

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Faculdade de Medicina**  
**Programa de Pós-graduação em Saúde Pública**

Thania Mara Teixeira Rezende Faria

**VIGILÂNCIA DA ATIVIDADE FÍSICA: ANÁLISE DE TENDÊNCIAS E  
PERSPECTIVAS COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ESTUDOS  
LONGITUDINAIS**

Belo Horizonte – MG  
2025

Thania Mara Teixeira Rezende Faria

**VIGILÂNCIA DA ATIVIDADE FÍSICA: ANÁLISE DE TENDÊNCIAS E  
PERSPECTIVAS COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ESTUDOS  
LONGITUDINAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Saúde Pública.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Deborah Carvalho Malta  
(UFMG)

Belo Horizonte – MG  
2025

F224v Faria, Thania Mara Teixeira Rezende.  
Vigilância da atividade física [recurso eletrônico]: análise de tendências e perspectivas com inteligência artificial e estudos longitudinais. / Thania Mara Teixeira Rezende Faria. - - Belo Horizonte: 2025.  
111f.: il.  
Formato: PDF.  
Requisitos do Sistema: Adobe Digital Editions.

Orientador (a): Deborah Carvalho Malta.  
Área de concentração: Saúde Pública.  
Tese (doutorado): Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina.

1. Atividade Física. 2. Vigilância em Saúde Pública. 3. Análise de Pequenas Áreas. 4. Ambiente Construído. 5. Perspectiva de Curso de Vida. 6. Dissertação Acadêmica. I. Malta, Deborah Carvalho. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina. III. Título.

NLM: QT 256

Bibliotecário responsável: Fabian Rodrigo dos Santos CRB-6/2697



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
FACULDADE DE MEDICINA  
COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE PÚBLICA

## ATA DA DEFESA DA TESE DO ALUNO

**THANIA MARA TEIXEIRA REZENDE FARIA**

Às 14:00 horas do dia quatro de dezembro de 2025, de forma híbrida, na sala 526, da Faculdade de Medicina, da Universidade Federal de Minas Gerais, realizou-se a sessão pública para a defesa da Tese de **THANIA MARA TEIXEIRA REZENDE FARIA**, registro 2022668299, graduada no curso de EDUCAÇÃO FÍSICA, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em **SAÚDE PÚBLICA**. A presidência da sessão coube a Profa. Deborah Carvalho Malta- Orientadora (UFMG). Inicialmente, a presidente fez a apresentação da Comissão Examinadora assim constituída pelos professores doutores: Prof. Gustavo Velasquez Melendez (UFMG), Profa. Lidiane do Valle Camelo (UFMG), Prof. Danilo Rodrigues Pereira da Silva (UFSE), Profa. Andrea Tuchtenhagen Wendt (Pontifícia Universidade Católica do Paraná). Em seguida, a candidata fez a apresentação do trabalho que constitui sua Tese de Doutorado, intitulada "**Vigilância da Atividade Física: análise de Tendências e perspectivas com inteligência artificial e estudos longitudinais**". Seguiu-se a arguição pelos examinadores e logo após, a Comissão reuniu-se, sem a presença da candidata e do público e decidiu considerar APROVADA a Tese de Doutorado. O resultado final foi comunicado publicamente a candidata pela presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, a presidente encerrou a sessão e lavrou a presente ata que, depois de lida, e aprovada, será assinada pela Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 04 de dezembro de 2025

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Deborah Carvalho Malta, Coordenador(a)**, em 05/12/2025, às 17:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lidiane do Valle Camelo, Professora do Magistério Superior**, em 05/12/2025, às 18:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jorge Gustavo Velasquez Melendez, Professor do Magistério Superior**, em 08/12/2025, às 16:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).





Documento assinado eletronicamente por **Andrea Tuchenhagen Wendt, Usuária Externa**, em 09/12/2025, às 16:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Danilo Rodrigues Pereira da Silva, Usuário Externo**, em 10/12/2025, às 10:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 4786304 e o código CRC 54887EB6.

---

## **Dedicatória**

Ao meu pai, Geraldo Rezende Faria, que se foi cedo demais.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus que me sustentou nos momentos difíceis e não permitiu que eu desistisse ou perdesse a esperança, e à Nossa Senhora, que sempre me guardou, protegeu e conduziu no caminho pessoal, acadêmico e profissional.

Agradeço à minha orientadora, professora Deborah Carvalho Malta, exemplo de mulher e pesquisadora, sua sabedoria, humildade e liderança muito me ensinam. Agradeço pela possibilidade de ingresso no doutorado e pela condução nesses quatro anos. Agradeço ao meu grande mentor, professor Gregore Iven Milke, pela paciência, cada instrução, cada código *stata* (*risos*), por ter me apresentado pessoas fantásticas e ter me acolhido tão bem na Universidade de Queensland. São grandes os ensinamentos e o legado que ambos deixam na minha formação como pessoa e pesquisadora.

Agradeço a cada um dos meus colegas da pós-graduação. Um agradecimento especial para Laís, Juliana, Alanna, Fabi, Ruyi, Ruth, Tung e Jove. Aos meus gestores e parceiros da Prefeitura de Belo Horizonte, Dayane, Denyse, Jomara, Paulo, Caroline e todos que me apoiaram nesse percurso. Agradeço também aos amigos e parentes que me ouviram quando precisei e foram um suporte no processo.

Agradeço à minha família, sobretudo minha mãe, meu pai (*in memoriam*) e minha irmã, que me acompanharam sempre.

Agradeço ao KAAD (katholischer Akademischer Austauschdienst - Serviço Católico de Intercâmbio Acadêmico) por ter me proporcionado, dentro da minha trajetória acadêmica, a oportunidade ímpar de conhecer a Saúde Global e a Epidemiologia em sua essência. À Universidade de Queensland que me deu espaço para crescimento não só acadêmico como pessoal durante o período de doutorado sanduíche. Agradeço também à CAPES, instituição de fomento e propagadora de novos talentos no país, que possa continuar a nos engrandecer.

Assim, encerro mais um ciclo, satisfeita e feliz. Foram anos desafiadores e de grande crescimento. Momentos distintos a cada ano e com suas singularidades, que fizeram dessa conquista mais um passo para a realização dos meus sonhos. Agradeço a todos aqueles que fizeram parte desse processo, que me acolheram e me ajudaram a superar as dificuldades e a aprender com as lutas diárias. Meu muito obrigada!

“É necessário sair da ilha para ver a ilha, não nos vemos se não saímos de nós”.

JOSÉ SARAMAGO

## RESUMO

A vigilância tradicional baseada em prevalências agregadas é insuficiente para orientar políticas públicas. Portanto, esta tese busca analisar os desafios contemporâneos da vigilância da atividade física (AF) através do uso de métodos diversos, como as análises de tendência, a inteligência artificial para estimativas em pequenas áreas e o uso de análises longitudinais, contribuindo para discussões acerca das desigualdades territoriais e dos fatores locais influentes na prática de AF. O primeiro estudo descreve a situação geral dos indicadores de AF no Brasil de 2006 a 2021; o segundo, estima a prevalência de atividade física no tempo livre (AFTL) em pequenas áreas na cidade de Belo Horizonte de 2009 a 2013 e de 2014 a 2018, observando as desigualdades entre áreas e entre os períodos segundo Índice de Vulnerabilidade da Saúde (IVS); o terceiro, analisa fatores ambientais associados às diferentes trajetórias de comportamento de AF entre adultos de 45 a 60 anos ao longo de um período de 10 anos de acompanhamento na cidade de Brisbane, Austrália. A base de dados do primeiro e do segundo estudo foi o Sistema de Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico no Brasil (Vigitel). Para análise de tendências, aplicou-se a regressão de Prais-Winsten para diversos indicadores de AF, apresentados para população total e por sexo, idade, escolaridade e região. Os principais achados demonstraram que, para população total, as tendências de AFTL foram positivas e significativas ( $\beta = 0,614$ ;  $p = 0.010$ ), assim como para o tempo total de tela ( $\beta = 1,319$ ;  $p = 0.001$ ), demonstrando uma tendência de aumento na prevalência desses dois indicadores na população brasileira no período analisado. Em seguida, foram realizadas estimativas espaciais em pequenas áreas para cidade de Belo Horizonte, baseadas em uma técnica de inteligência artificial (IA) denominada k-means que permitiu reagrupar os setores censitários da cidade de forma mais coesa e homogênea segundo características do território descritas pelo IVS. Após a constituição dos subgrupos ou clusters derivados dos grupos do IVS, as estimativas de prevalência de AFTL foram calculadas por meio do uso dos pesos de pós-estratificação da amostra do Vigitel. As diferenças na prevalência entre os períodos e entre os clusters foram calculadas em pontos percentuais (p.p.). No primeiro período, a prevalência de AFTL variou de 23,70% em um cluster derivado do estrato de muito elevado risco até 45,55% em um cluster derivado do baixo risco (diferença de 21,9 p.p.). No segundo período de 2014 a 2018, as prevalências também variaram de 31,82% até 52,81% nos

estratos de maior e menor vulnerabilidade, respectivamente (diferença de 21,0 p.p.). A estimação em pequenas áreas permitiu observar padrões de desigualdade entre áreas. Foi observado que, apesar do aumento na prevalência de AFTL nos clusters entre os dois períodos, a diferença entre eles não diminuiu do primeiro para o segundo período analisado, sobretudo entre os grupos derivados do IVS de baixo risco em relação aos de médio, elevado e muito elevado risco. Por fim, o terceiro trabalho utilizou um banco de dados longitudinal da Austrália, HABITAT, ou “Como as Áreas de Brisbane Influenciam a Saúde e a Atividade Física”, e investigou a relação entre determinantes ambientais e trajetórias de AFTL, ou seja, os fatores relacionados com o pertencimento à uma ou outra trajetória de comportamento para prática de AF ao longo do tempo. A definição de trajetórias para os indivíduos da amostra foi realizada pelo método de Modelagem de Trajetória Baseada em Grupo (GBTM). Mais detalhes deste método estão em seção correspondente. Para análise de associação, aplicou-se regressão logística multinomial robusta. Todas as variáveis do ambiente (analisadas para pequenas áreas ou bairros) foram categorizadas em tercís, incluindo: comprimento das ciclovias, área total de parques, densidade de moradias, conectividade das ruas, uso misto do solo e número de postes de iluminação pública por vizinhança. O modelo foi ajustado por sexo, idade, escolaridade, renda, condições de moradia, tempo de moradia no endereço e classificação socioeconômica do bairro. Foram observadas associações estatisticamente significativas entre o tercil médio de comprimento de ciclovias e uma menor probabilidade de pertencimento à trajetória de baixo nível de AFTL ao longo do período de acompanhamento [OR = 0,55 (IC 95%: 0,36 – 0,84)]; e entre o tercil médio de conectividade das ruas e uma menor probabilidade de pertencimento às trajetórias de baixo [OR = 0,67 (0,51 – 0,87)] e crescente [OR = 0,76 (IC 95%: 0,61 – 0,94)] níveis de AFTL. Assim, algumas características ambientais foram associadas com melhores padrões de prática de AFTL na transição da fase adulta para velhice. Em suma, esta tese partiu de análises nacionais transversais e avançou para análises territoriais mais granulares e longitudinais, propondo uma vigilância mais sensível às desigualdades territoriais. Uma vigilância local permite a formulação de políticas públicas mais assertivas.

**Palavras-chave:** atividade física; vigilância em saúde pública; análise de pequenas áreas; ambiente construído; perspectiva de curso de vida.

