



ANÁLISE SOCIOAMBIENTAL TEMPORAL E ESPACIAL DO BAIRRO CARLOS PRATES E VILA SÃO FRANCISCO DAS CHAGAS/BH

Gleison Mendes Gerola

Universidade Federal de Minas Gerais | arquitetogleison@gmail.com

Renato César Ferreira de Souza

Universidade Federal de Minas Gerais | rcesarfs@gmail.com

Sérgio Eduardo Rosales

Secretaria de Educação do Estado do Paraná | s.eduardorosales@hotmail.com

Sessão Temática 6: natureza, crise ambiental e mudanças climáticas

Resumo: Este estudo aborda as vulnerabilidades socioambientais dos bairros Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas em Belo Horizonte, buscando identificar as relações entre variáveis ambientais e condições socioeconômicas e de saúde. A metodologia multidisciplinar combinou análises de NDVI, temperatura superficial, concentração de CO e pressão sonora, usando o Google Earth Engine (GEE), QGIS e predições estatísticas via ChatGPT. Os resultados indicam que Carlos Prates, com maior densidade urbana, possui níveis mais elevados de CO e ruído, enquanto a Vila São Francisco das Chagas enfrenta maior exposição ao calor e menores índices de vegetação. A correlação entre baixa cobertura vegetal e alta concentração de CO destaca a necessidade de uma gestão regional da qualidade do ar, influenciada também por municípios vizinhos. As dimensões de saúde de Röhr mostraram que os aspectos físico e social foram bem representados, mas espiritualidade e cura requerem abordagens qualitativas para maior profundidade.

Palavras-chave: análise socioambiental; saúde urbana; áreas verdes; vulnerabilidade.

TEMPORAL AND SPATIAL SOCIO-ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF THE CARLOS PRATES NEIGHBORHOOD AND VILA SÃO FRANCISCO DAS CHAGAS/BH

Abstract: This study addresses the socio-environmental vulnerabilities of the Carlos Prates and Vila São Francisco das Chagas neighborhoods in Belo Horizonte to identify relationships between environmental variables and socioeconomic and health conditions. The multidisciplinary methodology combined analyses of NDVI, surface temperature, CO concentration, and sound pressure using Google Earth Engine (GEE), GIS (QGIS), and statistical predictions via ChatGPT. Results showed that Carlos Prates, with higher urban density, has elevated CO and noise levels, while Vila São Francisco das Chagas faces greater heat exposure and lower vegetation. A strong correlation between low vegetation cover and high CO concentration reinforces the need for regional air quality management, as emissions are influenced by nearby municipalities. Röhr's health dimensions revealed that physical and social aspects are well represented, but spirituality and healing require qualitative approaches for depth. The study calls for public policies promoting green infrastructure and regional interventions to mitigate identified vulnerabilities and improve quality of life in affected neighborhoods.

Keywords: socio-environmental analysis; urban health; green spaces; socio-environmental vulnerability.

ANÁLISIS SOCIOAMBIENTAL TEMPORAL Y ESPACIAL DEL BARRIO CARLOS PRATES Y VILLA SAN FRANCISCO DE LAS CHAGAS/BH

Resumen: Este estudio aborda las vulnerabilidades socioambientales de los barrios Carlos Prates y Vila São Francisco das Chagas en Belo Horizonte, buscando identificar las relaciones entre variables ambientales y condiciones socioeconómicas y de salud. La metodología multidisciplinaria combinó análisis de NDVI, temperatura superficial, concentración de CO y presión sonora, usando Google Earth Engine (GEE), SIG (QGIS) y predicciones estadísticas con ChatGPT. Los resultados mostraron que Carlos Prates, con mayor densidad urbana, tiene niveles más altos de CO y ruido, mientras que Vila São Francisco das Chagas enfrenta mayor exposición al calor y menor vegetación. La fuerte correlación entre baja cobertura vegetal y alta concentración de CO refuerza la necesidad de una gestión regional de calidad del aire, ya que las emisiones son influenciadas por municipios cercanos. Las dimensiones de salud de Röhr revelaron que los aspectos físico y social están bien representados, pero la espiritualidad y curación requieren enfoques cualitativos para mayor profundidad.

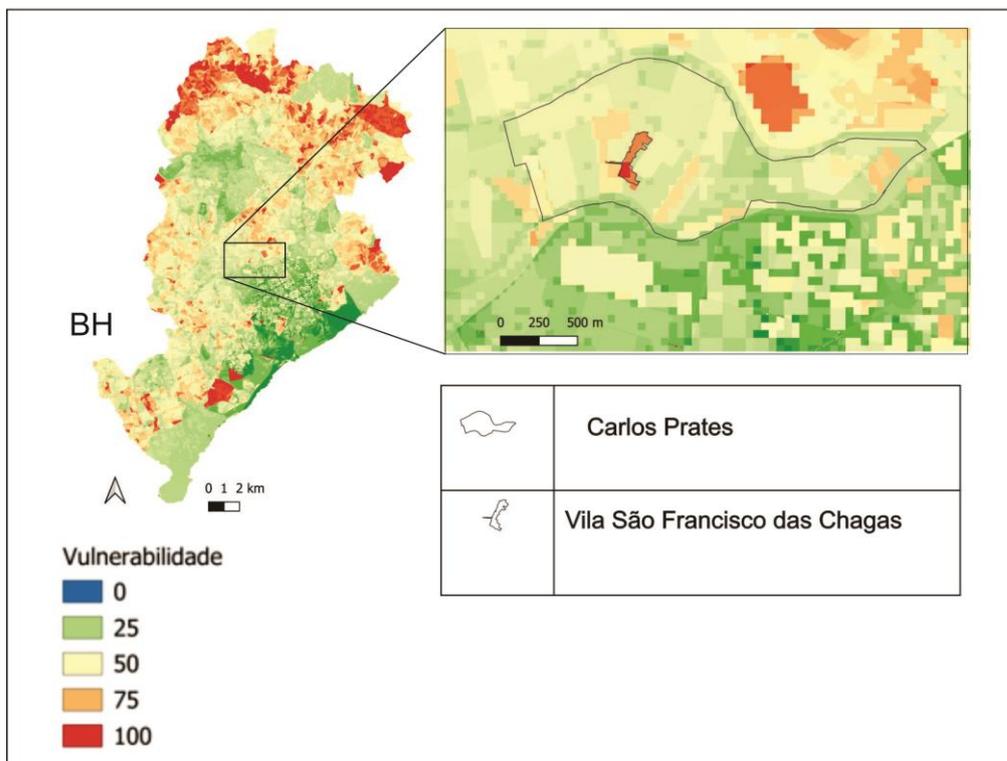
Palabras clave: análisis socioambiental; salud urbana; espacios verdes; vulnerabilidad socioambiental.

INTRODUÇÃO

Belo Horizonte, como muitas cidades, apresenta uma diversidade de bairros, cada um com suas características peculiares e frequentemente marcados por desigualdades sociais, evidenciando diferenças no acesso a recursos e poder nas cidades (Caiaffa, 2021). Compreender a dinâmica socioespacial intra e interurbana desses espaços pode ser crucial para propor ações que amenizem as vulnerabilidades socioambientais. Além disso, investigar como as áreas verdes contribuem para mitigar problemas de poluição do ar, sonora, da água, enchentes, e para melhorar a saúde física e mental (Londe; Mendes, 2014). Para tal análise, é fundamental o uso de ferramentas de geoprocessamento, análise estatística, tecnologias de sensoriamento remoto e tecnologia da informação (Connolly et al, 2021).

Este estudo foca na análise comparativa entre os bairros Vila São Francisco das Chagas e Carlos Prates, explorando tanto suas características individuais quanto suas interações com o entorno urbano. A escolha dessas áreas se baseou na projeção de ondas de calor para 2030, onde a Vila São Francisco das Chagas foi identificada com alta vulnerabilidade (ver figura 01). O objetivo é compreender os fenômenos sociais e espaciais nessas regiões e propor ações para reduzir suas vulnerabilidades socioambientais, destacando o papel das áreas verdes na mitigação dos impactos ambientais e na promoção da saúde física e mental (Londe; Mendes, 2014).

Figura 01: Estimativa da Vulnerabilidade a onda de calor para BH - 2030



Fonte: Prefeitura do Município de Belo Horizonte (2021), dados organizados pelos autores.

MÉTODO

A construção do conjunto de procedimentos e métodos partiu da ideia das dimensões de saúde de Röhr (2011): física, sensorial, emocional, mental e espiritual e do conceito de Bardin (2003) e Vieira (2004) para os diferentes papéis de áreas espaços verdes: função social, função estética, função ecológica, função educativa e função psicológica.

Os procedimentos foram divididos em quatro etapas:

- **Caracterização socioespacial da área de estudo:** Nesta etapa inicial, foi realizada uma análise abrangente das características socioespaciais dos bairros Vila São Francisco das Chagas e Carlos Prates.
- **Mapeamento de variáveis ambientais:** O mapeamento focou em quatro variáveis principais: índice de massa vegetal (IMV), temperatura superficial do solo, intensidade sonora e densidade de emissão de CO no ar.
- **Correlação entre as variáveis ambientais e sociais:** Com os dados obtidos nas etapas anteriores, foi realizada uma análise de correlação entre as variáveis ambientais e os indicadores sociais. Essa etapa teve como objetivo identificar como a poluição sonora, a emissão de CO e a massa vegetal impactam os diferentes grupos sociais e suas condições de vida, evidenciando as áreas mais afetadas e a relação direta entre fatores ambientais e desigualdade social.
- **Identificação de doenças conforme as dimensões de saúde de Röhr (2011):** A última etapa visou à identificação das principais doenças relacionadas às condições ambientais da área de estudo, alinhada às dimensões de saúde propostas por Röhr (2011), que considera aspectos físicos, psicológicos e sociais.

