diseñó un aliviadero trapezoidal de Cipolletti para refrenar y controlar el caudal que terminará aguas abajo. Las características de este tipo de vertedero se pueden encontrar en la Tabla 20.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Ancho del aliviadero	m	38,500
Altura del alféizar del aliviadero	m	3,000
Salida del aliviadero	m ³ /s	372,096
Tasa de relleno: <i>Racional</i> (post-regularización)	%	61
Tasa de relleno: <i>Giandotti</i> (post-regularización)	%	61
Tasa de relleno: <i>Mockus</i> (post-regularización)	%	61

Tabla 20 - Aplicación del aliviadero *Cipolletti*.

Posteriormente, las cuencas de detención también se diseñaron a través de los métodos holandés y HTS, que son simplemente metodologías simplificadas que no tienen en cuenta muchos factores clave y, en consecuencia, dan como sobredimensionada la infraestructura hidráulica. Además, el ancho y la altura de la sección transversal de la cuenca de detención se fijaron con los mismos valores de la existente para reducir los impactos ambientales de esta medida en un área urbana. Por tanto, el único parámetro geométrico que podía variar era su longitud, limitándose a la longitud del cauce principal.

Utilizando todas las metodologías y ambos métodos fue posible presentar los siguientes valores de longitud en la Tabla 21.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Ancho	m	40,000
Altura	m	3,000
Longitud: método holandés (<i>Racional</i>)	m	11991,486
Longitud: método HTS (<i>Racional</i>)	m	4483,318
Longitud: método holandés (<i>Giandotti</i>)	m	24324,279
Longitud: método HTS (<i>Giandotti</i>)	m	13324,023
Longitud: método holandés (<i>Mockus</i>)	m	12431,234
Longitud: método HTS (<i>Mockus</i>)	m	4753,002

Tabla 21 - Tamaño de la cuenca de detención.

Finalmente, la modificación del coeficiente de rugosidad del cauce y las paredes también se consideró como una medida estructural alternativa de mitigación de inundaciones para evitar sus impactos manteniendo la misma cantidad y características de la vegetación del cauce. De esta forma, los valores de la Tabla 22 fueron elegidos especialmente para mejorar claramente el estado

de conservación del cauce, reduciendo así la fricción entre el agua drenada y el material que cubre el curso de agua, aumentando posteriormente su capacidad de drenaje.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Coefficiente de rugosidad de la pared: modificado	$m^{-1/3}$	0,012
Coefficiente de rugosidad del lecho del río: modificado	$m^{-1/3}$	0,030
Capacidad de drenaje de la desembocadura del río: modificada	m^3/s	822,371
Tasa de relleno: <i>Racional</i> (posterior a la modificación)	%	72
Tasa de relleno: <i>Glandotti</i> (posterior a la modificación)	%	100
Tasa de relleno: <i>Mockus</i> (posterior a la modificación)	%	73

Tabla 22 - Modificación del coeficiente de rugosidad.

Por último, los coeficientes de rugosidad modificados de las paredes del arroyo se consideraron con su superficie cubierta de hormigón en buen estado de conservación, aunque el cauce se mantendría con las mismas características rocosas y abundante vegetación, no obstante, en buen estado. Los valores utilizados para estos coeficientes se resumen en la Tabla 23.

Tipología de canal	Muy bien	Bien	Regular	Malo
Canal con pendiente pedregosa y vegetada	0,025	0,030	0,035	0,040
Superficie con acabado de hormigón	0,011	0,012	0,013	0,015

Tabla 23 - Coeficiente de rugosidad adoptado (Fuente: [26]).

**CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES /
*DISCUSSION AND CONCLUSIONS***

CONTENIDO DEL CAPÍTULO 7:
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES / *DISCUSSION AND CONCLUSIONS*

7.1 DISCUSIÓN GLOBAL / *OVERALL DISCUSSION*

7.2 CONCLUSIONES FINALES / *FINAL CONCLUSIONS*

7.1. Discusión Global / *Overall Discussion*

Discusión Global

El objeto de este trabajo de fin de ciclo relacionado con el doctorado, estuvo ligado con el análisis de la influencia de las fuentes artificiales de agua, y la evolución y ocupación del uso del suelo, en los procesos de planificación urbana y territorial. Es decir, su propósito básico fue el análisis de medidas de mitigación de inundaciones para regiones con alto riesgo, siguiendo los lineamientos que presentan los conceptos de planificación urbana y ordenamiento territorial.

A partir del análisis bibliográfico se adquirió conocimiento respecto al tipo de inundaciones, es decir, las inundaciones pluviales que están asociadas al evento regional del 20 de febrero de 2010, objeto de estudio en esta tesis. Posteriormente, se encontró que la evolución del crecimiento demográfico urbano se asume como uno de varios parámetros de presión antrópica, originada por el evento mencionado anteriormente. Aun así, con base en la extensa revisión bibliográfica, se comprobó que las inundaciones pluviales se establecen como uno de los fenómenos extremos con mayor intensificación en los últimos tiempos, provocando diversas catástrofes naturales en todo el globo. En cuanto a la isla de Madeira, la región tiene un historial preocupante de inundaciones, que causaron numerosas pérdidas humanas y materiales. Como una forma de entender la presencia, cada vez más frecuente de estos eventos, ligada al concepto de organización territorial. Se analizó que la disminución del intervalo entre eventos extremos está totalmente ligada a los cambios climáticos globales y regionales, así como a la densificación del tejido urbano de una manera desordenada.

A continuación, se registraron los tipos y medidas de mitigación de

inundaciones que ya se habían llevado a cabo en la isla de Madeira, subdividiéndolas según sus orígenes previstos y dando los respectivos ejemplos. A continuación, se realizó una síntesis de las ocurrencias aluviales en la isla de Madeira, definiendo criterios para la selección e identificación de zonas críticas y, por otro lado, mecanismos de prevención de riesgos, ya sea en términos de protección civil o instrumentos de gestión territorial.

En un segundo punto, se analizó la evolución y ocupación del uso del suelo en la RAM, haciendo notorio el aumento del tejido urbano continuo en detrimento del discontinuo, de las áreas quemadas en detrimento del frondoso bosque, y la disminución de los cuerpos de agua en función de las políticas. Espacios territoriales expansionistas insostenibles. La provisión de canales de agua artificiales de menos expresividad, como en el caso de las tomadas en Madeira, también estuvo relacionada con el uso agrícola del suelo y se expuso la importancia de la cubierta vegetal aguas arriba de la cuenca hidrográfica, como medida de mitigación de inundaciones.

En un tercer punto, se valora la adecuación de la predisposición espacial de los cauces artificiales en estudio, relacionándola con los instrumentos de gestión existentes relacionados con el planeamiento urbanístico y territorial. La predisposición espacial de los cauces artificiales de agua condiciona indiscutiblemente la gestión del territorio a través de los riesgos hidrológicos asociados, así como las posibles consecuencias medioambientales y de infraestructura del tipo de uso y ocupación del suelo. A nivel de las medidas tomadas, la preocupación acaba disminuyendo por la falta de riesgos inmediatos para la vida humana, y su disposición se asocia a la cultura agrícola y al transporte acuático entre municipios.

Por otro lado, la ordenación de los arroyos acaba por estar relacionada con la necesidad de drenar mayores volúmenes de agua y, por ello, debe realizarse

utilizando los distintos instrumentos de gestión territorial, evitando el aumento de presiones antrópicas y al mismo tiempo actuando de forma preventiva, protegiendo la infraestructura existente y mitigando el riesgo de inundaciones particularmente agudas en el tramo corriente más bajo de un curso de agua. Dado todo esto, la predisposición actual de ambas corrientes se considera aceptable, sin embargo, hay que tener la certeza de que siempre habrá formas de optimizar todo el proceso.

Luego se analiza la viabilidad de aplicar modelos de gestión territorial, en concreto de cuencas hidrográficas, así como medidas para mitigar el riesgo de inundaciones en cauces artificiales. La gestión del territorio y su relación con las cuencas hidrográficas debe realizarse con el fin de mitigar el riesgo de inundaciones. A nivel regional, aún quedan por implementar estrategias de ordenamiento territorial, algunas de las cuales ya han sido aprobadas por la asamblea municipal, como es el caso del Plan de Acción para la Movilidad Urbana Sostenible (PAMUS), cuyo objetivo sería prohibir o al menos restringir de vehículos que circulan por el centro histórico de Funchal, fomentando así el uso del transporte público en detrimento de los vehículos personales. De ponerse en práctica, PAMUS permitiría, por ejemplo, incrementar la sección transversal de los arroyos y consecuentemente el caudal drenado, ya que con la reducción del número de vehículos que circulan en la zona histórica, ya no sería necesario utilizar dos calzadas con cuatro carriles de circulación, siendo la circulación únicamente realizada por dos carriles de circulación.

Posteriormente, se enumeraron los aspectos que componen el concepto de ordenamiento territorial y planificación urbana, con el fin de comprender la necesidad de implementar medidas estructurales y no estructurales para prevenir o mitigar los impactos generados por los fenómenos naturales, a saber, las inundaciones. Asimismo, aprovechando las oportunidades que brinda el encuadre de esta investigación, extenderla a otros casos de estudio distintos a los

contenidos en esta tesis (es decir, a nivel nacional), se hace posible verificar la existencia de otras medidas para mitigar el riesgo de inundaciones estructurales y no estructurales e inundaciones que podrían implementarse en la región, siendo seguidamente enunciados algunos ejemplos:

Medidas estructurales:

1. Eliminación de sedimentos: medida para eliminar los sedimentos acumulados en el fondo del arroyo.

2. Reubicación de Edificaciones - Las edificaciones que se encuentren dentro de los límites del Dominio Público de Agua, áreas adyacentes, en las riberas o en el lecho de los arroyos y sus afluentes, deben ser objeto de reflexión. Por las características y grado de amenaza que representa, esta edificación debe ser objeto de una propuesta de reubicación.

3. Creación de un sistema de alerta de mareas-precipitación - El sistema propuesto debe relacionar, de manera computarizada, en tiempo real, los valores de precipitación con las mareas. Así, siempre que exista un valor elevado de precipitaciones (igual o superior a los valores que desencadenaron las últimas inundaciones en 2010), combinado con el período de pleamar, se debe emitir una alerta a los medios de Protección Civil.

4. Aproximación de los sistemas de alerta a la población - El sistema propuesto toma en cuenta la emisión de alertas y comunicaciones a la población a través de dispositivos móviles de comunicación. Así, se debe poner a disposición una aplicación para los sistemas iPhone y Android, de forma gratuita, que emita alertas y comunicaciones, en tiempo real, a todos los usuarios de la misma.

Medidas no estructurales:

1. Seguro contra inundaciones - Estrategia que determina la obligación de contratar un seguro contra inundaciones, por parte de todos los propietarios que tienen activos dentro de las áreas definidas como áreas adyacentes a los ríos y al dominio público de aguas.

2. Intercambio de terrenos - El intercambio de terrenos entre el municipio y sus propietarios (entidades públicas o privadas), debe realizarse y promoverse, cuando sea necesario, a favor de los objetivos de mitigación de inundaciones.

3. Monitoreo regular de elementos y sitios patrimoniales - Los elementos patrimoniales y sitios arqueológicos deben ser objetivos de monitoreo regular y evaluación específica después de realizar obras o episodios de inundaciones, con el fin de establecer una propuesta para los elementos afectados cuando esté justificado.

En general, la selección de estos casos de estudio en la isla de Madeira (*Ribeira Brava* y *São Vicente*) permitió caracterizar los eventos de inundación en canales de agua artificiales en áreas urbanas, originados por fenómenos de precipitación intensa de corta duración. La importancia de la percepción y capacidad de respuesta de protección civil y más tarde de la población ante estos eventos sigue siendo objeto de un estudio en profundidad, a fin de enfatizar la necesidad de una constante adaptación e innovación de las medidas preventivas y mitigadoras del riesgo de inundaciones.

También se han podido identificar medidas de mitigación de inundaciones ya implementadas en RAM y otras a considerar en el futuro cuya eficiencia ya ha sido probada, como la construcción y uso de presas, cuencas de detención o la construcción de diques laterales, de los cuales incluso puede sacarse provecho energético. La protección de la cubierta vegetal río arriba, una inversión en información y prevención de la población y el establecimiento de políticas de ordenamiento urbanístico y territorial que alivien la presión antropogénica, son

otras lecciones a aprender de los casos de estudio analizados

Sin embargo, debido a la urgencia de tomar medidas pragmáticas para evitar catástrofes a corto plazo, el presente estudio tuvo como objetivo presentar medidas principalmente estructurales que no dependan de aspectos excesivamente burocráticos y que lleven a una amplia discusión para su implementación. Con base en esta premisa, se sugirió la implementación de un estanque de detención en los arroyos que presentaban un alto riesgo de inundación, o la alteración del coeficiente de rugosidad de las paredes y lecho de los arroyos.

Para el análisis de riesgo se utilizaron dos parámetros elementales: registro en el informe de riesgo DROTA y, mediante el cálculo de indicadores hidrológicos y geomorfológicos, tener una capacidad de caudal inferior al volumen de agua precipitada. También se dilucidaron todas las metodologías e indicadores utilizados, que incluyeron la programación de hojas de cálculo desarrolladas con el software Microsoft Excel.

La obtención de datos sobre las cuencas hidrográficas en estudio, es decir, las de *Ribeira Brava* y *São Vicente*, se realizó mediante el procesamiento del archivo MDT proporcionado por LREC, utilizando el software ArcGIS 10.5. También se presentó un resumen del método utilizado para llevar a cabo este tratamiento, demostrando textual y gráficamente las pautas adoptadas. Luego, los resultados se obtuvieron mediante el uso de las metodologías antes mencionadas, tanto en cuanto a la caracterización geomorfológica de las cuencas como al dimensionamiento de las cuencas de detención. A su vez, los resultados obtenidos para el análisis de riesgos fueron satisfactorios, ya que hubo acuerdo absoluto con el informe de riesgos propuesto por DROTA.