## ABSTRACT

Traditional surveillance based on aggregate prevalence is insufficient to guide public policies. Therefore, this thesis seeks to analyse the contemporary challenges of physical activity (PA) surveillance through the use of diverse methods, such as time trend analyses, artificial intelligence for small-area prevalence estimation, and longitudinal analyses, contributing to discussions about territorial inequalities and local factors influencing PA practice. The first study describes the general situation of PA indicators in Brazil from 2006 to 2021; the second estimates the prevalence of leisure-time physical activity (LTPA) in small areas in the city of Belo Horizonte from 2009 to 2013 and from 2014 to 2018, observing inequalities between areas and between periods according to the Health Vulnerability Index (HVI); the third one analyses environmental factors associated with different PA behavior trajectories among adults aged 45 to 60 years over a 10-year follow-up period in the city of Brisbane, Australia. The database for the first and second studies was the Surveillance System for Risk and Protective Factors for Chronic Diseases by Telephone Survey in Brazil (Vigitel). For time trend analysis, Prais-Winsten regression was applied to several PA indicators, presented for the total population and by sex, age, education level, and region. The main findings showed that, for the total population, the trends in PA were positive and significant ( $\beta = 0.614$ ;  $p = 0.010$ ), as well as for total screen time ( $\beta = 1.319$ ;  $p = 0.001$ ), demonstrating an increasing trend in the prevalence of these two indicators in the Brazilian population during the analysed period. Subsequently, spatial estimates were performed in small areas for the city of Belo Horizonte, based on an artificial intelligence (AI) technique called k-means, which allowed for a more cohesive and homogeneous regrouping of the city's census tracts according to territorial characteristics described by the HVI. After the formation of subgroups or clusters derived from the HVI groups, LTPA prevalence estimates were calculated using the post-stratification weights of the Vigitel sample. Differences in prevalence between periods and between clusters were calculated in percentage points (p.p.). In the first period, LTPA prevalence ranged from 23.70% in a cluster derived from the very high-risk stratum to 45.55% in a cluster derived from the low-risk stratum (difference of 21.9 p.p.). In the second period, from 2014 to 2018, prevalences also ranged from 31.82% to 52.81% in the highest and lowest vulnerability strata, respectively (difference of 21.0 p.p.). Estimation in small areas allowed for the observation

of patterns of inequality between areas. It was observed that, despite the increase in the prevalence of LTPA in the clusters between the two periods, the difference between them did not decrease from the first to the second period analysed, especially between the groups derived from the low HVI risk compared to those of medium, high, and very high risk. Finally, the third study used a longitudinal database from Australia, HABITAT, or "How Brisbane Areas Influence Health and Physical Activity," and investigated the relationship between environmental determinants and LTPA trajectories, that is, the factors related to belonging to one or another behavioral trajectory for PA over time. The definition of trajectories for the individuals in the sample was performed using the Group-Based Trajectory Modeling (GBTM) method. More details of this method are in the corresponding section. For association analysis, a robust multinomial logistic regression model was applied. All environmental variables (analysed for small areas or neighborhoods) were categorized into tertiles, including: bike path length, area of park, residential density, street connectivity, land use mix, and street light count per neighborhood. The model was adjusted for sex, age, education, income, living arrangements, time living at current address, and neighborhood socioeconomic classification. Statistically significant associations were observed between the middle tertile of bike path length and a lower probability of belonging to the low-level of LTPA over time [OR = 0.55 (95% CI: 0.36 – 0.84)]; and between the average tertile of street connectivity and a lower probability of belonging to low-level [OR = 0.67 (0.51 – 0.87)] and increasing-level [OR = 0.76 (95% CI: 0.61 – 0.94)] LTPA trajectories. Thus, some environmental characteristics were associated with better patterns of LTPA during the transition from adulthood to old age. In short, this thesis started from cross-sectional national analyses and moved on to more granular and longitudinal territorial analyses, proposing a more sensitive surveillance to territorial inequalities. Local surveillance allows for the formulation of more assertive public policies.

**Keywords:** physical activity; public health surveillance; small-area analysis; built environment; life course perspective.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

**Figura 1.** Principais inquéritos da vigilância epidemiológica de DCNT e seus fatores de risco e proteção no Brasil .....23

### Artigo 2

**Figura 1.** Difference in the prevalence of LTPA between clusters, according to time period.....66

#### Material Suplementar

**Figura 1.** Silhouette score according to number of clusters per IVS group.....78

**Figura 2.** Mapping of clusters of low risk according to city areas, Belo Horizonte.....79

**Figure 3.** Mapping of clusters of medium risk according to city areas, Belo Horizonte....80

**Figura 4.** Mapping of clusters of high risk according to city areas, Belo Horizonte.....81

**Figura 5.** Mapping of clusters of very high risk according to city areas, Belo Horizonte....81

**Figura 6.** Mapping of all clusters derived from IVS according to city areas, Belo Horizonte.....82

### Artigo 3

**Figura 1.** Trajectories of meeting PA guidelines ( $\geq 500$  METs.min/week) among middle-aged adults from survey 1 to survey 5 (N = 3,043).....88

**Figura 2.** Physical activity METs.min/week at each survey by trajectory of meeting PA guidelines (N = 3,043).....88

#### Material Suplementar

**Figura 1.** Process chart for sample selection.....94

**Figura 2.** Direct acyclic graph conceptualizing the interplays of the association. between the environment and physical activity trajectories of meeting PA guidelines.....95

## LISTA DE TABELAS

### Artigo 1

**Table 1.** Prevalence and time trend of sufficient leisure-time physical activity, according to sociodemographic characteristics. VIGITEL, Brazilian capitals, 2009-2021.....57

**Table 2.** Prevalence and time trend of sufficient physical activity while commuting. VIGITEL, Brazilian capitals, 2006-2021.....58

**Table 3.** Prevalence and time trend of insufficient practice of physical activity. VIGITEL, Brazilian capitals, 2014-2021.....58

**Table 4.** Prevalence and time trend of total screen time. VIGITEL, Brazilian capitals, 2016-2021.....59

**Table 5.** Annual difference in the total prevalence of physical activity indicators. VIGITEL, Brazilian capitals, 2006-2021.....59

### Artigo 2

**Table 1.** Coefficient of variation for the original IVS categories.....65

**Table 2.** Coefficient of variation for the defined clusters.....65

**Table 3.** Characteristics of the sample and estimates of LTPA prevalence according to cluster.....66

### Material Suplementar

**Table 1.** Variables of sanitation and socioeconomic components of IVS-2012, Belo Horizonte.....69

**Table 2.** Characteristics of analytical and non-analytical sample of Vigitel, Belo Horizonte, between 2009 and 2018, unweighted percentages.....71

**Table 2.1** Estimated prevalence of leisure-time physical activity (LTPA) using post-stratification weights in analytical sample and total sample according to age and education. Vigitel Belo Horizonte, 2009 to 2018.....72

**Table 3.** Characteristics of analytical and non-analytical sample of Vigitel, Belo Horizonte, between 2009 and 2018, weighted percentages.....73

**Table 4.** Census 2010 demographic characteristics according to clusters, Belo Horizonte, 2010.....74

**Table 5.** Characteristics of analytical sample Vigitel, Belo Horizonte, between 2009 and 2018, according to cluster and time period, unweighted percentages.....75

Artigo 3

**Table 1.** Characteristics of analytic and non-analytic sample of HABITAT at baseline (2007).....86

**Table 2.** Description of environmental features in survey 1 and survey 5 for the total sample (N=3,043).....87

**Table 3.** Characteristics of current study participants at baseline by PA trajectory of meeting PA guidelines (n=3043).....89

**Table 4.** Description of environmental features in 2007 and 2016, and their changes, by trajectories of meeting physical activity guidelines.....90

**Table 5.** Multinomial logistic regression for the association between environmental features in 2007 and PA trajectories from 2007 to 2016 (Reference: High group).....90

Material Suplementar

**Table 1.** Goodness-of-fit and adequacy of the model (meeting physical activity guidelines).....96

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AF – ATIVIDADE FÍSICA

AFTL – ATIVIDADE FÍSICA NO TEMPO LIVRE

DCNT – DOENÇAS CRÔNICAS NÃO TRANSMISSÍVEIS

GOPA – OBSERVATÓRIO GLOBAL DE ATIVIDADE FÍSICA

HABITAT – COMO AS ÁREAS DE BRISBANE INFLUENCIAM A SAÚDE E A ATIVIDADE FÍSICA

IA – INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

IBP – ÍNDICE BRASILEIRO DE PRIVAÇÃO

IVS – ÍNDICE DE VULNERABILIDADE DA SAÚDE

ODS – OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE

PAS – PROGRAMA ACADEMIA DA SAÚDE

PENSE – PESQUISA NACIONAL DE SAÚDE DO ESCOLAR

PNPS – POLÍTICA NACIONAL DE PROMOÇÃO DA SAÚDE

PNS – PESQUISA NACIONAL DE SAÚDE

SUS – SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE

VIGITEL – SISTEMA DE VIGILÂNCIA DE FATORES DE RISCO E PROTEÇÃO PARA DOENÇAS CRÔNICAS NÃO TRANSMISSÍVEIS POR INQUÉRITO TELEFÔNICO

# SUMÁRIO

<b>1 APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1 Vigilância epidemiológica e atividade física</b> .....	<b>22</b>
3.1.1 Vigilância epidemiológica das DCNT e os principais inquéritos .....	22
3.1.2 As Políticas Públicas para atividade física no Brasil e no Mundo.....	24
3.1.3 Epidemiologia e tendências na prática de atividade física .....	26
3.1.4 Monitoramento da AF em diferentes países: o caso Brasil e Austrália .....	28
<b>3.2 Vigilância e Inteligência artificial</b> .....	<b>29</b>
3.2.1 Definição, técnicas e conceitos .....	29
3.2.2 Estimativas dos indicadores de saúde em pequenas áreas .....	31
<b>3.3 Vigilância da atividade física no curso de vida</b> .....	<b>34</b>
3.3.1 Trajetórias de atividade física .....	34
3.3.2 Os determinantes das trajetórias de atividade física.....	35
<b>4 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>38</b>
<b>5 OBJETIVOS</b> .....	<b>40</b>
<b>5.1 Objetivo geral</b> .....	<b>40</b>
<b>5.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>40</b>
<b>6 MÉTODOS</b> .....	<b>41</b>
<b>6.1 Artigo 1</b> .....	<b>41</b>
Desenho do estudo .....	41
Variáveis .....	41
Análise de dados.....	44
Aspectos Éticos.....	44
<b>6.2 Artigo 2</b> .....	<b>45</b>
Desenho do estudo .....	45
Variáveis .....	46
Análise de dados.....	47
Aspectos Éticos.....	48
<b>6.3 Artigo 3</b> .....	<b>49</b>
Desenho do estudo .....	49
Variáveis .....	50
Análise de dados.....	52
Aspectos Éticos.....	53
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>54</b>
<b>7.1 ARTIGO 1</b> .....	<b>54</b>
<b>7.2 ARTIGO 2</b> .....	<b>63</b>
<b>7.3 ARTIGO 3</b> .....	<b>83</b>
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>97</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>101</b>

## 1 APRESENTAÇÃO

Sou profissional de Educação Física de formação, e o esporte sempre me inspirou. Para mim, a Saúde Pública surgiu como uma forma de materialização do conhecimento na prática e de transformação dos problemas em oportunidades de mudança.

Minha graduação em Educação Física (2011) foi seguida da minha inserção enquanto servidora pública na Secretaria Municipal de Saúde de Belo Horizonte (2012), uma pós-graduação *lato sensu* em Gestão Empresarial (2012-2013), e o Mestrado em Saúde Internacional na Universidade de Heidelberg (2017-2018), onde os horizontes para Saúde Pública se ampliaram enormemente. Durante a graduação tive contato com a área da atividade física e saúde, de onde surgiu o interesse em me formar como sanitarista e seguir a carreira na Saúde Pública. Durante o mestrado tive a oportunidade de ser mentorada por grandes professores, onde busquei alinhar minha atuação profissional no Programa Academia da Saúde com a pesquisa que desejava desenvolver no mestrado, ou seja, com a temática de monitoramento e avaliação de programas e projetos públicos. Este foi um passo crucial para meu desenvolvimento profissional e acadêmico. Uma fase de grandes aprendizados e conexões. Nesta fase, tive contato com a professora Deborah e diversos pesquisadores brasileiros que, em conjunto, serviram de inspiração e guia, me levando cada vez mais próximo do desenvolvimento de projetos estratégicos e pesquisas de impacto.

Passados os anos desta experiência, iniciei o doutorado em 2022. Esta foi uma oportunidade de refinar meus conhecimentos em pesquisa quantitativa e dar continuidade ao trabalho iniciado no mestrado, junto à um novo ciclo de vivências na docência e na gestão pública. Durante o doutorado, a ideia inicial foi desenvolver um modelo de avaliação de projetos e programas em saúde (RE-AIM) para o Programa Academia da Saúde com base na ciência de implementação. No entanto, os desdobramentos da pesquisa me levaram a adentrar o campo da vigilância, sob um contexto um pouco mais vasto e perspectivas mais contemporâneas sobre o tema e sobre a epidemiologia da atividade física.