CARACTERIZAÇÃO SOCIAL

Por meio da análise de cartas temáticas disponíveis no sítio eletrônico da prefeitura do município (PBHgeo) e relatório técnico da “Nossa BH”, foram coletados dados referentes à população, renda média, população, população preta e padrão construtivo. O objetivo foi entender o perfil demográfico, econômico e infraestrutural dessas regiões, identificando os fatores que contribuem para as vulnerabilidades socioambientais existentes.

MAPEAMENTO DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Essa etapa buscou identificar as áreas mais críticas em termos de poluição ambiental (ar e sonora) e cobertura vegetal, fornecendo uma base para as análises subsequentes. Utilizou-se o *Google Earth Engine* (GEE) para estimar o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), índice de densidade de partículas suspensas de monóxido de carbono (CO) e Temperatura Superficial do Solo (LST) em imagens de satélites.

ÍNDICE DE MASSA VEGETAL

O NDVI é um índice usado para monitorar a quantidade, saúde e densidade da vegetação em uma área, utilizando imagens de satélite. Ele se baseia na diferença entre a refletância do

infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED), que são sensíveis à presença de vegetação.

O mapeamento temporal do índice de massa vegetal foi feito com a ferramenta Google Earth Engine, utilizando imagens normalizadas (NDVI) dos satélites Landsat-5 (1985 – 2010) e Landsat-8 (2020).

No GEE, o NDVI é calculado através da seguinte fórmula:

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)}$$

Onde:

- NIR: Refletância no infravermelho próximo
- RED: Refletância no vermelho

Os valores de NDVI variam entre -1 e 1:

- Valores próximos de 1 indicam vegetação densa e saudável.
- Valores próximos de 0 indicam áreas sem vegetação (solo nu, concreto, etc.).
- Valores negativos indicam a presença de água ou superfícies muito reflexivas, como neve ou gelo.

O NDVI é amplamente utilizado em estudos de uso e cobertura do solo, monitoramento de safra, avaliação de áreas de vegetação e florestas, além de ser um indicativo de saúde ambiental e de resposta das plantas a estresses hídricos e climáticos.

TEMPERATURA SUPERFICIAL DO SOLO

Para o índice de temperatura superficial do solo foram utilizados os dados do estudo de Machado (2020). Em seu trabalho, a LST foi derivada do Landsat 8, medindo variações térmicas.

A LST refere-se à temperatura na superfície terrestre, que pode ser obtida a partir de dados de sensoriamento remoto, particularmente por satélites que captam a radiação térmica emitida pela superfície.

O processo de cálculo do LST envolve várias etapas. Primeiro, os valores brutos (DN - valores digitais) são convertidos em radiância espectral. Em seguida, a radiância espectral é convertida em temperatura radiante.

A emissividade ϵ pode ser estimada com base no NDVI, usando a seguinte fórmula para a LST final:

$$LST = \frac{T_{rad}}{1 + (\lambda \times \frac{T_{rad}}{hxc}) \ln(\epsilon)}$$

Onde:

- λ é o comprimento de onda da radiação emitida
- h é a constante de Planck
- c é a velocidade da luz
- ε é a emissividade da superfície, que pode variar de acordo com a cobertura do solo.

ÍNDICE DE MONÓXIDO DE CARBONO

O monóxido de carbono (CO) é um importante poluente atmosférico, resultado da queima incompleta de combustíveis fósseis e biomassa (Garajeh et al, 2023). No GEE, a concentração de CO é estimada usando dados do satélite Sentinel-5P, que fornece medições de composição atmosférica com alta resolução temporal e espacial (Setiani, Devianto, Ramdani, 2021). Para o cálculo do índice de CO, utiliza-se a banda "CO_column_number_density", que representa a quantidade de CO na coluna atmosférica em mol/m². A fórmula matemática usada para representar essa densidade é:

$$CO_{\text{column}} = \frac{N_{CO}}{A}$$

Onde:

- CO_{column} é a densidade de coluna do CO em mol/m²;
- N_{CO} é o número total de moléculas de CO na coluna atmosférica (geralmente obtido pela integração vertical das concentrações de CO ao longo da atmosfera);
- A é a área considerada, geralmente de 1 m², para a padronização da medida com a cobertura do solo.

A fórmula é conceitualmente usada durante o processamento dos dados do sensor antes de sua disponibilização na plataforma. Portanto, ao acessar essa banda no GEE, o usuário já está lidando com dados prontos e padronizados, refletindo todo o processamento conceitual e matemático realizado antes de sua disponibilização. O GEE, nesse caso, atua como uma interface de acesso e manipulação de dados prontos para análise, sem necessidade de cálculos adicionais para obter a densidade de coluna do CO.

REFINAMENTO DAS IMAGENS

O uso de imagens de satélite geradas pelo *Google Earth Engine* (GEE) em análises espaciais é uma prática amplamente adotada devido à capacidade da plataforma de fornecer acesso a grandes volumes de dados geoespaciais e realizar processamento em nuvem de maneira eficiente (Zaki et al, 2023). No entanto, após a obtenção dessas imagens, é fundamental realizar um tratamento adequado para que elas possam ser integradas a softwares de sistemas de informação geográfica (SIG), como o *QGIS* (Padma et al, 2022).

Foi utilizado o QGIS versão 3.34.1 como uma plataforma complementar para o refinamento e exploração dos dados gerados no GEE, permitindo uma abordagem mais precisa e adaptada às necessidades das pesquisas geoespaciais.

NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

Conforme indicado pela Organização Mundial de Saúde, a poluição sonora é atualmente reconhecida como o terceiro maior problema ambiental (Berglund et al, 1999), impactando uma quantidade significativa de pessoas em todo o mundo, ficando atrás apenas da poluição do ar e da água (Freitas, 2002).

Para auferir os níveis intensidade sonora da área de estudo foi adotado o método científico proposto por Kluijver e Stoter (2003) envolve a quantificação e visualização dos efeitos do ruído ao confrontar os contornos sonoros com informações sobre a vizinhança e as atividades sensíveis ao ruído. Os pontos e os períodos de avaliação foram definidos conforme o recomendado pela norma NBR 10151: 2019 (ver Quadro 01). Como ferramenta de análise utilizou o aplicativo "Decibel-x" e smarthphone *Samsung Galxy Note 10*. O georreferenciamento dos dados foi realizado por meio do *Google Earth Pro*.

Quadro0 1: Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB (A)

Tipos de áreas habitadas	RL _{Acq} Limites de níveis de pressão sonora (dB)	
	Período diurno	Período diurno
Área de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10.151 (2019).

A combinação dessas variáveis permite uma visão integrada das condições ambientais na área de estudo, evidenciando não apenas os focos de degradação, mas também as áreas com potencial para intervenções de melhoria ambiental. Além disso, essa análise proporciona uma base para correlacionar as condições ambientais com aspectos sociais e de saúde, identificando possíveis relações de causa e efeito entre a degradação ambiental e as vulnerabilidades socioeconômicas da população residente.

CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS SOCIOAMBIENTAIS

A análise visual de manchas (krigagem) é uma técnica que identifica padrões espaciais críticos em áreas urbanas por meio de mapas de densidade e sobreposição de variáveis socioambientais (Ruggiero et al, 2006). É amplamente usada para detectar hotspots de vulnerabilidade, facilitando a compreensão das dinâmicas de poluição, desigualdades sociais e distribuição de áreas verdes (Fournier, Panizza, Luchiari, 2005). Contudo, interpretar esses padrões visuais é desafiador, especialmente com grandes volumes de dados ou múltiplas camadas de sobreposição (Hengl, 2009). Nesse contexto, o ChatGPT surge como uma ferramenta inovadora para análise qualitativa, ajudando a entender as relações espaciais reveladas pela krigagem (Mujiono, 2021). Foram utilizados conceitos de krigagem, Moran I, LISA e hotspots para interpretar a dependência espacial e distribuição de variáveis em estudos geoestatísticos. O índice de Moran I é uma medida global de autocorrelação espacial, avaliando se os valores de uma variável tendem a se agrupar ou se estão distribuídos aleatoriamente no espaço (Santos et al, 2021). Como funciona:

- **Valores de Moran I:**

- **$I > 0$:** Indica autocorrelação positiva, sugerindo que valores similares estão agrupados (áreas de alta-alta ou baixa-baixa).
- **$I < 0$:** Indica autocorrelação negativa, sugerindo que valores dissimilares estão próximos (alta-baixa ou baixa-alta).
- **$I \approx 0$:** Sugere ausência de autocorrelação espacial, ou seja, distribuição aleatória.

Já o LISA (Indicadores Locais de Associação Espacial) foca em clusters locais, revelando áreas de alta-alta (hotspots) ou baixa-baixa (coldspots), além de destacar padrões significativos de autocorrelação em regiões específicas (Silva et al, 2020). Esses métodos juntos permitem identificar padrões espaciais críticos, como concentração de poluição, densidade populacional ou outros fenômenos relevantes para o planejamento urbano e a gestão ambiental.

IDENTIFICAÇÃO DE DOENÇAS CONFORME AS DIMENSÕES DE SAÚDE DE RÖHR

Essa análise buscou compreender como as variáveis ambientais e sociais contribuem para o surgimento de doenças, facilitando a proposição de ações de mitigação mais direcionadas e eficazes para a promoção da saúde pública nas regiões analisadas.

