



COLEÇÃO
ESTUDOS
CARIOCAS

Morfología del confinamiento: mapeo open-source de la accesibilidad vertical y vulnerabilidad de PcD en la Favela de Rocinha, Río de Janeiro (RJ)

Confinement morphology: open-source mapping of vertical accessibility and disability vulnerability in the Rocinha Favela, Rio de Janeiro (RJ)

Morfologia do confinamento: mapeamento open-source da acessibilidade vertical e vulnerabilidade de PcD na Favela da Rocinha, Rio de Janeiro (RJ)

Alberto Martins Barros¹, Deise dos Santos Faustino², Luan da Silva Costa³ y William Cosme de Souza Bannitz⁴

¹Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria, 156 bloco D sala 236 - São Domingos - Niterói - RJ - 24210-240, ORCID 0000-0003-3733-4509240, albertobarros@id.uff.br

²Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rua São Francisco Xavier, 524 - Maracanã - Rio de Janeiro - RJ - 20550-900, ORCID 0009-0001-2614-6281, deisesfaustino@gmail.com

³Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde (ICICT), Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Av. Brasil, 4365, Pavilhão Haity Moussatché, Mangueiras, Rio de Janeiro - RJ, 21040-900, ORCID 0009-0004-2969-7451, luancostageo@gmail.com

⁴Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rua Marquês de São Vicente, 225 - Gávea - Rio de Janeiro - RJ - 22451-045, ORCID 0009-0009-4569-8936, williambannitz@gmail.com

Volumen
14

Número
2

*Autor(a) correspondiente
albertobarros@id.uff.br

Envío 14 may 2026

Aceptación 22 jun 2026

Publicación 09 jul 2026

¿Cómo citar?

BARROS, A. M. B. et al.

Morfologia del
confinamiento: mapeo
open-source de la
accesibilidad vertical y
vulnerabilidad de PcD en la
Favela de Rocinha, Río de
Janeiro (RJ). *Coleção
Estudos Cariocas*, v. 14,
n. 2, 2026.
DOI: 10.71256/19847203.14.2.230.2026

El artículo fue
originalmente enviado en
PORTUGUÊS. Las
traducciones a otros
idiomas fueron revisadas y
validadas por los autores y
el equipo editorial. Sin
embargo, para una
representación más precisa
del tema tratado, se
recomienda que los
lectores consulten el
artículo en su idioma
original.



Resumen

Este artículo propone una metodología para mapear la accesibilidad vertical y la vulnerabilidad de las Personas con Discapacidad (PcD) utilizando geotecnologías de Código Abierto (Open Source). Tomando como objeto de estudio la Favela de la Rocinha (RJ), el trabajo estructuró un pipeline basado en el muestreo radial por vecindad y el procesamiento geoestadístico en Python. Los resultados fueron presentados en un panel interactivo y revelan que la mayor densidad de población de PcD se concentra en los estratos de mayor altitud. Este estudio contribuye al debate sobre los desafíos contemporáneos de la gestión pública al evidenciar cómo las barreras geográficas actúan como determinantes sociales que restringen el acceso de las poblaciones vulnerables a los servicios básicos.

Palabras clave: geotecnologías; Python; personas con discapacidad (PcD); urbanismo social; muestreo espacial; confinamiento.

Abstract

This article proposes a methodology for mapping vertical accessibility and the vulnerability of People with Disabilities (PwD) using Open Source geotechnologies. Focusing on the Rocinha Favela (RJ) as a case study, the work structured a pipeline based on neighborhood radial sampling and geostatistical processing in Python. The results were presented in an interactive dashboard and reveal that the highest population density of PwD is concentrated in higher altitude strata. This study contributes to the debate on contemporary public management challenges by highlighting how geographical barriers act as social determinants that restrict the access of vulnerable populations to basic services.

Keywords: geotechnologies; Python; people with disabilities (PwD); social urbanism; spatial sampling; confinement.

Resumo

Este artigo propõe uma metodologia para mapear a acessibilidade vertical e a vulnerabilidade de Pessoas com Deficiência (PcD) utilizando geotecnologias Open Source. Como objeto de estudo a Favela da Rocinha (RJ), o trabalho estruturou um pipeline baseado em amostragem radial por vizinhança e processamento geoestatístico em Python. Os resultados foram apresentados em um painel interativo e revelam que a maior densidade populacional de PcD concentra-se nos estratos de maior altitude. Este estudo contribui para o debate sobre os desafios contemporâneos da gestão pública ao evidenciar como as barreiras geográficas atuam como determinantes sociais que restringem o acesso de populações vulneráveis aos serviços básicos.

Palavras-chave: Geotecnologias, Python, Pessoas com Deficiência (PcD), Urbanismo Social, Amostragem Espacial, Morfologia do Confinamento.

1 Introducción

El proceso de urbanización brasileño no se consolidó de forma desordenada, sino a través de una lógica selectiva de segregación socioespacial que resultó en la formación de vastos territorios urbanos informales. La ciudad es continuamente planificada a partir de un recorte incompleto de la realidad y la población que más depende de infraestructura accesible se convierte, justamente, en la más difícil de ver. Las favelas, lejos de ser fruto del azar, son el producto de una planificación urbana que históricamente priorizó el aislamiento de poblaciones vulnerables en bolsones de inaccesibilidad que se caracterizan por una compleja interacción entre factores socioeconómicos y ambientales. Tales contextos representan un obstáculo significativo para la planificación y la implementación de políticas públicas eficaces, especialmente aquellas dirigidas a la accesibilidad urbana y la inclusión social (Ribeiro, 2010).

El Censo Demográfico de 2022 del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) reveló que aproximadamente 16,4 millones de brasileños residen en favelas y comunidades urbanas, lo que corresponde al 8,1% de la población total del país. Entre estas, la Favela da Rocinha, ubicada en el municipio de Río de Janeiro, se destaca como la mayor de Brasil, albergando a más de 72 mil habitantes (Ibge, 2022; G1 Rio, 2024).

En este lugar, esa cuestión adquiere una densidad específica. La ladera organiza el espacio, estructura los desplazamientos y produce discontinuidades verticales que no son solo topográficas, sino sociales. La dificultad de locomoción en áreas de alta declividad y altimetría, sumada a la precariedad infraestructural, restringe el acceso a servicios esenciales, oportunidades de trabajo y ocio, y perpetúa ciclos de exclusión. Por eso, la discapacidad no puede leerse solo como atributo del cuerpo, es también efecto del territorio, de las discontinuidades de la trama urbana, de la inclinación de las vías y de la ausencia de soluciones de movilidad vertical. Es en este contexto que el concepto de morfología del confinamiento se vuelve útil: se trata de una geometría urbana que no aparece como muro físico, sino que opera como barrera material a la autonomía y a la participación plena en la vida urbana (Gleeson, 1999; Santos, 1996). Lo que debería ser un derecho universal es frecuentemente negado a estas comunidades por la falta de equipamientos y herramientas transparentes y accesibles que permitan la comprensión y la contestación de su realidad espacial.

Por lo tanto, este estudio se justifica por la necesidad de democratizar el acceso a la información geoespacial y de capacitar a comunidades y gestores públicos con instrumentos visuales e interactivos para la planificación de un urbanismo más inclusivo. El panorama exige una arquitectura de evidencias capaz de traducir el territorio en lenguaje público, visual, analítico e intuitivo. Estudios sobre geotecnologías y accesibilidad ya señalan que los mapas colaborativos, los servicios basados en OpenStreetMap y los modelos espaciales accesibles al público pueden apoyar rutas personalizadas, identificar barreras y ampliar el derecho a la ciudad (Salomoni; Mirri, 2014).

Así, el objetivo general de este proyecto fue desarrollar una Prueba de Concepto (PoC) utilizando exclusivamente geotecnologías Open Source para mapear la accesibilidad vertical en la Rocinha. La metodología propuesta se basa en una rutina de muestreo radial por vecindad en radio fijo de 50 metros a partir de cálculos previos de altitud por centroides sectoriales, integrando APIs de topografía y scripts en Python para la extracción de medianas altimétricas y del espectro de declividad. La visualización interactiva en PyDeck permite la superposición de hipsometría, declividad, densidad de PcD y perfiles altimétricos dinámicos.