A partir de um olhar que foi se afinando para entender melhor os territórios e os contextos da prática de atividade física, esta tese reúne três trabalhos, indo desde a observação de tendências nas capitais brasileiras, até a estimação de prevalência em áreas menores e a observação de trajetórias de comportamento ao longo da vida, buscando elucidar

a forma como o ambiente pode influenciar os indivíduos a serem mais ou menos fisicamente ativos, algo importante para o incentivo de políticas públicas e a promoção de ambientes mais saudáveis. Portanto, o conjunto de trabalhos aqui descritos serviu para comungar o desenvolvimento da temática da vigilância da atividade física (e das desigualdades atreladas aos territórios) com as oportunidades de aprendizado acadêmico que surgiram no percurso, incluindo o período sanduíche na Universidade de Queensland e a análise de dados longitudinais. Portanto, iniciamos com um trabalho mais abrangente e de base no campo da vigilância, seguido do desenvolvimento de métodos inovadores para estimação em áreas menores, onde foram observadas diversas desigualdades na prática dentro de uma cidade e, por fim, com o detalhamento de algumas características do local de moradia dos indivíduos que podem explicar essas desigualdades e o comportamento destes indivíduos em algum nível. Assim, a linha que conecta os produtos desta tese de forma integrada é a discussão dos métodos inovadores e contemporâneos para a vigilância e para a atividade física como temática fundamental à produção de políticas públicas e populações saudáveis.

De acordo com as normas do Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Universidade Federal de Minas Gerais, os trabalhos apresentados foram os seguintes: o primeiro, intitulado “TIME TRENDS AND COVID-19 POST-PANDEMIC CHANGES IN PHYSICAL ACTIVITY AND SEDENTARY BEHAVIOR PREVALENCE AMONG BRAZILIAN ADULTS BETWEEN 2006 AND 2021”, publicado na Revista Brasileira de Epidemiologia em 12/12/2022; o segundo, “IMPROVING THE MAPPING OF LEISURE-TIME PHYSICAL ACTIVITY INEQUITIES: THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO ADVANCE ESTIMATES OF SMALL-AREAS IN BRAZIL”, publicado na revista Public Health; e o terceiro, “ENVIRONMENTAL FEATURES AND TRAJECTORIES OF PHYSICAL ACTIVITY OVER 10 YEARS IN MID-AGE AUSTRALIAN ADULTS”, publicado na revista Journal of Physical Activity and Health.

Esperamos que seja uma tese de fácil leitura e que agregue conhecimento a cada um dos leitores e leitoras envolvidos com a temática da atividade física e saúde, da vigilância e monitoramento de fatores de risco e proteção para doenças crônicas, e dos fatores ambientais influentes neste comportamento tão importante para saúde das populações. No todo, pretendemos inovar nos métodos de análise e traçar discussões valiosas e contemporâneas sobre a vigilância da atividade física e suas desigualdades no território.

## 2 INTRODUÇÃO

Os modos de vida atual, influenciados pela globalização, pela transição demográfica e epidemiológica e pela COVID-19, acentuaram a morbimortalidade por Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNT), o crescimento das grandes cidades e as iniquidades em saúde (OMS, 2013; 2020). Com esse processo, face ao envelhecimento da população, cresce a cada dia o número de mortes por DCNT, ou seja, cânceres, diabetes, doenças cardiovasculares e respiratórias crônicas, assim como diminui a carga de doenças transmissíveis, maternas, neonatais e nutricionais (HAY; ABAJOBIR; ABATE; ABBAFATI *et al.*, 2017).

Em 2021, as DCNT foram responsáveis por 75% das causas de morte em todo mundo ou cerca de 43 milhões de mortes (WHO, 2025), alcançando a mesma marca de 75% no Brasil (WHO, 2022). Esse grupo de doenças é, ainda, responsável por um elevado número de mortes prematuras e evitáveis, sendo que, em 2018, cerca de 38% das mortes por DCNT acometeram adultos entre 30 e 69 anos (COUNTDOWN, 2018).

Os principais fatores de risco para as DCNT são o tabagismo, a alimentação inadequada, o uso abusivo de álcool e a inatividade física (WHO, 2014). Dentre esses, em 2008 a inatividade física foi responsável por cerca de 6% a 10% das DCNT mundialmente, índice que variou a depender do tipo de doença (LEE; SHIROMA; LOBELO; PUSKA *et al.*, 2012). Por sua vez, enquanto a atividade física (AF) segue sendo um fator comportamental capaz de reduzir grandemente o risco de morte por todas as causas (MOK; KHAW; LUBEN; WAREHAM; BRAGE, 2019), um total de 31% da população mundial continua insuficientemente ativa, dado que foi registrado em 2022 para o conjunto de 163 países e territórios (STRAIN; FLAXMAN; GUTHOLD; SEMENOVA *et al.*, 2024).

Os estudos de prevalência e tendência da prática de AF ao longo dos anos são fundamentais para o acompanhamento dos planos e metas em nível nacional e global (MALTA; LEAL; COSTA; MORAIS NETO, 2008). No Brasil, o Plano de Ações Estratégicas para o Enfrentamento das DCNT tem como objetivo o aumento da prática de atividade física no tempo livre (AFTL) em 30% até 2030 (BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021), enquanto o Plano Global objetiva reduzir a inatividade física em 15% no mesmo período (WHO, 2019).

Nesse tocante, o Vigitel, Sistema de Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para as DCNT é, atualmente, o principal inquérito brasileiro para monitoramento dos fatores de



risco e proteção nas capitais brasileiras (MALTA; SILVA; MOURA; MORAIS, 2017). Este inquérito contribui para o planejamento de políticas públicas, a elaboração de ações de prevenção e controle, o acompanhamento das metas dos planos vigentes e o alinhamento com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), sendo que o aumento dos níveis populacionais de AF tem influência direta no alcance da meta de redução por um terço das mortes prematuras até 2030 (BRASIL, 2022; MALTA; SILVA; MOURA; MORAIS, 2017).

A AFTL está associada à diversos fatores sociais, demográficos e ambientais (BAUMAN, ADRIAN E.; REIS, RODRIGO S.; SALLIS, JAMES F.; WELLS, JONATHAN C. *et al.*, 2012; GILES-CORTI; DONOVAN, 2002; TROST; OWEN; BAUMAN; SALLIS; BROWN, 2002). Por exemplo, homens, pessoas mais jovens e indivíduos com maior escolaridade e renda tendem a ser mais fisicamente ativos do que mulheres, idosos e pessoas com menor escolaridade e baixa renda (ARAÚJO; WERNECK; SILVA; JESUS, 2022). Tais diferenças dizem respeito, dentre outros, às iniquidades existentes no acesso à prática de AF, tornando alguns indivíduos mais ou menos propensos a se movimentarem e serem fisicamente ativos (BAUMAN, ADRIAN E.; REIS, RODRIGO S.; SALLIS, JAMES F.; WELLS, JONATHAN C. *et al.*, 2012). Adicionalmente, o ambiente é um fator determinante da prática, sobretudo nas grandes cidades, onde fatores tais como, segurança, conectividade e disponibilidade de serviços influenciam diretamente na probabilidade de os indivíduos se movimentarem, deslocarem-se ativamente e/ou engajarem-se nas práticas de lazer (HANSON; SCHILLER; WINTERS; SIMS-GOULD *et al.*, 2013; KÄRMENIEMI; LANKILA; IKÄHEIMO; KOIVUMAA-HONKANEN; KORPELAINEN, 2018; SALLIS; CERIN; CONWAY; ADAMS *et al.*, 2016).

Desse modo, para uma vigilância efetiva dos níveis de AF e dos determinantes dessa prática, face à heterogeneidade das grandes cidades, torna-se cada vez mais necessário o desenvolvimento de visões mais granulares do território (BARRETO; ICHIHARA; AQUINO; FONSENCA, 2025) e a aplicação de métodos inovadores que permitam distinguir a evolução desses indicadores nas diferentes áreas de uma mesma cidade, e o comportamento dos indivíduos mediante as diferentes características locais do ambiente. Portanto, essa tese consolida três estudos que visam: (1) descrever as prevalências e tendências de diversos indicadores de AF no Brasil e capitais, (2) estimar a prevalência de AFTL em pequenas áreas em uma capital brasileira e observar as desigualdades entre

regiões em dois períodos; e (3) analisar os determinantes ambientais das trajetórias de prática de AFTL entre adultos de 45 a 60 anos em uma cidade da Austrália, Brisbane, ao longo de um acompanhamento de 10 anos. O intuito geral dessas produções é contribuir para o avanço da vigilância da AF através da aplicação de métodos e perspectivas contemporâneas, com a observação dos níveis populacionais de AF, das desigualdades territoriais, e dos determinantes ambientais influentes nessa prática. Desenvolver abordagens diversas e observar as desigualdades territoriais nas estimativas de prevalência é fundamental para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes no contexto geral de envelhecimento populacional e crescimento das cidades.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Vigilância epidemiológica e atividade física**

##### **3.1.1 Vigilância epidemiológica das DCNT e os principais inquéritos**

A vigilância epidemiológica é uma das funções essenciais da saúde pública, pois permite identificar doenças, riscos e agravos nas populações, em um determinado local e tempo, sendo fundamental à tomada de decisão e à melhoria da qualidade de vida dos indivíduos (BIRKHEAD; KLOMPAS; SHAH, 2015). Tal função teve seu início em meados de 1800, nos Estados Unidos, no contexto da contenção de doenças infecciosas, tais como, a varíola, a cólera e a tuberculose (BARATA, 2022; BIRKHEAD; KLOMPAS; SHAH, 2015). Porém, foi apenas mais tarde que a vigilância das condições crônicas se desenvolveu, a partir do acompanhamento de dados clínicos de pacientes oncológicos nos Estados Unidos (BIRKHEAD; KLOMPAS; SHAH, 2015).

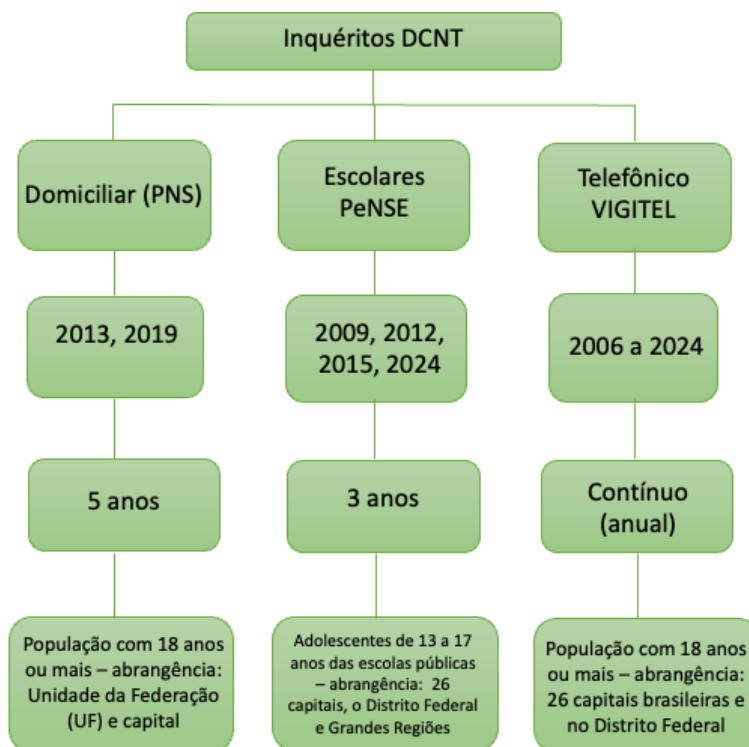
No Brasil, em 2003, foi instituída a Secretaria de Vigilância em Saúde, com a qual consolidou-se a vigilância epidemiológica das DCNT (MALTA; SILVA; MOURA; MORAIS, 2017). Com a instituição da Secretaria de Vigilância, diversos inquéritos nacionais passaram a ser criados para o monitoramento das DCNT e seus fatores de risco e proteção, com reporte de informação em diversos níveis geográficos e estratos populacionais (MALTA; SILVA; MOURA; MORAIS, 2017). Dentre os principais inquéritos constituídos destacam-se: a Pesquisa Nacional de Saúde (PNS), a cada 5 anos; o inquérito escolar de adolescentes ou Pesquisa Nacional de Saúde do Escolar (PeNSE) a cada 3 anos; e o Sistema de Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para doenças crônicas não-transmissíveis (Vigitel), com periodicidade anual (MALTA; SILVA; MOURA; MORAIS, 2017).

O Vigitel é conduzido desde 2006 nas capitais brasileiras e recolhe informações sobre as principais condições de saúde e fatores comportamentais de indivíduos com mais de 18 anos, sendo importante fonte de dados para o monitoramento das DCNT e seus determinantes na população adulta brasileira (MALTA; SILVA; MOURA; MORAIS, 2017). Os indicadores de AF que são acompanhados nesse inquérito incluem: AFTL, AF no deslocamento, prática insuficiente de AF considerando os domínios do lazer, transporte e

trabalho, inatividade física e tempo de tela (BRASIL, 2024).

Abaixo, a descrição dos principais inquéritos brasileiros para a vigilância dos fatores de risco e proteção para as DCNT.