Con respecto a las cuencas de detención, una de las metodologías (método holandés) presentó valores satisfactorios en el alcance del control de los caudales, sin embargo, no aplicable según el principio de reducción de impactos adoptado en el estudio, ya que sería necesario cambiar la sección transversal del curso de agua en una gran longitud y causaría impactos indeseables a las estructuras urbanas adyacentes. Sin embargo, la metodología HTS se presentó con la misma eficiencia de control de caudal y aplicable en términos de impactos, siendo suficiente la longitud del cauce principal de todas las cuencas hidrográficas para implementar la medida sin cambiar la sección transversal.

Finalmente, la última medida propuesta (cambio en el coeficiente de rugosidad) mostró resultados aún más satisfactorios en comparación con las dos metodologías anteriores, siendo fácil de implementar y simple de mantener.

En cuanto a la evolución y ocupación del uso del suelo, luego de aplicar la metodología inherente, es posible analizar cada una de las clasificaciones de acuerdo a su respectiva variación, más tarde se retratan las clases que presentaron mayores cambios a lo largo del periodo de tiempo. Por lo tanto, la clase correspondiente a las superficies de tejido urbano discontinuo, se refiere a la clase de tejido urbano discontinuo, que se asigna cuando las estructuras urbanas y las redes de transporte asociadas, las áreas con vegetación y las superficies libres están presentes y ocupan superficies significativas en un patrón espacial discontinuo. Una de las principales características es el nivel de permeabilidad del suelo, ya que las áreas impermeables como edificios, caminos y superficies artificiales varían del 30 al 80% de la cobertura del suelo. Para el caso de estudio, la permeabilidad del suelo para el municipio de *Ribeira Brava* aumentó del 10,32% en 1990 al 11,40% en 2012, manteniéndose constante hasta 2018; el valor máximo de la clase fue del 11,79% en 2006. Este parámetro indica que no hubo un aumento significativo de la trama urbana, lo que se puede explicar por la dificultad en la

construcción debido a la irregularidad del terreno (relieve con grandes transiciones de niveles), la distancia del centro económico de la isla, es decir, Funchal, y la reducción gradual de la población.

Al igual que la clase anterior (superficies de tejido urbano discontinuo), la clase correspondiente a unidades industriales o comerciales se refiere a la implantación de superficies artificiales con menor capacidad de absorción del suelo. En este sentido, se asigna esta clase a unidades de terreno que tengan uso industrial o comercial o que sirvan como instalaciones de servicio público. En el caso del municipio de *Ribeira Brava*, hubo un aumento del 0,00% en 1990 al 0,39% en 2012, valor que se mantuvo hasta 2018. Así, este indicador sugiere que solo hubo un pequeño aumento en la cantidad de infraestructura comerciales o industriales, que eran suficientes para satisfacer la demanda local. Estos parámetros son muy importantes para el municipio de *Ribeira Brava*, ya que es uno de los municipios de la región que más sufre inundaciones en todo Madeira, tanto que *“este municipio se llama así porque su valle está atravesado por una ribera muy grande en época de lluvias, hecho que causó muchos daños en su recorrido de 8 km”*. Por lo tanto, las regiones con baja capacidad de absorción del suelo provocan una rápida saturación y, por lo tanto, permiten la escorrentía superficial, lo que lleva a la acumulación de agua que excede la capacidad de flujo del sistema de drenaje urbano. Así, todo el volumen de agua sobrante de las lluvias más intensas tiende a causar daños económicos y humanitarios. Entonces, el análisis de la evolución de la clasificación de las superficies artificiales se vuelve fundamental para la implementación de medidas para mitigar los impactos de las inundaciones en regiones urbanizadas, tanto desde el punto de vista administrativo - por ejemplo, implementación y optimización de los activos del Desarrollo Plan Director del Municipio - y desde una perspectiva estructural - por ejemplo, construcción de balsas de detención u optimización del sistema de drenaje existente.

La clasificación perteneciente a la clase nombrada por áreas agrícolas, designada por tierras ocupadas por la agricultura, se refiere a áreas ocupadas principalmente por la agricultura, intercaladas con áreas naturales o seminaturales significativas, por ejemplo, bosques, arbustos, pantanos, cuerpos de agua, afloramientos minerales. El análisis de los datos indica que hubo una tendencia porcentual decreciente para este tipo de ocupación del suelo entre 1990 con un 14,24% y 2006 con un 12,70%. Sin embargo, hubo un pequeño aumento porcentual en 2018, correspondiente al 13,15% de la superficie del municipio de *Ribeira Brava*.

La clasificación relativa a bosque mixto corresponde a una vegetación compuesta principalmente por árboles, donde no predominan las especies latifoliadas y coníferas. Este tipo de vegetación fue predominante en el municipio de estudio con un valor porcentual de 21,43% en 1990 y 2000; sin embargo, su porcentaje ha ido disminuyendo paulatinamente y se registró en 20,81% en 2006, 18,03% en 2012 y 16,68% en 2018.

A diferencia de las clasificaciones forestales anteriores, la relativa a los pastizales naturales corresponde a campos con influencia humana nula o moderada y campos de baja productividad. Este tipo de ocupación del suelo suele localizarse en zonas de relieve accidentado y fuertes pendientes, lo que se corresponde precisamente con el tipo de relieve del municipio objeto de estudio. Este tipo de ocupación del suelo ha ido aumentando paulatinamente, pasando del 10,33% en 1990 y 2000 al 13,45% en 2018.

Otra clasificación que ha ido aumentando paulatinamente su porcentaje es la relativa a pantanos y brezales, llegando a ser predominante en la zona del municipio objeto de estudio. Esta clasificación corresponde a la presencia de vegetación de cobertura baja y cerrada, dominada por arbustos y arbustos enanos.

El análisis realizado en 1990 indicó que esta clasificación estaba presente en el 16,55 % de la superficie total del municipio, aumentando al 16,22 % en 2000 y 2006. Al igual que en las clasificaciones anteriores, en 2012 hubo una reducción significativa en la superficie ocupada, ascendiendo al 14,84%. Sin embargo, en el estudio realizado en 2018, se nota que hubo una importante recuperación de la vegetación perdida, que ahora corresponde al 20,12% y es la vegetación predominante en la zona del municipio objeto de estudio.

En una visión global, de 1990 a 2018, se puede concluir que el 20,69% del territorio de *Ribeira Brava* sufrió cambios. En total, el 10,34% de los cambios disminuyeron (CLC-212, 222, 241, 243, 311, 313, 333 y 523), mientras que el otro 10,35% aumentó (CLC-112, 121, 221, 242, 312, 321, 322 y 324). Más de la mitad de los cambios se produjeron en bosques y zonas seminaturales (CLC-3), donde desapareció el 4,75% de los bosques mixtos (CLC-313) y aumentaron un 7,19% los cambios en cuanto a la asociación de vegetación arbustiva y/o herbácea (CLC-32). Este último tipo de cobertura cumple importantes funciones de servicios ecosistémicos, especialmente en los procesos de polinización y en la regulación y retención de los caudales de agua.

Overall Discussion

The purpose of this end-of-cycle work related to the doctorate was related to the analysis of the influence of artificial water channels, and the evolution and occupation of land use, in urban and territorial planning processes. This has as an elementary purpose the analysis of mitigating measures of floods for regions with high risk, following the guidelines presented by the concepts of urban planning and territorial ordering.

From the bibliographic analysis, knowledge was acquired regarding the type of floods, that is, the pluvial floods associated with the regional event of February 20, 2010, the object of study in this thesis. Subsequently, it was found that the evolution of urban demographic growth is assumed as one of several parameters of anthropogenic pressure, originating from the aforementioned event. Still, based on an extensive bibliographical review, I verified that the rainy seasons are established as two extreme phenomena with greater intensification in recent times, causing various natural catastrophes all over the globe. Referring to Madeira Island, the region has a worrying history of floods which will cause innumerable human and material losses. As a way of understanding the increasingly frequent presence of these events, linked to the concept of territorial ordering, it is analyzed that the decrease in the interval between extreme events is totally attributable to global and regional climatic changes, as well as the densification of urban malaise in a disorder.

Next, the types of flood and flood mitigation measures that had already been carried out on the island of Madeira were recorded, subdividing them according to their intended origins and giving the respective examples. Then, a synthesis of alluvial occurrences on the island of Madeira was carried out, defining criteria for the selection and identification of critical areas and, on the other hand, risk prevention mechanisms, either in terms of civil protection or territorial management

instruments.

In a second point, the evolution and occupation of land use in the RAM were analyzed, noting the increase in the continuous urban fabric to the detriment of the discontinuous one, of the burned areas to the detriment of the leafy forest, and the decrease in bodies of water. depending on the policies. Unsustainable expansionist territorial spaces. The provision of artificial water channels of less expressiveness, as in the case of those taken in Madeira, was also related to the agricultural use of the soil and the importance of the vegetation cover upstream of the hydrographic basin was exposed, as a mitigation measure of floods.

In a third point, the adequacy of the spatial predisposition of the artificial channels under study is assessed, relating it to the existing management instruments related to urban and territorial planning. The spatial predisposition of artificial water channels indisputably conditions the management of the territory through the associated hydrological risks, as well as the possible environmental and infrastructure consequences of the type of land use and occupation. At the level of the measures taken, concern ends up diminishing due to the lack of immediate risks to human life, and their disposition is associated with agricultural culture and water transport between municipalities.

On the other hand, the organization of streams ends up being related to the need to drain larger volumes of water and, therefore, it must be carried out using the different territorial management instruments, avoiding the increase in anthropic pressures and at the same time acting in prevention, protecting existing infrastructure and mitigating the risk of particularly severe flooding in the lower current section of a water course. Given all this, the current bias of both currents is considered acceptable, however, one must be certain that there will always be ways to optimize the entire process.

Then, the feasibility of applying territorial management models is analyzed, specifically of hydrographic basins, as well as measures to mitigate the risk of flooding in artificial channels. The management of the territory and its relationship with the hydrographic basins must be carried out in order to mitigate the risk of flooding. At the regional level, territorial planning strategies have yet to be implemented, some of which have already been approved by the municipal assembly, such as the Action Plan for Sustainable Urban Mobility (APSUM), whose objective would be to prohibit or at least restrict vehicles circulating through the historic center of Funchal, thus promoting the use of public transport to the detriment of personal vehicles. If put into practice, PAMUS would allow, for example, to increase the cross-section of streams and consequently the drained flow, since with the reduction in the number of vehicles that circulate in the historic area, it would no longer be necessary to use two roads with four lanes of circulation, being the circulation only carried out by two lanes of circulation.

Subsequently, we will state the aspects that make up the concept of territorial ordering and urban planning, in order to understand the need for the implementation of structural and non-structural measures for the prevention or mitigation of two impacts generated by natural phenomena, known as floods. Likewise, by taking advantage of the framing opportunities, extending the research to other case studies other than those contained in this thesis (that is, at the national level), it becomes possible to verify the existence of other measures to mitigate the risk of structural flooding and non-structural and flooding that could be implemented in the region, some examples being listed below:

Structural measures:

1. Sediment Removal: A measure to remove accumulated sediment at the bottom of the stream.;
2. Relocation of Buildings - Buildings that are located within the limits of the

Public Water Domain, adjacent areas, on the banks or in the bed of streams and their tributaries, must be subject to reflection. Due to the characteristics and degree of threat, it represents, this building should be the subject of a relocation proposal;

3. Creation of a tidal-precipitation alert system - The proposed system must relate, in a computerized way, in real-time, the precipitation values with the tides. Thus, whenever there is a high level of rainfall (equal to or higher than the values that triggered the last floods in 2010), combined with the high tide period, an alert must be issued to the Civil Protection media;

4. Approximation of alert systems to the population - The proposed system takes into account the issuance of alerts and communications to the population through mobile communication devices. Thus, an application must be made available for the iPhone and Android systems, free of charge, which issues alerts and communications, in real-time, to all its users.

Non-structural measures:

1. Flood insurance - Strategy that determines the obligation to purchase flood insurance by all owners who have assets within the areas defined as areas adjacent to rivers and public domain waters;

2. Exchange of land - The exchange of land between the municipality and its owners (public or private entities), must be carried out and promoted, when necessary, in favor of flood mitigation objectives;

3. Regular monitoring of heritage elements and sites - Heritage elements and archaeological sites should be targeted for regular monitoring and specific evaluation after carrying out works or flood episodes, in order to establish a proposal for the affected elements when justified;

In general, the selection of these case studies on the island of Madeira (*Ribeira Brava* and *São Vicente*) allowed us to characterize the flood events in artificial water channels in urban areas, originating from short-duration intense

precipitation phenomena. The importance of the perception and response capacity of civil protection and later of the population in the face of these events continues to be the subject of an in-depth study, in order to emphasize the need for constant adaptation and innovation of preventive and risk mitigation measures of floods.

It has also been possible to identify flood mitigation measures already implemented in RAM and others to be considered in the future whose efficiency has already been proven, such as the construction and use of dams, detention basins or the construction of lateral dikes, which even energy can be used. The protection of the vegetation cover upstream, an investment in information and prevention of the population and the establishment of urban and territorial planning policies that alleviate anthropogenic pressure, are other lessons to be learned from the case studies analyzed.

In the meantime, due to the urgency of taking pragmatic measures to avoid catastrophes in the short term, the present study aims to present mainly structural measures that do not depend on two aspects that are too bureaucratic and that would originate a vast discussion for their implementation. Based on this premise, it is suggested to implement a detention basin on the banks that present a high risk of floods or to alter the coefficient of the roughness of the walls and the bed of the banks.

For the risk analysis, two elementary parameters were used: to establish the DROTA cliff relation and, through the calculation of two hydrological and geomorphological indicators, to have a drainage capacity lower than the volume of precipitated water. All the methodologies and indicators used were also elucidated, we will count with the program of calculation sheets developed with the Microsoft Excel software.

The obtaining of two data referring to the hydrographic basins in the study

– ie *Ribeira Brava* and *São Vicente* – was done through the treatment of the DTM file provided by LREC, by means of ArcGIS 10.5 software. A summary of the method used to carry out this treatment was also presented, demonstrating textually and graphically the guidelines adopted. Then, the results were obtained by using the aforementioned methodologies, both regarding the level of geomorphological characterization of the hydrographic basins and the dimensioning of the detention basins. In turn, the results obtained for the analysis of the risk were satisfactory, once there was an absolute agreement with the report of the risk proposed by DROTA.