De este modo, la contribución de esta investigación consiste en articular ese repertorio con una aplicación específica en la Rocinha, donde los resultados indican que la mayor concentración de PcD se da en los terciles de mayor altitud de la comunidad. El análisis revela que existen islas de accesibilidad en sectores que

presentan, en sus tasas mínimas de inclinación, declividades por debajo del límite del 8,33% establecido por la norma NBR 9050 (ABNT, 2020). Sin embargo, la exclusión estructural se confirma por el hecho de que las medianas y las máximas de inclinación de todos los sub-barrios presentan tasas por encima de la norma, evidenciando el aislamiento físico de esas poblaciones. Así, el panel desarrollado no solo denuncia las barreras existentes, sino que sirve como una herramienta robusta para la planificación de intervenciones de movilidad y la promoción de la justicia social, demostrando que la combinación entre topografía severa y vulnerabilidad social produce un escenario en el que la autonomía física está estructuralmente limitada.

2 Fundamentación Teórica

2.1 Urbanismo Social, Accesibilidad y Geotecnologías

La accesibilidad debe ser entendida como derecho, no como aderezo del paisaje urbano. Ruiz, Temes-Cordovez y Câmara-Menoyo (2018) muestran que el uso de nuevas tecnologías de la información puede generar mapas orientados por los principios de justicia espacial, diseño universal y autonomía plena en la ciudad. Mirri *et al.* (2014) presentan un servicio geoespacial basado en OpenStreetMap para proporcionar rutas personalizadas a usuarios con necesidades especiales, mientras que Prandi, Salomoni y Mirri (2014) combinan sensing, crowdsourcing y sistemas georreferenciados para producir conjuntos de datos más detallados y útiles para la accesibilidad urbana.

En el campo de la cartografía participativa, Flacke, Hoefsloot y Pfeffer (2023) describen un prototipo Open Source de mapeo colaborativo inclusivo, desarrollado con participación de personas con discapacidad. Ya Soman *et al.* (2020) muestran que los enfoques computacionales escalables, basados en las propiedades topológicas de mapas digitales, pueden identificar déficits infraestructurales y proponer soluciones mínimas contextualizadas para asentamientos informales. En otro frente, Grippa *et al.* (2019) demuestran que soluciones Open Source consiguen mapear asentamientos precarios, extraer información geográfica útil y poner a disposición métodos y código en acceso abierto, reforzando la viabilidad técnica del camino adoptado aquí.

En Brasil, la literatura sobre movilidad y accesibilidad en favelas confirma que las intervenciones en ese campo suelen ser indirectas, fragmentadas o insuficientes. Brandão y Bueno (2018) observan que las acciones ligadas a la movilidad física y a la accesibilidad integran la infraestructura necesaria para la regularización urbana y de la tenencia de la tierra, pero aún aparecen de modo indirecto en los programas de urbanización. Izaga y Pereira (2014), al tratar sobre favelas cariocas, muestran que el tema de la movilidad urbana fue enfrentado en programas recientes, pero sin resolver de forma plena las demandas de circulación en áreas de ladera. Rodrigues *et al.* (2021) refuerzan que los habitantes de favela presentan desigualdades espaciales y temporales de desplazamiento en relación con los no habitantes, lo que ayuda a sostener la hipótesis de que la desigualdad territorial se traduce en desigualdad de movilidad.

El encuadre normativo de este trabajo se apoya en la NBR 9050 (ABNT, 2020), que establece criterios y parámetros técnicos para proyectos, construcción, adaptación e instalación de edificaciones y del medio urbano en condiciones de accesibilidad. En el caso de esta investigación, la norma fue usada como referencia para interpretar el grado de criticidad de la inclinación observada mediante muestreo espacial, especialmente porque el relieve predominante del territorio ya supera de forma expresiva los límites aceptables para la circulación autónoma de PcD.

2.2 Urbanismo Social en Contextos de Morfología de Confinamiento

El concepto de urbanismo social emerge como un enfoque transformador para la planificación urbana, especialmente en contextos de alta vulnerabilidad social y espacial. A diferencia de las intervenciones urbanísticas tradicionales, que en ocasiones priorizan la infraestructura física en detrimento de las necesidades sociales, el urbanismo social busca la integración entre el espacio físico y el tejido social, promoviendo la equidad, la participación ciudadana y la mejora de la calidad de vida (Carro, 2021).

Sin embargo, al sumergirnos en la morfología del confinamiento, somos confrontados con la antítesis de esa fluidez. Aquí, el territorio deja de ser un escenario pasivo para convertirse en un agente que dicta quién puede y quién no puede reproducirse espacialmente. La condición morfológica deja de ser solo una formación geológica y surge como una arquitectura de exclusión, donde cada grado de inclinación actúa como un escalón invisible, y cada centímetro de altitud amplía la distancia física y simbólica entre el ciudadano y su derecho a la ciudad. En esas condiciones geográficas, el confinamiento no se manifiesta por rejas, sino por declividades y altimetrías impeditivas, pues la morfología de la ladera se convierte en una barrera topográfica que, en diferentes sentidos, cristaliza la inmovilidad de PcD y transforma el paisaje en una barrera material a la soberanía de la existencia urbana.

En este campo hay un alcance de experiencias notables como las de Medellín, en Colombia, que demostraron el potencial del urbanismo social para revertir cuadros de violencia y exclusión a través de proyectos que combinan infraestructura de transporte con equipamientos sociales y culturales, conectando las periferias al centro de la ciudad y promoviendo un sentido de pertenencia (Darabi, 2019).

No obstante, la replicación de modelos de éxito exige una comprensión profunda del contexto local. La experiencia de Río de Janeiro con teleféricos en favelas, como en el Complexo do Alemão, aunque inspirada en Medellín, enfrentó desafíos significativos y no alcanzó el mismo impacto transformador, se cree que, en parte, debido a la falta de consulta y alineación con las prioridades de la comunidad (Santos; Gonçalves, 2019). Esto refuerza la importancia de los enfoques participativos y de la utilización de datos precisos para informar las decisiones de planificación, garantizando que las intervenciones sean verdaderamente responsivas a las necesidades de los habitantes y fundamentadas en evidencias geoespaciales.

2.3 Accesibilidad para Personas con Discapacidad (PCD) en Territorios Informales y el Papel de las Geotecnologías Open Source en la Promoción de la Equidad

La accesibilidad urbana es un derecho fundamental y un pilar del urbanismo inclusivo. Para las PcD, la accesibilidad va más allá de la simple remoción de barreras arquitectónicas, pues engloba la garantía de autonomía, seguridad y participación plena en la vida social. En gran parte de las favelas cariocas, las barreras son amplificadas por la topografía accidentada, vías estrechas e irregulares, ausencia de aceras adecuadas y falta de transporte público adaptado (Alvim, [s. d.]). La Norma Brasileña de Accesibilidad establece parámetros técnicos para garantizar la accesibilidad en edificaciones, espacios y equipamientos urbanos, incluyendo límites de declividad para rampas (ABNT, 2020). No obstante, la aplicación de esa norma en territorios informales presenta desafíos complejos.

La vulnerabilidad de las PcD en favelas es multidimensional, yendo más allá de las dificultades de movilidad, sino alcanzando también el acceso limitado a servicios de salud, educación, empleos, asistencia social, entre otros. El mapeo de la distribución espacial de PCD en relación con las características topográficas del terreno es crucial para identificar áreas críticas y priorizar intervenciones que promuevan la inclusión y la equidad.

De este modo, las geotecnologías se han mostrado herramientas poderosas para el

estudio y la intervención en contextos urbanos complejos. La capacidad de recolectar, procesar, analizar y visualizar datos geoespaciales de forma accesible y transparente actúa en la superación de lagunas históricas de información y en el empoderamiento de comunidades (Chakraborty *et al.*, 2015). La utilización de APIs de elevación, sistemas de información geográfica (SIG) basados en software libre y lenguajes de programación como Python permite la creación de modelos digitales de terreno y el análisis de patrones espaciales que serían inviables con métodos tradicionales o softwares propietarios de alto costo.

En este proyecto, la elección de un enfoque 100% Open Source no es meramente casual o por una cuestión de costo, sino un posicionamiento ético y metodológico. Ella garantiza la reproducibilidad del estudio, la auditabilidad de los procesos y la posibilidad de adaptación y mejora por otras comunidades e investigadores. Al poner a disposición el pipeline de procesamiento en acceso abierto, este trabajo contribuye a la construcción de un conocimiento colectivo orientado a la promoción de la justicia espacial en territorios marginados.