**Figura 1.** Principais inquéritos para vigilância epidemiológica de DCNT e seus fatores de risco e proteção no Brasil.



Vale salientar que, dentre esses inquéritos, a PNS teve apenas duas edições, muito embora a previsão fosse ocorrer a cada cinco anos (BRASIL, 2020), sendo de extrema importância a manutenção da periodicidade na disponibilização dos dados para efetivação, sobretudo, da vigilância das desigualdades sociais. A vigilância das desigualdades é fundamental ao planejamento de intervenções que afetam o desenvolvimento humano, ou seja, as condições de vida e saúde das populações, com foco na redução das iniquidades em saúde (NETA; MEDEIROS; GONÇALVES, 2018).

### 3.1.2 As Políticas Públicas para atividade física no Brasil e no Mundo

As transições demográfica e epidemiológica fizeram com que a estrutura populacional e o padrão de morbimortalidade se modificassem, principalmente, em decorrência do envelhecimento da população, da redução da taxa de natalidade e da diminuição do número de mortes por doenças transmissíveis, maternas, neonatais e nutricionais (HAY; ABAJOBIR; ABATE; ABBAFATI *et al.*, 2017; OLIVEIRA, 2019). Por sua vez, a industrialização e a globalização influenciaram e modificaram os padrões alimentares, de vida e trabalho dos indivíduos, facilitando não somente o acesso aos alimentos ultraprocessados, mas também estimulando um modo de vida menos ativo e mais sedentário, o uso de telas e a menor frequência na prática de AF (WAXMAN, 2004).

Nesse contexto, no Brasil, em 2006, foi instituída a Política Nacional de Promoção da Saúde (PNPS) com o intuito de promover modos de vida mais saudáveis e mitigar os efeitos da inatividade física e da alimentação inadequada, assim como promover a cultura da paz, a capacitação de profissionais e a articulação intersetorial para promoção da saúde (BRASIL, 2014). Na sequência da promulgação da PNPS, foram desenvolvidos inúmeros programas e políticas para o enfrentamento das DCNT e seus fatores de risco, tais como o Programa Nacional para Controle do Tabaco (2006), a Política Nacional sobre o Álcool (2007) e o lançamento das Diretrizes para o Cuidado Integral das DCNT (2008) (SILVA, 2021). Ainda, em 2011, foi criado o Plano de Ações Estratégicas para o Enfrentamento das DCNT baseado em três eixos de atuação: vigilância, informação, avaliação e monitoramento; promoção da saúde; e cuidado integral (BRASIL, 2011a). Esse plano foi atualizado em 2021 e continua vigente até 2030 (BRASIL, 2021b).

A PNPS foi um marco importante para o estímulo de políticas e o desenvolvimento de programas de AF no Brasil (BRASIL, 2021b). De fato, a partir de 2006, o Ministério da Saúde instituiu inúmeros editais de financiamento que possibilitaram repasses de custeio aos municípios como forma de incentivo ao desenvolvimento de projetos e espaços para prática de AF, ação vinculada à uma grande rede nacional de promoção da saúde (BRASIL, 2014; MALTA; MIELKE; COSTA, 2020).

Em 2010, no nível da pesquisa, foi constituído o projeto GUIA (Guia Útil para Intervenções em Atividade Física na América Latina) com o objetivo de avaliar esses

diversos programas comunitários de AF no Brasil mediante a colaboração de pesquisadores dos Estados Unidos e América Latina (PRATT; BROWNSON; RAMOS; MALTA *et al.*, 2010). Em decorrência dessas pesquisas e políticas é que foi lançado o Programa Academia da Saúde (PAS) em 2011 (BRASIL, 2011b).

O PAS é um programa de AF de base comunitária financiado pelo Ministério da Saúde que permite aos municípios brasileiros oferecer aulas de AF para a população, com um alcance, atualmente, de cerca de 4.000 municípios (MALTA; BARBOSA DA SILVA, 2012). O programa, apesar de aberto ao público adulto em geral, age, sobretudo, nas iniquidades do acesso à prática de AF, pois contempla, principalmente, participantes com menor nível de escolaridade e renda, idosos, mulheres e indivíduos pretos e pardos, promovendo a equidade necessária na promoção da AF enquanto política pública (FARIA; BRENNER; DECKERT; FLORINDO; MIELKE, 2020). A avaliação do PAS demonstra que os indivíduos participantes do programa não somente desenvolvem hábitos de vida mais saudáveis, como também possuem uma melhor percepção de saúde, e que a implementação dos polos estimula a prática de AF da população no entorno, incluindo o maior uso de praças e parques nas proximidades dos polos (MALTA; MIELKE; COSTA, 2020).

Ainda assim, de 2015 a 2019, observamos no Brasil uma redução no financiamento das políticas sociais e de saúde devido ao modelo de governo adotado que, atrelado às políticas de contenção de gastos, influenciaram na redução das iniciativas de promoção da saúde e no aumento das iniquidades (SILVA; TEIXEIRA; PRATES; MALTA, 2021). Diante da perda de prioridade e da redução dos investimentos em promoção da saúde no cenário nacional, observamos um retrocesso nos indicadores de AF e a desaceleração no alcance das metas nacionais e globais.

A OMS recomenda a prática de 150 minutos de AF de intensidade moderada a vigorosa por semana para adultos de 18 a 64 anos (BULL; AL-ANSARI; BIDDLE; BORODULIN *et al.*, 2020). De extrema importância, portanto, foi o lançamento do Guia de Atividade Física para população brasileira em 2021 (BRASIL, 2021a). O Guia unifica as recomendações de prática de AF para diversos grupos, entendendo a sua efetividade e importância na prevenção de doenças em todos os ciclos de vida (BRASIL, 2021a).

Do ponto de vista global, em 2013, foi lançado o Plano de Ação Global para prevenção e controle das DCNT pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (OMS, 2013).

Posteriormente, a OMS desenvolveu o Plano de Ação Global para a Atividade Física 2018-2030 com quatro principais eixos norteadores: sociedades ativas, ambientes ativos, pessoas ativas e sistemas ativos (OMS, 2018). Esse documento vem alinhado com os ODS e fomenta governos locais ao desenvolvimento de ações e estratégias voltadas à promoção da AF no nível populacional e individual (OMS, 2018).

Por fim, em 2014, foi criado o Observatório Global de Atividade Física (GoPA), que monitora o conjunto de ações, pesquisas e políticas acerca do tema da AF em mais de 200 países (PRATT; VARELA; HALLAL, 2024). O GoPA também estimula governos locais à elaborarem e colocarem em prática políticas e intervenções que possibilitem a diminuição das desigualdades na prática de AF e aumentem seus níveis globais, alinhado com metas de redução da inatividade física e da carga global de doenças possivelmente influenciadas por esse tipo de comportamento (PRATT; VARELA; BAUMAN, 2023).

### **3.1.3 Epidemiologia e tendências na prática de atividade física**

A epidemiologia é o estudo da frequência, da distribuição e dos determinantes dos eventos em saúde (TERRIS, 1975). Um dos primeiros trabalhos em epidemiologia da AF é datado de 1953 quando, pela primeira vez, foi observada a associação entre doença coronariana e AF em motoristas de ônibus da Inglaterra (MCLAUGHLIN; MCCUE; SWELAM; MURPHY; EDNEY, 2025; MORRIS; HEADY; RAFFLE; ROBERTS; PARKS, 1953).

Os estudos em epidemiologia da AF emergiram diante da necessidade do estímulo ao envelhecimento saudável e à prática de AF como um fator protetor para diversos tipos de doenças (VARELA; PRATT; HARRIS; LECY *et al.*, 2018). Desde então, a AF vem ganhando destaque nos estudos de prevalência e nas pesquisas acerca da sua associação com inúmeras condições de saúde (DING; EKELUND, 2024; MACHADO; FLORINDO; KNUTH; VARELA *et al.*, 2025; PORTO; AZEVEDO; MOLINA; GUEDES *et al.*, 2023; VARELA; PRATT; HARRIS; LECY *et al.*, 2018).

Além dos benefícios comprovados da AF na prevenção de diversas doenças e agravos, tais como a hipertensão arterial (MIELKE; DING; KEATING; NUNES *et al.*,

2024), diabetes (GERAGE; BEZERRA; TOMICKI; CONEGLIAN *et al.*, 2024), obesidade (MIELKE; DING; KEATING; NUNES *et al.*, 2024), depressão (CUNHA; WERNECK; SANTOS; OLIVEIRA *et al.*, 2024) e doenças cardiovasculares (KAZEMI; SOLTANI; AUNE; HOSSEINI *et al.*, 2024), os estudos epidemiológicos em AF são importantes porque permitem verificar a prevalência e os correlatos da AF em diversos grupos populacionais e regiões (BAUMAN, ADRIAN E.; REIS, RODRIGO S.; SALLIS, JAMES F.; WELLS, JONATHAN C. *et al.*, 2012; SALLIS; CERIN; CONWAY; ADAMS *et al.*, 2016).

Em relação às prevalências e tendências observadas na população adulta brasileira, a PNS encontrou que 30,1% dos adultos brasileiros atingiram as recomendações de prática de AFTL em 2019 (BRASIL, 2020). De acordo com o Vigitel, a prática de AFTL aumentou de 30,3% em 2009 para 40,6% em 2023, ou seja, um aumento de 0,65 pontos percentuais ao ano (BRASIL, 2024). Nesse sentido, vale destacar que, quando os anos são analisados em séries temporais interrompidas, foi observada uma desaceleração do aumento da prática de AF no período de 2015 a 2019 em relação ao período anterior de 2006 a 2014, explicado pela implementação de políticas de austeridade no período que acabaram por interferir diretamente nos investimentos em saúde (SILVA; TEIXEIRA; PRATES; MALTA, 2021).

Em relação aos demais indicadores, desde 2006 até os anos atuais, vem sendo observado na população brasileira um aumento da prevalência do tempo de tela e uma diminuição da AF no deslocamento (MALTA; GOMES; PRATES; BERNAL, 2023; MIELKE; HALLAL; MALTA; LEE, 2014). A mesma tendência foi observada entre 2013 e 2019, segundo a PNS (WERNECK; BARBOZA; ARAÚJO; OYEYEMI *et al.*, 2021).

Em anos mais recentes, entre 2019 e 2021, observamos um decréscimo na prevalência de AF de maneira geral, possivelmente, devido aos efeitos da pandemia de COVID-19 no comportamento dos indivíduos (BRASIL, 2024; MALTA; GOMES; PRATES; BERNAL, 2023). De fato, o fenômeno da pandemia levou à uma crescente na prevalência da prática insuficiente de AF e inatividade física no Brasil, com efeitos que necessitam ser cada vez mais estudados (DOS SANTOS FERREIRA VIERO; MATIAS; ALEXANDRINO; VIEIRA *et al.*, 2024; MALTA; GOMES; PRATES; BERNAL, 2023).



### 3.1.4 Monitoramento da AF em diferentes países: o caso Brasil e Austrália

Aprimorar a vigilância da AF significa entender outros componentes ainda pouco explorados (STRAIN; MILTON; DALL; STANDAGE; MUTRIE, 2020). Sabe-se que é importante não somente garantir a comparabilidade das variáveis e questionários ao longo dos anos, como também, na medida do possível, agregar questões relacionadas à exercícios de força e equilíbrio, e incluir novas metodologias de coleta de dados, avançando para o uso de medidas objetivas por meio do uso dos acelerômetros ou de dispositivos com GPS, por exemplo (DING, 2018; STRAIN; MILTON; DALL; STANDAGE; MUTRIE, 2020; TROIANO; STAMATAKIS; BULL, 2020).

O Brasil é um dos países com maior número de pesquisas relacionadas à AF (MACHADO; FLORINDO; KNUTH; VARELA *et al.*, 2025; RAMIRES; BECKER; SADOVSKY; ZAGO *et al.*, 2014). No entanto, surge uma preocupação acerca da direção das novas pesquisas e seu efeito nas políticas públicas e nos níveis de AF populacional e individual (MACHADO; FLORINDO; KNUTH; VARELA *et al.*, 2025). Nesse quesito, um estudo recente apontou que é necessário não somente inovar nos métodos, mas também promover mais articulações intersetoriais a partir dos resultados encontrados, ou seja, gerando um arcabouço de ações mais efetivas com impacto no aumento dos níveis de AF (MCLAUGHLIN; MCCUE; SWELAM; MURPHY; EDNEY, 2025).