Not that it refers to the detention basins, one of the methodologies (Dutch method) presented satisfactory values in the scope of the control of two flows, therefore, they are not applied according to the principle of reduction of impacts adopted in the study, once it would be necessary to change the section transversal of the water course for a long period and would cause undesirable impacts for the adjacent urban structures. However, the HTS methodology appears to have the same flow control efficiency and is applicable to the level of impacts, being the compression of the main water course of all hydrographic basins sufficient for the implementation of the measurement without alteration of the cross-section.

Finally, the last measure proposed (alteration of the roughness coefficient) presented still more satisfactory results in comparison with the two previous methodologies, being easy to implement and simple to maintain.

Not that it is related to the evolution and occupation of land use, after applying the inherent methodology, it is possible to analyze each one of the classifications according to their respective variation, and then the classes that will show the most alterations over the time period will be portrayed by analysis. Likewise, the class corresponding to the surfaces of the continuous urban fabric refers to the class of continuous urban fabric, which is attributed when urban

structures and associated transport networks, vegetated areas and free surfaces are present and occupy significant surfaces in a spatial pattern discontinuous. One of the main characteristics is the level of permeability of the soil because impermeable areas such as buildings, roads and artificial surfaces vary from 30 to 80% of the coverage of the soil. For the case study, the permeability only for the municipality of *Ribeira Brava* increased from 10.32% in 1990 to 11.40% in 2012, remaining constant until 2018; The maximum value of the class was 11.79% in 2006. This parameter indicates that there was no significant increase in urban sprawl, or that it can be explained by the difficulty of construction due to the irregularity of the terrain (relief with large elevation transitions), distance from the economic centre of the island - ou seja, Funchal - is the gradual reduction of the population.

Similar to the previous class (no continuous urban fabric surfaces), to the class corresponding to industrial or commercial units, it refers to the implementation of artificial surfaces and with less absorption capacity than alone. In this sense, this class is attributed to farm units that have industrial or commercial use or that serve as public service facilities. In the case of the municipality of *Ribeira Brava*, there was an increase from 0.00% in 1990 to 0.39% in 2012, a value that is maintained until 2018. Thus, this indicator suggests that there is only a small non-important increase in infrastructures. You are commercial or industrial, which is sufficient to attend to local procurement. These parameters are very important for the council of *Ribeira Brava* because they are two councils of the region that suffers the most from the floods in the entire Madeira Island, so much so that "this council is called that way because its value is crossed by a very common great at the time of the rains, a fact that caused much havoc in its 8 km route". Likewise, regions with low absorption capacity only cause rapid saturation and, likewise, allow surface drainage, leading to the accumulation of water that exceeds the drainage capacity of the urban drainage system. Likewise, the entire volume of excess water from the most intense rain showers tends to cause economic and

humanitarian damage. Therefore, the analysis of the evolution of the classification of artificial surfaces becomes essential for the implementation of mitigation measures for the impacts of flooding in urbanized regions, both from an administrative point of view - for example, implementation and optimization of the heritage of the Plano Director de Desenvolvimento of the Municipality - and from a structural perspective - for example, construction of detention basins or optimization of the existing drainage system.

The classification belonging to the class denominated by agricultural areas, designated by lands occupied by agriculture, refers to areas occupied mainly by agriculture, interspersed with significant natural or semi-natural areas - for example, forests, shrubs, swamps, bodies of water, outcrops and minerals. An analysis of two data indicates that there was a percentage trend of decrease for this type of occupation only between 1990 with 14.24% and 2006 with 12.70%. However, there was a small percentage increase in 2018, corresponding to 13.15% of the area of the *Ribeira Brava* municipality.

The classification relative to mixed forest corresponds to vegetation composed mainly of trees, where leafy and coniferous species do not predominate. This type of vegetation was predominant in the municipality in the study with a percentage value of 21.43% in 1990 and 2000; However, its percentage has gradually decreased and was registered as 20.81% in 2006, 18.03% in 2012 and 16.68% in 2018.

Contrary to the previous forest classifications, relative to natural fields, it corresponds to fields with little smoke or moderate human influence and fields of low productivity. This type of occupation is only frequently located in areas of rugged relief and steep decline, or that corresponds precisely to the type of relief of the council in the study. This type of employment has only increased gradually, going from 10.33% in 1990 and 2000 to 13.45% in 2018.

Another classification that I see gradually increasing its percentage is relative to swamps and ponds, becoming predominant in the area of the municipality under study. This classification corresponds to the presence of vegetation with low and dated cover, dominated by shrubs and ancient shrubs. An analysis carried out in 1990 indicated that this classification was present in 16.55% of the total area of the municipality, rising to 16.22% in 2000 and 2006. As well as the previous classifications, in 2012, there was a significant reduction in the occupied area, increasing to 14.84%. However, since the study was carried out in 2018, I know that there was a significant recovery of the lost vegetation, which now corresponds to 20.12% and is the predominant vegetation in the area of the municipality under study.

From a global view, from 1990 to 2018, it can be concluded that 20.69% of the *Ribeira Brava* territory suffered alterations. Not total, 10.34% of the alterations decreased (CLC-212, 222, 241, 243, 311, 313, 333 and 523), while the others 10.35% increased (CLC-112, 121, 221, 242, 312, 321, 322 and 324). More than half of the alterations will occur in forests and semi-natural areas (CLC-3), where 4.75% of the mixed forests will disappear (CLC-313) and the alterations will increase by 7.19%, not referring to the association of shrubby vegetation and/or herbaceous (CLC- 32). This last type of cover performs important functions of ecosystem services, especially in the processes of pollination and in the regulation and retention of water flows.

7.2. Conclusiones finales / *Final Conclusions*

Conclusiones finales

- Los resultados obtenidos en este estudio indican que la cuenca de *Ribeira Brava* y *São Vicente* es susceptible de inundaciones durante un evento de precipitación extrema, lo que se refuerza con el Informe de Riesgo de Inundaciones elaborado por DROTA. Esto ocurre porque el cauce del arroyo tiene características muy desfavorables al escurrimiento superficial, ya que tiene una superficie con una presencia significativa de piedras y vegetación. Estas características del cauce reducen la velocidad del flujo del agua y, en consecuencia, reducen la capacidad de drenaje, especialmente en zonas de muy poca pendiente, como la desembocadura del río. La capacidad de drenaje insuficiente de la desembocadura del río se verificó a través de 3 de 4 metodologías utilizadas en esta parte del estudio, a saber: *Racional*, *Giandotti* y *Mockus*.
- En cuanto a los dos métodos utilizados durante este estudio, el Método holandés no presentó resultados coherentes ya que indica la necesidad de cuencas de detención muy largas en relación con el curso de agua principal de la cuenca. Por otro lado, el Método del Hidrograma Simplificado presentó no solo resultados satisfactorios sino también fáciles de implementar, ya que no hay necesidad de cambiar ni la altura ni el ancho de la corriente.
- Si bien cambiar el coeficiente de rugosidad del cauce y las paredes de la cuenca puede parecer una medida relativamente simple e inverosímil de considerar, seguramente logró mitigar el impacto de la inundación, cumpliendo su objetivo principal de preservar las infraestructuras y los bienes de las personas.

- Este estudio mejora las metodologías y técnicas utilizadas en estudios de casos similares como válidas y apropiadas para el desarrollo científico basado en modelos y simulaciones de escenarios de inundación.
- Uno de los propósitos de este estudio fue evaluar la variación en el uso y ocupación del suelo y las implicaciones regionales que estos cambios pueden causar. Por lo tanto, como se muestra, el municipio de *Ribeira Brava* presentó estancamiento en el crecimiento de su tejido urbano y alteración de la vegetación predominante, debido a la morfología de este municipio.
- En relación al municipio de *Ribeira Brava*. Los cambios en los usos del suelo son una señal obvia del impacto humano en el mundo natural. Para una adecuada planificación, distribución geográfica y administración del territorio, así como la posterior implementación del cambio de uso del suelo, se consideran fundamentales variables y características naturales como la fisiografía, la pendiente, el relieve, el suelo y la vegetación, entre muchas otras.
- La falta de planificación e información da como resultado la destrucción de los recursos naturales, lo que tiene un impacto negativo significativo en las comunidades cercanas. De hecho, en estos territorios insulares y en este caso concreto del municipio de *Ribeira Brava*, la correcta definición e identificación de las zonas de riesgo (teniendo en cuenta el dominio de la ordenación y gestión del territorio) son requisitos críticos para prevenir y mitigar los daños causados por eventos naturales, así como actividades peligrosas, en beneficio de los habitantes.
- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a través de este estudio, así como la información obtenida empíricamente de este territorio, se volvió plausible identificar oportunidades y restricciones en relación con el desarrollo sostenible de *Ribeira Brava*. En cuanto a las restricciones, estas pueden percibirse como

un desafío, ya que es necesario tener en cuenta las dimensiones físico-espaciales de este municipio y las dificultades que se asocian con la promoción de una reconversión de usos del suelo. Por lo tanto, se requiere de los formuladores de políticas un conjunto razonable de acciones que considere la naturaleza frágil del país y, por lo tanto, los impactos significativos que tales políticas podrían tener en términos de desarrollo sostenible a largo plazo y calidad de vida de los habitantes.

- Por lo tanto, los estudios sobre los patrones de variación del uso del suelo pueden considerarse cruciales para comprender las dinámicas y tendencias regionales y, por lo tanto, para orientar a los tomadores de decisiones sobre el desarrollo sostenible de esta región.
- Como consideración final, los usos de la tierra pueden entenderse como otra herramienta que puede usarse para comprender el municipio mediante la evaluación del pasado y la visualización del futuro.

Final Conclusions

- The results obtained in this study indicate that the *Ribeira Brava* and *São Vicente*'s watershed is susceptible to floods during an extreme precipitation event, which is reinforced by the Flood Risk Report prepared by DROTA. This occurs because the stream bed has characteristics that are very unfavourable to surface runoff because it has a surface with a significant presence of stones and vegetation. These characteristics of the riverbed reduce the velocity of the water flow and, consequently, reduce the drainage capacity, especially in areas with very low slopes, such as the river mouth. The insufficient drainage capacity of the river mouth was verified through 3 of 4 methodologies used in this part of the study namely: Rational, Giandotti, and Mocku's.
- Regarding the two methods used during this study, the Dutch Method did not present coherent results as it indicates the need for very long detention basins in relation to the watershed's main watercourse. On the other hand, the Simplified Hydrograph Method presented not only satisfactory results but also to be easier to implement as there is no need for change either the stream's height or width.
- Even though changing the watershed's streambed and walls roughness coefficient may seem a relatively simple and improbable measure to consider, it surely proved to mitigate the flood's impact, fulfilling its main goal by preserving infrastructures and people's assets.
- This study enhances the methodologies and techniques used in similar case studies as valid and appropriate towards scientific development based on flood scenarios modelling and simulations.
- One of the purposes of this study was to evaluate the variation in land use and

occupation and the regional implications that these changes can cause. Therefore, as shown, the municipality of *Ribeira Brava* presented stagnation in the growth of its urban fabric and alteration of the predominant vegetation, due to the morphology of this municipality.

- In relation to the municipality of *Ribeira Brava*. Changes in land uses are an obvious sign of human impact on the natural world. For proper planning, geographical distribution, and administration of the territory, as well as the subsequent implementation of land-use change, variables and natural characteristics such as physiography, slope, relief, soil, and vegetation, among many others, are viewed as essential.
- The lack of planning and information results in the destruction of natural resources, which has a significant negative impact on nearby communities. In fact, in these island territories and in this specific case of the municipality of *Ribeira Brava*, the correct definition and identification of risk areas (while taking into account the domain of land-use planning and management) are critical requirements to prevent and mitigate the damage caused by natural events, as well as hazardous activities, for the benefit of the inhabitants.
- Considering the results obtained through this study, as well as the information empirically obtained from this territory, it became plausible to identify opportunities and restraints regarding *Ribeira Brava's* sustainable development. In terms of restraints, these can be perceived as challenging, because it is necessary to take into account this municipality's physical spatial dimensions and the difficulties that are associated with promoting a reconversion of land uses. Therefore, a reasonable set of actions that consider the fragile nature of the county, and thus the significant impacts that such policies could have in terms of long-term sustainable development and inhabitants' quality of life, is required from policymakers.

- Hence, studies on land-use variation patterns can be considered crucial to comprehend regional dynamics and trends, and, therefore, to guide decision-makers regarding the sustainable development of this region.
- As a final consideration, land uses can be understood as another tool that can be used to understand the municipality by evaluating the past and envisioning the future.

CAPÍTULO 8. TRANSFERENCIA DE RESULTADOS

CONTENIDO DEL CAPÍTULO 8: TRANSFERENCIA DE RESULTADOS

8.1 NOVEDADES APORTADAS

8.2 APLICACIÓN PRÁCTICA DE ESTA TESIS

8.3 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

8.1. Novedades Aportadas

Las principales novedades aportadas en esta tesis son las siguientes:

- Caracterización y desarrollo de herramientas de modelado numérico unidimensional del caudal en arroyos, con aplicación a un tramo de arroyo en cada uno de los municipios de la RAM (*Ribeira Brava, São Vicente*). Esta sección permitió recopilar una serie de datos físicos relevantes, que presentan riesgos que requieren un diagnóstico lo más preciso posible. Este modelado se complementa con análisis de sensibilidad de varios parámetros, por ejemplo, coeficientes de rugosidad del lecho (Manning-Strickler); condiciones de contorno aguas arriba; índice de urbanización local; dimensiones de las cuencas hidrográficas; densidad de drenaje; tiempo de concentración; análisis probabilístico de inundaciones basado en la historia, etc;
- El análisis de los parámetros calculados para la posterior verificación de la susceptibilidad a inundaciones de cada una de las cuencas hidrográficas estudiadas;
- Verificación de la necesidad de implementar un estanque de detención para el control y regulación del caudal en la boca (y su respectivo dimensionamiento, en caso de ser necesario);
- Articulación de los modelos propuestos con los lineamientos urbanísticos vigentes en la RAM;
- El análisis del impacto territorial por el modelo propuesto;
- Caracterización e identificación mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), de la dinámica y patrones de evolución de los Cambios de

Uso del Suelo en el Municipio de *Ribeira Brava*, Isla de Madeira, Portugal, de 1990 a 2018 (datos de 1990, 2000, 2006, 2012 y 2018 usando CORINE, dando importancia a la gestión de los recursos hídricos;

- El análisis y evaluación a través de un enfoque práctico de los Cambios de Uso del Suelo, y su interacción con las zonas hidráulicas en el Municipio de *Ribeira Brava*, Isla de Madeira, Portugal;
- El análisis y discusión de los patrones espaciales observados y la definición de algunos principios y recomendaciones para futuras estrategias y políticas de planificación y gestión municipal a desarrollar e implementar en el Municipio de *Ribeira Brava*, Isla de Madeira, Portugal.