3 Metodología y Pipeline Técnico

Este estudio emplea un pipeline de inteligencia territorial robusto, diseñado bajo la premisa de democratización del acceso al análisis geoespacial por medio de herramientas Open Source. La arquitectura fue concebida para mitigar la escasez de microdatos en comunidades urbanas y promover la reproducibilidad en otros contextos informales. El corpus de datos sobre la población PcD en la Rocinha se obtuvo a partir de datos secundarios provenientes del Instituto Pereira Passos (IPP), con período de referencia en el año 2019. La utilización de esta base, puesta a disposición por medio del Proyecto UNIR (PUC-Rio, 2025), permite analizar la distribución socioespacial de este grupo demográfico según los registros censales/administrativos consolidados por el municipio en ese recorte temporal. Aunque el período de referencia presente un desfase temporal, esta base constituye una fuente oficial consolidada para el análisis de la distribución de PcD en el territorio de la Rocinha. Para garantizar la integridad analítica frente a la morfología accidentada del territorio y superar las limitaciones de resolución espacial, se aplicó una rutina de muestreo avanzado y tratamiento estadístico de ranqueo, cuyas etapas estructurales se describen a continuación:

3.1 Adquisición y Preprocesamiento de Datos Topográficos

La principal barrera para el análisis topográfico detallado en favelas es la ausencia de Modelos Digitales de Terreno (MDT) de alta resolución suministrados por órganos oficiales. La Rocinha, a su vez, carece de base altimétrica oficial suficientemente fina para el problema propuesto. Para superar esa limitación, la Prueba de Concepto (PoC) procesó la extracción altimétrica a través de un motor de búsqueda resiliente con triple redundancia: APIs Open-Elevation y OpenTopoData, con fallback geodésico automatizado, garantizando la integridad de la malla 3D incluso en inestabilidades de red. Este pipeline ofrece una alternativa gratuita y de código abierto para la obtención de datos altimétricos globales, permitiendo consultas de elevación para coordenadas geográficas específicas. Aunque la precisión pueda variar dependiendo de la fuente de datos subyacente, estas demostraron ser adecuadas para la escala de análisis propuesta.

El primer paso del procesamiento espacial involucró la utilización de scripts en Python, con la biblioteca GeoPandas, para manipular la malla vectorial (GeoJSON) que representa los sub-barrios de la Rocinha. Inicialmente se extrajo solo la altitud geométrica del centroide, pero ese proceso se volvió vulnerable a falsas mesetas capturadas por el satélite. Superando eso, el algoritmo generó una malla de nueve puntos para cada sector, es decir, el centroide más ocho vectores en proyección radial de 50 metros. El motor de altimetría consultó la elevación de toda la muestra y la altitud del territorio fue definida por la mediana de esos nueve puntos. Este enfoque estabiliza anomalías topográficas locales y garantiza la recuperación de la

cota real del suelo. Para la clasificación hipsométrica, se aplicó el método de ranqueo estadístico en terciles, garantizando la homogeneidad volumétrica de las muestras.

Posteriormente, se derivó matemáticamente otro indicador crítico de accesibilidad vertical: la declividad del terreno. Utilizando la misma malla radial de 50 metros, se calculó la diferencia de altitud del centroide en relación con los extremos de su envolvente espacial. Para mitigar el ruido inherente a los datos orbitales sin enmascarar la realidad impeditiva de la ladera, el modelo extrajo el espectro completo de inclinación local: mínima, mediana y máxima. En esta etapa, el objetivo fue crear un gradiente topográfico aproximado, pero funcional para el diagnóstico territorial.

La lógica adoptada parte de un principio pragmático: en territorios socialmente vulnerables, una precisión excesivamente costosa puede inviabilizar el análisis. Sin embargo, una simplificación bien calibrada puede producir evidencia suficiente para orientar la intervención. La fluctuación natural del método orbital es compensada por la extracción del espectro completo en el radio de 50 metros como balizador del mapeo. De ese modo, el panorama de la ladera se preserva y lecturas puntuales engañosas son sorteadas, revelando la verdadera barrera física instalada en el territorio.

3.2 Clasificación, Visualización Interactiva y Tratamiento Geoestadístico

Luego del procesamiento primario, los datos de elevación fueron sometidos a un tratamiento estadístico avanzado con el objetivo de superar las limitaciones de resolución espacial (30 m) de los modelos orbitales globales. Para asegurar que el microrelieve de la Rocinha no fuera enmascarado por el aplanamiento digital, se implementó una rutina de muestreo radial por vecindad. La utilización de operaciones de vecindad para la extracción de estadísticas topográficas es un método consolidado en la literatura espacial para mitigar ruidos locales en Modelos Digitales de Elevación (MDE) y calcular el gradiente real del terreno (Burrough; McDonnell; Lloyd, 2015). Para cada sector censal, se generó una malla de nueve puntos — un centroide y ocho puntos radiales en un radio fijo de 50 metros —, cuyas variables fueron clasificadas y tratadas de la siguiente forma:

Hipsometría (Altitud): La cota altimétrica de cada sector fue definida por la mediana de la muestra de puntos. Esta técnica permitió estabilizar el modelo contra anomalías del Modelo Digital de Superficie (MDS), tales como ruidos de radar causados por techos densamente agrupados o incluso infraestructuras elevadas, garantizando la recuperación de la cota real del suelo. La variable fue dividida en tres clases por terciles (bajo, medio, alto), permitiendo correlacionar estratos de altitud con la vulnerabilidad social.

Declividad (Inclinación): Con el objetivo de garantizar la transparencia analítica y a fin de evitar sesgos narrativos, el modelo extrajo el espectro completo de inclinación por sub-barrio: mínima, mediana y máxima. Para la representación cartográfica y el ranqueo — dividido en siete clases por cuantiles —, se adoptó el criterio de la declividad máxima. Tal elección se fundamenta en la norma NBR 9050 (ABNT, 2020), que establece la accesibilidad basada en el punto más restrictivo del recorrido. De este modo, el índice identifica el peor grado de barrera física, impidiendo que cuellos de botella críticos sean diluidos por medias aritméticas. Sin embargo, para asegurar la integridad científica de la muestra, el espectro completo se presenta de forma transparente en el panel de evidencias.

Estructuralmente, el proyecto fue consolidado en un repositorio en GitHub, que sirve como base para el desarrollo del panel interactivo mediante la biblioteca Streamlit, la cual permite la creación de aplicaciones web de datos en Python. Posteriormente, la integración de la biblioteca PyDeck fue estratégica para viabilizar visualizaciones geoespaciales 3D de alto rendimiento, permitiendo la renderización de capas extrusionadas para representar la hipsometría local. En esta configuración, la altura de las extrusiones corresponde a la altitud real de los

sectores, confiriendo una percepción volumétrica inmediata de la topografía. Paralelamente, la aplicación de capas de dispersión permitió la visualización de la concentración de PcD a través de un gradiente de densidad, donde el radio y el color de las burbujas representan el porcentaje poblacional de personas con discapacidad en cada territorio. Esa superposición analítica fue fundamental para identificar con precisión los hotspots de vulnerabilidad espacial en la comunidad y presentar los datos desde múltiples perspectivas.

Complementariamente, la biblioteca Plotly fue utilizada para la generación de gráficos dinámicos, tales como perfiles hipsométricos, diagramas de dispersión para análisis de correlación y perfiles de espectro de declividad que permiten al usuario comparar simultáneamente las variaciones de relieve en cada sub-barrio. Este enfoque ofrece funcionalidades de interactividad para explorar los datos de forma multidimensional, además de la posibilidad de exportación instantánea en formato PNG. Tal recurso es estratégico para la gestión pública, pues viabiliza la transposición directa de evidencias visuales a informes técnicos, diagnósticos y piezas de planificación urbana.

Adicionalmente, el panel integra soporte multilingüe en portugués, español e inglés. Esta funcionalidad fue concebida como una estrategia de internacionalización de la herramienta, con el objetivo de fomentar la exploración del diagnóstico por diferentes públicos y esferas de debate. La Rocinha posee un fuerte atractivo turístico y una ubicación privilegiada en la Zona Sur de Río de Janeiro, por lo que el motor multilingüe busca confrontar la narrativa turística convencional con las severas disparidades territoriales internas. Es imperativo que la mirada internacional sobre la comunidad comprenda las contradicciones urbanas y las barreras de accesibilidad que permanecen invisibilizadas bajo la estética de las laderas, transformando el dato técnico en un instrumento de denuncia global.