Baseado no texto de Ferdinand Röhr em "Espiritualidade e formação humana" (2011), as categorias de doenças e saúde são propostas dentro de uma perspectiva que explora a relação entre corpo, mente e espírito. Essas categorias são analisadas considerando as

dimensões biológicas, psíquicas, sociais e espirituais. Seguindo essa linha, a Tabela 01 resume as categorias mencionadas no estudo:

A tabela destaca a integração das diferentes dimensões na compreensão da saúde humana, como discutido por Röhr, onde a espiritualidade desempenha um papel central na formação da saúde integral.

Tabela 01: Categorias de Röhr

Categoria	Descrição
Doenças biológicas	Envolvem disfunções no corpo, como doenças infecciosas, genéticas, crônicas, entre outras. São tratadas por meio de intervenções médicas
Doenças psíquicas	Relacionam-se com distúrbios mentais e emocionais, como depressão, ansiedade e estresse, que afetam o bem-estar psicológico do indivíduo.
Doenças sociais	Envolvem problemas relacionados ao ambiente social, como violência, exclusão social e condições de vida precárias, que afetam a saúde coletiva.
Doenças espirituais	Dizem respeito a questões existenciais, falta de propósito e desconexão espiritual, que influenciam o sentido de vida e a saúde integral.
Saúde integral	A abordagem que considera o equilíbrio e o bem-estar em todas as dimensões: física, mental, social e espiritual.
Espiritualidade e cura	Propõe que a reconexão espiritual e o desenvolvimento de uma vida com propósito podem contribuir para a cura e o fortalecimento da saúde global.

Fonte: Röhr (2011), dados organizados pelos autores.

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO SOCIAL

O bairro Carlos Prates apresenta uma diversidade de fragmentos, cada um com suas características peculiares, conforme ocorre em muitas cidades latino-americanas. Muitas vezes, marcados pelas desigualdades sociais, destacando a diferença no acesso a recursos e poder nas cidades (Caiaffa, 2021). Um destes fragmentos é caracterizado pelo bairro Vila São Francisco das Chagas.

A população do bairro Carlos Prates foi estimada em 15169 habitantes, sendo a sua maioria possui renda média entre dois e três salários mínimos, além de possuir uma baixa população declarada preta. Já na Vila São Francisco das Chagas, a população estimada é de 1346, com renda média mensal de até um salário mínimo e com 45 % da população declarada como preta (conforme dados apresentados no Quadro 02 e Figura 02). O fator renda baixa pode indicar um risco de insegurança alimentar desta população.

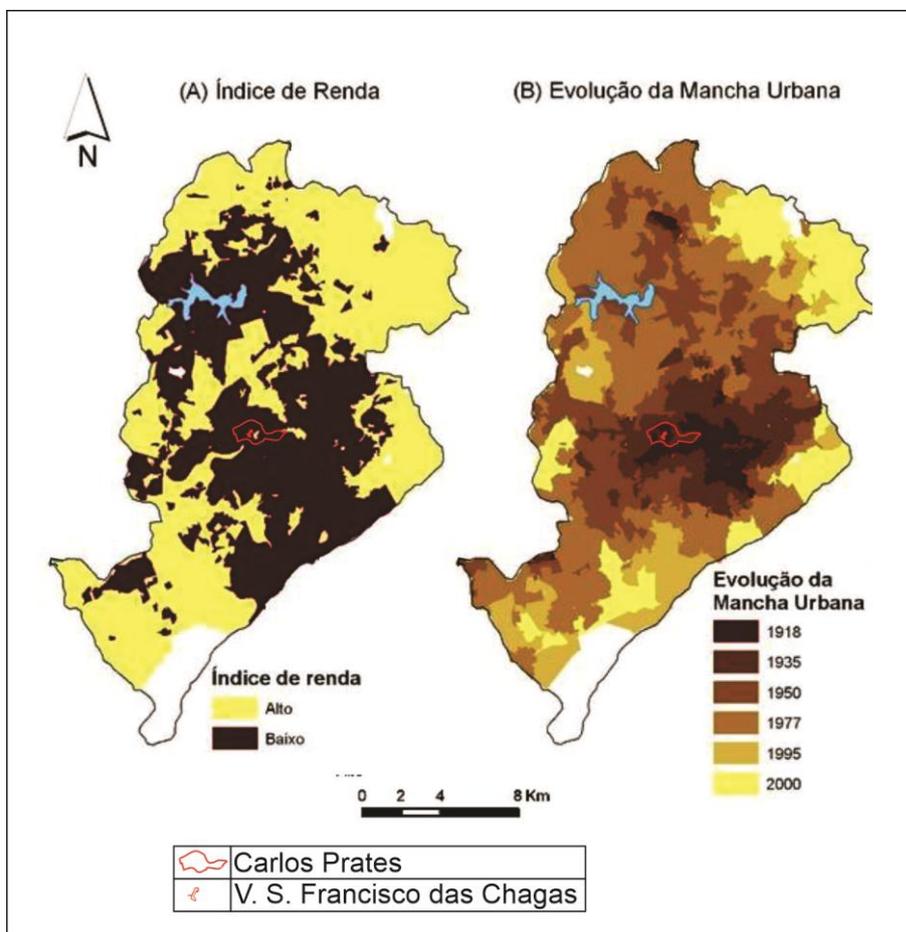
Quadro 02. Variáveis socioeconômicas

Variável	Bairro	
	Carlos Prates	Vila São Franc. Chagas
População	15169	1346
Renda média	2 – 3 s/m	Até 1 s/m
População preta	0 – 8%	45 %
Padrão econômico	médio/alto	Popular

Fonte: PBH (2021), NOSSA BH (2021), IPEAD (2018), dados organizados pelos autores.

Legenda: s/m = salário mínimo.

Figura 02: Mapa índice de renda e evolução da mancha urbana de BH



Fonte: NossaBH (2021), dados organizados pelos autores.

Na Figura 02, verifica-se que o Mapa (A) evidencia uma divisão clara da cidade em áreas de alta renda (representadas em amarelo) e baixa renda (em marrom escuro). Observa-se que os bairros de baixa renda, como a Vila São Francisco das Chagas, estão concentrados em regiões mais centrais e densamente urbanizadas, coincidindo com as áreas de maior

vulnerabilidade social. Já o Mapa (B) retrata a expansão urbana ao longo do tempo, mostrando que as áreas urbanizadas mais antigas (em marrom) também correspondem às regiões de menor renda. Essa sobreposição indica uma correlação entre a evolução histórica da cidade e a vulnerabilidade social atual, já que as áreas mais antigas enfrentam maiores desafios socioeconômicos. O bairro Carlos Prates, situado em uma área de expansão urbana antiga, compartilha características de vulnerabilidade com a Vila São Francisco. No entanto, as diferenças entre os dois bairros refletem variações na infraestrutura urbana e nas condições socioeconômicas, evidenciando padrões distintos de vulnerabilidade dentro do mesmo contexto urbano.

VARIÁVEIS AMBIENTAIS

ÍNDICE DE MASSA VEGETAL

Ao avaliar o espaço de estudo in locu, a primeira constatação é de que quase não há vegetação nas vias públicas e quando há, é de baixa qualidade (ver Figura 03). Por meio da análise temporal do índice de massa vegetal (NDVI), foi possível compreender como ocorreu o processo de apropriação do espaço urbano e depreciação do meio natural. Para a área em estudo, a análise estatística do comportamento do índice de vegetação demonstrou que houve queda da qualidade da massa vegetal do ano de 1985 até 2010, quando o índice começou a aumentar, sendo que para a Vila São Francisco das Chagas, apresentou uma recuperação melhor do que para o Carlos Prates (ver Figura 04 e 05). Ao contrário do encontrado para Belo Horizonte que apresentou indicativo de queda da quantidade de massa vegetal. Talvez, isto ocorra devido ao fato das edificações possuírem uma boa quantidade de massa vegetal no interior de seus lotes, mesmo não tendo nas vias.

Figura 03: Via Carlos Prates e via Vila São Francisco das Chagas



Carlos Prates



Vila São Francisco das Chagas

Fonte: Acervo dos autores.

A análise do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para os bairros Carlos Prates, Vila São Francisco das Chagas e o conjunto da cidade de Belo Horizonte revela importantes tendências na evolução da cobertura vegetal ao longo do tempo (1985 a 2020).