8.2. Aplicación Práctica de esta Tesis

Como aplicación práctica de esta tesis, se citan las siguientes posibilidades:

- El presente estudio permitió obtener satisfactoriamente la caracterización de las cuencas hidrográficas – por ejemplo, *Ribeira Brava* y *São Vicente* – pertenecientes a los municipios mencionados, presentando resultados considerablemente cercanos a otras bibliografías para cada uno de los parámetros geomorfológicos e hidrológicos calculados. Los cálculos de estos parámetros se realizaron utilizando referencias reconocidas y ampliamente utilizadas a nivel mundial, lo que sugiere la confiabilidad de los valores obtenidos. Estos parámetros fueron procesados mediante la obtención de datos básicos a través del software ArcGIS 10.5, y aplicados a las diversas metodologías propuestas, a través de hojas de cálculo elaboradas en el software Microsoft Excel;
- En el caso de determinar la capacidad de la desembocadura del arroyo, se utilizaron condiciones aún más desfavorables, por lo que el análisis es válido a largo plazo si no se implementan medidas de mitigación;
- Los análisis de los parámetros de susceptibilidad a inundaciones mostraron valores muy consistentes, corroborando el informe de riesgo elaborado por DROTA. Las cuencas de *Ribeira Brava* y *São Vicente* presentaron valores de *Fill Rate* superiores al límite recomendado, siendo necesario dimensionar la cuenca de detención y el aliviadero para controlar el caudal aguas abajo de cada una de estas cuencas hidrográficas;
- El dimensionamiento de la cuenca de detención se elaboró utilizando dos metodologías: el método holandés y el método HTS. Ambas metodologías se

implementaron en base a la diferencia entre el caudal precipitado y el caudal de salida del aliviadero, siendo el tiempo de llenado la principal variable;

- En el método holandés, se considera que la cuenca de detención inicia el almacenamiento inmediatamente después del inicio de la precipitación, sin tener en cuenta la amortiguación del hidrograma y dando como resultado un sobredimensionamiento del dispositivo. La principal ventaja de esta metodología consiste en la facilidad de aplicación, donde solo se utilizan tres parámetros: caudal precipitado, caudal de descarga del aliviadero y tiempo de concentración de la cuenca hidrográfica. Debido al sobredimensionamiento, esta metodología no demostró ser aplicable para los casos prácticos objeto de estudio;
- El método HTS considera el amortiguamiento del hidrograma de crecida, donde el tiempo de llenado corresponde al tiempo en que el aliviadero drena un caudal mayor a su capacidad. Esta metodología, a pesar de tener un análisis un poco más complejo en comparación con el método holandés, no presenta mayores problemas si se establece un tiempo base del hidrograma como el doble del valor del tiempo de concentración. Finalmente, debido a la consideración del amortiguamiento del hidrograma, se presentó el HTS como aplicable a los casos prácticos en estudio;
- Las cuencas de detención se enmarcan como medidas estructurales de ordenación urbanística. En cuanto a la RAM, se adoptaron medidas similares, como la artificialización de los cursos de agua presentes en el perímetro urbano, como forma de establecer la contención física de los caudales más extremos. La implantación de una balsa de detención en estos casos sería mucho más sencilla, requiriendo únicamente la construcción del aliviadero y artificialización de parte del cauce hasta alcanzar la longitud dimensionada;

- La principal articulación con los modelos de planeamiento urbano de la RAM se realizó en la resolución de problemas urbanísticos a través de la confirmación de las áreas de riesgo delimitadas por DROTA, y la implementación de medidas de mitigación como balsas de detención y alteración del coeficiente de rugosidad del cauce;
- El análisis del impacto territorial se hizo necesariamente a través de la verificación de la aplicabilidad de los modelos propuestos y la no alteración de las dimensiones de la sección transversal del curso de agua. De lo contrario, sería necesario ampliar esta sección de drenaje, lo que provocaría la modificación de las estructuras urbanas adyacentes, por ejemplo, calles, puentes, edificios, etc. – y en consecuencia, la paralización de la operación de estas estructuras;
- La evaluación de la variación en el uso y ocupación del suelo y las implicaciones regionales que estos cambios pueden causar. Se caracterizó en el municipio de *Ribeira Brava* por un estancamiento en el crecimiento de su tejido urbano y alteración de la vegetación predominante, debido a la morfología de ese municipio;
- A través del análisis de los modelos de cambio de uso del suelo (LUC), junto con información práctica sobre el territorio, instrucciones y directrices para el desarrollo sostenible, es posible esbozar lo siguiente en relación con el municipio de *Ribeira Brava*. Los cambios en los usos de la tierra son el resultado obvio del impacto humano en el mundo natural. Así, para una adecuada planificación, distribución geográfica y administración del territorio, así como la posterior implementación de los cambios de uso del suelo, se deben considerar fundamentales variables y características naturales como la fisiografía, la pendiente, el relieve, el suelo, la vegetación, entre muchas otras;

- En los territorios insulares, y en este caso concreto en el municipio de *Ribeira Brava*, la correcta delimitación e identificación de las zonas de riesgo (teniendo en cuenta el ámbito de la planificación y gestión del territorio) son requisitos críticos para prevenir y mitigar los daños causados por la naturaleza. eventos, así como situaciones de desastre.

8.3. Futuras Líneas de Investigación

Ante la imposibilidad de profundizar en el tema presentado en esta tesis y extender los conocimientos adquiridos a otros directamente vinculados, este subcapítulo presenta sugerencias para trabajos futuros inherentes a la problemática del fenómeno de las inundaciones, la planificación y ordenamiento del territorio y la caracterización de cuencas hidrográficas, a saber, sus principales canales artificiales de agua. Con el fin de complementar u optimizar los resultados aquí obtenidos, así como posibilidades y futuras líneas de investigación, se proponen las siguientes:

- Análisis de la influencia del nivel de la marea sobre el caudal en cauces artificiales de agua, relación directa con el riesgo de inundación aguas abajo;
- Análisis de la influencia de la vegetación y el tipo de suelo en la escorrentía en cauces artificiales;
- Análisis de la capacidad de infiltración del suelo que conforma el curso principal de agua;
- Análisis de la capacidad de caudal del sistema hidráulico urbano implementado, con el fin de reducir el volumen de almacenamiento de las cuencas de detención;
- Análisis de la deposición de sedimentos según la velocidad de arrastre presente en el curso principal de agua;
- Verificación del deterioro de las paredes del canal artificial por abrasión, y análisis del tiempo máximo para realizar el mantenimiento;

- Análisis de la perspectiva de crecimiento urbano de los municipios en estudio y su influencia en el incremento del caudal;
- Caracterizar la influencia de los cauces artificiales de agua en los procesos de planificación y ordenación del territorio. Adaptación a cuencas rurales;
- Análisis de la velocidad del flujo y su respectiva influencia en los procesos de sedimentación y evacuación de los canales de agua artificiales;
- Influencia en la degradación de los cauces artificiales de agua en función de la calidad del agua vertida por sus afluentes;
- Elaboración del presupuesto de implementación de las medidas de mitigación analizadas;
- En estos territorios, las políticas regionales y el comportamiento de la sociedad cambian con frecuencia, requiriendo un estrecho seguimiento y nuevos análisis de las tendencias y dinámicas de los Cambios de Uso del Suelo, así como la gestión de métodos de desarrollo sostenible;
- Aun así, de no haberse identificado previamente este problema, algunos Usos de Suelo en esta región no serían considerados en este estudio debido a la unidad cartográfica mínima CLC que se utilizó – 25 hectáreas. Por lo tanto, recurrir a versiones más recientes del CLC con mayor nivel de resolución puede evitar principalmente este tipo de problemas;
- Futuras investigaciones sobre estas regiones también pueden combinar la cartografía con aspectos como sus espacios naturales protegidos, sus múltiples figuras y los cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo.

REFERENCIAS

Referencias

- Amado, M. J. N. (2002). *O Processo de Planeamento Urbano Sustentável*. Tesis para la obtención del grado académico de Doctor en Ciencias de la Ingeniería Ambiental en la Especialidad de Planificación y Ordenamiento Territorial. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Araújo, I. M. G. (2013). *Estratégias de mitigação do risco de cheia aplicadas ao estudo de caso da ribeira da Laje no concelho de Oeiras*. Informe de Prácticas en Arquitectura del Paisaje. Departamento de Geociencias, Medio Ambiente y Ordenación del Territorio - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto. 86 pp..
- Barichivichi, J., Gloor, E., Peylin, P., Brienen, R., Schöngart, J., Espinoza, J., Pattnayak, K. (2018). *Recent intensification of Amazon flooding extremes driven by strengthened Walker circulation*. Science Advances: eaat8785.
- Barros, L. L., Steinke, V. A. (2009). *Análise morfométrica automatizada para bacia do Rio Maranhão*. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal. P.4655-4661.
- Bartholomé, E., Belward, A. S. (2007). *GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data*. International Journal of Remote Sensing. 26: 1959-1977. doi 10.1080/01431160412331291297.
- Baud, P., Bourgeat, S., Bras, C. (1999). *Dictionnaire de Géographie*. Vol. 89. Plátano Editora, Lisboa.
- BBC News (2010). *Inundação na Ilha da Madeira*. Disponible: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/8526587.stm.

-
- Beck, H. E., Bruijnzeel, L. A., Van Dijk, A. I. J. M., McVicar, T. R., Scatena, F. N., Schellekens, J. (2013). *The impact of forest regeneration on streamflow in 12 mesoscale humid tropical catchments*. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 2613-2635, 2013. DOI: 10.5194/hess-17-2613-2013.
 - Bertoni, J. C., Tucci, C. E. M. (1993). *Precipitação*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
 - Borrego, C., Lopes, M., Ribeiro, I., Carvalho, A. (2009). *As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio*. *Revista Debater a Europa*, N.º 1, junho/dezembro, 15-40.
 - Borsato, F. H. (2005). *Caracterização física das bacias de drenagem do município de Maringá e os postos de combustíveis como potenciais poluidores*. Tesis elaborada para obtener el grado de Magíster en Geografía por Universidade Estadual de Maringá.
 - Caetano, C. (2014). *Avaliação do risco de aluviões das ribeiras da ilha da Madeira*. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Instituto Técnico de Lisboa, Lisboa.
 - Caldeira, J. (2008). *As Grandes Opções da LBOTU e a Agenda necessária à constituição e consolidação do Sistema de Gestão Territorial. Actas do Seminário Os Dez Anos da Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e Urbanismo - Génese e evolução do sistema de gestão territorial, 1998-2008*. AdUrbem, Lisboa.
 - Camacho, R. F. (2015). *Caracterização, Simulação (à escala) e Modelação do Escoamento em Canais Artificiais. Aplicação a caso de estudo*. Tesis para la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil por Universidade da Madeira,

Funchal, Portugal.

- Camacho, R., Lousada, S., Castanho, R. (2018). *1001 modelling torrential rain flows in urban territories: floods. The case study of madeira island*. Paper presented at the 25th APDR Congress, Lisbon, Portugal.
- Camacho, R., Lousada, S., Castanho, R. (2018). *Caracterização do escoamento em canais artificiais em áreas urbanas em situação de cheia*. Póster presentado en el I Congreso Internacional sobre Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio. Universidade da Madeira, Funchal, Madeira.
- Camacho, R., Lousada, S., Castanho, R. (2018). *Escoamento em Canais Artificiais. Áreas Urbanas em Situação de Cheia, Aplicação à Zona Baixa do Funchal*. 1ª Edição, Novas Edições Académicas, Maurícias.
- Camacho, R., Lousada, S., Castanho, R. (2018). *Flood Events in Urban Territories and the Modelling Process. A Practical Approach: The Urban Area of Funchal*. Libro de Resúmenes del I Congreso Internacional sobre Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio. Universidade da Madeira, Funchal, Madeira. 1ª Edição. p.199.
- Camacho, R., Lousada, S., Castanho, R. (2018). *Hydraulic studies and their influence for regional urban planning: a practical approach to Fynchal's rivers*. Paper presented at the 25th APDR Congress, Lisbon, Portugal.
- Campana, N. A., Tucci, C. E. M. (1994). *Estimativa de área impermeável de microbacias urbanas*. Caderno de Recursos Hídricos, v.12, n. 2, p. 79-94.
- Canholi, A. (2005). *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos.