3.3 Inteligencia Artificial (IA) Integrada: Copiloto Gemini 1.5 Flash

Una característica distintiva de este pipeline es la integración de la API de Gemini 1.5 Flash, configurada como un agente de inteligencia artificial que actúa como capa de gobernanza y comunicación. Este agente fue alimentado con los datos del proyecto y directrices contextuales sobre la Rocinha, urbanismo social y accesibilidad. Su función es la interpretación semántica de las matrices de correlación, permitiendo que el modelo analice y explique las interdependencias espaciales entre la distribución de PcD y las variables topográficas, traduciendo datos complejos en respuestas inteligibles.

Adicionalmente, el Copiloto procesa consultas en lenguaje natural, resolviendo dudas técnicas de usuarios sobre la metodología y las implicaciones de los resultados. Tal arquitectura busca mitigar asimetrías de información y democratizar el acceso al conocimiento técnico para no especialistas. Conceptualmente, este enfoque converge con la literatura que preconiza la combinación de mapeo colaborativo, datos abiertos y servicios espaciales asistivos para la promoción de la justicia urbana (Mirri *et al.*, 2014; Prandi; Salomoni; Mirri, 2014; Ruiz; Temes-Cordovez; Cámara-Menoyo, 2018).

4 Resultados

La aplicación del pipeline metodológico reveló patrones espaciales y métricas cuantitativas que autentican la severidad de las barreras de accesibilidad en la Favela da Rocinha. Las evidencias visuales presentadas en esta sección fueron extraídas directamente de la interfaz del panel, utilizando la funcionalidad nativa de exportación de datos. El principal resultado de este estudio, corroborado por el análisis de correlación espacial, revela que la mayor concentración media de PcD (6.39%) en la Rocinha se sitúa en las áreas de mayor cota altimétrica y declividad acentuada. La hostilidad geográfica del territorio restringe la movilidad justamente en los sectores donde el esfuerzo físico exigido es máximo y la autonomía espacial

es mínima.

En ese caso, la topografía no es telón de fondo, sino parte activa de la producción de vulnerabilidad, pues evidencia un aislamiento geográfico severo, donde la población con mayor restricción de movilidad está confinada en las zonas de más difícil acceso. Las implicaciones sociales son profundas, pues limitan el acceso a servicios de salud, educación, transporte y oportunidades de trabajo (Alvim, [s.d.]). La visualización 3D en el mapa interactivo vuelve esa realidad espacial inmediatamente perceptible, transformando datos abstractos en una representación tangible de la exclusión.

Al profundizar en la lectura normativa, se encuentra una nueva alerta de gran relevancia: la Norma Brasileña de Accesibilidad NBR 9050 establece un límite máximo de inclinación del 8.33% para rampas accesibles, con el objetivo de garantizar la seguridad y la autonomía de personas con movilidad reducida (ABNT, 2020). Sin embargo, el análisis espacial del territorio reveló que la mediana de inclinación del 100% de los sub-barrios supera los límites normativos. Los gráficos de las Figuras 1 y 2 detallan los perfiles altimétricos y de inclinación de la Rocinha. La extracción del espectro de declividad demuestra que la mayor parte de los sectores presenta tramos con tasas mínimas por debajo del 8,33%, sugiriendo la existencia de puntuales 'islas de accesibilidad'. No obstante, la mediana y la tasa máxima de todos los sub-barrios rompen la continuidad de la ruta autónoma. Se destaca el sector Faz Depressa que concentra por sí solo, como indica la figura 3, el 16.61% de PcD, clasificándolo como el tercero de mayor altimetría y presentando declividad con mediana del 16.3% y máxima del 34%. El abismo topográfico se repite en Vila Vermelha con tasa máxima de declividad del 46,7% —además de la 4ª mayor altitud con 206 m—, en Capado con 36% y en Cachopa con 26,2% de declividad mediana. Estos sectores, respectivamente, concentran elevadas tasas poblacionales de 11%, 9.35% y 9.59%.

El gráfico en la Figura 4 presenta el cruce estadístico entre la altitud y la concentración de PcD por sector, haciendo visible el hotspot de vulnerabilidad localizado en la cima de la comunidad. Por su parte, el gráfico en la Figura 5 detalla la dispersión de ese grupo en relación con la declividad local, demostrando que la mayor parte de los habitantes con discapacidad reside en zonas que superan drásticamente los límites de inclinación previstos para la autonomía funcional. Por último, la Figura 6 consolida la concentración de PcD por nivel de terreno, destacando que los planos más altos concentran el 6.39%.

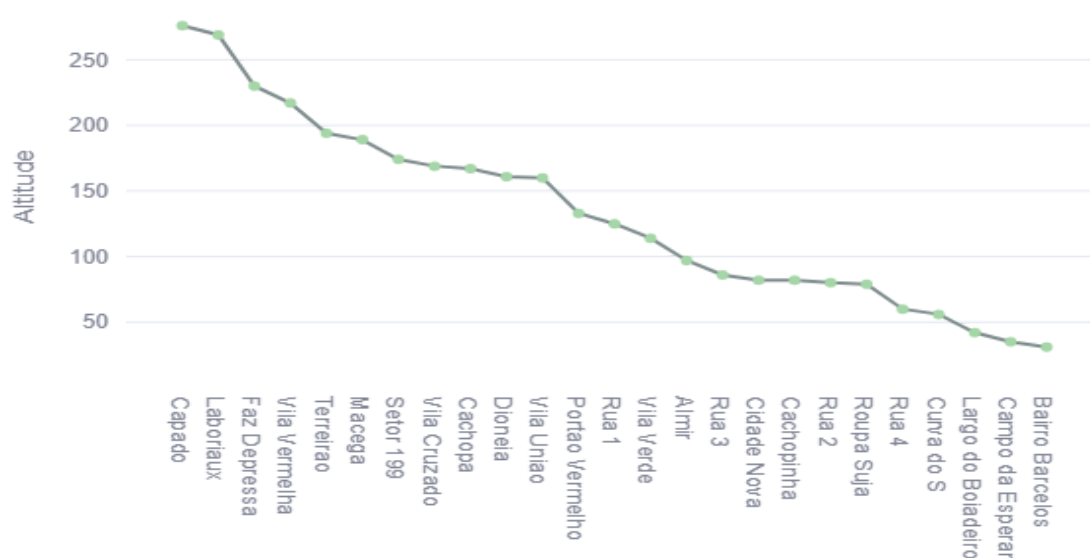


Figura 1: Perfil hipsométrico (variación de la altitud en los sub-barrios de la Rocinha)
Fuente: Elaborado por los autores

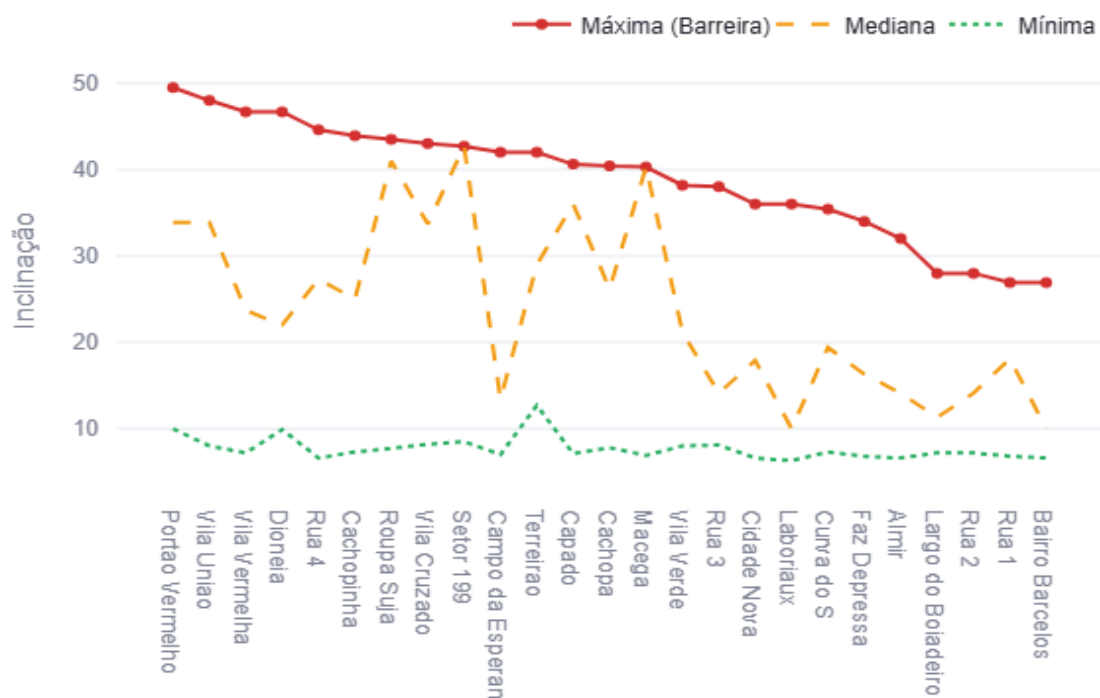


Figura 2: Espectro de inclinação (distribución de los porcentajes de declividad (%) por sub-barrio en la Rocinha)
Fuente: Elaborado por los autores