Figura 04: Análise temporal do índice de vegetação

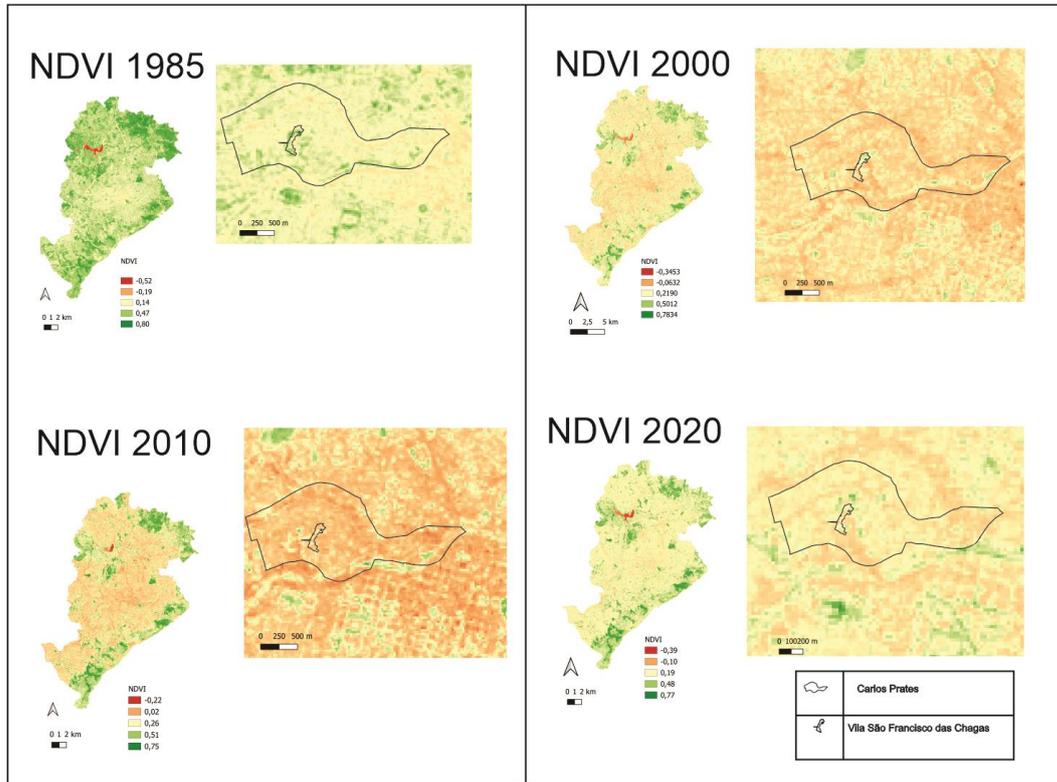
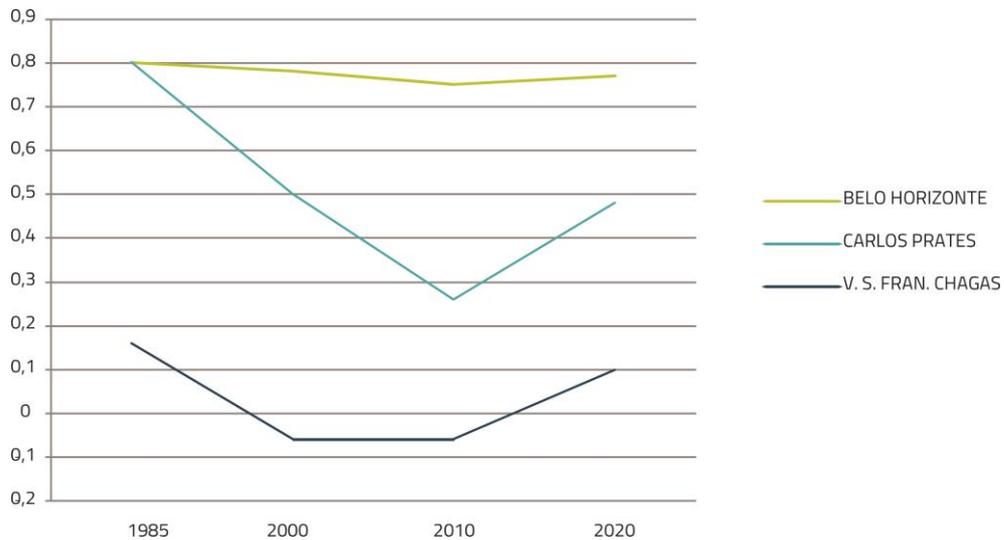


Figura 05: Gráfico Análise temporal do índice de vegetação



1. Evolução do NDVI em Belo Horizonte

- Ao analisar o gráfico temporal do NDVI para Belo Horizonte, notamos uma tendência geral de queda na vegetação entre 1985 e 2000, com uma recuperação parcial nos anos mais recentes, especialmente até 2020.
- As áreas de maior cobertura vegetal estão situadas em regiões periféricas e de menor densidade urbana, refletindo uma dinâmica de urbanização onde a expansão urbana reduziu significativamente a vegetação ao longo do tempo.
- A redução mais acentuada do NDVI no centro da cidade sugere um aumento da densidade urbana e uma consequente perda de áreas verdes, afetando diretamente o microclima e a qualidade ambiental.

2. Evolução do NDVI no Carlos Prates

- Em Carlos Prates, o NDVI apresentou uma queda significativa de 1985 até 2000, indicando uma perda considerável de cobertura vegetal durante o período de expansão urbana intensa. A partir de 2010, houve uma leve recuperação, provavelmente devido a esforços de arborização interna e nas áreas não edificadas.
- A queda acentuada do NDVI em Carlos Prates entre 1985 e 2000 está relacionada à **urbanização densa e à ocupação consolidada**, onde a vegetação foi substituída por áreas construídas e pavimentadas.
- Comparado a Vila São Francisco das Chagas, Carlos Prates possui uma recuperação mais evidente de vegetação em 2020, sugerindo certo nível de esforços de revitalização ambiental.

3. Evolução do NDVI na Vila São Francisco das Chagas

- A Vila São Francisco das Chagas apresenta consistentemente os menores valores de NDVI ao longo de todo o período analisado, refletindo a baixa densidade de vegetação e as condições de vulnerabilidade ambiental desse bairro.
- O NDVI em 1985 já era baixo, indicando uma cobertura vegetal limitada desde o início da análise. Durante os anos 2000, o índice cai ainda mais, e apenas em 2020 há uma leve recuperação, ainda insuficiente para melhorar significativamente as condições ambientais da área.
- A falta de vegetação é um fator crítico para o bairro, pois contribui para o aumento da temperatura superficial do solo (LST), além de amplificar problemas de qualidade do ar e vulnerabilidade social, considerando o baixo nível de renda e infraestrutura precária.

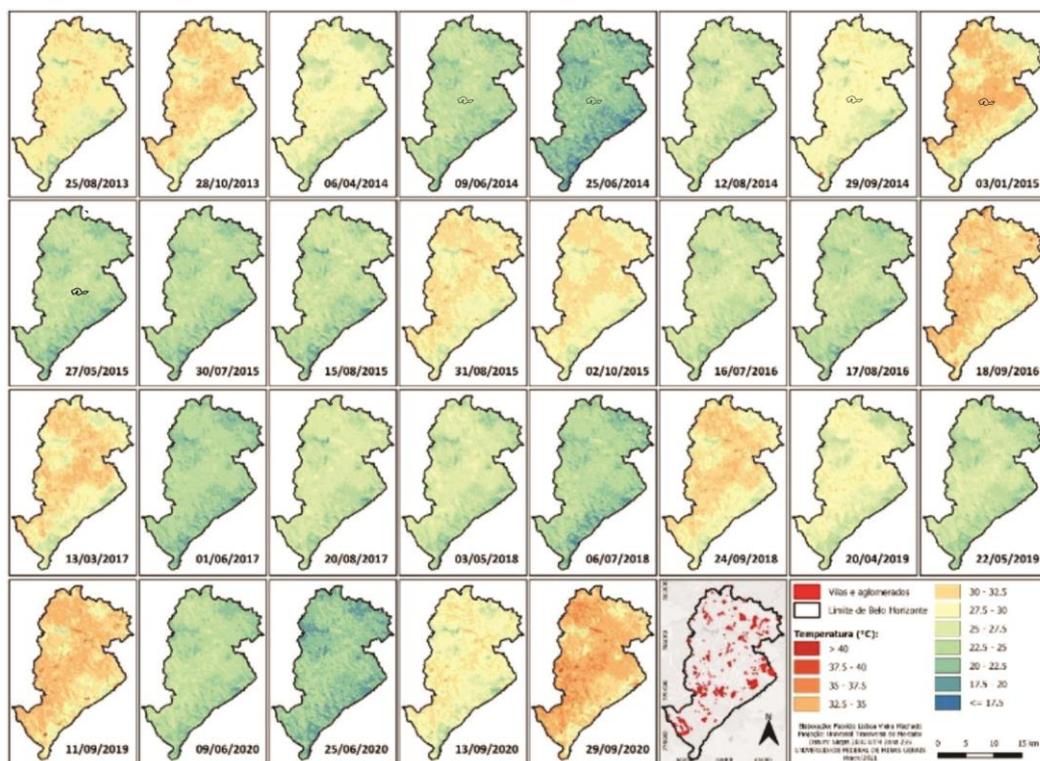
A análise temporal do NDVI nos bairros Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas revela que a cobertura vegetal é significativamente menor nas áreas mais densas e de menor renda, reforçando um padrão de desigualdade socioambiental. Essa dinâmica está

associada à expansão urbana desordenada, à falta de políticas públicas de arborização e à vulnerabilidade social desses bairros.

TEMPERATURA SUPERFICIAL DO SOLO

Como se observa na Figura 06, a análise da temperatura superficial do solo (LST) nos bairros Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas, em comparação com o conjunto urbano de Belo Horizonte, revela padrões importantes sobre as variações de temperatura ao longo do tempo e suas correlações com fatores socioeconômicos e de infraestrutura urbana.

Figura 06: Análise temporal da temperatura superficial do solo (LST)



Fonte: Machado (2020).

1. Evolução do LST em Belo Horizonte (2013-2020)

- O LST em Belo Horizonte apresenta uma variação significativa ao longo dos anos, com os picos de temperatura geralmente ocorrendo durante os meses mais secos e quentes. Áreas com menor cobertura vegetal e maior densidade de edificações tendem a registrar temperaturas mais elevadas, o que está refletido nos mapas de LST.
- A cidade como um todo apresenta um aumento gradual da temperatura superficial nos aglomerados urbanos e nas áreas de menor cobertura vegetal, evidenciando o efeito das ilhas de calor urbano, característico de grandes metrópoles.