-
- Carvalho, A., Brandão, J. (1991). *Geologia do Arquipélago da Madeira*. Publicação do Museu Nacional de História Natural (Mineralogia e Geologia) da Universidade de Lisboa.
 - Carvalho, J., Oliveira, F. P. (2003). *Perequação, Taxas e Cedências. Administração Urbanística Portuguesa*. Coimbra, Almedina.
 - Castanho, R., Lousada, S., Gómez, J. M. N., Escorcio, P., Cabezas, J., Pozo-Fernández, L., Loures, L. (2019a). *Dynamics of the Land Use Changes and the Associated Barriers and Opportunities for Sustainable Development on Peripheral and Insular Territories: The Madeira Island (Portugal)*. Intechopen. DOI: 10.5772/intechopen.80827.
 - Castanho, R. A. C., Fernández, J. C., Loures, L., Pozo, L. F. (2017). *Evolución del procedimiento de planeamiento urbano en la península ibérica y sus huellas en el paisaje urbano. Retos de futuro*. Revista Científica Monfragüe Desarrollo Resiliente, Volumen VIII, n. 2. ISSN 2340-5457.
 - Castanho, R. A. C., Naranjo Gómez, J. M., Pysz, J. K. (2019). *Assessing Land Use Changes in Polish Territories: Patterns, Directions and Socioeconomic Impacts on Territorial Management*. Sustainability 2019, 11, 1354. DOI: 10.3390/su11051354.
 - Castanho, R., Lousada, S., Gómez, J. M.N., Escorcio, P., Cabezas, J., Pozo-Fernández, L., Loures, L. (2019). *Dynamics of the Land Use Changes and the Associated Barriers and Opportunities for Sustainable Development on Peripheral and Insular Territories: The Madeira Island (Portugal)*. Intechopen. doi: 10.5772/intechopen.80827.
 - Castanho, R., Lousada, S., Loures, L., Gómez, J., Cabezas, J., Pozo, L., Aliseda,

- J., Escórcio, P. (2018). *A Multi-Variated Analysis of Sustainability Indicators on Peripheral Territories. A Case Study Approach: Madeira Island*. Libro de Resúmenes del I Congreso Internacional sobre Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio. Universidade da Madeira, Funchal, Madeira. 1ª Edição. p.187.
- Castro, J. (2011). *Caraterização hidráulica, hidrológica e de transporte sólido do evento de 20 de fevereiro de 2010 na Ribeira de João Gomes, Ilha da Madeira*. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería - Universidade da Madeira, Funchal.
 - Cazenave, A., Dominh, K., Rabinowicz, M. (1988). *geoid and depth anomalies over ocean swells and troughs: evidence of an increasing trend of the geoid to depth ratio with age of plate*. J. Geophys. Res., 93, 8064-8077.
 - Chevallier, P. (1993). *Aquisição e Processamento de Dados*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
 - Chow, V. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
 - Chow, V. T. (1956). *Hydrologic Studies of Floods in the United States*, Inter. Assoc. Sci. Hydrol., Publ. nº 42, 134-170.
 - Christofolletti, A. (1980). *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher.
 - Christofolletti, A. (1981). *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo: Edgard Blücher.
 - Cirilo. (2001). *Tabelas Coeficientes de Manning*.
 - CMF – Câmara Municipal do Funchal. (2014). *Plano Municipal de Emergência e*

Proteção Civil. Departamento de Proteção Civil e Bombeiros, Funchal.

- Coelho, A. C., Valente, S. M., Pinho, L. D., Carvalho, T. M., Ferreira, A. D., Figueiredo, E. M. (s.d.). *A Perceção Social das Alterações Climáticas e do Risco de Cheia*. 7º Congresso da Água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Comissão Europeia (2019). *Breve panorâmica sobre o mercado de trabalho*. Portugal – Região Autónoma da Madeira. Disponible: <https://ec.europa.eu/eures/main.jsp?catId=438&acro=Imi&lang=pt&countryId=PT®ionId=PT3&nuts2Code=PT30&nuts3Code=PT300®ionName=Regi%C3%A3o%20Aut%C3%B3noma%20da%20Madeira>.
- Correia, F. A. (2008). *Manual de Direito do Urbanismo*. Coimbra, Almedina.
- Costa Lobo, M., Pardal, S. C., Correia, P. V., Lobo, M. S. (1990). *Normas Urbanísticas. Volume I – Princípios e Conceitos Fundamentais*. Direção-Geral do Ordenamento do Território e Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Costa, T., Lança, R. (2011). *Capítulo I. Hidrologia de Superfície*. Faro: Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve. Disponible: [http://w3.ualg.pt/~rlanca/sebenta-hidaplicada/sebenta de hidraulica aplicada 2011 03 01.pdf](http://w3.ualg.pt/~rlanca/sebenta-hidaplicada/sebenta%20de%20hidraulica%20aplicada%202011%2003%2001.pdf).
- David, L. M., Carvalho, R. F. (2008). *Bacias de Retenção para Controlo de Cheias: Reflexão sobre os métodos de dimensionamento*. 13º Encontro Nacional de Saneamento Básico.
- Debo, T. N., Reese, A. J. (1995). *Municipal Storm Water Management*. Lewis Publishers.

- DGT (2019). *Plano Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT)*. Direção Geral do Território.
- Diakakis, M., Deligiannakis, G., Pallikarakis, A., Skordoulis, M. (2016). Factors controlling the spatial distribution of flash flooding in the complex environment of a metropolitan urban area. The case of Athens 2013 flash flood event. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. p.174.
- Diakakis, M., Priskos, G., Skordoulis, M. (2018). Public perception of flood risk in flash flood prone areas of Eastern Mediterranean: The case of Attica Region in Greece. *International Journal of Disaster Risk Reduction*: 28, 404-413.
- DREM (2020). *Saldo migratório mais positivo não evitou ligeira quebra da população residente na RAM*. Direção Regional de Estatística da Madeira. Disponible: <https://estatistica.madeira.gov.pt/download-now/social/popcondsoc-pt/demografia-pt/demografia-noticias-pt/2065-14-06-2019-em-2018-o-saldo-migratorio-mais-positivo-nao-evitou-ligeira-quebra-da-populacao-residente-na-ram.html>. Acceso en: 10/02/2020.
- DROTA – Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente. (2016). *Memória Descritiva dos estudos de elaboração para as zonas críticas das cartas de zonas inundáveis e das cartas de risco de inundações, Volume I – Memória Descritiva*, elaborado por Municipia para a Secretaria Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais, Funchal.
- EEA (2005). *Alterações climáticas e cheias fluviais na Europa*. Agência Europeia do Ambiente 2005/01, Copenhagen.
- Fadigas, L. (2015). *Urbanismo e Território - As Políticas Públicas*; Editorial Estampa: Lisboa, Portugal.

-
- Fadigas, L. (2017). *Território e Poder: O uso, as políticas e ordenamento*. Lisboa: Manuel Robalo.
 - Fernandes, M. J. P. (2009). *Riscos no Concelho da Ribeira Brava: Movimentos de vertente cheias rápidas e inundações*. Tesis para la obtención del título de Magíster en Dinámica Social y Riesgos Naturales por Universidade de Coimbra.
 - Ferreira A. (1955). *O clima de Portugal. Açores e Madeira*. INMG, Fasc VIII, 64 pp..
 - Ferreira, C. W., Lima, C. S., Cavalcanti, L. C. S., Santos, A. H. O. (2010). *Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do açude Cachoeira II, no município de Serra Talhada – PE, Brasil*. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra.
 - Fidelis, T. (2001). *Planeamento territorial e Ambiente*. 1ª edição, Principia editora. Lisboa.
 - Franco, E., Fill, H. (2004). *Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional*. 2004. 155 f. Disertación (Maestría) - Programa de Posgrado Curso em Recursos Hídricos e Ingeniería Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
 - Freitas, M., Andrade, C. (2007). *Alterações Climáticas e Impactos na Linha de Costa*. XXIX Curso de Actualização de Professores em Geociências (pp. 35-43). Escola Superior de Educação de Lisboa.
 - Gama, A., Dimuccio, L. A. (s.d.). *Geomorfologia: a construção de uma identidade*. In: Riscos Naturais, Antrópicos e Mistos. p. 779-796.

-
- Gaspar, J. M. B. (1995). *O Novo Ordenamento do Território*. Geografia e Valores. Centro de Estudos Geográficos. Universidade de Lisboa.
 - Gaspar, M. A., Portela, M. M. (2002). *Contribuição para a caracterização dos recursos hídricos na ilha da Madeira*. Modelos para avaliação do escoamento superficial”. 6º Congresso da Água, Porto.
 - Gaspar, T. C. F. (2013). *Modelos de apoio à decisão para gestão de riscos de cheias em bacias hidrográficas urbanizadas*. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental. Instituto Técnico de Lisboa, Lisboa. 106 pp..
 - Góis, L. (2014). *As inundações no Funchal: contributos para o Ordenamento do Território*. Tesis de Maestría en Geografía y Planificación Regional. Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
 - Gonçalves, J. (2016). *Caracterização do coeficiente de rugosidade e seu efeito no escoamento em Canais Naturais. Simulação e Modelação (à escala) no laboratório de Hidráulica*. Aplicação às ribeiras do Funchal. Tesis para la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil por Universidade da Madeira, Funchal, Portugal.
 - Gonçalves, L. B., Lousada, S. A. N., Cabezas, J. (2019). *Análise teórico-prática da precisão dos descarregadores retangulares e triangulares: Otimização das simulações à escala para os caudais em bacias de detenção*. Libro de resúmenes, Universidade de Évora, Novembro de 2019. ISBN: 978-972-778-134-8.
 - Gonçalves, L. B., Lousada, S. A. N. (2020). *Análise Probabilística de Cheias e o Uso de Bacias de Detenção como Medida Mitigadora: Aplicação à Bacia de Santa Luzia*. Revista Científica Monfragüe Desarrollo Resiliente, Volumen XIII, ISSN: 2340-5457.

-
- Guedes, L. J. S. (2014). *Riscos de Cheias e inundações. Estudo de um caso: Esposende*. Trabajo escrito dentro de la disciplina de Geología Ambiental, Lic. en Geologia – UMinho, 2014/2015. Universidade do Minho.
 - Guimarães, R. C. (2017). *Capítulo 2 - Bacia Hidrográfica*. In: Guimarães, R. C., Shahidian, S. e Rodrigues, C. M. (Editores). *Hidrologia Agrícola*, 2ª edição. ISBN: 978-989-8550-40-8. ECT e ICAAM. Évora, 5-22.
 - Heezen, B., Tharp, M., Ewing, M. (1963). *The Floors of the Oceans, 1: The North Atlantic*. Geol. Soc. Am. Sp. Paper.
 - Hipólito, J. R., Vaz, Á. C. (2011). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. (J. J. Ramos, Ed.) (1a Edição., pp. 504–506; 513–520). Lisboa, Portugal: IST Press.
 - Hiruma, S. T., Ponçano, W. L. (1994). *Densidade de drenagem e sua relação com os fatores geomorfológicos na área do Alto Rio Pardo, SP e MG*. Rev. IG. São Paulo, 15(1/2), 49-57.
 - Hough, M. (1998). *Naturaleza y ciudad: Planificación urbana y procesos ecológicos*. Barcelona: Gustavo Gilli.
 - HR Wallingford., Flood Hazard Research Centre e Risk & Policy Analysts. (2006). *Flood Risks to People Phase 2, The Flood Risk to People Methodology*. Environment Agency/Defra R&D Technical Report FD2321/TR1, March 2006 - Department for Environment, Food and Rural Affairs. London.
 - Inocência, V. A. A (2015). *O Ordenamento do Território e o Sistema de Ordenamento do Território Português: Do Planeamento dos Recursos Hídricos ao Ordenamento e Gestão dos Recursos Aquícolas em Águas Interiores*. Disertación

para la obtención del título de Maestría en Estudios en Derecho en el Área de Especialización en Ciencias Jurídico-Forenses. Universidade de Coimbra, Coimbra.

- Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. (2011). Parecer - *Intempérie de 20 de Fevereiro /2010. Intervenção no Porto do Funchal a Leste do Cais da Cidade. Intervenções nos troços terminais das Ribeiras de Santa Luzia e João Gomes – Projecto de Intervenção nas Ribeiras de Santa Luzia e de João Gomes*. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.
- Instituto de Meteorologia de Portugal. (1971-200). *Atlas Climático dos Arquipélagos das Canárias, da Madeira e dos Açores*. NIPO: 281-12-006-X.
- Isidro, M. (2014). *Assessmente of geological risk in the Canary Islands: the GeoMEP project*. nº1. Geological and Mining Institute of Spain.
- IST (2018). *Hidrologia e Recursos Hídricos. Balanço hidrológico de uma bacia hidrográfica*. Lisboa: IST. Instituto Superior Técnico.
- Julião, R.P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Branco, M.C., Zêzere, J. L. (2009). *Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal*. Autoridade Nacional de Proteção Civil. Lisboa. ISBN: 978-989-96121-4-3.
- Justi Junior, J. (2013). *Interpretações Legais, Ambientais e Proposta Metodológica para Determinação do Regime de Fluxo de Canais de Drenagem nas Bacias Hidrográficas*. Tesis de maestria. 125p. Curitiba-PR.
- Justi Junior, J., Andreoli, C. V. (2015). *Uso de dados climáticos e hidrológicos como subsídio na determinação do regime de fluxo de canais de drenagem*.

Revista Brasileira de Geomorfologia. Vol. 16, n. 1. ISSN: 2236-5664.

- Knorek, R., Julião, R. P. (2017). *Ordenamento Territorial da União Europeia e o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT) de Portugal*. VIII Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional. Territórios, Redes e Desenvolvimento Regional: Perspectivas e Desafios. Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.
- Lagmay, A. M., Mendonza, J., Cipriano, F., Delmendo, P. A., Lacsamana, M. N., Moises, M. A., Pellejera, N., Punay, K. N., Sabio, G., Santos, L., Serrano, J., Taniza, H. J., Tingin, N. E. (2017). Street floods in Metro Manila and possible solutions. *Journal of environmental sciences*. p.40.
- Lanna, A. E. (1993). *Elementos de Estatística e Probabilidades*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
- Larara, D. (2020). *Bacias hidrográficas, padrões de drenagem e delimitação de bacias*. Disponible: <https://slideplayer.com.br/slide/293923/>.
- Laughton, A. Roberts, D. G., Graves, R. (1975). *Mid – Atlantic Ridge to Southwest Europe, Bathymetry of The Northeast Atlantic*. Tauton May, Londres. DOI: 10.1016/0011-7471(75)90084-4.
- LB POTU (1998). *Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e de Urbanismo*. Lei n.º 48/98.
- Lehner, B., Döll, P., Alcamo, J., Henrichs, T., Kaspar, F. (2006). *Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis*. Springer (2006): Climatic Change, 75: 273-299. DOI: 10.1007/s10584-006-6338-4.

-
- Lencastre A., Franco F. M. (2003). *Lições de Hidrologia*. Fundação Armando Lencastre, Lisboa.
 - Lencastre, A., Franco, F. M. (1992). *Lições de Hidrologia*. 2ª Edição. Lisboa: Universidade Nova. Faculdade de Ciências e Tecnologias. ISBN: 972-595-079-8.
 - Lencastre, A., Franco, F. M. (2006). *Lições de Hidrologia*. 3ª edição revista. Lisboa: Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
 - Lima, H. M., Silva, E. S., Raminhos, C. (2006). *Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação*. Revista Escola de Minas, Vol. 59. Brasil: Escola de Minas.
 - Lima, I. P. (2012). *Inundações Urbanas: Desafios ao Ordenamento do Território. Caso da cidade da Praia (Cabo Verde)*. Tesis de Maestría en Geografía Física y Ordenación del Territorio. Instituto de Geografía y Ordenación del Territorio - Universidade de Lisboa, Lisboa.
 - Lima, W. P. (2008). *Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas*. USP. Piracicaba.
 - Lopes, A. L. B. (2014). *Sanear, prever e embelezar”: o engenheiro Saturnino de Brito, o urbanismo sanitaria e o novo projeto urbano do PRR para o Rio Grande do Sul (1908-1929)*. Porto Alegre: Armazém Digital, 2014.
 - Lopes, R. (2001). *Competitividade, Inovação e Territórios*. CELTA Editora. Oeiras.
 - Loureiro, J. J. M. (1984). *Monografia hidrológica da ilha da Madeira*. Recursos

Hídricos 5 (2). 53-71.