Na Austrália, mais de metade da população, ou cerca de 56,4%, pratica 150 minutos ou mais de AF de intensidade moderada à vigorosa por semana, segundo as recomendações da OMS (ABS, 2022; AUSTRALIAN INSTITUTE OF HEALTH WELFARE, 2024). Similar ao Brasil, a Austrália é um país que também possui um Guia de Atividade Física, destacando a importância desta prática ao longo de todos os ciclos de vida e algumas especificidades nas diferentes faixas etárias e grupos populacionais (AUSTRALIAN DEPARTMENT OF HEALTH, 2021; BAUMAN; CHAU, 2015). Ainda, a Austrália é um país onde a vigilância da AF vem sendo progressivamente estimulada, e onde estima-se pela instituição de uma vigilância nacional ao contrário do que, atualmente, vem acontecendo de forma isolada nos estados e territórios, com estimativas e métodos distintos de mensuração que podem comprometer a comparabilidade dos achados (BAUMAN; NAU; CASSIDY; GILBERT *et al.*, 2021; NAU; BELLEW; SMITH; BAUMAN, 2023).

Nesse contexto, em uma cidade da Austrália, Brisbane, com cerca de 2.7 milhões de habitantes, existe desde 2007 um acompanhamento longitudinal dos níveis de AF de adultos de 45 a 60 anos (BURTON; HAYNES; WILSON; GILES-CORTI *et al.*, 2009). O estudo HABITAT (How Areas in Brisbane Influence Health and Activity ou, em português, “Como as Áreas de Brisbane Influenciam a Saúde e a Atividade Física”) oportuniza a utilização de dados para a análise dos determinantes sociodemográficos, psicológicos e ambientais da AF em uma perspectiva de acompanhamento longitudinal dos indivíduos (BURTON; HAYNES; WILSON; GILES-CORTI *et al.*, 2009). Outros estudos também investigaram os determinantes longitudinais da AF, bem como os determinantes de diferentes trajetórias desse tipo de comportamento em indivíduos de diversos subgrupos populacionais ao longo da vida (ALLEN; VELLA, 2015; NEMOTO; BROWN; MIELKE, 2024).

Assim, enquanto o Vigitel contribui para estudos de vigilância que permitem o monitoramento da prevalência dos principais indicadores de AF e seus determinantes nas grandes capitais brasileiras (BRASIL, 2024; MALTA; SILVA; MOURA; MORAIS, 2017), o HABITAT é um estudo populacional, longitudinal, também conduzido em uma grande capital, que possibilita observar a prática de AF na perspectiva dos ciclos de vida, seus determinantes e as características ambientais importantes para o desenvolvimento de cidades mais propícias à prática de AF na fase de transição da fase adulta para velhice (BURTON; HAYNES; WILSON; GILES-CORTI *et al.*, 2009).

## **3.2 Vigilância e Inteligência artificial**

### **3.2.1 Definição, técnicas e conceitos**

O uso da inteligência artificial (IA) pode em muito beneficiar o monitoramento de indicadores de saúde e, por conseguinte da AF, pois permite gerar contextos, fazer comparações, projeções, auditorias automáticas e geração de dados e informações (KONG; ZHANG, 2020; OLAWADE; WADA; DAVID-OLAWADE; KUNONGA *et al.*, 2023). A IA é uma área da computação que trata de sistemas com capacidade de analisar o ambiente e tomar decisões de forma inteligente, similar a inteligência humana, a partir da reprodução de

diversas habilidades complexas, tais como a habilidade de aprender, interpretar e resolver problemas (RUBINGER; GAZENDAM; EKHTIARI; BHANDARI, 2023).

Uma área importante dentro do contexto da IA é o aprendizado de máquina ou *machine learning* (ML), a partir do qual, com uma série de algoritmos e técnicas, os computadores podem aprender sobre o comportamento dos dados e identificar diferentes padrões capazes de prever desfechos e estabelecer melhores diagnósticos (BADAWY; RAMADAN; HEFNY, 2023; DELPINO; COSTA; FARIAS; CHIAVEGATTO FILHO *et al.*, 2022; RUBINGER; GAZENDAM; EKHTIARI; BHANDARI, 2023).

O uso da IA e do aprendizado de máquina contribuem para a inovação na vigilância epidemiológica e a estimativa de desfechos de saúde em pequenas áreas (VILJANEN; MEIJERINK; ZWAKHALS; VAN DE KASSTEELE, 2022). O termo pequena área é definido por uma região menor para a qual são estimadas prevalências de desfechos que, originalmente, não podem ser reproduzidas devido às limitações dos dados dos grandes inquéritos, na maior parte das vezes delineados para estimativas em territórios de maior extensão (ZHANG; HOLT; YUN; LU *et al.*, 2015).

No Brasil, o cenário de desigualdades e a heterogeneidade dos territórios exigem o desenvolvimento da coleta e análise de informações com visões cada vez mais granulares, sobretudo para regiões periféricas e menos desenvolvidas, onde se estima que o número de respondentes tenda a ser menor (BARRETO; ICHIHARA; AQUINO; FONSENCA, 2025). Nesses locais, torna-se importante o desenvolvimento de técnicas de análise de dados para o aproveitamento dos inquéritos existentes com fins de estimação de prevalências em áreas menores (BARRETO; ICHIHARA; AQUINO; FONSENCA, 2025). De fato, quanto mais desagregado o nível de análise, menores são os grupos de dados e informações disponíveis para determinada região, sendo que o baixo número de dados leva a resultados menos precisos, ou seja, com elevados intervalos de confiança para as estimativas desejadas (BARRETO; ICHIHARA; AQUINO; FONSENCA, 2025).

As estimativas para pequenas áreas são calculadas por diversos métodos, incluindo métodos diretos e indiretos (BERNAL; DE CARVALHO; PELL; LEYLAND *et al.*, 2020; CHEN; LI; ZAMBARANO; KLOMPAS, 2022; HIDIROGLOU, 2007; HOGG; CAMERON; CRAMB; BAADE; MENGERSEN, 2023; WANG; HOLT; XU; ZHANG *et al.*, 2018; WHITWORTH; CARTER; BALLAS; MOON, 2017). Os métodos diretos dizem

respeito às estimativas calculadas a partir dos próprios dados da amostra, muitas das vezes com a aplicação de pesos amostrais destinados a ampliar a representatividade populacional; já os métodos indiretos baseiam-se na utilização de modelos de regressão que, a partir das características da amostra, estimam a proporção dos desfechos em questão na população estudada (WANG; HOLT; XU; ZHANG *et al.*, 2018; WHITWORTH; CARTER; BALLAS; MOON, 2017). As diferenças observadas nas estimativas realizadas pelos métodos direto e indireto exigem validação interna e externa, de modo a legitimar os achados em relação à prevalência na população real, visto que determinada metodologia pode ser mais ou menos adequada dependendo das características do banco de dados, do contexto amostral e da escala geográfica delimitada (BERNAL; DE CARVALHO; PELL; LEYLAND *et al.*, 2020).

As estimativas em pequenas áreas são fundamentais para o melhor detalhamento epidemiológico dos desfechos em saúde nos territórios locais (BARRETO; ICHIHARA; AQUINO; FONSENCA, 2025; HIDIROGLOU, 2007). Assim, relacionar dados dos inquéritos atuais com estimativas em áreas menores pode subsidiar o planejamento e o desenvolvimento de políticas públicas mais assertivas e coerentes com as realidades locais (BARRETO; ICHIHARA; AQUINO; FONSENCA, 2025).

### **3.2.2 Estimativas dos indicadores de saúde em pequenas áreas**

Em Belo Horizonte, as pesquisas sobre estimativa de prevalência em pequenas áreas foram realizadas utilizando-se, principalmente, do Índice de Vulnerabilidade da Saúde (IVS) (BERNAL; DE CARVALHO; PELL; LEYLAND *et al.*, 2020; CARDOSO; GOMES; MOREIRA; BERNAL *et al.*, 2021; GOMES; BERNAL; MOREIRA; TEIXEIRA *et al.*, 2021). O IVS é um indicador sintético que classifica os setores censitários em estratos de baixa (BA), média (MD), elevada (EL) ou muito elevada (ME) vulnerabilidade, e possibilita o direcionamento de políticas públicas segundo classificação de risco do território (PBH, 2013). Este indicador agrega variáveis sociais, econômicas e ambientais do Censo Demográfico, incluindo: a proporção de domicílios com condições inadequadas de esgoto, abastecimento de água e destinação de resíduos, a proporção de analfabetos, a razão de moradores por domicílio, o percentual de pessoas de raça/cor preta, parda e indígena, o

percentual de domicílios com renda de até meio salário mínimo e o rendimento médio dos responsáveis (PBH, 2013).

De acordo os estratos do IVS, foram observados, em Belo Horizonte, piores resultados de saúde nas áreas de maior vulnerabilidade socioeconômica (BERNAL; DE CARVALHO; PELL; LEYLAND *et al.*, 2020; CARDOSO; GOMES; MOREIRA; BERNAL *et al.*, 2021; GOMES; BERNAL; MOREIRA; TEIXEIRA *et al.*, 2021). Com base nos dados do Vigitel, a prevalência do consumo de frutas e hortaliças e a prática de AFTL foram tanto menores quanto maior a vulnerabilidade do território (CARDOSO; GOMES; MOREIRA; BERNAL *et al.*, 2021). De 2006 a 2013, a variação do consumo de frutas e hortaliças foi de 32,3% (IC 95%: 27,7% - 36,9%) até 58,5% (IC 95%: 56,8% - 60,2%), e a variação da prática de AFTL foi de 25,2% (IC 95%: 20,6% - 29,9%) até 40,8% (IC 95%: 38,9% - 42,8%) nas áreas de ME e BA, respectivamente (CARDOSO; GOMES; MOREIRA; BERNAL *et al.*, 2021).

O estudo de BERNAL; DE CARVALHO; PELL; LEYLAND *et al.* (2020) calculou a prevalência de fumantes em dois períodos distintos, de 2006 a 2009 e de 2010 a 2013, por meio dos métodos direto e indireto, utilizando também dados do Vigitel. De maneira geral, ao estratificar pelo IVS, observou-se que o método indireto estimou prevalências mais elevadas de tabagismo do que o método direto em quase todos os estratos, excetuando-se o de baixo risco. Do ponto de vista estatístico, essa diferença pode ter se dado devido ao menor número de entrevistas disponíveis nas regiões de maior vulnerabilidade. Adicionalmente, os resultados indicaram maiores prevalências de fumantes nas áreas de ME nos dois períodos, independente do método aplicado (BERNAL; DE CARVALHO; PELL; LEYLAND *et al.*, 2020). Contudo, reduções significativas entre períodos foram observadas apenas nas áreas de baixo risco. Por exemplo, nas áreas de ME, a prevalência de fumantes pelo método indireto foi de 21,1% (IC 95%: 17,1% - 25,1%) no primeiro período e de 20,8% (IC 95%: 16,8% - 24,6%) no segundo período, mantendo-se estável; enquanto pelo método direto houve um aumento de 13,7% (IC 95%: 9,4% - 18,0%) no primeiro período para 16,6% (IC 95%: 12,1% - 21,1%) no segundo período. Já nas áreas de BA, o método indireto revelou uma redução significativa da prevalência de 14,9% (IC 95%: 13,7% - 16,2%) para 11,9% (IC 95%: 10,7% - 13,1%); e o método direto uma redução de 15,0% (IC 95%: 13,5% - 16,5%) para 11,0% (IC 95%: 9,7% - 12,4%) entre os dois períodos.

GOMES; BERNAL; MOREIRA; TEIXEIRA *et al.* (2021) estudaram acerca da prevalência de hipertensão e diabetes entre os anos 2006 e 2013 também com a utilização dos dois métodos. Em relação à hipertensão, nas áreas de BA, a prevalência foi de 28,2% (IC 95%: 27,0% - 29,4%) pelo método indireto, e de 26,0% (IC 95%: 24,0% - 27,0%) pelo método direto. Nas áreas de ME, a prevalência de hipertensão foi de 38,6% (IC 95%: 34,8% - 42,4%) pelo método indireto e 29,0% (IC 95%: 25,0% - 33,0%) pelo método direto. Em relação à diabetes, nas áreas de BA, a prevalência foi de 6,0% (IC 95%: 5,4% - 6,7%) pelo método indireto e 5,9% (IC 95%: 5,2% - 6,6%) pelo método direto. Nas áreas de ME, a prevalência de diabetes foi de 16,2% (IC 95%: 13,1% - 19,3%) pelo método indireto, e de 7,6% (IC 95%: 5,3% - 10,0%) pelo método direto. Assim, observamos que as estimativas calculadas pelo método direto e indireto nas áreas de BA resultaram em valores mais próximos, independentemente do método. Por outro lado, os resultados nas áreas mais vulneráveis variaram consideravelmente, o que pode ser explicado pelo reduzido número de entrevistas disponíveis e a influência dessa realidade na aplicação de cada um dos métodos (GOMES; BERNAL; MOREIRA; TEIXEIRA *et al.*, 2021).