2. Carlos Prates

- Carlos Prates é um bairro densamente urbanizado, com uma alta concentração de áreas construídas e baixa presença de áreas verdes, o que contribui para o aumento da temperatura superficial. Ao longo dos anos analisados, Carlos Prates apresenta um LST consistentemente elevado, especialmente nos meses mais secos e quentes.
- A análise temporal do LST mostra que, mesmo com pequenas flutuações, o bairro permanece como uma das áreas com maior temperatura em Belo Horizonte. A ausência de áreas verdes significativas contribui para a retenção de calor, o que agrava o microclima local e afeta a qualidade de vida dos moradores.
- A presença de áreas pavimentadas e a alta densidade de edificações são fatores críticos para o aumento do LST, refletindo uma baixa capacidade de resfriamento durante a noite, o que caracteriza o efeito de ilha de calor.

3. Vila São Francisco das Chagas

- A Vila São Francisco das Chagas, por sua vez, apresenta um cenário ainda mais crítico, com um LST mais elevado em comparação com Carlos Prates e o restante de Belo Horizonte. O bairro é caracterizado por uma infraestrutura precária, com muitas moradias em condições de alta densidade e quase nenhuma cobertura vegetal, resultando em um aumento acentuado das temperaturas superficiais.
- Ao longo do período de análise, a Vila São Francisco é consistentemente uma das áreas mais quentes, especialmente durante os anos de 2015, 2016 e 2020, refletindo não apenas a falta de áreas verdes, mas também a vulnerabilidade socioambiental da população residente.
- A combinação de temperaturas elevadas com baixa renda e infraestrutura inadequada amplificam os riscos à saúde, especialmente em relação a doenças respiratórias e cardiovasculares, e compromete a qualidade de vida dos moradores.

4. Correlação com Belo Horizonte

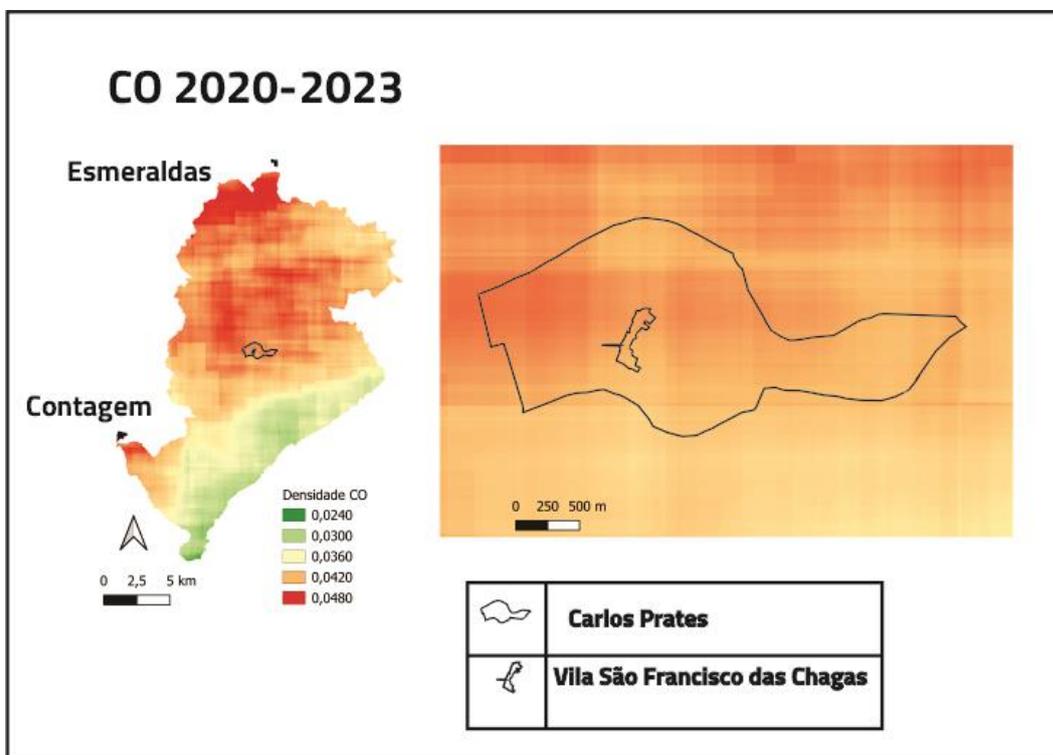
- Comparando os dois bairros com o conjunto de Belo Horizonte, observamos que a correlação entre densidade urbana, baixa vegetação e altas temperaturas é evidente. Áreas centrais e de maior vulnerabilidade social, como Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas, registram LST mais altos do que os bairros periféricos e com maior cobertura vegetal.
- O padrão geral para Belo Horizonte mostra que as áreas com mais vegetação, geralmente localizadas em bairros de renda mais alta, apresentam menores temperaturas superficiais. Isso ressalta a desigualdade socioespacial na cidade, onde bairros de maior renda conseguem manter temperaturas mais amenas devido à presença de parques, praças e arborização urbana, enquanto bairros mais pobres são mais expostos ao calor extremo.

A análise do LST para os bairros Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas revela um alto nível de vulnerabilidade ambiental, agravado pela falta de vegetação e pela densidade urbana elevada.

ÍNDICE DE MONÓXIDO DE CARBONO

A análise do índice de concentração de monóxido de carbono (CO) para os bairros Carlos Prates, Vila São Francisco das Chagas e a cidade de Belo Horizonte, de acordo com o mapa gerado pelo Google Earth Engine (GEE), oferece insights importantes sobre a distribuição e dispersão desse poluente no período de 2020-2023 (ver Figura 6).

Figura 07: Mapa concentração de monóxido de carbono (CO) BH.



1. Concentração de CO em Belo Horizonte

- O mapa de densidade de CO indica uma maior concentração nas áreas mais densamente urbanizadas de Belo Horizonte, especialmente na região central e nas áreas mais ao norte e sudoeste da cidade.
- A maior concentração de CO é observada em áreas com menor massa vegetal, confirmando a relação inversa entre cobertura vegetal e concentração de poluentes atmosféricos. A vegetação age como um filtro natural, absorvendo parte dos poluentes e reduzindo as emissões de CO na atmosfera.

2. Carlos Prates

- No bairro Carlos Prates, a concentração de CO é relativamente alta, especialmente em áreas com pouca ou nenhuma cobertura vegetal. Isso se deve à densidade urbana e à intensa circulação de veículos, principais fontes de emissão de CO.
- A alta densidade populacional e a infraestrutura consolidada, com escassez de áreas verdes, contribuem para a acumulação de CO na atmosfera. Como resultado, os moradores desse bairro estão mais expostos a riscos de saúde associados à poluição do ar, como problemas respiratórios e cardiovasculares.
- A análise corrobora a afirmação de que a baixa presença de massa vegetal está diretamente relacionada a maiores índices de CO, evidenciando a necessidade de intervenções ambientais para reduzir a concentração de poluentes no ar e melhorar a qualidade de vida local.

3. Vila São Francisco das Chagas

- A Vila São Francisco das Chagas apresenta uma menor concentração de CO em comparação com Carlos Prates. Isso pode estar associado à presença de algumas áreas de vegetação interna e à topografia do bairro, que pode facilitar a dispersão de poluentes em algumas partes.
- No entanto, a baixa densidade de vegetação no bairro ainda limita a capacidade de mitigação do CO, especialmente em áreas mais densas. Apesar da menor concentração em relação a Carlos Prates, o bairro continua a apresentar índices significativos de poluição do ar, o que reforça a necessidade de estratégias de plantio de árvores e criação de áreas verdes para reduzir a exposição ao CO.

4. Correlação com a Afirmação e Belo Horizonte

- A afirmação de que uma maior concentração de massa vegetal está associada a menores taxas de CO é confirmada pela análise do mapa. Áreas com maior cobertura vegetal em Belo Horizonte apresentam índices mais baixos de CO, destacando o papel essencial da vegetação na melhoria da qualidade do ar.
- A dispersão de gases, como o CO, é um processo influenciado pela topografia, pelo vento e por fatores meteorológicos, além das fontes de emissão. Isso explica por que é necessário considerar uma área mais ampla do que o município de Belo Horizonte para entender a concentração de CO na cidade. As regiões norte e sudoeste, por exemplo, são influenciadas por emissões de cidades vizinhas, como Esmeraldas e Contagem, o que contribui para um aumento na concentração de CO nessas áreas.
- A influência de emissões externas torna a mitigação do CO em Belo Horizonte um desafio intermunicipal, requerendo políticas de colaboração entre os municípios para controlar e reduzir as emissões de poluentes na atmosfera.

NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

A análise do nível de pressão sonora nos bairros Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas foi realizada usando o aplicativo *Decibel-X*, com medições em diferentes pontos estratégicos, incluindo áreas próximas a instituições de ensino e locais residenciais, como a Praça São Francisco das Chagas (ver figura 8). No Quadro 03, apresentam-se as médias verificadas para os 14 pontos de verificação do nível de pressão sonora.

De acordo com a NBR 10151:2019, os bairros foram classificados como "área mista predominantemente residencial", o que define limites de pressão sonora para períodos diurnos e noturnos. Para esse tipo de área, o limite máximo permitido é de 55 dB (A) durante o dia e 50 dB (A) à noite.

Durante as medições, observou-se que os níveis de pressão sonora em ambos os bairros frequentemente ultrapassaram os limites estabelecidos pela norma, especialmente em locais próximos a vias de tráfego intenso e nas proximidades de instituições de ensino.