- Loures, L. (2011). *Planning and Design in Post-industrial Landscapes: East Bank Arade River – Lagoa, Case Study*. Ph.D Thesis. University of Algarve, Portugal.
- Lousada, S. A. N., Camacho, R. (2018). *Hidrologia, recursos hídricos e ambiente - Aulas Teóricas*. Vol. I, ISBN 978-989-8805-33-1, Universidade da Madeira. 230 p.
- Lousada, S., Miranda, D., Camacho, R. (2018). *Escoamento em Canais Artificiais - Ribeiras do Funchal. Caracterização do Coeficiente de Rugosidade, Aplicação às Ribeiras do Funchal*. 1ª Edição, Novas Edições Académicas, Maurícias.
- Lustrino, M., Wilson, M. (2007). *The circum-Mediterranean anorogenic Cenozoic igneous province*. Earth Sci. Revi. 81, 1-65.
- Mano, E. R. (2008). *Estudo de Bacias de Retenção como solução para situações crescentes de urbanização*. Tesis preparada para obtener el grado de Maestría en la Universidade do Porto.
- Marques, J. M. B. (2014). *Caracterização hidráulica, hidrológica e do transporte sólido das principais linhas de água (ribeiras) do concelho de Câmara de Lobos - Ilha da Madeira*. Trabajo de Maestría en Ingeniería Civil en el Área de Especialización de Hidráulica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa. 126 pp..
- Martins, F. J. P. (2000). *Dimensionamento hidrológico e hidráulico de passagens inferiores rodoviárias para águas pluviais*. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil, Especialidad en Hidráulica y Recursos Hídricos. Facultad de Ciencias y Tecnología - Universidade de Coimbra, Coimbra. 310 pp..

-
- Martins, M. F., Candido, G. A. (2012). *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para Localidades: uma proposta metodológica de construção e análise*. Revista de Gestão Social e Ambiental. ISSN: 1981-982X. DOI: 10.5773/rgsa.v6i1.229.
 - Mata J., (1996). *Petrologia e Geoquímica das lavas da ilha da Madeira: implicações para os modelos de evolução mantélica*. Tesis para la Obtención del Título de Doctor en Geología, Lisbon University, 471 pp..
 - Mata, J., Fonseca, P. E., Prada, S., Rodrigues, D., Martins, S., Ramalho, R., Madeira, J., Cachão, M., Silva, C. M., Matias, M. J. (2013). *O arquipélago da Madeira*. Geologia de Portugal II – Geologia Meso-cenozóica de Portugal. Editores: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & Kullberg. Escolar Editora.
 - Matias, M. G. (2006). *Bacias de Retenção estudo e métodos de dimensionamento*. Tesis preparada para obtener el grado de Maestría en la Universidade do Porto.
 - Merlin, P., Choay, F. (2000). *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. Presses universitaires de France.
 - Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2006). *Relatório: Programa Nacional de Políticas de Ordenamento do Território*. Lisboa.
 - Miranda, D., Lousada, S. (2018). *Characterization of the Roughness Coefficient and their Effects on the Flow in Artificial Channels. Simulation and Modeling at the University of Madeira - Hydraulic Laboratory. A Practical Approach: Funchal's Streams*. Libro de Resúmenes del I Congreso Internacional sobre Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio. Universidade da Madeira, Funchal,

Madeira. 1ª Edição. p.193.

- Monteiro, S., Freire. G. S. S. (2017). Perceção dos Riscos de cheias e inundações na Cidade da Praia (Cabo Verde). (Versión Electrónica). *Revista Rede*. 11: 117-129.
- Moreira, A., Ramos, M. (2016). *Alterações climáticas e suas consequências: deslocamentos populacionais forçados*. The Overarching Issues of the European Space. Rethinking Socioeconomic and Environmental Problems, Porto. pp. 203-219.
- Moreira, P. R. C. (2016). *Medidas de Reabilitação Urbana em áreas de risco de cheia caso de Estudo de Tomar*. Proyecto de Maestría en Rehabilitación Urbana. Instituto Politécnico de Tomar - Escola Superior de Tecnologias de Tomar, Santarém. 145 pp..
- Mota, S. (1995). *Preservação e conservação de recursos hídricos*. 2. Ed. Rio de Janeiro: ABES.
- Moura, A. D. S. (2019). *Canais Artificiais e a sua Influência em Processos de Planeamento Urbano e Ordenamento Territorial*. Tesis para la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil pela Universidade da Madeira.
- Moura, A., Lousada, S., Castanho, R. (2018). *Canais artificiais e a sua influência em processos de Ordenamento do Território e Planeamento Urbano*. Uma breve análise. Resumen para II Congresso Luso-Extremadurensis de Ciências y Tecnología, Badajoz.
- Moura, A., Lousada, S., Castanho, R. (2019). *Influência do escoamento em canais artificiais nos processos de Planeamento Urbano e Ordenamento Territorial*.

Resumen para el congreso 26th APDR CONGRESS 2019, Aveiro.

- Nakazone, L. M., Porto, R. L. L (2005). *Implantação de reservatórios de detenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU*. 2005. 287 f. Disertación elaborada para obtener el grado de Magíster en Ingeniería Civil por la Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Nascimento, S. L. R. (1990). *Estudo Hidrogeológico do Paul da Serra*. Disertación para la obtención del título de Maestría por Universidade de Lisboa. 147 pp..
- National Geographic Portugal (2010). *Inundação na Ilha da Madeira*. Disponible: <https://nationalgeographic.sapo.pt/natureza/grandes-reportagens/26-foto-do-dia/1127-o-tempo-anda-louco>.
- NC Division of Water Quality (2005). *Identification Methods for the Origins of Intermittent and Perennial streams*. Version 3.1. North Carolina Department of Environment and Natural Resources, Division of Water Quality. Raleigh, NC. Disponible: <http://h2o.enr.state.nc.us/ncwetlands/regcert.html>.
- Néry, F. (2007). *Nomenclatura CORINE Land Cover: versão portuguesa comentada*. Instituto Geográfico Português. Lisboa.
- Nesbitt, T. H. D. (1990). *Environmental planning & environmental/social ia methodology in the cross-cultural context*. Impact Assessment, 8(3): 33-43. DOI: 10.1080/07349165.1990.972653.0.
- Neves, M. J. (2017). *Prevenção e Gestão de Riscos - O exemplo do risco de aluviões na Ilha da Madeira*. Evento Anual 2017. Coimbra.
- Nunes, N., Grilo, A., Aguiar, C., Quintal, L., Lencastre, P., Catanho, V. (2014).

Madeira 2020: *Estratégia Regional de Especialização Inteligente*. Agência Regional para o Desenvolvimento da Investigação, Tecnologia e Inovação (ARDITI).

- Oliveira, F. P. (2009). *Portugal: Território e Ordenamento*, Almedina. p. 8.
- Oliveira, P. (2010). "O sistema de gestão territorial", in *Atas do Encontro Anual da AD URBEM. 12 de dezembro de 2008*, Lisboa, p. 73-81.
- Oliveira, R. P., Almeida, A. B., Sousa, J., Pereira, M. J., Portela, M. M., Coutinho, M. A., Ferreira, R., Lopes, S. (2010). *A Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira*. Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georecursos, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- Parkinson, J., Milograna, J., Campos, L. C., Campos, R. (2003). *Drenagem urbana sustentável no Brasil*. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Loughborough University, 2003. (Relatório do workshop de 7 de maio de 2003).
- Partidário, M. R. (1999). *Introdução ao Ordenamento do Território*. Universidade Aberta, Lisboa.
- Peixoto, A. (2013). *Inundações urbanas, cheias rápidas e galgamentos costeiros na cidade de Santa Cruz, Ilha da Madeira: áreas afetadas, frequência e avaliação da vulnerabilidade funcional*. Trabajo de fin de máster en Riesgos, Ciudades y Ordenación del Territorio. Facultad de Letras - Universidade do Porto, Porto.
- Pereira, M. (1997). *Os planos de Ordenamento do território: complementaridades e conflitos*, *Sociedade e Território*. Porto. 24: 73-78.
- PGRI-RAM (2017). *Plano de Gestão de Riscos de Inundações da Região*

Autónoma da Madeira. Informe Técnico Resumido.

- Policarpo, N. (2012). *Suscetibilidade aos Movimentos de Vertente e Vulnerabilidade no Concelho do Funchal*. Informe Final de las Prácticas de Maestría en Geografía Física y Ordenación del Territorio. Instituto de Geografía y Ordenación del Territorio - Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Portela, M. M., Silva, A. T., Melim, C. P. (2000). Efeito da ocupação urbana nos canais de ponta de cheias naturais em pequenas bacias hidrográficas. 5º Congresso da Água - A água e o desenvolvimento sustentável: Desafios para o novo século. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Portelas, N., Domingues, A., Cabral J. (2011). *Políticas Urbanas II. Transformações, Regulamentação e Projetos*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian.
- Porto, R. L., Filho, K. Z., Tucci, C. E. M., Bidone, F. (1993). *Drenagem Urbana*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
- Prada S, Serralheiro A (2000). *Stratigraphy and Evolutionary Model of Madeira Island*. Bocagiana 200: 13 pp. Museu Municipal Funchal (Madeira).
- Quintal, R. (1999). *Aluviões na Madeira – desde o Século XIX*. Territorium, 6, 2-28.
- Quintela, A. C. (1982). *Hidráulica*. 2ª Edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Quintela, A. C. (2005). *Hidráulica*. 7ª Edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

-
- Ramos, C. (2009). *Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território*. SLIF-6. Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa. ISBN: 978-972-636-195-4.
 - Rebelo, F. (2003). *Riscos naturais e ação antrópica: estudos e reflexões*. (2ª ed.). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
 - Rebelo, F., Raposo, A. (1988). *As inundações de 2 de setembro de 1986 na Povoação e no Faial da Terra (S. Miguel, Açores) – Cadernos de Geografia*. Instituto de Estudos Geográficos, Coimbra.
 - Reis, J., Lousada, S. (2018). *Torrential Correction Structures in the Streams of Funchal - Dams. Inventory and Comparative Analysis*. Libro de Resúmenes del I Congreso Internacional sobre Desarrollo Sostenible y Ordenación del Territorio. Universidade da Madeira, Funchal, Madeira. 1ª Edição. p.22.
 - Reis, J. J. S. (2015). *Estruturas de Correção Torrencial nas Ribeiras do Funchal – Açudes*. Inventariação e análise comparativa. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería - Universidade da Madeira, Funchal. 234 pp.
 - Rocha, J. (1998). *O risco das inundações e a sua gestão*. Uma visão nacional e uma visão europeia, 4.º Congresso da Água – A água como recurso estruturante do desenvolvimento, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa.
 - Rodrigues, C., Guimarães, R. C., Moreira, M. (2011). *Apuntes para clases de Hidrología - Departamento de Ingeniería Rural*. Universidade de Évora.
 - Rodrigues, S. P. C. (2017). *Aplicação de Metodologias SIG á Avaliação da Perigosidade de Inundação Fluvial*. Informe de Prácticas - Máster en Sistemas de

Información Geográfica, Ordenación del Territorio y Ordenación del Territorio. Escola Superior de Tecnologia de Tomar e Escola Superior Agrária de Castelo Branco - Instituto Politécnico de Tomar, Santarém. 156 pp.

- Sá, L., Vicêncio, H. (2011). Risco de Inundações - Uma Metodologia para a sua Cartografia. *Territorium* 18. 227-230.
- Sá, L., Vicêncio, H. (2019). Risco de inundações: uma metodologia para a cartografia. *Territorium* 18. Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. doi: 10.14195/1647-7723_18_20.
- Santos, C. A., Sobreira, F. G. (2008). *Análise morfométrica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Baçõ e Ribeirão do Carioca na região do Alto Rio das Velhas-MG*. R. Esc. Minas. n.61(1) p.77-85. Ouro Preto.
- Santos, M. C. (2002). *Águas revoltas: histórias das enchentes em Santo André*. Santo André: Semasa. PMSA.
- Santos, R. A. (2015). *Cálculo da chuva intensa pelo método das Isozonas para cidades do estado da Paraíba*. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. Santa Maria, v. 19, n. 2, mai-ago, p. 1134-1343.
- Saraiva, M., Carvalho. L. (2009). *Rios e Cidades: Oportunidades para a sustentabilidade urbana. Risco de Inundação. Metodologia para a formulação do indicador*, Riprocity nº4. Workshop e Conferência Final. Lisboa.
- Sato, T., Nakasu, T. (2009). *2009 Typhoon Ondoy Flood Disasters in Metro Manila*, nº45 p.63.

- Sepúlveda, S. (2011). *Avaliação da precipitação extrema na Ilha da Madeira*. Disertación en Ingeniería Ambiental. Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Shahidian, S., Serralheiro, R. P., Serrano, J., Sousa, A. (2014). *Cabo Verde - Agronomia e Recursos Naturais: O desafio dos recursos hídricos em Cabo Verde*. ISA- PRESS, pp. 217 - 236.
- Silva, C. S., Santiago, A. (2007). *Urbanização e Inundação: Conflitos e Possibilidades*. Paisagem Ambiente: Ensaio n. 24 – São Paulo. pp. 327-334.
- Silva, F. (1940). *Elucidário Madeirense*, Secretaria Regional da Educação e Cultura (SREC), 2ª Edição. Funchal.
- Silva, J. (2003). *Areia de Praia da Ilha do Porto Santo: Geologia, Génese, Dinâmica e Propriedades Justificativas do seu Interesse Medicinal*. 1ª Edição, Porto Santo.
- Silveira, A. L., Louzada, J. A., Beltrame, L. (1993). *Infiltração e Armazenamento no Solo*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
- Silveira, A. L. L. (1993). *Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica*. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
- Soares, F. B., Piroli, E. L. (2019). *Análise da hipsometria e da declividade da bacia hidrográfica do Rio Pardo (São Paulo, Brasil) como subsídio para o planejamento ambiental da área*. XVIII-SBGFA: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Sousa, M. M., Oliveira, W. (2017). *Análise morfológica da rede de drenagem do*

Alto Juruá/AC, extraída de MDE-SRTM. Caminhos de Geografia, vol. 18, n, 61, Uberlândia. pp. 44-64.