Por fim, outros estudos utilizaram as áreas de abrangência, ou territórios adscritos às Unidades Básicas de Saúde, como menor área (GOMES; VIEIRA; ROCHA; TEMPONI *et al.*, 2021; MALTA; ALMEIDA; DIAS; MERHY, 2001). MALTA; ALMEIDA; DIAS e MERHY (2001) observaram que entre 1994 e 1996 houve uma redução considerável no número de regiões que apresentaram um coeficiente de mortalidade infantil acima de 50 a cada 1.000 nascidos vivos. GOMES; VIEIRA; ROCHA; TEMPONI *et al.* (2021) observaram que a probabilidade de se realizar AFTL era maior em áreas consideradas “favoráveis” à prática de AF, descritas como regiões com maior densidade de locais para a prática de exercícios, maior densidade populacional, maior densidade residencial e maior renda. Nesses estudos, a limitação encontra-se exatamente na variabilidade ou heterogeneidade dos territórios adscritos, compostos por setores censitários de diferentes classificações segundo o IVS dentro da mesma área de abrangência.

Um estudo utilizando os estratos de um indicador sintético similar ao IVS para as demais capitais brasileiras - denominado Índice Brasileiro de Privação (IBP) - observou, igualmente, que a mortalidade a cada 100 mil habitantes foi tanto maior quanto maior a vulnerabilidade do território (MALTA; TEIXEIRA; CARDOSO; SOUZA *et al.*, 2023).

Neste estudo, entre os dois triênios analisados, de 2010 a 2012 e de 2017 a 2019, a redução nas taxas de mortalidade prematura por DCNT foi maior nos estratos de menor privação socioeconômica, ou seja, refletindo que a variação das taxas de mortalidade teve estreita relação com as características sociais, econômicas e demográficas de cada região (MALTA; TEIXEIRA; CARDOSO; SOUZA *et al.*, 2023).

### **3.3 Vigilância da atividade física no curso de vida**

#### **3.3.1 Trajetórias de atividade física**

Trajetórias descrevem o curso de desenvolvimento de um comportamento ao longo do tempo ou com o passar da idade (NAGIN; ODGERS, 2010). Sobretudo na psicologia, essa forma de avaliação do comportamento humano tem se mostrado interessante para descrição do curso normal e/ou do curso patológico de diversos eventos, incluindo o uso de álcool e drogas, ansiedade e depressão, aprendizado e linguagem, e transtornos alimentares (NAGIN; ODGERS, 2010). Logo, para a determinação dessas trajetórias, são necessárias múltiplas medidas de um mesmo sujeito em diferentes pontos no tempo (LOUNASSALO; SALIN; KANKAANPÄÄ; HIRVENSALO *et al.*, 2019).

Durante a vida, diferentes circunstâncias podem influenciar os indivíduos a serem mais ou menos ativos, incluindo diversos eventos e ritos de passagem (CORDER; OGILVIE; VAN SLUIJS, 2009; LOUNASSALO; SALIN; KANKAANPÄÄ; HIRVENSALO *et al.*, 2019). Esses fatores influentes no comportamento e prática de AF podem ser explicados pelo modelo ecológico dos determinantes da AF (BAUMAN, ADRIAN E.; REIS, RODRIGO S.; SALLIS, JAMES F.; WELLS, JONATHAN C. *et al.*, 2012; SALLIS; CERVERO; ASCHER; HENDERSON *et al.*, 2006), sendo que eventos tais como, entrar na Universidade, casar, ter filhos ou passar pela perda de um ente da família afetam diretamente a frequência e os modos de prática (CORDER; OGILVIE; VAN SLUIJS, 2009).

Essas trajetórias de comportamento podem classificar os indivíduos, por exemplo, como persistentemente ativos, persistentemente pouco ativos, cada vez mais ativos ou decrescentemente ativos ao longo do tempo (ROVIO; YANG; KANKAANPÄÄ; AALTO

*et al.*, 2018). Importantes autores observaram, em uma revisão sistemática, que os indivíduos tendem a ser tornar mais fisicamente inativos com o avançar da idade, enquanto, por outro lado, jovens fisicamente ativos também tendem a ser tornar adultos mais ativos devido à experiência que tiveram com a AF quando mais jovens (LOUNASSALO; SALIN; KANKAANPÄÄ; HIRVENSALO *et al.*, 2019).

Entender como trajetórias de baixo, alto, crescente ou decrescente nível de AF podem estar relacionadas com seus precursores e/ou fatores influentes permite promover um estilo de vida mais fisicamente ativo para os indivíduos no curso de vida e reduzir barreiras à sua iniciação (ALLEN; VELLA, 2015; LOUNASSALO; SALIN; KANKAANPÄÄ; HIRVENSALO *et al.*, 2019). YU; DUNCOMBE; NEMOTO; ARAUJO *et al.* (2025) observaram que indivíduos consistentemente ativos ou que aumentaram os níveis de AF ao longo da vida tiveram de 30% a 40% menos chance de morte por algum evento cardiovascular, destacando os efeitos positivos do acúmulo de AF nos desfechos de saúde.

### **3.3.2 Os determinantes das trajetórias de atividade física**

No campo dos determinantes da AF, a prática de AF estaria condicionada à fatores individuais, sociais e ambientais (BAUMAN, ADRIAN E.; REIS, RODRIGO S.; SALLIS, JAMES F.; WELLS, JONATHAN C. *et al.*, 2012; SALLIS; CERVERO; ASCHER; HENDERSON *et al.*, 2006). Os fatores individuais são, por exemplo, sexo, idade e escolaridade; os fatores sociais são àqueles relacionados às influências do círculo social e familiar do indivíduo; e os fatores ambientais são àqueles relacionados ao entorno e à percepção do sujeito sobre o entorno (BAUMAN, ADRIAN E.; REIS, RODRIGO S.; SALLIS, JAMES F.; WELLS, JONATHAN C. *et al.*, 2012; SALLIS; CERVERO; ASCHER; HENDERSON *et al.*, 2006).

Pesquisas sobre os determinantes da AF mostraram que pessoas do sexo masculino, idade mais jovem e maior nível de escolaridade e renda apresentam maior probabilidade de atingir os níveis recomendados de AF quando comparados com mulheres, idosos e indivíduos com menor escolaridade e menor nível socioeconômico (BAUMAN, ADRIAN E.; REIS, RODRIGO S.; SALLIS, JAMES F.; WELLS, JONATHAN C *et al.*, 2012; GOMES; VIEIRA;



ROCHA; TEMPONI *et al.*, 2021; MIELKE; HALLAL; MALTA; LEE, 2014).

Em relação às trajetórias de AF, determinantes similares podem ser observados. Ser mais velho, ter problemas de saúde e fumar tiveram associação positiva com trajetórias decrescentes de AF (AGGIO; PAPACHRISTOU; PAPACOSTA; LENNON *et al.*, 2018), enquanto um melhor sono, menor tempo de tela, melhores padrões alimentares e menor frequência de tabagismo estiveram positivamente associados com trajetórias crescentes de AF (LOUNASSALO; HIRVENSALO; PALOMÄKI; SALIN *et al.*, 2021).

No entanto, pouco ainda é estudado em relação às trajetórias de AF dos indivíduos e o ambiente, sobretudo o ambiente construído. Um estudo que investigou a associação entre a presença de instalações recreativas e mudanças nos níveis de AF observou uma associação no sentido de que quanto maior a densidade de instalações, menor foi o declínio da prática de AF entre adultos ao longo do tempo (RANCHOD; DIEZ ROUX; EVENSON; SÁNCHEZ; MOORE, 2014). Ademais, é possível afirmar que as características ambientais podem exercer influência distinta no comportamento dos indivíduos a depender do contexto em que se inserem, destacando diferenças tais como aquelas observadas entre países de baixa, média e alta renda (CLELAND; REIS; HINO; HUNTER *et al.*, 2019; SALVO; REIS; SARMIENTO; PRATT, 2014), bem como entre regiões tropicais e aquelas de clima temperado (NIGG; ALOTHMAN; ALGHANNAM; SCHIPPERIJN *et al.*, 2024). Nesse sentido, a variabilidade global dos contextos de AF e ambiente leva à necessidade de estudos em múltiplos níveis para elucidar tais relações.

Sabe-se que atributos do ambiente, tais como segurança, presença de instalações recreativas, nível de mobilidade urbana e estética do entorno estão associados, em geral, com maiores níveis de AF (CARLIN; PERCHOUX; PUGGINA; ALEKSOVSKA *et al.*, 2017; NIGG; ALOTHMAN; ALGHANNAM; SCHIPPERIJN *et al.*, 2024). Sobretudo para AF no deslocamento, seja por meio de caminhada ou bicicleta, vários estudos já comprovaram que a conectividade de ruas, densidade residencial e o uso diverso do solo são capazes de influenciar positivamente no comportamento dos indivíduos (BENTLEY; BLAKELY; KAVANAGH; AITKEN *et al.*, 2018; HEESCH; GILES-CORTI; TURRELL, 2015; KNUIMAN; CHRISTIAN; DIVITINI; FOSTER *et al.*, 2014).

Nesse contexto, SALLIS; CERIN; CONWAY; ADAMS *et al.* (2016) em um estudo que incluiu 14 cidades de 10 países ao redor do mundo (Bélgica, Brasil, Colômbia, República

Tcheca, Dinamarca, China, México, Nova Zelândia, Inglaterra e Estados Unidos) afirmaram que um conjunto de variáveis tende a ser mais importante do que um fator ambiental individual para o estímulo a prática de AF nas populações, mas que densidade residencial, densidade de transporte público e densidade de parques tiveram associações independentes significativas para a prática de AF. No mesmo sentido, HOOPER; FOSTER; EDWARDS; TURRELL *et al.* (2020) observaram 50% maior probabilidade de se atingir as recomendações de 150 minutos de AF por semana entre usuários de parques do que entre indivíduos que não frequentavam esses ambientes.

Muito embora o ambiente possa ser considerado um fator de influência distal em alguns contextos em relação às características sociodemográficas e sociais, conforme foi estabelecido no estudo de GILES-CORTI e DONOVAN (2002), eles não deixam de ser relevantes. Esses autores concluíram que, após ajuste, atingir os níveis recomendados de AF recreativa foi mais provável entre aqueles com altos níveis de intencionalidade, apoio social e com hábito da prática, afirmando que um ambiente favorável pode ser insuficiente se não atrelado à estratégias que visem influenciar também fatores individuais e sociais (GILES-CORTI; DONOVAN, 2002). Desse modo, compreender os fatores que levam os indivíduos a serem fisicamente ativos ao longo da vida, enquanto outros permanecem inativos, é uma questão central para a elaboração de intervenções eficazes.

#### 4 JUSTIFICATIVA

Esse estudo parte da premissa da importância da AF enquanto fator de proteção para o grupo de doenças de maior morbimortalidade no mundo – o de DCNT – para avaliar o uso de métodos diversos que avançam com a temática da vigilância da AF.

No Brasil, embora os dados dos sistemas de vigilância e pesquisas nacionais forneçam informações valiosas para o acompanhamento das DCNT e seus fatores de risco e proteção, ainda há uma lacuna na vigilância desses indicadores em nível local. A maioria das estimativas vêm sendo apresentadas no nível de grandes cidades e regiões (MIELKE; HALLAL; MALTA; LEE, 2014; WERNECK; BARBOZA; ARAÚJO; OYEYEMI *et al.*, 2021), com poucos estudos que estimaram a prevalência de fatores comportamentais em menores recortes geográficos (BERNAL; DE CARVALHO; PELL; LEYLAND *et al.*, 2020; CARDOSO; GOMES; MOREIRA; BERNAL *et al.*, 2021; GOMES; BERNAL; MOREIRA; TEIXEIRA *et al.*, 2021).

Em termos de vigilância, para mensurar desigualdades ambientais dentro de uma cidade, faz-se necessário não somente prever quantas pessoas praticam AF, sua prevalência e tendência, mas também mapear o cenário onde essa prática ocorre por meio da caracterização do território e visões mais granulares (BARRETO; ICHIHARA; AQUINO; FONSENCA, 2025). Da mesma forma, os fatores que condicionam os indivíduos a permanecerem ativos carecem de maior explicitação pela vigilância no nível do território local, de modo que, enquanto função pública, a vigilância também passe a exercer um papel social na redução das iniquidades (NETA; MEDEIROS; GONÇALVES, 2018).

Na Austrália, a disponibilidade do registro longitudinal de características ambientais concomitante às informações de AF dos indivíduos supre uma lacuna acerca do que é necessário, em termos de vigilância, para mensurar desigualdades espaciais ao longo do tempo. Portanto, inicia-se com cenários nacionais e estimativas agregadas, afinando a análise de prevalências para um único indicador no nível local desagregado, buscando-se por fim, entender quais características ambientais no nível local de moradia dos sujeitos podem promover o aumento ou a manutenção dos níveis de prática desses indivíduos.