Análise dos Valores Diurnos

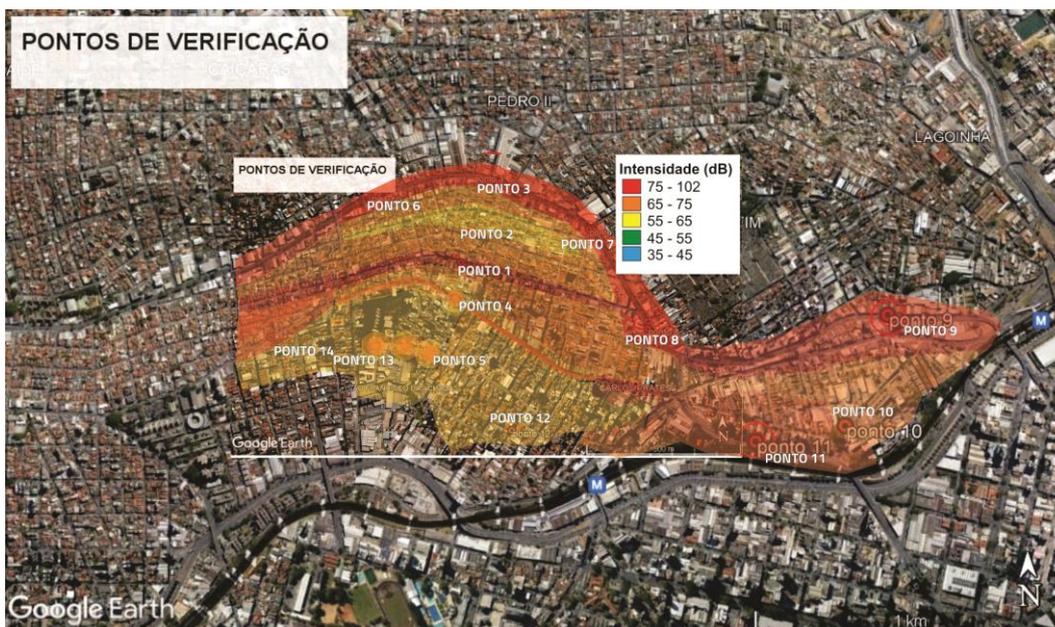
1. Carlos Prates

- No ponto 1, que se localiza próximo a instituições de ensino infantil e de base, os níveis de pressão sonora foram superiores a 70 dB (A), ultrapassando significativamente os limites estabelecidos pela NBR para áreas residenciais. O tráfego intenso, especialmente de ônibus, contribuiu para os valores elevados, com os escapamentos dos ônibus e motocicletas sendo identificados como uma das principais fontes de ruído.
- No ponto 4, onde estão a Praça São Francisco das Chagas e o hospital maternidade, os níveis de pressão sonora foram, em média, de 63 dB (A). Mesmo com um fluxo de veículos similar ao do ponto 1, a geometria da praça e a presença de vegetação atuaram como barreiras acústicas, ajudando a reduzir o ruído na área.

2. Vila São Francisco das Chagas

- Em Vila São Francisco das Chagas, os níveis de pressão sonora também foram elevados nas áreas mais densamente habitadas, especialmente próximas a vias de tráfego intenso, em média 60 dB.
- A ausência de áreas verdes significativas contribuiu para a menor atenuação do som, resultando em níveis de ruído semelhantes aos observados em Carlos Prates, embora sem a presença da Praça São Francisco como ponto de amortecimento.

Figura 08: Mapa de pressão sonora Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas.



Quadro 03. Pontos de verificação de nível de pressão sonora - dB (A)

Pontos	Coordenadas		Nível de Pressão Sonora - dB (A)	
	x	y	L _{aeq} _Diurno	L _{aeq} _Noturno
Ponto 1	608798,89	7798034,28	72,00	51,20
Ponto 2	608835,00	7798150,00	63,80	39,70
Ponto 3	608912,00	7798339,00	76,10	54,40
Ponto 4	608776,00	7797911,00	63,70	41,80
Ponto 5	608615,00	7797758,00	61,90	37,30
Ponto 6	608484,94	7798287,19	75,80	54,10
Ponto 7	609244,00	7798152,00	77,10	55,40
Ponto 8	609419,00	7797799,00	78,70	58,40
Ponto 9	610202,00	7797827,00	77,60	54,80
Ponto 10	610033,00	7797470,00	65,70	43,80
Ponto 11	609746,00	7797426,00	61,90	40,30
Ponto 12	608950,00	7797484,00	60,60	38,70
Ponto 13	608511,00	7797765,00	62,30	38,40
Ponto 14	608170,00	7797802,00	69,40	50,30

Análise dos Valores Noturnos

1. Vila São Francisco das Chagas

- Durante a noite, os níveis de pressão sonora em Vila São Francisco das Chagas mostraram uma redução significativa, geralmente abaixo do limite de 50 dB (A). A menor densidade de tráfego e a redução na circulação de transporte público durante esse período contribuíram para um ambiente mais silencioso.
- No entanto, em áreas próximas a vias de tráfego mais intenso ou a estabelecimentos comerciais que operam até mais tarde, pode haver picos temporários de ruído acima do limite, especialmente nos horários de encerramento de atividades ou de passagens esporádicas de ônibus.

2. Carlos Prates

- Em Carlos Prates, os níveis de pressão sonora à noite ainda permanecem elevados em comparação com Vila São Francisco das Chagas. Embora haja uma redução no tráfego de ônibus e veículos em geral, o bairro apresenta uma variação de valores entre 50 e 60 dB (A) em alguns pontos, como nas proximidades de vias principais.
- No ponto 1, próximo às instituições de ensino, a pressão sonora noturna pode ocasionalmente ultrapassar o limite de 50 dB (A), devido a eventos esporádicos, como manobras de veículos de transporte público ou serviços de manutenção.
- No ponto 4, onde está localizada a Praça São Francisco das Chagas, os níveis noturnos de pressão sonora são mais controlados, com médias próximas a 50 dB (A) ou ligeiramente abaixo, devido à redução no fluxo de veículos e à atenuação natural proporcionada pela vegetação e pela configuração do espaço.

A análise dos valores noturnos mostra uma melhoria geral na qualidade sonora nos bairros estudados, especialmente em Vila São Francisco das Chagas, onde os níveis de ruído caem para abaixo de 50 dB (A). No entanto, Carlos Prates ainda enfrenta desafios para atender aos limites da NBR 10151 durante a noite, principalmente em áreas de maior tráfego ou proximidade com vias principais.

CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS SOCIOAMBIENTAIS

Nesta etapa, verificou-se a distribuição espacial e a autocorrelação entre variáveis ambientais (índice de massa vegetal - NDVI, temperatura de superfície - LST, índice de monóxido de carbono - CO e pressão sonora) e socioeconômicas (renda e expansão urbana) nos bairros Carlos Prates, Vila São Francisco das Chagas e outras áreas de Belo Horizonte, MG. A análise foi realizada por meio da técnica de krigagem ordinária para identificar padrões de dependência espacial por meio do CHatGPT 4.0

O ChatGPT interpolou os dados para gerar mapas contínuos de cada variável utilizando a krigagem ordinária, após a modelagem de semivariogramas para determinar a dependência espacial. A análise de autocorrelação espacial foi feita com o índice de Moran global e os Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA). Indicou como resultados:

1. Índice de Massa Vegetal (NDVI)

A krigagem do NDVI revelou maiores valores em Carlos Prates, sugerindo uma cobertura vegetal mais significativa, enquanto a Vila São Francisco das Chagas apresentou valores menores, indicando uma vegetação menos densa. O índice de Moran global para o NDVI foi significativo ($I = 0,42$; $p < 0,05$), sugerindo clusters de alta vegetação em Carlos Prates. A análise LISA destacou hotspots locais de NDVI em Carlos Prates, refletindo a presença de áreas verdes consolidadas.

2. Temperatura de Superfície (LST)

A temperatura de superfície apresentou um padrão espacial inverso ao do NDVI. Os valores mais elevados de LST foram encontrados na Vila São Francisco das Chagas, onde há menor cobertura vegetal, enquanto Carlos Prates mostrou temperaturas mais amenas. O índice de Moran global para LST foi alto ($I = 0,55$; $p < 0,01$), com hotspots de altas temperaturas na Vila São Francisco das Chagas, indicando o efeito das ilhas de calor urbano devido à menor vegetação.

3. Índice de Monóxido de Carbono (CO)

Os níveis de CO foram mais baixos na Vila São Francisco das Chagas, sugerindo um menor fluxo de veículos e, conseqüentemente, menos emissões de poluentes. Em contraste, Carlos Prates apresentou concentrações mais elevadas de CO, associadas a um tráfego mais intenso. O índice de Moran global para CO indicou uma autocorrelação espacial significativa ($I = 0,48$; $p < 0,05$), com hotspots de alta poluição em Carlos Prates.

4. Pressão Sonora

Os níveis de pressão sonora também foram mais baixos na Vila São Francisco das Chagas, devido ao possível menor fluxo de veículos e à presença de vegetação, que ajuda a atenuar o ruído. Em Carlos Prates, a pressão sonora foi mais elevada, associada ao tráfego intenso e à maior densidade populacional. A análise LISA confirmou clusters de alta pressão sonora em Carlos Prates, enquanto a Vila São Francisco das Chagas mostrou áreas de redução sonora. O índice de Moran global foi moderado ($I = 0,35$; $p < 0,1$), indicando certo grau de autocorrelação espacial.