- Souza, C. (2015). *Controlo da Segurança Hidráulico-Operacional da Barragem do Aproveitamento Hidroelétrico de Rebordelo*. Disertación para la satisfacción parcial de los requisitos del título de Maestría en Ingeniería Civil, Universidade do Porto.
- SRA-DROTA (2017). *Identificação das Zonas Críticas a Cartografar Considerando os Impactos da Ocorrência de Inundações (Com Risco Potencial Significativo)*. Secretaria Regional do Ambiente e Direção Regional de Ordenamento do Território e Ambiente.
- SRA/DROTA (2017). *Plano Regional de Gestão dos Riscos de Inundações da Região Autónoma da Madeira*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- SRETC (2016). *Estratégia para o Turismo da Madeira: 2017-2021*. Secretaria Regional da Economia, Turismo e Cultura. Região Autónoma da Madeira.
- Strahler A. N. (1964). *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. Section 4 – II, in Chow, Ven Te; Maidment, D. R; Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York.
- Studart. T. M. C. (2006). *Apostila Hidrologia*. UFC. Fortaleza – CE.
- Suguio, K., Martin, L., Flexor, J. M. (1988). *Quaternary sea-levels of the brazilian coast: recent progress*. *Episodes*, 11: 203-208.
- Suguio, K., Bigarella, J. J. (1979). *Ambiente Fluvial: Ambientes de sedimentação*

sua interpretação e importância. Curitiba.

- Teixeira, H. M. M. (2010). *Caracterização Hidráulica, Hidrológica e de Transporte Sólido do Evento de 20 de Fevereiro de 2010 na Ribeira de São João – Ilha da Madeira.* Tesis de Maestría en Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería - Universidade da Madeira, Funchal. 175 pp.
- Teodoro, V. L., Teixeira, D., Costa, J. L. D., Fuller, B. B. (2007). *O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.* Revista Brasileira Multidisciplinar – ReBraM. ISSN: 2527-2675.
- Tonello, K. C. (2005). *Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG.* Tesis preparada para obtener el grado de Maestría en la Universidade Federal de Viçosa, UFV.
- Tschiedel, A., Pickbrenner, K., Marcuzzo, F. F. N. (2012). *Análise hidromorfológica da sub-bacia 87.* In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 11, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABRH.
- Tucci, C. E. M. (1993a). *Controle de Enchentes.* Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
- Tucci, C. E. M. (1993b). *Hidrologia: Ciência e Aplicação.* Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
- Tucci, C. E. M. (1993c). *Vazão máxima e hidrograma de projeto.* Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª Edição. Editora da Universidade UFRGS.
- Tucci, C. E. M., Porto, R. L., Barros, M. T. (1995). *Drenagem Urbana.* Universidade

Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 414p.

- Vasconcelos, E. L. N. (2019). *Concessão de Projeto e Gestão Otimizada de um Sistema de Rega. Aplicação à RAM*. Tesis presentada para la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil por Universidade da Madeira. 142 p.
- Vieira, I. L. S. (2014). *Análise de Bacias de Retenção*. Tesis presentada para la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil por Universidade da Madeira, Funchal.
- Vieira, I. L. S., Barreto, V., Figueira, C., Lousada, S., Prada, S. (2016). *The use of detention basins to reduce flash flood hazard in small and steep volcanic watersheds – a simulation from Madeira Island*. Journal of Flood Risk Management. DOI: 10.1111/jfr3.12285.
- Villela, S. M., Mattos, A. (1975). *Hidrologia Aplicada*. Editora Mc Graw Hill, São Paulo. 245p.
- Warner, K., Hamza, M., Oliver-Smith, A. Renaud, F., Julca, A. (2008). *Climate change, environmental degradation and migration*. Nat Hazards, 55 (3), 689-715.
- Yin, R. (1994). *Case study research e Design and methods*. Sage Publications, London.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXOS A1

ANEXOS A2

ANEXOS A3

ANEXOS A1

Parameters calculated or extracted from ArcGIS:

Parameter	Unit of Measurement	Value - Ribeira Brava
Area	km ²	41,059
Perimeter	km	42,430
Gravelius Coefficient of Compactness	dimensionless	1,868
Elongation Factor	dimensionless	8,856
Shape Factor	dimensionless	0,298
Length of Main Watercourse	km	14,619
Maximum Height of Main Watercourse	m	1316,030
Minimum Height of Main Watercourse	m	0,000
Strahler Classification	dimensionless	6,000
Number of Watercourses	units	1668,000
Average Bifurcation Ratio	dimensionless	4,286
Concentration Time	-	-
Kirpich	hours	1,325
Témez	hours	3,640
Giandotti	hours	2,121
Average	hours	2,362

Methodology	Unit of Measurement	Value - Ribeira Brava
Forti	m ³ /s	442,849
Rational	m ³ /s	531,782
Giandotti	m ³ /s	560,848
Mockus	m ³ /s	529,792
Average	m ³ /s	516,318

Parameters needed for detention basin implementation:

Parameter	Unit of Measurement	Value - Ribeira Brava
Width of the River Mouth	m	20,000
Height of the River Mouth	m	4,500
Wall Roughness Coefficient	m ^{-1/3}	0,020
Riverbed Roughness Coefficient	m ^{-1/3}	0,040
Average Roughness Coefficient	m ^{-1/3}	0,034
River Mouth Slope	m/m	0,010
Drainage Capacity of the River Mouth	m ³ /s	566,645
Fill Rate—Forti (pre-regularization)	%	78%
Fill Rate—Rational (pre-regularization)	%	94%
Fill Rate—Giandotti (pre-regularization)	%	99%
Fill Rate—Mockus (pre-regularization)	%	93%

Cipolletti spillway:

Parameter	Unit of Measurement	Value - Ribeira Brava
Width of the Spillway	m	18,000
Height of the Spillway Sill	m	4,500
Spillway Outflow	m ³ /s	319,598
Fill Rate—Rational (post-regularization)	%	56%
Fill Rate—Giandotti (post-regularization)	%	56%
Fill Rate—Mockus (post-regularization)	%	56%

Regularization:

Detention basin - Dutch Method

Parameter	Unit of Measurement	Value - Ribeira Brava
Storage Volume—Rational (post-regularization)	m ³	1804308,620
Storage Volume—Giandotti (post-regularization)	m ³	2051473,401
Storage Volume—Mockus (post-regularization)	m ³	1787394,024
Width	m	20,000
Height	m	4,500
Length—Rational (post-regularization)	m	20047,874
Length—Giandotti (post-regularization)	m	22794,149
Length—Mockus (post-regularization)	m	19859,934
% of Main Watercourse Length—Rational (post-regularization)	%	137%
% of Main Watercourse Length—Giandotti (post-regularization)	%	156%
% of Main Watercourse Length—Mockus (post-regularization)	%	136%

Detention basin - STH Method

Parameter	Unit of Measurement	Value - Ribeira Brava
Storage Volume—Rational (post-regularization)	m ³	719927,851

2,362	0,000	0,000	0,000	319,598
4,724	8503,534	531,782	8503,534	319,598
	17007,067	0,000	17007,067	319,598

Detention Basin			
Storage Volume (m³)	719927,851	Storage Volume (m³)	719927,851
Width (m)	20,000	Width (m)	20,000
Height (m)	4,500	Height (m)	4,500
Length (m)	7999,198	Length (m)	7999,198

H	531,782
V	4522022,018
Trapeze	
B	17007,067
H	319,598
i	0,063
a	5110,583
b	6785,902
V	3802094,166

Detention basin - STH Method—Giandotti:

t (hours)	Rainfall Flow Rate		Weir's Exit Water Flow Rate	
	t (seconds)	Qp (m³/s)	t (seconds)	Qs (m³/s)
0,000				
2,362	0,000	0,000	0,000	319,598
4,724	8503,534	560,848	8503,534	319,598
	17007,067	0,000	17007,067	319,598

Detention Basin			
Storage Volume (m³)	882444,595	Storage Volume (m³)	882444,595
Width (m)	20,000	Width (m)	20,000
Height (m)	4,500	Height (m)	4,500
Length (m)	9804,940	Length (m)	9804,940

Triangle	
B	17007,067
H	560,848
V	4769186,799
Trapeze	
B	17007,067
H	319,598
i	0,066
a	4845,725
b	7315,617
V	3886742,204

Detention basin - STH Method—Mockus:

t (hours)	Rainfall Flow Rate		Weir's Exit Water Flow Rate	
	t (seconds)	Qp (m³/s)	t (seconds)	Qs (m³/s)
0,000				
2,362	0,000	0,000	0,000	319,598
4,724	8503,534	529,792	8503,534	319,598
	17007,067	0,000	17007,067	319,598

Detention Basin			
Storage Volume (m³)	709145,665	Storage Volume (m³)	709145,665
Width (m)	20,000	Width (m)	20,000
Height (m)	4,500	Height (m)	4,500
Length (m)	7879,396	Length (m)	7879,396

Triangle	
B	17007,067
H	529,792
V	4505107,422
Trapeze	
B	17007,067
H	319,598
i	0,062
a	5129,771
b	6747,526
V	3795961,758

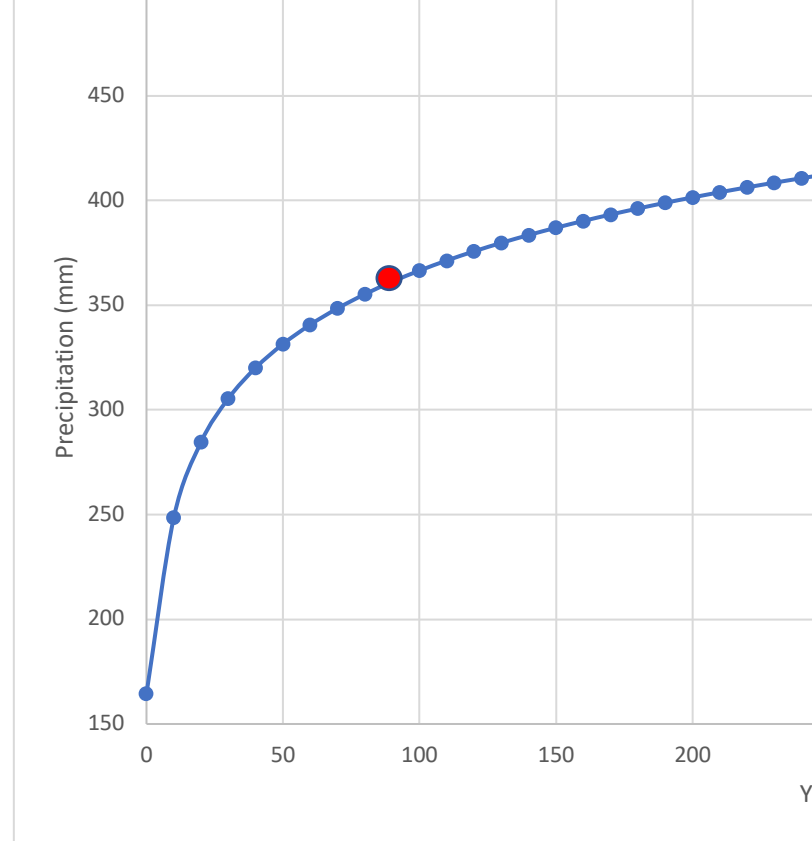
Flow Rate (m³/s)
400,000
300,000
200,000
100,000
0,000

Flow Rate (m³/s)
600,000
500,000
400,000
300,000
200,000
100,000
0,000

Flow Rate (m³/s)
600,000
500,000
400,000
300,000
200,000
100,000
0,000

2	1999/2000	180,700
3	2000/2001	135,000
4	2001/2002	190,000
5	2002/2003	195,400
6	2003/2004	141,000
7	2004/2005	103,200
8	2005/2006	91,400
9	2006/2007	141,400
10	2007/2008	104,600
11	2008/2009	155,000
12	2009/2010	257,800
13	2010/2011	148,400
14	2011/2012	288,600
15	2012/2013	267,400
16	2013/2014	61,200
Average Annual Precipitation		164,444
Standard Deviation		64,424

10	1,304550738	248,48867
20	1,865798266	284,64671
30	2,188670122	305,44754
40	2,416304759	320,11277
50	2,592275621	331,44959
60	2,735750838	340,6929
70	2,856881981	348,4967
80	2,961700003	355,24954
90	3,0540819	361,20119
100	3,136668168	366,52176
110	3,211338462	371,33235
120	3,279478455	375,72223
130	3,342139082	379,75911
140	3,400136366	383,49555
150	3,454116604	386,97319
160	3,504600399	390,22558
170	3,552013278	393,28013
180	3,596707522	396,15953
190	3,638978069	398,88278
200	3,679074319	401,46596
210	3,717209054	403,92277
220	3,753565273	406,265
230	3,788301501	408,50286
240	3,821555973	410,64526
250	3,853449948	412,70001
260	3,884090386	414,674
270	3,913572108	416,57334
280	3,941979568	418,40348
290	3,96938831	420,16927
300	3,995866178	421,87509
310	4,021474333	423,52488
320	4,046268095	425,12221
330	4,070297671	426,6703
340	4,093608763	428,1721
350	4,116243093	429,6303
360	4,138238849	431,04737
370	4,159631076	432,42555
380	4,180452012	433,76693
390	4,200731378	435,07341
400	4,220496636	436,34678
410	4,239773207	437,58866
420	4,258584676	438,80058
430	4,276952958	439,98394
440	4,294898456	441,14007
450	4,312440196	442,27019
460	4,329595947	443,37544
470	4,346382331	444,45689
480	4,362814918	445,51555