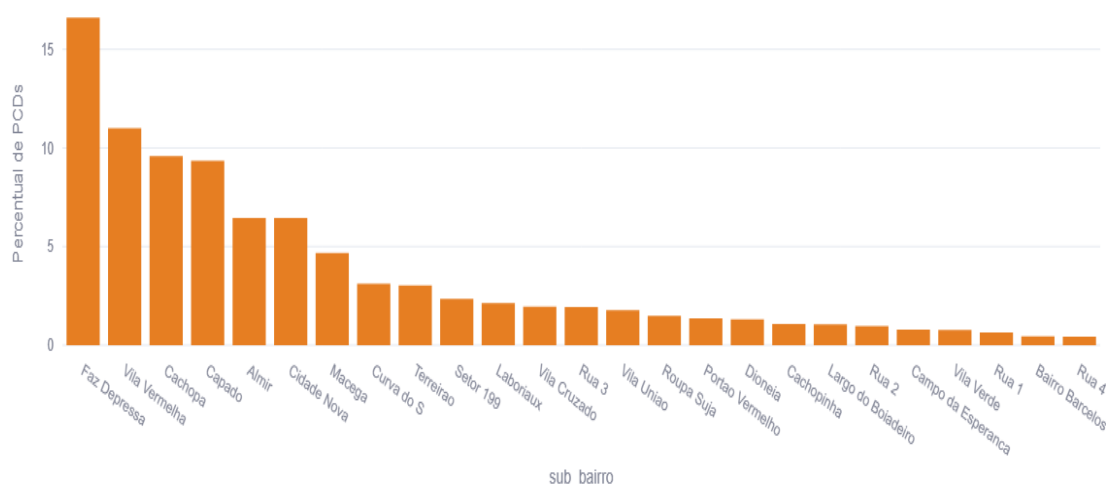


Figura 3: Distribución porcentual de Pcd por sub-barrio en la Rocinha
Fuente: Elaborado por los autores

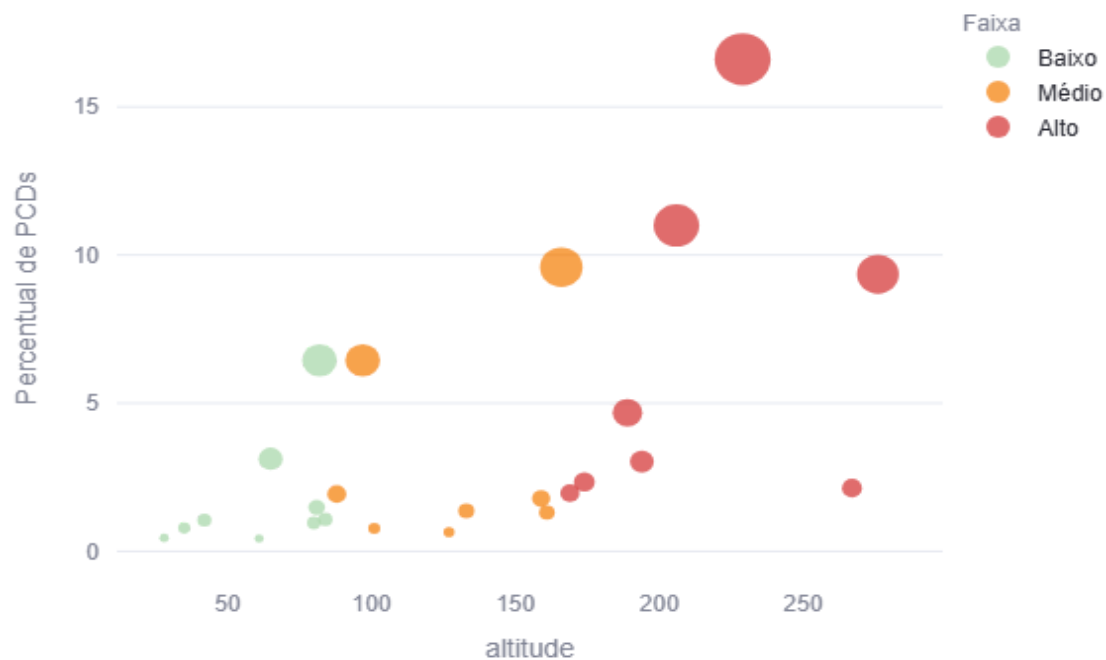


Figura 4: Dispersión y correlación entre la altitud (m) y la concentración de PcD (%) en los sub-barrios de la Rocinha
Fuente: Elaborado por los autores

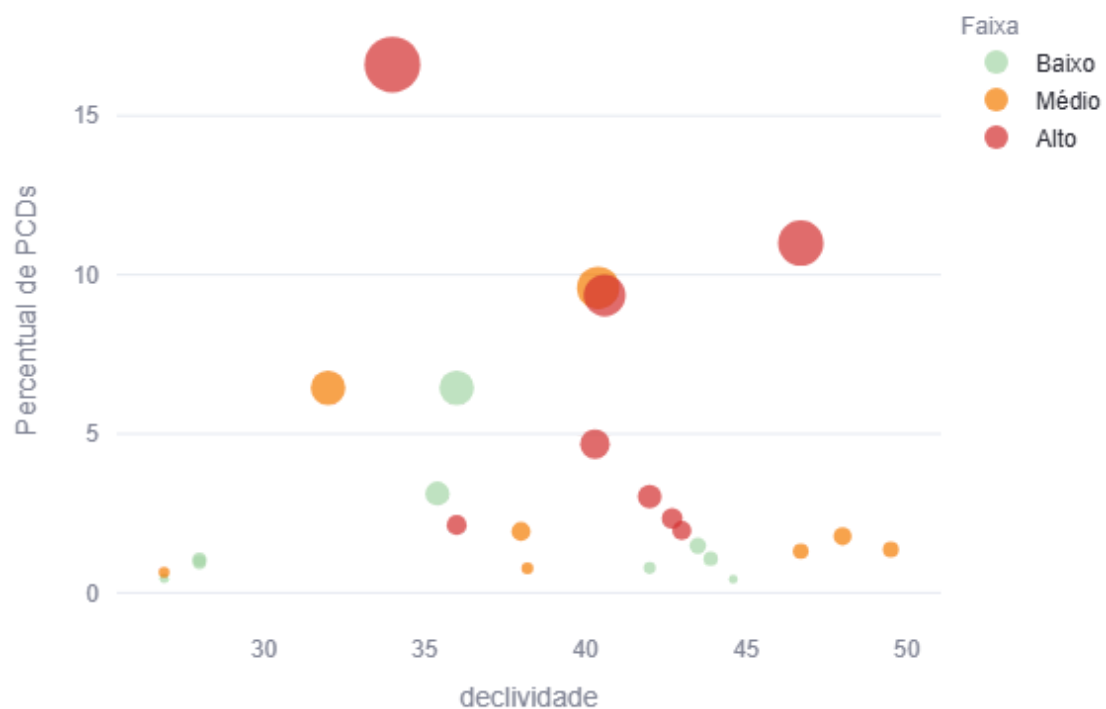


Figura 5: Dispersión espacial y correlación entre la densidad de PcD (%) y los índices de declividad (%) en los sub-barrios de la Rocinha
Fuente: Elaborado por los autores

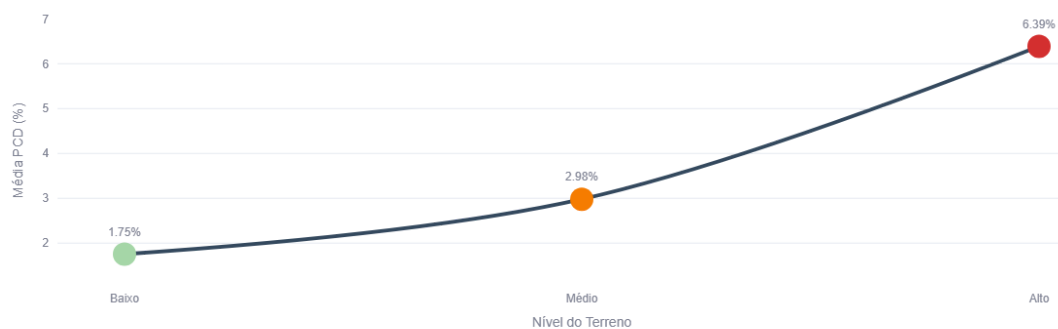


Figura 6: Densidad poblacional media de PcD (%) según las franjas de nivel del terreno (Bajo, Medio, Alto)
Fuente: Elaborado por los autores

Este escenario indica que la accesibilidad universal no falla solo en los tramos más críticos, pues ya entra en colapso en la propia media estructural del barrio. En un terreno accidentado como la Rocinha, si no hay infraestructura masiva de movilidad vertical, la circulación autónoma de PcD no es apenas dificultada, sino estructuralmente imposibilitada. Este dato cuantifica la inaccesibilidad crónica del territorio y la ineficacia de soluciones paliativas de adaptación. Sirve como evidencia de la necesidad de intervenciones estructurales profundas para que se ofrezcan condiciones de dignidad y autonomía a las PcD de la comunidad.