Nossa hipótese é de que estimativas mais granulares revelam fenômenos antes encobertos pelas estimativas agregadas, assim como inúmeras desigualdades espaciais

podem ser identificadas e são dependentes da vulnerabilidade sócio demográfica e sanitária local. Por fim, que o comportamento dos indivíduos ao longo dos anos de observação pode ser condicionado pelos construtos ambientais do entorno em que vivem, sendo fundamental, portanto, descrever trajetórias e caracterizar esses grupos segundo o que os diferencia para, então, entender e fundamentar o que promove modos de vida mais saudáveis.

O desenvolvimento de uma vigilância mais crítica é fundamental para o enfrentamento dos desafios contemporâneos postos pelas transições demográfica e epidemiológica, pela urbanização, e pelo crescimento do sedentarismo. Portanto, comparar estas realidades agregará novos aprendizados. Compreender as diferenças e desigualdades acerca da prática de AF em diferentes contextos e a partir de diferentes tipos de estudos permite reduzir custos e realizar uma discussão contemporânea acerca do que é necessário para o desenvolvimento de políticas públicas.

Assim o estudo parte das seguintes perguntas: Existem diferenças quanto às tendências dos indicadores de AF nas capitais brasileiras? A pandemia alterou o desempenho destes indicadores? Houve mudanças ao longo do tempo? (artigo 1); Em Belo Horizonte, existem diferenças espaciais na distribuição destes indicadores? Existem desigualdades intraurbanas? Como técnicas de inteligência artificial podem apoiar neste monitoramento? (artigo 2); Como os fatores ambientais podem alterar a prática de AF? Existem iniquidades nesta distribuição sócio espacial? Quais os aprendizados de outros contextos podem ser incorporados neste monitoramento? (artigo 3).

## **5 OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo geral**

Analisar os desafios contemporâneos da vigilância da atividade física através do uso de métodos diversos, como as análises de tendência, a inteligência artificial para estimativas em pequenas áreas e o uso de análises longitudinais.

### **5.2 Objetivos específicos**

1. Descrever a prevalência dos indicadores de atividade física de 2006 a 2021 nas capitais brasileiras, incluindo o período pós-pandemia, e investigar se essas tendências foram diferentes em subgrupos populacionais considerando idade, sexo, escolaridade e região;
2. Estimar a prevalência de atividade física no tempo livre em pequenas áreas em Belo Horizonte considerando duas series temporais de 2009 a 2013 e de 2014 a 2018, e investigar iniquidades na distribuição dessa prevalência segundo Índice de Vulnerabilidade da Saúde;
3. Analisar os fatores ambientais associados às diferentes trajetórias de atividade física no tempo livre entre adultos de 45 a 60 anos de uma grande cidade da Austrália, Brisbane, ao longo de um acompanhamento de 10 anos.

## 6 MÉTODOS

### 6.1 Artigo 1

TIME TRENDS AND COVID-19 POST-PANDEMIC CHANGES IN PHYSICAL ACTIVITY AND SEDENTARY BEHAVIOR PREVALENCE AMONG BRAZILIAN ADULTS BETWEEN 2006 AND 2021

#### Desenho do estudo

Este estudo foi um ecológico de séries temporais, fundamentado na análise de dados secundários sobre a prevalência de indicadores de AF. Os dados foram provenientes dos inquéritos anuais do Sistema de Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico (Vigitel), cobrindo o período de 2006 a 2021.

O Vigitel representa uma das principais estratégias de monitoramento da saúde no Brasil. Sua população alvo são adultos com 18 anos ou mais, residentes nas capitais dos 26 estados brasileiros e do Distrito Federal, alcançados por meio de uma amostragem probabilística de domicílios com pelo menos uma linha telefônica fixa. O Vigitel entrevista, em média, 54.000 pessoas anualmente, embora nos anos de 2020 e 2021, em virtude de ajustes metodológicos durante a pandemia, a amostra tenha sido dimensionada para aproximadamente 27.000 indivíduos por ano (BRASIL, 2022).

#### Variáveis

Para a análise de tendências, foram utilizados quatro indicadores principais, derivados do questionário Vigitel, que representam os desfechos deste estudo.

##### 1. Atividade Física Suficiente no Tempo de Lazer (AFTL)

Este indicador identifica a proporção de adultos que atingem as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) para a prática de atividade física (BULL; AL-ANSARI; BIDDLE; BORODULIN *et al.*, 2020), definidas pelo acúmulo de, no mínimo, 150 minutos de intensidade moderada ou 75 minutos de intensidade vigorosa por semana.

Para a construção desta variável, foram considerados ativos os indivíduos que relatavam, por exemplo, a prática de 30 minutos de AF de intensidade moderada em cinco ou mais dias da semana, ou 25 minutos de intensidade vigorosa em três ou mais dias. A mensuração do construto baseou-se em um módulo de questões do Vigitel sobre a prática de exercícios ou esportes nos últimos três meses, incluindo as seguintes questões:

- “Nos últimos três meses, você praticou algum tipo de exercício físico ou esporte?”
- “Qual o principal tipo de exercício físico ou esporte que você praticou?”
- “Você se exercita pelo menos uma vez por semana?”
- “Quantos dias por semana você costuma praticar exercícios?”
- “No dia em que você se exercita, quanto tempo dura essa atividade?”

## 2. Atividade Física Suficiente no Deslocamento

Este indicador mensura o cumprimento das recomendações de AF exclusivamente por meio do deslocamento ativo, ou seja, caminhando ou pedalando para o trabalho ou escola. Foram classificados como suficientemente ativos os indivíduos que acumulavam um mínimo de 150 minutos semanais dessa prática, o que equivale, por exemplo, a 30 minutos diários em cinco dias da semana em trajetos de ida e volta. As informações foram obtidas por meio de perguntas que abordavam o uso de caminhada ou bicicleta como meio de transporte para locais de trabalho ou estudo, sendo elas:

- “Você caminha ou anda de bicicleta para ir ou voltar do trabalho?”
- “Quanto tempo você gasta para ir e voltar neste trajeto (a pé ou de bicicleta)?”
- “Atualmente você frequenta algum curso/escola ou leva alguém para algum curso/escola?”
- “Quando você vai ou volta deste curso ou escola, você caminha ou anda de bicicleta?”

## 3. Prática insuficiente de Atividade Física (Domínio Combinado)

Este indicador representa a contraparte dos anteriores, identificando a proporção de indivíduos que não alcançam o limiar de 150 minutos semanais de AF de intensidade moderada, considerando a somatória dos domínios do lazer, deslocamento e ocupacional. A sua construção utilizou as informações dos indicadores de AFTL e deslocamento,

complementadas por um módulo sobre atividades físicas no trabalho, conforme abaixo:

- “No seu trabalho você carrega peso ou faz outras atividades pesadas?”
- “Em uma semana normal, quantos dias você faz essas atividades no trabalho?”
- “Quando você realiza essas atividades, quanto tempo costuma durar?”

Em conformidade com as diretrizes metodológicas do VIGITEL e as recomendações internacionais vigentes no período (BRASIL, 2022), para a construção dos três indicadores de atividade física (AFTL, deslocamento e inatividade), foram computadas apenas as sessões de prática com duração contínua igual ou superior a dez minutos.

#### 4. Comportamento Sedentário: Tempo de Tela Elevado

Como um proxy para o comportamento sedentário, foi construído o indicador de tempo de tela elevado. Ele representa o percentual de indivíduos que relataram um tempo cumulativo de três ou mais horas diárias dedicadas a atividades de tela (assistir à televisão e usar computador, tablet ou celular) durante o tempo livre, excluindo, portanto, o uso para fins de trabalho.

- “Em média, quantas horas por dia costuma ver televisão?”
- “Em média, quantas horas do seu tempo livre (excluindo trabalho) o uso de computador, tablet ou celular ocupa por dia?”

Para a análise estratificada das tendências, foram utilizadas as seguintes variáveis sociodemográficas, conforme coletadas pelo Vigitel:

- Sexo: masculino; feminino;
- Faixa Etária: 18–24; 25–34; 35–44; 45–54; 55–64; e 65 anos ou mais;
- Escolaridade: 0 a 8 anos de estudo; 9 a 11 anos de estudo; e 12 ou mais anos de estudo;
- Macrorregião: Norte; Nordeste; Centro-Oeste; Sudeste; e Sul.



## **Análise de dados**

A análise dos dados foi conduzida com o objetivo de estimar as prevalências anuais e identificar as tendências temporais para os quatro indicadores de desfecho. Para a modelagem das séries temporais, foi empregada a regressão de Prais-Winsten. Os resultados foram estratificados segundo sexo, faixa etária, escolaridade e macrorregião brasileira.

O período de análise compreendeu os anos de 2006 a 2021. Contudo, em virtude de alterações e da inclusão de novas questões no instrumento de coleta do Vigitel ao longo do tempo, os períodos de análise variaram entre os indicadores. A atividade física no lazer (AFTL) foi reportada entre 2009 e 2021; a prática insuficiente de atividade física, de 2014 a 2021; e o tempo total de tela, de 2016 a 2021. O início do período pandêmico e pós-pandêmico foi definido a partir do ano de 2020.

Nos modelos de regressão, os indicadores de AF e comportamento sedentário foram definidos como as variáveis de desfecho, enquanto o ano do inquérito foi a variável explicativa. Um sinal negativo da inclinação ( $\beta$ ) da reta ajustada pelo modelo indica que a relação entre o indicador e o tempo está diminuindo, enquanto um valor de inclinação positivo representa o aumento médio anual. Foi considerada a existência de tendência linear significativa quando o coeficiente angular do modelo se mostrou diferente de zero para  $p \leq 0,05$ . O ajuste dos modelos foi avaliado através do seu valor  $R^2$ . Adicionalmente, foram calculadas as variações anuais absolutas para ilustrar as mudanças na prevalência entre os anos consecutivos.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software Stata, versão 15.1. O comando *survey* foi utilizado nas análises para considerar os pesos de pós-estratificação da amostragem, garantindo, assim, a representatividade da amostra.

## **Aspectos Éticos**

O presente estudo utilizou dados secundários de domínio público. O projeto do VIGITEL foi submetido e aprovado pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CONEP) do Ministério da Saúde, sob o Parecer nº 2.100.213 (CAAE: 65610017.1.0000.0008).

## 6.2 Artigo 2

### IMPROVING THE MAPPING OF LEISURE-TIME PHYSICAL ACTIVITY INEQUITIES: THE USE OF ARTIFICIAL INTELIGENCE TO ADVANCE ESTIMATES OF SMALL-AREAS IN BRAZIL

#### Desenho do estudo

Esse estudo se baseou em dados transversais do sistema de Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico (Vigitel) no período de 2009 a 2018. O inquérito envolve a aplicação de um questionário sobre características sociodemográficas e comportamentais associadas a fatores de risco e proteção para Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNT), onde são entrevistadas cerca de 2.000 pessoas em cada uma das 26 capitais e do Distrito Federal a cada ano.

O processo de amostragem é dividido em duas fases. Na primeira, 5.000 linhas telefônicas são sorteadas de forma aleatória a partir dos cadastros das principais companhias telefônicas. Essas linhas são posteriormente divididas em subamostras de 200 linhas cada. Na segunda fase, um adulto com 18 anos ou mais é selecionado aleatoriamente em cada domicílio contatado para responder à pesquisa (BRASIL, 2024).

Para a análise em questão, foram utilizados exclusivamente os dados de Belo Horizonte, um município com uma população de 2.315.560 habitantes (IBGE, 2022). A fim de garantir a representatividade, foram aplicados pesos de pós-estratificação na amostra, considerando as variáveis idade, sexo e escolaridade (BERNAL; ISER; MALTA; CLARO, 2017). Ao todo, foram compiladas 19.041 entrevistas do Vigitel entre 2009 e 2018 para Belo Horizonte, divididas em dois períodos (2009-2013 e 2014-2018) para análise, a fim de assegurar um número razoável de entrevistas por amostra.

Cada entrevista foi georreferenciada e associada a um setor censitário específico da cidade. Esse procedimento de georreferenciamento foi realizado por meio da vinculação dos endereços das linhas de telefone fixo dos participantes ao Cadastro Nacional de Endereços (CNEFE) de 2010, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Do total de entrevistas, 16.019 foram georreferenciadas com sucesso, sendo que as 3.022 perdas ocorreram por motivo de incompletude dos endereços para o *linkage*.