5. Renda

A distribuição espacial da renda mostrou-se mais alta em Carlos Prates, com clusters de renda mais baixa na Vila São Francisco das Chagas, o que pode estar relacionado às condições ambientais mais precárias. O índice de Moran global para renda foi fraco ($I = 0,18$; $p > 0,1$), sugerindo uma distribuição mais dispersa dessa variável.

6. Expansão Urbana

A expansão urbana foi mais concentrada na Vila São Francisco das Chagas, refletindo o aumento da densificação e urbanização nesta área. Carlos Prates mostrou um crescimento mais controlado e associado à presença de áreas verdes. O índice de Moran global foi significativo ($I = 0,40$; $p < 0,05$), evidenciando o agrupamento das áreas em expansão na Vila São Francisco das Chagas.

Discussão

A análise confirma padrões espaciais distintos entre Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas. Carlos Prates apresenta maior pressão sonora e níveis mais elevados de CO, enquanto a Vila São Francisco das Chagas se destaca por condições ambientais mais favoráveis, com menor poluição sonora e atmosférica, possivelmente devido ao menor fluxo de veículos.

IDENTIFICAÇÃO DE DOENÇAS CONFORME AS DIMENSÕES DE SAÚDE DE RÖHR

A análise das dimensões de saúde em Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas, baseada na abordagem proposta por Röhr, evidencia padrões distintos de vulnerabilidade socioambiental e suas implicações para a saúde dos moradores. Os resultados mostram como fatores ambientais, socioeconômicos e de infraestrutura se inter-relacionam, impactando as diferentes dimensões de saúde nos bairros estudados, em comparação com o contexto geral de Belo Horizonte, conforme dados apresentados no Quadro 04.

1. Doenças Biológicas

As doenças biológicas em Carlos Prates estão predominantemente associadas à poluição do ar, especialmente devido aos níveis elevados de monóxido de carbono (CO), à baixa cobertura vegetal e à alta densidade urbana, o que leva ao aumento de doenças respiratórias e cardiovasculares, bem como de enfermidades relacionadas ao calor. Em Vila São Francisco das Chagas, essas condições são agravadas pela infraestrutura precária e pelo calor extremo, resultando em desidratação e doenças de pele. Em comparação, bairros mais arborizados de Belo Horizonte apresentam menor incidência de doenças biológicas, evidenciando o papel fundamental da vegetação na mitigação da poluição e no controle do microclima urbano.

2. Doenças Psíquicas

Os níveis elevados de pressão sonora em Carlos Prates, combinados com a alta densidade populacional e a falta de espaços verdes, contribuem para o aumento de doenças psíquicas, como ansiedade, estresse e distúrbios do sono. Em Vila São Francisco das Chagas, a falta de áreas de lazer e o baixo nível socioeconômico intensificam problemas como depressão e ansiedade, refletindo uma conexão entre condições socioeconômicas precárias e o agravamento da saúde mental. Em Belo Horizonte, bairros com maior presença de áreas

verdes mostram menor prevalência de doenças psíquicas, reforçando a necessidade de infraestrutura verde como um fator de proteção à saúde mental.

Quadro 04. Análise das Dimensões de saúde de Röhr e fatores causadores

Dimensão da Saúde	Carlos Prates		Vila São Francisco das Chagas		Belo Horizonte
	Doença	Fatores causadores	Doença	Fatores causadores	Comparativo
Biológicas	Doenças respiratórias Doenças cardiovasculares Aumento de doenças relacionadas ao calor.	Poluição do ar Baixa cobertura vegetal Urbanização densa.	Doenças respiratórias; Doenças de pele; Desidratação; Doenças termorregulatórias.	Baixa cobertura vegetal; Infraestrutura precária; Calor extremo.	Menor incidência de doenças biológicas em bairros mais arborizados.
Psíquicas	Ansiedade; Estresse; Distúrbios do sono.	Ruído elevado; Alta densidade populacional; Urbanização densa.	Depressão; Ansiedade.	Falta de áreas de lazer; Baixa renda; Exclusão social.	Menor prevalência de doenças psíquicas em áreas com mais áreas verdes.
Sociais	Violência; Exclusão social.	Densidade populacional; Poluição; Desigualdade social.	Insegurança alimentar; Exclusão social.	Baixa renda; Desigualdade social; Falta de serviços essenciais.	Menos problemas sociais em áreas mais centrais e de maior renda.
Espirituais	Comprometimento do bem-estar espiritual.	Falta de espaços de lazer; Urbanização densa.	Comprometimento do bem-estar espiritual.	Falta de espaços comunitários; Conexão social limitada.	Melhor saúde espiritual em bairros com mais espaços verdes e lazer.
Saúde Integral	Desbalanço geral de saúde física, mental e social.	Condições de vida inadequadas; Baixa qualidade ambiental.	Desbalanço geral de saúde física, mental e social.	Condições precárias de vida; Vulnerabilidade socioambiental.	Maior equilíbrio de saúde integral em bairros com infraestrutura adequada.
Espiritualidade e Cura	Dificuldade em encontrar sentido e propósito de vida.	Falta de espaços comunitários; Desconexão espiritual.	Dificuldade em encontrar sentido e propósito de vida.	Falta de espaços de integração comunitária e espiritual.	Espiritualidade mais desenvolvida em bairros com espaços de integração.

3. Doenças Sociais

A análise das doenças sociais revela uma forte correlação entre desigualdade socioeconômica e problemas de saúde coletiva nos dois bairros estudados. Em Carlos Prates, a densidade populacional e a poluição contribuem para o aumento de problemas sociais, como violência e exclusão social. Já em Vila São Francisco das Chagas, a insegurança alimentar e a falta de serviços essenciais agravam ainda mais a vulnerabilidade social. Em Belo Horizonte, os bairros centrais e de maior renda apresentam menos problemas sociais, evidenciando que condições socioeconômicas favoráveis estão associadas a melhores indicadores de saúde social.

4. Doenças Espirituais

A falta de espaços de lazer e áreas comunitárias em Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas compromete a saúde espiritual dos moradores, refletindo na ausência de senso de propósito e pertencimento. Em comparação, bairros de Belo Horizonte com maior infraestrutura verde e oportunidades de interação social apresentam melhores indicadores de saúde espiritual, sugerindo que a conexão com a natureza e a comunidade desempenha um papel crucial na promoção do bem-estar espiritual.

5. Saúde Integral

A saúde integral, definida pelo equilíbrio entre os aspectos físicos, mentais e sociais, é mais prejudicada nos dois bairros estudados, especialmente em Vila São Francisco das Chagas, devido às condições de vida inadequadas e à vulnerabilidade socioambiental. Em Belo Horizonte, áreas com melhor infraestrutura urbana e acesso a serviços básicos apresentam maiores índices de saúde integral, ressaltando a importância de políticas públicas que promovam o bem-estar holístico.

6. Espiritualidade e Cura

Em ambos os bairros, a falta de espaços comunitários e de integração social limita o desenvolvimento da espiritualidade e a busca por sentido de vida, afetando a saúde integral dos moradores. Em comparação, bairros de Belo Horizonte com mais espaços verdes e de lazer oferecem melhores oportunidades de reconexão espiritual, o que facilita a cura e o fortalecimento da saúde global.

A análise das dimensões de saúde segundo o modelo de Röhr revela que a interação entre fatores ambientais e socioeconômicos afeta de maneira significativa a saúde dos moradores em Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas. Os resultados apontam para a necessidade urgente de políticas públicas voltadas para a melhoria da infraestrutura urbana, a criação de áreas verdes e a promoção de espaços comunitários que favoreçam a saúde integral e a espiritualidade. A comparação com Belo Horizonte reforça a importância de intervenções holísticas e de uma abordagem integrada para a redução das desigualdades socioambientais e a promoção do bem-estar nos bairros mais vulneráveis.

CONCLUSÕES

A análise do mapa de CO obtido pelo GEE revela uma forte correlação entre baixa massa vegetal e alta concentração de monóxido de carbono nos bairros de Belo Horizonte, especialmente em áreas densamente urbanizadas como Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas. O estudo também confirma que a dispersão de CO é influenciada por emissões de municípios vizinhos, o que reforça a necessidade de uma abordagem integrada e regional para a gestão da qualidade do ar. Intervenções de plantio de árvores e criação de infraestrutura verde são essenciais para mitigar os efeitos do CO e melhorar a qualidade ambiental e de saúde nos bairros mais vulneráveis da cidade.

O estudo realizado revelou a eficácia do método proposto ao identificar padrões distintos de vulnerabilidade socioambiental nos bairros Carlos Prates e Vila São Francisco das Chagas, em Belo Horizonte. A análise integrada das variáveis ambientais (NDVI, temperatura superficial, monóxido de carbono e pressão sonora) com os fatores socioeconômicos e de saúde proporcionou uma compreensão holística das desigualdades socioespaciais, evidenciando a inter-relação entre meio ambiente e qualidade de vida urbana.

A análise do mapa de CO obtido pelo GEE confirma que a dispersão de CO é influenciada por emissões de municípios vizinhos, o que reforça a necessidade de uma abordagem integrada e regional para a gestão da qualidade do ar. Intervenções de plantio de árvores e criação de infraestrutura verde são essenciais para mitigar os efeitos do CO e melhorar a qualidade ambiental e de saúde nos bairros mais vulneráveis da cidade.