La literatura sobre movilidad en favelas cariocas y sobre accesibilidad en asentamientos precarios sustenta esa lectura al mostrar que la movilidad es un componente central de la urbanización, pero frecuentemente tratado de modo secundario en las intervenciones públicas. Otro resultado importante es la utilidad del panel como instrumento de transparencia. Al cruzar la densidad de PcD y la topografía, el sistema hace visible una relación que, en diagnósticos tradicionales, permanece abstracta en informes de órganos públicos. La visualización interactiva no sustituye el análisis territorial, pero lo vuelve incuestionablemente inteligible. Esto es coherente con trabajos que demuestran la capacidad de los mapas colaborativos y las bases abiertas para apoyar soluciones en asentamientos informales (Brandão; Bueno, 2018; Izaga; Pereira, 2014; Rodrigues *et al.*, 2021).

5 Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio refuerzan la complejidad de los desafíos de accesibilidad en asentamientos informales y la urgencia de enfoques innovadores para la planificación urbana. La concentración de PcD en áreas de mayor declividad en la Rocinha no se trata de un fenómeno aislado, sino de un reflejo de las dinámicas socioespaciales y económicas que históricamente empujan a las poblaciones más vulnerables hacia las zonas de riesgo y de difícil acceso, expresando un desarrollo geográfico desigual (Ribeiro, 2010; Harvey, 2006).

En ese sentido, la contribución del proyecto es amplia. Desde el punto de vista técnico, valida un pipeline replicable, de bajo costo financiero e independiente —o complementario— de bases oficiales complejas. Desde el punto de vista político, el proyecto expone el terreno en argumento público al mostrar que la desigualdad espacial de la Rocinha no es abstracta, pues es mensurable, visualizable y comunicable. El concepto de morfología del confinamiento deja de ser una simple metáfora retórica y gana fuerza al convertirse en una evidencia geotecnológica, amparada por datos y por una fundamentación cartográfica accesible a la gestión pública.

Si bien los Modelos Digitales de Elevación (MDE) globales ofrecen una base de datos valiosa para análisis a gran escala, su resolución espacial de 30 metros impone límites severos a la captura del microrelieve urbano. De esta forma, es posible que haya una desviación causada por una suavización morfológica, sobre todo en áreas de ladera como la localidad de Laboriaux. Por situarse en una cresta estrecha, el algoritmo de muestreo orbital termina integrando la media de cumbres y

laderas adyacentes en un único píxel, resultando en inclinaciones subestimadas —en este caso, una mediana del 10%—, que contrastan con la percepción local de declividades críticas. Este factor metodológico justifica y valida la adopción del espectro de inclinación en el motor de tratamiento de datos de este proyecto, actuando como un filtro necesario para mitigar el aplanamiento digital del sensor y aproximar el modelo a la verdadera experiencia física impuesta a los habitantes.

5.1 Comparativo con experiencias de movilidad vertical e implicaciones para políticas públicas e investigaciones futuras

La necesidad de intervenciones masivas de movilidad vertical, como planos inclinados y ascensores urbanos, emerge como una alternativa práctica insoslayable. Diversas experiencias globales de esta naturaleza, como el Metrocable de Medellín, en Colombia, demuestran el potencial transformador de los sistemas de transporte por cable en favelas. En Medellín, el Metrocable no solo mejoró la conectividad física, sino que también actuó como un catalizador para el urbanismo social, integrando comunidades marginadas a la ciudad formal y reduciendo la violencia (Darabi, 2019).

Sin embargo, la replicación de esos modelos no es trivial y demanda estudio previo, respetando las subjetividades del lugar. El caso del teleférico del Complexo do Alemão, en Río de Janeiro, sirve como un contrapunto relevante. A pesar de la similitud tecnológica con el ejemplo mencionado, la falta de compromiso comunitario y la priorización de proyectos de gran envergadura en detrimento de necesidades básicas, como saneamiento y vivienda, resultaron en un impacto social limitado y en la eventual desactivación del sistema (Santos; Gonçalves, 2017). Este desenlace traduce que, por sí sola, la tecnología no trae garantías de éxito, pues debe estar integrada a una estrategia amplia de urbanismo social. Ese proceso demanda fuerte participación popular y alineación con las demandas locales.

Los planos inclinados, a ejemplo de los modelos implementados en favelas de Río de Janeiro, se configuran como alternativas de movilidad vertical. Aunque operen a menor escala que los sistemas de teleféricos, estos equipamientos ofrecen ganancias expresivas de accesibilidad en tramos específicos, siempre que estén integrados a una planificación que prevea operación y mantenimiento continuos. Conforme lo demuestra la diversidad del pipeline tecnológico propuesto en este estudio, la eficacia del urbanismo social reside en la coexistencia y complementariedad de diferentes infraestructuras. En ese escenario, el panel desarrollado actúa como un instrumento estratégico de inteligencia territorial, permitiendo identificar los vectores prioritarios para la instalación de esos equipamientos y maximizando el impacto real en la autonomía y en la inclusión socioespacial de PcD.

Los resultados tienen el poder de respaldar la formulación de políticas públicas. La constatación de que la declividad de la Rocinha excede los límites de la NBR 9050 (ABNT, 2020) exige una revisión de los enfoques de accesibilidad en favelas. No basta solo con adaptar, es preciso transformar la infraestructura de base, lo que implica inversiones significativas en movilidad vertical y, también, en una planificación que considere la topografía como un elemento central.

Además, el uso de geotecnologías Open Source y la integración de IA en el proceso de análisis y visualización ofrecen un modelo para el desarrollo de herramientas de apoyo a la decisión que son accesibles, transparentes y replicables. Es recomendable que, en investigaciones futuras, se exploren: la recolección de datos de PcD con mayor granularidad —tal vez a través de mapeo participativo— para refinar el análisis de vulnerabilidad; la integración de otros factores socioeconómicos en el panel interactivo; el desarrollo de modelos predictivos para identificar áreas de riesgo de inaccesibilidad en otras favelas; y la evaluación del impacto cuantitativo de intervenciones de movilidad vertical ya existentes.

5.2 Limitaciones Metodológicas

La dependencia de APIs para la obtención de datos altimétricos, aunque sea una solución pragmática para la ausencia de MDT oficiales, introduce una limitación significativa en la resolución de los datos topográficos. Las APIs de elevación gratuitas se basan en Modelos Digitales de Elevación (MDE) globales que poseen resoluciones espaciales que varían de 30 a 90 metros. En entornos urbanos densos y complejos como las favelas, caracterizados por microtopografías acentuadas, edificaciones irregulares y callejones estrechos, esa resolución espacial orbital muchas veces es insuficiente para capturar las minucias del terreno que impactan directamente la accesibilidad vertical (Mahabir; Agrawal, 2018).

Si bien la implementación del muestreo radial por vecindad mitigó el sesgo del centroide único, la escala de análisis agregada presenta desafíos en territorios heterogéneos. La extracción estadística a nivel de sub-barrio, incluso refinada por el filtro de la declividad máxima, permite evaluar la tendencia estructural de la ladera, pero no alcanza la escala del proyecto arquitectónico. De este modo, la modelación no permite identificar barreras específicas en la microescala, como escalones en callejones, que son obstáculos cruciales e insalvables para la accesibilidad de PcD.