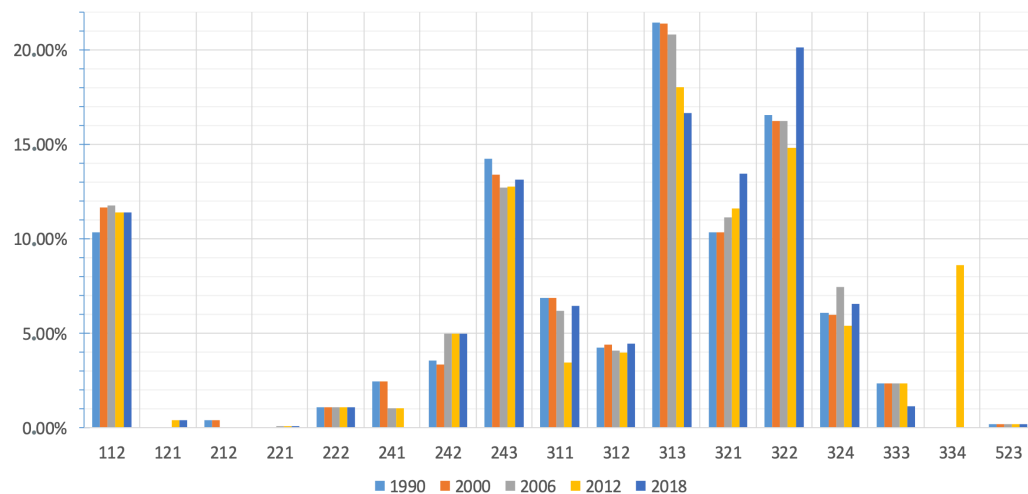
ANEXOS A2

121	0,00%	0,00%	0,00%	0,39%	0,39%
212	0,39%	0,39%	0,00%	0,00%	0,00%
221	0,00%	0,00%	0,08%	0,08%	0,03%
222	1,06%	1,06%	1,05%	1,05%	1,05%
241	2,43%	2,43%	1,02%	1,02%	0,00%
242	3,54%	3,33%	4,97%	4,97%	4,99%
243	14,24%	13,42%	12,70%	12,78%	13,15%
311	6,88%	6,88%	6,19%	3,42%	6,44%
312	4,25%	4,39%	4,08%	3,98%	4,46%
313	21,43%	21,43%	20,81%	18,03%	16,68%
321	10,33%	10,33%	11,14%	11,60%	13,45%
322	16,55%	16,22%	16,22%	14,84%	20,12%
324	6,07%	5,97%	7,46%	5,37%	6,57%
333	2,33%	2,33%	2,33%	2,33%	1,11%
334	0,00%	0,00%	0,00%	8,58%	0,00%
523	0,17%	0,17%	0,16%	0,16%	0,16%

Note: The highest values found are in bold.

Percentage of land use in the municipality of Ribeira Brava classified as level 3 of the CLC terminology:

Percentages of land use in Ribeira Brava according to CORINE land-cover nomenclature for level 3

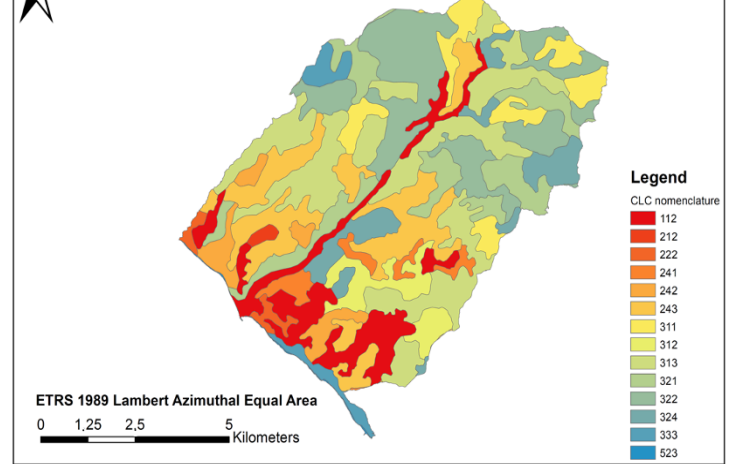


0,00%
0,00%
0,00%
0,00%
0,00%

2,77%
0,10%
2,78%

1,38%
2,09%
0,00% #####

0,00% #####

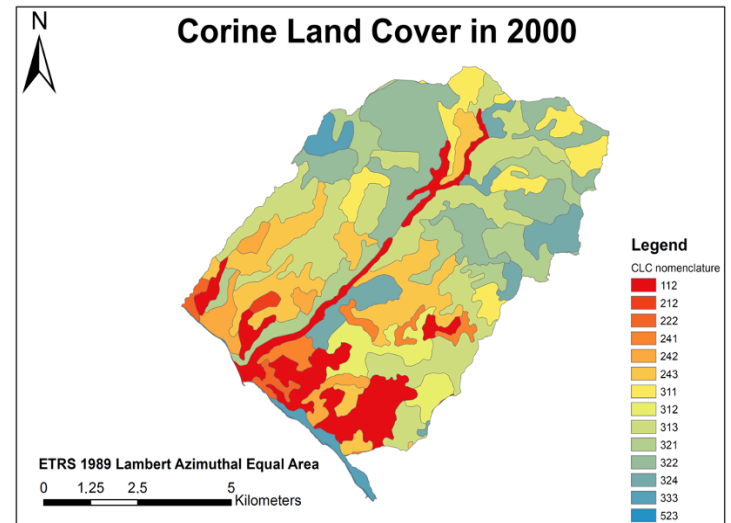


5,40%

#REF!

#RE
FI

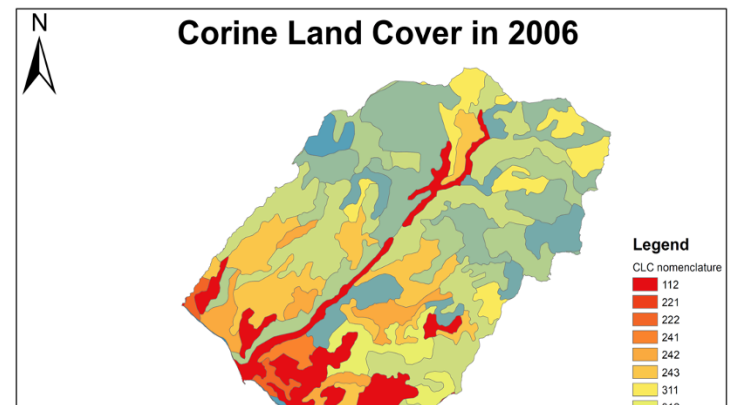
Level 3 CLC designation land uses in the municipality of Ribeira Brava in 2000:



0,01%

#REF!

Level 3 CLC designation land uses in the municipality of Ribeira Brava in 2006:



ANEXOS A3

Parameters calculated or extracted from ArcGIS:

Parameter	Unit of Measurement	Value - São Vicente
Area	km ²	38,262
Perimeter	km	37,790
Gravelius Coefficient of Compactness	dimensionless	1,723
Elongation Factor	dimensionless	7,198
Shape Factor	dimensionless	0,513
Length of Main Watercourse	km	10,813
Maximum Height of Main Watercourse	m	1556,270
Minimum Height of Main Watercourse	m	0,000
Strahler Classification	dimensionless	6,000
Number of Watercourses	units	2020,000
Average Bifurcation Ratio	dimensionless	4,492
Concentration Time	-	-
Kirpich	hours	0,877
Témez	hours	2,648
Giandotti	hours	1,873
Average	hours	1,799

Methodology	Unit of Measurement	Value - São Vicente
Forti	m ³ /s	419,096
Rational	m ³ /s	594,284
Giandotti	m ³ /s	822,796
Mockus	m ³ /s	602,432
Average	m ³ /s	609,652

Parameters needed for detention basin implementation:

Parameter	Unit of Measurement	Value - São Vicente
Width of the River Mouth	m	40,000
Height of the River Mouth	m	3,000
Wall Roughness Coefficient	m ^{-1/3}	0,020
Riverbed Roughness Coefficient	m ^{-1/3}	0,040
Average Roughness Coefficient	m ^{-1/3}	0,037
River Mouth Slope	m/m	0,010
Drainage Capacity of the River Mouth	m ³ /s	608,172
Fill Rate—Forti (pre-regularization)	%	69%
Fill Rate—Rational (pre-regularization)	%	98%
Fill Rate—Giandotti (pre-regularization)	%	135%
Fill Rate—Mockus (pre-regularization)	%	99%

Cipolletti spillway:

Parameter	Unit of Measurement	Value - São Vicente
Width of the Spillway	m	38,500
Height of the Spillway Sill	m	3,000
Spillway Outflow	m ³ /s	372,096
Fill Rate—Rational (post-regularization)	%	61%
Fill Rate—Giandotti (post-regularization)	%	61%
Fill Rate—Mockus (post-regularization)	%	61%

Regularization:

Detention basin - Dutch Method		
Parameter	Unit of Measurement	Value - São Vicente
Storage Volume—Rational (post-regularization)	m ³	1438972,844
Storage Volume—Giandotti (post-regularization)	m ³	2918908,374
Storage Volume—Mockus (post-regularization)	m ³	1491747,652
Width	m	40,000
Height	m	3,000
Length—Rational (post-regularization)	m	11991,486
Length—Giandotti (post-regularization)	m	24324,279
Length—Mockus (post-regularization)	m	12431,234
% of Main Watercourse Length—Rational (post-regularization)	%	111%
% of Main Watercourse Length—Giandotti (post-regularization)	%	225%
% of Main Watercourse Length—Mockus (post-regularization)	%	115%

Detention basin - STH Method		
Parameter	Unit of Measurement	Value - São Vicente
Storage Volume—Rational (post-regularization)	m ³	537998,160

3,598	6476,400	594,284	6476,400	372,096
	12952,800	0,000	12952,800	372,096

Detention Basin			
Storage Volume (m³)	537998,160	Storage Volume (m³)	537998,160
Width (m)	40,000	Width (m)	40,000
Height (m)	3,000	Height (m)	3,000
Length (m)	4483,318	Length (m)	4483,318

Detention basin - STH Method—Giandotti:

t (hours)	Rainfall Flow Rate		Weir's Exit Water Flow Rate	
	t (seconds)	Qp (m³/s)	t (seconds)	Qs (m³/s)
0,000	0,000	0,000	0,000	372,096
1,799	6476,400	822,796	6476,400	372,096
3,598	12952,800	0,000	12952,800	372,096

Detention Basin			
Storage Volume (m³)	1598882,760	Storage Volume (m³)	1598882,760
Width (m)	40,000	Width (m)	40,000
Height (m)	3,000	Height (m)	3,000
Length (m)	13324,023	Length (m)	13324,023

Detention basin - STH Method—Mockus:

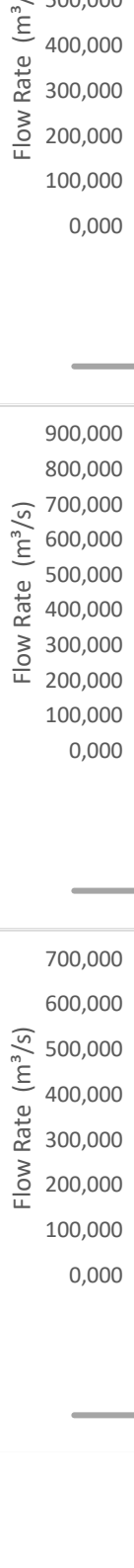
t (hours)	Rainfall Flow Rate		Weir's Exit Water Flow Rate	
	t (seconds)	Qp (m³/s)	t (seconds)	Qs (m³/s)
0,000	0,000	0,000	0,000	372,096
1,799	6476,400	602,432	6476,400	372,096
3,598	12952,800	0,000	12952,800	372,096

Detention Basin			
Storage Volume (m³)	570360,240	Storage Volume (m³)	570360,240
Width (m)	40,000	Width (m)	40,000
Height (m)	3,000	Height (m)	3,000
Length (m)	4753,002	Length (m)	4753,002

V	3848818,455
Trapeze	
B	12952,800
H	372,096
i	0,092
a	4055,043
b	4842,714
V	3310824,036

Triangle	
B	12952,800
H	822,796
V	5328753,985
Trapeze	
B	12952,800
H	372,096
i	0,127
a	2928,851
b	7095,099
V	3729876,251

Triangle	
B	12952,800
H	602,432
V	3901593,262
Trapeze	
B	12952,800
H	372,096
i	0,093
a	4000,193
b	4952,415
V	3331233,692



3	2000/2001	135,000
4	2001/2002	190,000
5	2002/2003	195,400
6	2003/2004	141,000
7	2004/2005	103,200
8	2005/2006	91,400
9	2006/2007	141,400
10	2007/2008	104,600
11	2008/2009	155,000
12	2009/2010	257,800
13	2010/2011	148,400
14	2011/2012	288,600
15	2012/2013	267,400
16	2013/2014	61,200
Average Annual Precipitation		164,444
Standard Deviation		64,424

20	1,865798266	284,64671
30	2,188670122	305,44754
40	2,416304759	320,11277
50	2,592275621	331,44959
60	2,735750838	340,6929
70	2,856881981	348,4967
80	2,961700003	355,24954
90	3,0540819	361,20119
100	3,136668168	366,52176
110	3,211338462	371,33235
120	3,279478455	375,72223
130	3,342139082	379,75911
140	3,400136366	383,49555
150	3,454116604	386,97319
160	3,504600399	390,22558
170	3,552013278	393,28013
180	3,596707522	396,15953
190	3,638978069	398,88278
200	3,679074319	401,46596
210	3,717209054	403,92277
220	3,753565273	406,265
230	3,788301501	408,50286
240	3,821555973	410,64526
250	3,853449948	412,70001
260	3,884090386	414,674
270	3,913572108	416,57334
280	3,941979568	418,40348
290	3,96938831	420,16927
300	3,995866178	421,87509
310	4,021474333	423,52488
320	4,046268095	425,12221
330	4,070297671	426,6703
340	4,093608763	428,1721
350	4,116243093	429,6303
360	4,138238849	431,04737
370	4,159631076	432,42555
380	4,180452012	433,76693
390	4,200731378	435,07341
400	4,220496636	436,34678
410	4,239773207	437,58866
420	4,258584676	438,80058
430	4,276952958	439,98394
440	4,294898456	441,14007
450	4,312440196	442,27019
460	4,329595947	443,37544
470	4,346382331	444,45689
480	4,362814918	445,51555
490	4,378882314	446,55226