A utilização do ChatGPT como ferramenta de predição estatística trouxe benefícios importantes, especialmente na análise simultânea de correlações entre múltiplas variáveis. O modelo de inteligência artificial mostrou-se ágil na interpretação de padrões e na identificação de associações complexas entre fatores ambientais e sociais. No entanto, sua principal limitação foi a incapacidade de gerar mapas geoestatísticos, como os obtidos por ferramentas específicas, como GeoDa e QGIS. Essas plataformas possuem maior capacidade de visualização espacial e são fundamentais para identificar clusters e hotspots, aspectos essenciais na análise de vulnerabilidades urbanas.

Embora o ChatGPT não substitua totalmente o uso de SIGs em estudos geoespaciais, ele se destaca como uma ferramenta complementar promissora, principalmente para análises exploratórias e formulação de hipóteses, podendo servir de apoio para uma etapa inicial de investigação. Para estudos futuros, sugere-se a integração entre ChatGPT e softwares de geoprocessamento, permitindo uma abordagem híbrida que combine a rapidez das análises automatizadas com a precisão das representações espaciais.

A aplicação das dimensões de saúde de Röhr (física, psíquica, social, espiritual e integral) mostrou-se útil para entender como fatores ambientais afetam a saúde dos moradores em diferentes dimensões. As dimensões física e social foram mais facilmente identificadas,

especialmente no que diz respeito à relação entre a poluição do ar, a falta de áreas verdes e as condições de vida precárias. A análise psíquica também se beneficiou da abordagem quantitativa, evidenciando a correlação entre ruído ambiental e doenças mentais, como ansiedade e estresse, especialmente em áreas densamente urbanizadas, como Carlos Prates.

No entanto, as dimensões de espiritualidade e cura não foram suficientemente abordadas, dado o caráter quantitativo da metodologia utilizada. Para estudos futuros, é recomendável incorporar métodos qualitativos, como entrevistas e grupos focais, para explorar como a espiritualidade e o sentido de pertencimento são afetados pelo ambiente urbano. Adicionalmente, pode-se adotar técnicas de mapeamento participativo, que permitam identificar espaços comunitários e locais de integração social, como igrejas, praças e centros culturais, que atuam como polos de bem-estar espiritual.

Os resultados deste estudo reforçam a necessidade de políticas públicas que priorizem a criação de infraestrutura verde, como parques e áreas arborizadas, não apenas para mitigar o efeito das ilhas de calor urbano, mas também para melhorar a qualidade do ar e reduzir a exposição ao ruído. Além disso, ações de planejamento urbano que promovam a inclusão social, o acesso a serviços essenciais e a melhoria das condições de moradia são fundamentais para a redução das desigualdades socioambientais identificadas.

Para pesquisas futuras, é recomendável adotar uma abordagem interdisciplinar, que integre análises ambientais, sociais e de saúde pública com métodos de inteligência artificial e geoprocessamento. Sugere-se também explorar outras dimensões da saúde integral e espiritualidade, incluindo variáveis qualitativas e culturais, o que pode proporcionar uma visão mais abrangente do bem-estar nas áreas urbanas.

Este estudo contribui de forma significativa para a literatura sobre desigualdades socioambientais em áreas urbanas, especialmente em contextos latino-americanos. Ele destaca como a integração de variáveis ambientais com indicadores socioeconômicos pode revelar padrões ocultos de vulnerabilidade e saúde urbana. Entretanto, a limitação da análise está na dependência de dados quantitativos, o que pode subestimar aspectos culturais e subjetivos do bem-estar dos moradores. Para superá-la, é essencial incorporar abordagens qualitativas em futuras investigações, além de fomentar colaborações interinstitucionais para obter dados mais completos e atualizados.

Em resumo, o estudo não apenas revela as complexidades das vulnerabilidades urbanas em Belo Horizonte, mas também propõe caminhos para intervenções mais eficazes e inclusivas, que promovam o bem-estar integral em contextos urbanos desafiadores.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade. ABNT: Rio de Janeiro, 2019.

BARBIN, Henrique Sundfeld. **Histórico da evolução do uso do solo e estudo dos espaços livres públicos de uma região do município de Piracicaba, SP**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CAIAFFA, Waleska Teixeira: **Saúde Urbana, cidades e a interseção de sistemas: panorama, agendas, gaps e oportunidades rumo à equidade, sustentabilidade, resiliência e promoção em saúde**. In: Waleska Teixeira Caiaffa...[et al.]. – Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2021.

CAIAFFA, et al. The urban environment from the health perspective: the case of Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. **Caderno de Saúde Pública**: Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 958-967, mai-jun, 2005.

CONNOLLY, Creighton; KEIL, Roger; ALI, S. Harris. Extended Urbanisation and the Spatialities of Infectious Disease: Demographic Change, Infrastructure and Governance. **Urban Studies Journal**, 2020.

FOURNIER, Jérôme; PANIZZA, Andrea C.; LUCHIARI, Ailton. REFLEXÕES METODOLÓGICAS SOBRE A UTILIZAÇÃO DOS ÍNDICES GEOMÉTRICOS E TOPOLÓGICOS NA ANÁLISE ESPACIAL DE CLASSIFICAÇÕES DE IMAGENS LANDSAT, ESTUDO DE CASO APLICADO AO MUNICÍPIO DE UBATUBA, SP, BRASIL. **Geografia**, v. 30, n. 1, p. 77-94, 2005.

FURTADO, Lara Sucupira; Gonçalves Haikel Buganem Busgaib; BABADOPULOS, Lucas Feitosa de A. L.; SOARES, Jorge Barbosa. **Prompts para análise de dados espaciais sobre defeitos de pavimentos com o ChatGPT-4**. Congresso Iberoamericano del Asfalto, Granda, 22-26 de abril de 2024.

GARAJEH, Mohammad Kazemi; LANEVE, Giovanni; HAMID, Rezaei; Sadeghnejad, MOSTAFA; MOHAMADZADEH, Neda; SALMANI, Behnam. Monitoring trends of CO, NO2, SO2, and O3 pollutants using time-series sentinel-5 images based on google earth engine. **Pollutants**, v. 3, n. 2, p. 255-279, 2023.

HENGL, Tomislav. **A practical guide to geostatistical mapping**. Amsterdam: Hengl, 2009.

IPEAD – INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS ADMINISTRATIVAS E CONTÁBEIS DE MINAS GERAIS. **Pesquisas em mercado imobiliário** – Belo Horizonte. Belo Horizonte: IPEAD – Face –UFMG, 2018.

LONDE, Patrícia Ribeiro; MENDES, Paulo Cezar. Contribuição das áreas verdes públicas para a qualidade de vida urbana. **Hygeia**, v. 10, n. 18, p. 264-272, jun/2014.

MACHADO, Fabrício Lisboa Vieira. Análise da temperatura de superfície de vilas e aglomerados de Belo Horizonte através de série temporal de imagens de sensoriamento remoto. **Cadernos do Leste**, v. 20, n. 20, s./n. Jan- dez/2020.

MUJIONO, Mia Novinda. The shifting role of accountants in the era of digital disruption. **International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research**, v. 2, n. 11, p. 1259-1274; 2021.

NOSSA BH. **Mapa das desigualdades 2021**. Belo Horizonte: Nossa BH, 2021.

PADMA, Srinivasa Perumal; lakshmi, Sivakumar Vdhya; PRAKASH, Ramaiah; SRIVIDHYA, Sundaresan; SIVAKUMAR, Aburpa Avanachari; DIVYAH, Nagarajan; CANALES, Cristian; FLORES, Erick I. Saavedra. Simulation of land use/land cover dynamics using Google Earth data and QGIS: a case study on outer ring road, Southern India. **Sustainability**, v. 14, n. 24, p. 16373, 2022.

PBH – PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE. **PBH-Geo**, 2021.

RÖHR, Ferdinand. Espiritualidade e formação humana. **Poiésis: Tubarão**, número especial, Biopolítica, Educação e Filosofia, pp. 53-68. 2011.

RUGGIERO, Patricia Guidão Cruz; PIVELLO, Vânia Regina; SPAROVEK, Gerd; TERAMOTO, Edson; PIRES NETO, Antônio Gonçalves. Relação entre solo, vegetação e topografia em área de cerrado (Parque Estadual de Vassununga, SP): como se expressa em mapeamentos?. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 383-394, 2006.

SANTOS, Cleber Vinicius Brito dos; CAVALCANTE, João Roberto; PUNGATNIK, Paula Cristina; GUIMARÃES, Raphael Mendonça. Análise espaço temporal do primeiro ano da pandemia de COVID-19 no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 24, p. e210046, 2021.

SETIANI, Putri; DEVIANTO, Luhur Akbar; RAMDANI, Fatwa. Rapid estimation of CO₂ emissions from forest fire events using cloud-based computation of google earth engine. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, p. 1-13, 2021.

SILVA, Carlos Fabrício Assunção da; MEIRA, Leonardo Herszon; OLIVEIRA, Leise Kelli de; SANTOS, Pâmela Roberta Gonçalves dos; OLIVEIRA, Isabela Kopperschmidt de. Análise da

correlação espacial entre os usuários de sistemas de transporte público e os casos de covid-19: um estudo de caso para Recife (PE). **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, [S. l.], v. 16, n. 4, 2020.

VIEIRA, P.B.H. **Uma visão geográfica das áreas verdes de Florianópolis-SC**: estudo de caso do Parque Ecológico do Córrego Grande (PECG). 2004. 109 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

ZAKI, Abdurrahman et al. Google Earth Engine for improved spatial planning in agricultural and forested lands: A method for projecting future ecological quality. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 32, p. 101078, 2023.