La resolución nativa de los satélites puede enmascarar variaciones locales críticas, subestimando o sobreestimando barreras en puntos muy específicos. Se reconoce que la morfología compleja de la Rocinha demanda, en su instancia final, precisión métrica o centimétrica. Como evolución del proyecto, se recomienda que la arquitectura metodológica incorpore bases de altísima resolución, migrando al procesamiento offline de matrices raster. La aplicación de estadística zonal directa sobre esos datos permitiría el cálculo exacto de la inclinación de cada tramo de vía, mitigando definitivamente las distorsiones de microrelieve sin recargar la latencia de la aplicación web.

Si bien la declividad y la altimetría son factores primordiales, la accesibilidad vertical es un concepto multidimensional que va más allá de la inclinación macro del terreno. Otros elementos de infraestructura no fueron explícitamente considerados en la modelación actual, tales como la pavimentación precaria, baches, ancho de las vías y ausencia de barandillas. Además, la inexistencia actual de microdatos georreferenciados sobre la ubicación exacta de las residencias de PcD y la tipología de la discapacidad —como usuarios de silla de ruedas o personas con discapacidad visual—, limita la granulación del análisis de vulnerabilidad, siendo los resultados actuales un retrato de la densidad sectorial colectiva.

6 Conclusión

Este estudio demostró que la geometría del terreno en la Favela da Rocinha actúa como una poderosa morfología del confinamiento debido a su complejidad morfológica, imponiendo barreras infranqueables a la accesibilidad vertical y profundizando la vulnerabilidad de PcD. La morfología del confinamiento es, por lo tanto, un efecto de la geometría urbana sobre el derecho de ir y venir. Al transformar esa condición en visualización analítica, el proyecto fortalece la denuncia y ofrece base para decisiones públicas más justas.

En la Rocinha, la declividad del terreno excede con creces los estándares normativos de accesibilidad. El mapeo de la accesibilidad vertical revela que la autonomía física de PcD depende menos de soluciones puntuales y más de una política territorial robusta, centrada en movilidad vertical, diseño universal y lectura fina de la ladera. La principal contribución del trabajo reside en evidenciar la superposición entre vulnerabilidad social y barrera topográfica: cuando la población con discapacidad se concentra en áreas altas y escarpadas, la forma urbana pasa a ser un mecanismo de exclusión.

Por lo tanto, este artículo demuestra que las geotecnologías Open Source pueden operar como infraestructura de justicia espacial en territorios de complejidad morfológica, complementando diagnósticos convencionales y datos oficiales. Desde

el punto de vista metodológico, la combinación entre las APIs Open-Elevation y OpenTopoData, Python, visualización en PyDeck y gobernanza abierta muestra que es posible producir evidencia territorial de bajo costo con alto poder de comunicación.

Desde un punto de vista académico y político, el estudio afirma que la accesibilidad es una cuestión de estructura urbana, de gestión de la ladera y de redistribución del derecho a la ciudad. El panel interactivo desarrollado no es solo una herramienta de visualización de datos, sino un instrumento de denuncia y un catalizador para la planificación urbana. Al hacer visible la invisibilidad de la inaccesibilidad, ofrece subsidios técnicos para que la sociedad civil, el poder público y las propias comunidades puedan formular e implementar políticas de urbanismo social basadas en evidencias.

La autonomía física y la plena participación de PcD en la vida urbana de la Rocinha dependen de intervenciones estructurales, planificadas y territorializadas, que reconozcan la topografía como un desafío a ser superado por medio de soluciones de movilidad vertical. De esa forma, será posible construir ciudades verdaderamente inclusivas, donde la geometría del terreno deje de ser un muro y se convierta en un camino hacia la equidad.

Como recomendaciones futuras, es deseable que esta investigación evolucione hacia una herramienta de planificación aún más precisa, utilizando recursos para superar limitaciones metodológicas, como la adquisición de datos topográficos de alta resolución vía LiDAR (Light Detection and Ranging) o fotogrametría con drones mediante técnicas de Structure-from-Motion (SfM) (Chun *et al.*, 2021). Estas tecnologías permiten generar MDT y MDS con precisión centimétrica, capaces de capturar la microtopografía de favelas, incluyendo edificaciones, escalinatas y pequeñas variaciones del terreno.

El análisis debe migrar de la escala de sub-barrio a la escala de la edificación y de la red de caminos. Esto requiere el mapeo detallado de esas infraestructuras, preferentemente con datos recolectados en campo o por medio de imágenes satelitales de altísima resolución y técnicas de visión computacional. La utilización de algoritmos de análisis de redes que consideren la declividad de cada segmento de vía, la presencia de escalones, el ancho y el tipo de pavimento como atributos de la malla permitiría trazar rutas óptimas para diferentes tipos de movilidad e identificar con precisión cuellos de botella de accesibilidad.

Las limitaciones metodológicas enumeradas son inherentes a la naturaleza de una Prueba de Concepto y a la complejidad del objeto de estudio. Sin embargo, no disminuyen el valor de la investigación, sino que señalan caminos claros para el perfeccionamiento. Al adoptar datos topográficos de mayor resolución, refinar la escala de análisis, involucrar a la comunidad en la recolección de datos y expandir los indicadores de accesibilidad, futuras investigaciones podrán construirse sobre esta base sólida. El propósito es desarrollar herramientas cada vez más precisas, capaces de subsidiar políticas de urbanismo social que transformen la geometría del terreno —hoy marcada por una morfología del confinamiento— en un camino para la inclusión plena de PcD en territorios informales. Se reconoce, no obstante, que tales intervenciones son medidas de mitigación de las desigualdades preexistentes. El horizonte último de la acción pública en estos territorios debe ser, necesariamente, la superación de la propia condición de informalidad, integrando plenamente esas áreas a la estructura y a los derechos de la ciudad formal.

Referencias

ALVIM, M. **A luta do deficiente morador de favelas**. Rio de Janeiro: Viva Favela, [s. d.]. Disponible en: <http://vivafavela.vivario.org.br/408-a-luta-do-deficiente-morador-de-favelas/>. Acceso en: 8 may. 2026.

ARRUDA, N.; YANCES, H. MAP Cartagena: metodología para el mapeo de asentamientos precarios usando OpenStreetMap. **Revista Cartográfica**, v. 93, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050: acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BRANDÃO, B.; BUENO, L. Intervenções de mobilidade e acessibilidade em programas de urbanização de favelas: análise em São Paulo e Rio de Janeiro de 1996 a 2012. **Arquitetura Revista**, [S. l.], 2018.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A.; LLOYD, C. D. **Principles of Geographical Information Systems**. 3. ed. Oxford: Oxford University Press, 2015.

CAPIZZI, P.; MARTORANA, R. Analysis of HVSR data using a modified centroid-based algorithm for near-surface geological reconstruction. **Geosciences**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 147, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3263/12/4/147>. Acesso em: 8 may. 2026.

CARRO, E. **Urbanismo social**: ferramenta de transformação territorial. ArchDaily Brasil, 20 dez. 2021. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/972846/urbanismo-social-ferramenta-de-transformacao-territorial>. Acesso em: 8 may. 2026.

CHAKRABORTY, A. *et al.* Open data for informal settlements: Toward a user's guide for urban managers and planners. **Journal of Urban Management**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 101-114, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2226585615000229>. Acesso em: 8 may. 2026.

CHUN, J. *et al.* Comparing High Accuracy t-LiDAR and UAV-SfM Derived Point Clouds for Geomorphological Change Detection. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [S. l.], v. 10, n. 6, p. 367, jun. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2220-9964/10/6/367>. Acesso em: 23 may. 2024.

DARABI, A. **In Medellin, Cable Cars Transformed Slums—In Rio, They Made Them Worse**. [S. l.]: IISD, 11 abr. 2019. Disponível em: <https://www.iisd.org/articles/policy-analysis/medellin-cable-cars-transformed-slums-rio-they-made-them-worse>. Acesso em: 8 may. 2026.

FLACKE, J.; HOEFSLOOT, F.; PFEFFER, K. Co-designing and mapping for accessible cities: a cross-disability project in Zwolle, The Netherlands. The 18th International Conference on Computational Urban Planning and Urban Management. **Proceedings**. [S. l.: s. n.], 2023.

GLEESON, Brendan. **Geographies of disability**. London: Routledge, 1999.

G1 RIO. **Rocinha, maior favela do país segundo Censo 2022, possui mais habitantes que dois terços dos municípios do RJ**. Rio de Janeiro, 8 nov. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2024/11/08/rocinha-maior-favela-do-pais-segundo-censo-possui-mais-habitantes-que-municipios-do-rj.ghtml>. Acesso em: 8 may. 2026.

GRIPPA, T. *et al.* Mapping slums and model population density using earth observation data and open source solutions. **2019 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)**, Vannes, France, 2019. doi: 10.1109/JURSE.2019.8808934.

HARVEY, David. **Os limites do capital**. Tradução de Magda Lopes. São Paulo: Boitempo, 2006. Acesso em: 8 maio 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2022**: Brasil tinha 16,4 milhões de pessoas morando em Favelas e Comunidades Urbanas. Rio de Janeiro: Agência de Notícias IBGE, 8 nov. 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noti>

- cias/41797-censo-2022-brasil-tinha-16-4-milhoes-de-pessoas-morando-em-favelas-e-comunidades-urbanas. Acesso em: 8 maio 2026.
- IZAGA, F.; PEREIRA, M. A mobilidade urbana na urbanização das favelas no Rio de Janeiro. **Cadernos do Desenvolvimento Fluminense**, Rio de Janeiro, n. 4, 2014.
- MAHABIR, R.; AGRAWAL, S. A Critical Review of High and Very High-Resolution Satellite Imagery for Slum Mapping. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 8, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2413-8851/2/1/8>. Acesso em: 8 may. 2026.
- MIRRI, S. *et al.* On combining crowdsourcing, sensing and open data for an accessible smart city. **Eighth International Conference on Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies**, Oxford, UK, 2014, pp. 294-299, doi: 10.1109/NGMAST.2014.59..
- OPEN-ELEVATION. **A free and open-source elevation API**. 2024. Disponível em: <https://open-elevation.com/>. Acesso em: 8 may. 2026.
- OWEN, K. K.; WONG, D. W. An approach to differentiate informal settlements using spectral, texture, geomorphology and road accessibility metrics. **Applied Geography**, [s. l.], v. 40, p. 101-112, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622812001592>. Acesso em: 8 may. 2026.
- PRANDI, C.; SALOMONI, P.; MIRRI, S. mPASS: integrating people sensing and crowdsourcing to map urban accessibility. **Proceedings of the IEEE International Conference on Consumer Communications and Networking Conference**. 10-13.[S. l.], 2014.
- PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO (PUC-Rio). **Projeto UNIR**: Sistema de Informações Geográficas para Apoio ao Urbanismo Social. Rio de Janeiro: CCS/PUC-Rio, 2025. Disponível em: https://sigaunir.ccs.puc-rio.br/index.php?option=com_sppagebuilder&view=page&id=142. Acesso em: 8 may. 2026.
- RIBEIRO, W. C. **Riscos e vulnerabilidade urbana no Brasil**. Scripta Nova, Barcelona, v. 14, n. 341, nov. 2010.
- RIOONWATCH. **Mapping the 'Uncharted' Favela**: The Growing Role of Participatory Mapping. 2017. Disponível em: <https://rioonwatch.org/?p=38456>. Acesso em: 8 may. 2026.
- ROCHA, E. **Análise da acessibilidade ao espaço urbano por pessoa em cadeira de rodas empregando tecnologias da geoinformação**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2016.
- RODRIGUES, A. *et al.* Measuring mobility inequalities of favela residents based on mobile phone data. **Habitat International**, v. 110, 2021, ISSN 0197-3975, <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2021.102346>, 2021.
- RUÍZ, A.; TEMES-CÓRDOVEZ, R. R.; CÁMARA-MENOYO, C. Accesibilidad y tecnologías de información colaborativas. Cartografías para una ciudad inclusiva. **Bitácora Urbano Territorial**, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 171–178, 2018. DOI: 10.15446/bitacora.v28n1.68316.
- SANTOS, L. B. D.; GONÇALVES, R. S. A questão da mobilidade nos projetos de urbanização: o teleférico como modal de transporte nas favelas. **Escenarios: empresa y territorio**, [s. l.], n. 11, p. 101-115, 2017.
- SANTOS, Milton. **A Natureza do Espaço**: Técnica e Tempo, Razão e Emoção. São Paulo: Hucitec, 1996.
- STORYMAPS ARCGIS. **Comparing the spatial accuracy of LiDAR to Digital Elevation**. 2019. Disponível em:

Sobre los Autores

Alberto Martins Barros es geógrafo, magíster y doctorando en Ingeniería de Biosistemas por la UFF. Especialista en Vigilancia en Salud con MBA en Gestión de Proyectos, dedica su trayectoria a la intersección entre la ciencia de datos geográficos y el territorio. Posee experiencia en el desarrollo de ETL de datos espaciales y herramientas de apoyo a la decisión para contextos urbanos complejos. Actualmente, se especializa en la integración de ecosistemas open-source (como Google Earth Engine, Python, R, PostgreSQL/PostGIS y GeoServer) para el modelado geoespacial aplicado a vulnerabilidades territoriales, con foco en la democratización de la inteligencia de datos geográficos.

Deise dos Santos Faustino es graduada en Ingeniería Cartográfica por la UERJ, posee posgrado en Petróleo y Gas y Salud Pública, además de formación en Epidemiología de Campo por el Programa EpiSUS. Cuenta con sólida experiencia en la gestión y análisis de bases de datos geográficos aplicados a la planificación urbana, energía y salud pública.

Luan da Silva Costa es geógrafo por la PUC-Rio y especialista en Sistemas de Información, Monitoreo y Análisis de Salud Pública por la Fiocruz. Actúa como Analista de Geoprocesamiento en la Secretaría Municipal de Salud de Río de Janeiro. Desarrolla trabajos en las áreas de geoprocesamiento aplicado a la salud, epidemiología espacial y análisis de datos geográficos.

William Cosme de Souza Bannitz es geógrafo formado por la PUC-Rio. Posee formación en epidemiología de campo por el EpiSUS Fundamental y desarrolla trabajos en las áreas de geoprocesamiento aplicado a la salud, epidemiología y análisis de datos geoespaciales. Rutinariamente utiliza un ecosistema que integra herramientas de geoprocesamiento aplicando Python e Inteligencia Artificial en la automatización de procesos.

Contribuciones de los Autores

Conceptualización, [A.M.B]; metodología, [A.M.B]; software [A.M.B]; validación, [A.M.B]; análisis formal, [A.M.B]; investigación, [A.M.B; W.C.S.B]; recursos, [A.M.B]; curación de datos, [A.M.B; W.C.S.B]; redacción—preparación del borrador original, [A.M.B]; redacción—revisión y edición [A.M.B]; visualización, [A.M.B; D.S.F; L.S.C; W.C.S.B]; supervisión, [A.M.B]; administración del proyecto, [A.M.B]; adquisición de financiamiento, [A.M.B]. Todos los autores leyeron y aceptaron la versión publicada del manuscrito.

Disponibilidad de Datos

Los datos geoespaciales y los resultados procesados para esta investigación pueden ser explorados a través del panel interactivo disponible en: **Panel de Accesibilidad Vertical: Rocinha**. (<https://pcdrocinha.streamlit.app/>)

Agradecimientos

Los autores reconocen las contribuciones del Proyecto UNIR (PUC-Rio) al consolidar una plataforma que funciona como repositorio de datos de la Rocinha, la cual fue esencial para el desarrollo de la investigación.

Conflictos de Interés

Los autores declaran no haber conflictos de interés.

Sobre la *Coleção Estudos Cariocas*

La *Coleção Estudos Cariocas* (ISSN 1984-7203) es una publicación dedicada a estudios e investigaciones sobre el Municipio de Río de Janeiro, vinculada al Instituto Pereira Passos (IPP) de la Secretaría Municipal de la Casa Civil de la Alcaldía de Río de Janeiro.

Su objetivo es divulgar la producción técnico-científica sobre temas relacionados con la ciudad de Río de Janeiro, incluyendo sus conexiones metropolitanas y su inserción en contextos regionales, nacionales e internacionales. La publicación está abierta a todos los investigadores (sean empleados municipales o no), abarcando áreas diversas — siempre que aborden, parcial o totalmente, el enfoque espacial de la ciudad de Río de Janeiro.

Los artículos también deben alinearse con los objetivos del Instituto, a saber:

1. promover y coordinar la intervención pública en el espacio urbano del Municipio;
2. proveer e integrar las actividades del sistema de información geográfica, cartográfica, monográfica y de datos estadísticos de la Ciudad;
3. apoyar el establecimiento de las directrices básicas para el desarrollo socioeconómico del Municipio.

Se dará especial énfasis a la articulación de los artículos con la propuesta de desarrollo económico de la ciudad. De este modo, se espera que los artículos multidisciplinarios enviados a la revista respondan a las necesidades de desarrollo urbano de Río de Janeiro.