## Variáveis

A variável de Atividade Física no Tempo Livre (AFTL) foi dicotomizada (ativo=1, inativo=0) com base no cumprimento da recomendação de 150 minutos de atividade moderada ou 75 minutos de atividade vigorosa por semana (BULL; AL-ANSARI; BIDDLE; BORODULIN *et al.*, 2020) O cálculo dos minutos totais foi derivado de questões do Vigitel sobre tipo, frequência e duração dos exercícios praticados nos últimos três meses.

O indicador foi construído multiplicando-se a frequência pela duração, com um fator de ponderação de 1 para atividades de intensidade moderada e 2 para atividades de intensidade vigorosa, refletindo seus respectivos (HALLAL; ANDERSEN; BULL; GUTHOLD *et al.*, 2012; HASKELL; LEE; PATE; POWELL *et al.*, 2007). De acordo com o Vigitel, atividades moderadas incluem caminhada, treinamento de resistência, hidroginástica, ginástica em geral (alongamento, pilates, ioga), natação, artes marciais, ciclismo, vôlei, futevôlei ou dança (balé, dança de salão, dança do ventre); e atividades vigorosas incluem corrida, ginástica aeróbica (spinning, step, jump), futebol, basquete ou tênis.

As unidades de análise espacial foram os 3.936 setores censitários de Belo Horizonte segundo o Censo de 2010 (PBH, 2013), que foram agregados em grupos de maior homogeneidade de acordo o Índice de Vulnerabilidade da Saúde (IVS). O IVS é um indicador sintético que classifica cada um dos setores censitários conforme um conjunto de variáveis socioeconômicas e de saneamento (PBH, 2013). Esse indicador foi construído pela Secretaria Municipal de Saúde de Belo Horizonte de modo a contribuir para distribuição de recursos e para a avaliação de políticas públicas no município.

Cada variável foi ponderada por meio de um processo participativo que envolveu especialistas de outras secretarias, pesquisadores e técnicos (PBH, 2013). O escore resultante permitiu classificar os setores censitários em quatro estratos de risco (baixo, médio, alto e muito alto). A classificação do IVS para cada setor é de domínio público, e mais informações acerca da construção do IVS podem ser encontradas na literatura (PBH, 2013).

## Análise de dados

A análise de dados foi estruturada para refinar a classificação do IVS existente. O ponto de partida foi a constatação de que os estratos do IVS, embora cruciais para a gestão pública, apresentavam alta heterogeneidade interna. Para obter agrupamentos mais homogêneos, foi aplicada uma metodologia de clusterização.

A técnica de K-means, uma técnica de aprendizado de máquina não supervisionada, foi utilizada para desagregar cada um dos quatro estratos do IVS em grupos (clusters) mais homogêneos. O K-means é um algoritmo de agrupamento simples que se mostrou eficaz em diversos domínios (IKOTUN; EZUGWU; ABUALIGAH; ABUHAIJA; HEMING, 2023).

Em nossa análise, utilizamos o algoritmo de agrupamento K-means com a distância euclidiana (menor distância entre dois pontos em linha reta) como métrica para a formação dos clusters com base em sua simplicidade e eficácia observada no agrupamento de setores censitários. O uso da distância euclidiana ajudou a reduzir a variância dentro dos clusters, criando grupos mais homogêneos. Essa heterogeneidade foi avaliada por meio do coeficiente de variação (CV) de cada categoria.

As limitações desse método incluem a sensibilidade à seleção inicial do centróide e a presença de outliers. No entanto, esse método foi eficiente para a situação em questão, pois o conjunto de dados apresentava formato aproximadamente esférico, com comportamento similar, sendo que outras técnicas baseadas em densidade seriam mais apropriadas para clusters com formatos arbitrários e densidades variáveis (DENG, 2020).

O número ideal de clusters por estrato foi determinado empregando a análise de Silhueta, que permite estudar a distância de separação entre os clusters resultantes (ROUSSEEUW, 1987). Essa análise resultou na criação de nove grupos ou clusters: dois derivados do estrato de baixo risco (ou seja: LO-0, LO-1), dois derivados do estrato de médio risco (ou seja: MD-0, MD-1), três derivados do estrato de alto risco (ou seja: HI-0, HI-1, HI-2) e dois derivados do estrato de muito elevado risco (ou seja: VH-0, VH-1).

Com base nesta nova classificação, a prevalência de AFTL e os IC 95% foram calculados para cada cluster e período (2009-2013 e 2014-2018) via estimação direta, utilizando-se os pesos de pós-estratificação da amostra, por meio do comando `svy` do Stata 15.1 (BERNAL; ISER; MALTA; CLARO, 2017). O método *rake* de pós-estratificação da

amostra leva em consideração a estrutura da população e ajusta a amostra em relação às características de sexo, idade e escolaridade.

O teste t de Student com nível de significância de 5% foi utilizado para avaliar as diferenças na AFTL entre os clusters. A iniquidade foi analisada por meio do cálculo de diferenças absolutas e relativas entre os grupos, considerando para os cálculos a maior e a menor prevalência de cada estrato do IVS.

### **Aspectos Éticos**

O Vigitel foi aprovado pelo Conselho Nacional de Saúde (nº 3.258.076). Este estudo foi aprovado pelo comitê de ética da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) sob o parecer nº 6.538.883.

### 6.3 Artigo 3

#### ENVIRONMENTAL FEATURES AND TRAJECTORIES OF PHYSICAL ACTIVITY OVER 10 YEARS IN MID-AGE AUSTRALIAN ADULTS

##### Desenho do estudo

Este estudo utilizou dados longitudinais do projeto HABITAT (How Areas in Brisbane Influence Health and Activity), uma coorte iniciada em 2007 para investigar os determinantes sociodemográficos, psicológicos e ambientais da AF em adultos de meia-idade e idosos (40-65 anos) de Brisbane, Austrália (BURTON; HAYNES; WILSON; GILES-CORTI *et al.*, 2009).

A amostragem foi conduzida em múltiplos estágios. Inicialmente, 200 Distritos de coleta do censo (DCC) baseados no censo de 2001 foram selecionados aleatoriamente. Cada um desses distritos ou área foi denominado de Bairro HABITAT. Posteriormente, os indivíduos foram amostrados dentro de cada DCC a partir do cadastro eleitoral, resultando em uma amostra inicial de 11.035 respondentes, com distribuição sociodemográfica semelhante à população de Brisbane para faixa etária de 40 a 65 anos (TURRELL; HAYNES; BURTON; GILES-CORTI *et al.*, 2010). Os participantes foram acompanhados em cinco ondas do inquérito nos anos de 2007, 2009, 2011, 2013 e 2016 (TURRELL; NATHAN; BURTON; BROWN *et al.*, 2021).

Este trabalho utilizou de uma subamostra da coorte principal para analisar as trajetórias da AF. Os critérios de inclusão dos indivíduos foram a participação em todas as cinco ondas do inquérito e a permanência no mesmo endereço residencial durante todo o período de acompanhamento. Do total de 11.035 participantes iniciais, foram excluídos aqueles com idade incorreta (n=16), aqueles que não participaram de todas as ondas de coleta de dados (n=1.543) e aqueles que mudaram de residência (n=6.433). A permanência no mesmo endereço residencial foi um critério para mitigar a possibilidade de que mudanças no comportamento fossem atribuíveis a uma mudança no ambiente. A amostra final, portanto, compreendeu 3.043 respondentes.

## Variáveis

Para o estudo foram consideradas as seguintes variáveis: AFTL (variável de desfecho), características da vizinhança (variáveis preditoras) e algumas covariáveis, que serão todas descritas a seguir.

A AF foi avaliada segundo uma versão modificada do *Active Australia Survey* (AUSTRALIAN INSTITUTE OF HEALTH WELFARE, 2003), um questionário para coleta de dados sobre o nível de AF de indivíduos na Austrália. O *Active Australia Survey* quantifica o tempo semanal total gasto em caminhada, atividades físicas de intensidade moderada e atividades físicas de intensidade vigorosa. O tempo semanal total gasto em atividades físicas de intensidade moderada foi multiplicado por um valor de 3,33 METs; e o tempo semanal total gasto em atividades físicas de intensidade vigorosa foi multiplicado por um valor de 3,33 6,66 METs. Após esse cálculo, os valores foram somados e os participantes foram classificados de forma dicotômica (suficientemente ativo/ insuficientemente ativo) com base no cumprimento da recomendação de  $\geq 500$  MET.minutos/semana de acordo com a OMS (BULL; AL-ANSARI; BIDDLE; BORODULIN *et al.*, 2020).

A construção do indicador foi baseada nas seguintes perguntas:

- “Na última semana, quantas vezes você caminhou continuamente, por pelo menos 10 minutos, para recreação, exercício ou para ir ou voltar de algum lugar?”;
- “Qual é o seu palpite sobre o tempo total que você passou caminhando dessa maneira na última semana?”;
- “Na última semana, quantas vezes você praticou alguma atividade física vigorosa que fez você respirar com dificuldade ou ficar ofegante? (por exemplo, corrida, ciclismo, aeróbica, tênis competitivo)”;
- “Qual é o seu palpite sobre o tempo total que você passou praticando essa atividade física vigorosa na última semana?”;
- “Na última semana, quantas vezes você praticou alguma outra atividade física mais moderada que ainda não tenha mencionado? (por exemplo, natação suave, tênis social, golfe)”;
- “Qual você estima que foi o tempo total que você passou fazendo essas atividades na última semana?”.

Em relação às características do bairro, essas foram mensuradas dentro dos limites geográficos dos "Bairro HABITAT". As variáveis ambientais foram mensuradas dentro desses limites geográficos por meio de Sistema de Informação Geográfica (MapInfo), e compunham o banco de dados principal disponibilizado para o estudo. As medidas foram coletadas no início (2007) e no final do estudo (2016) e incluíram: comprimento das ciclovias, área total de parques, densidade de moradias, conectividade de ruas, uso misto do solo e o número de postes de iluminação pública por bairro ou região HABITAT.

A extensão das ciclovias foi medida em metros para todas as trilhas *off-road*, ou seja, localizadas longe de vias utilizadas por carros e veículos motorizados (WILSON; GILES-CORTI; BURTON; GISKES *et al.*, 2011). A área de parques foi medida em metros quadrados, a densidade residencial em número de moradias por hectare e a conectividade de ruas de acordo com o número de cruzamentos com quatro ou mais vias. O uso do solo foi medido por um indicador composto baseado na presença de diferentes tipos de edificações (comércio, escritórios/negócios, lazer/recreação, residenciais e serviços de saúde/comunidades) em uma área. Essa é uma medida contínua com valores de 0 a 1, sendo 0 maior homogeneidade e 1 maior heterogeneidade do uso do solo (CHRISTIAN; BULL; MIDDLETON; KNUIMAN *et al.*, 2011). O número de postes foi avaliado pela contagem de postes de iluminação dentro de cada bairro HABITAT.

As covariáveis incluíram status socioeconômico da região e características sociodemográficas individuais, descritas a seguir:

- Status Socioeconômico da vizinhança ou bairro: Cada bairro HABITAT foi classificado em um de quatro quartis de desvantagem socioeconômica. Essa classificação foi derivada de uma medida ponderada do Índice de Desvantagem Socioeconômica Relativa (IDSR). O IDSR é um indicador de vulnerabilidade do território construído pelo AUSTRALIAN BUREAU OF STATISTICS (2001). O IRSD é um índice composto por 17 indicadores, incluindo variáveis, tais como, taxa de desemprego, estrutura familiar, competência na língua inglesa e status indígena (TURRELL; HAYNES; BURTON; GILES-CORTI *et al.*, 2010);
- Sexo: Masculino ou feminino;
- Idade: Em anos;



- Escolaridade: categorizado em cinco níveis, desde <12 anos de estudo até pós-graduação (mestrado ou doutorado);
- Renda: categorizada em quatro faixas de rendimento anual em dólares australianos;
- Arranjo domiciliar: solteiro com/sem filhos, casal com/sem filhos;
- Tempo de residência no endereço atual: categorizada em quartis.

## **Análise de dados**

A análise de dados foi realizada no STATA IC/15.1. Como etapa preliminar, as características da amostra analítica (n=3.043) foram comparadas com as da amostra excluída (n=7.976) por meio do Teste t de student para variáveis contínuas e Qui-quadrado para variáveis categóricas. Em seguida, as características ambientais foram descritas na linha de base e no último seguimento da coorte (2007 e 2016), bem como a alteração dessas variáveis entre esses dois pontos. As características do ambiente foram apresentadas segundo valores de média, desvio-padrão, mediana, percentil 25, percentil 75, mínimo e máximo.

Para identificar os grupos de trajetórias ou padrões de AF, utilizou-se da Modelagem de Trajetória Baseada em Grupo (GBTM), disponível por meio do plugin *Traj* do Stata (NAGIN; ODGERS, 2010). A seleção do modelo final com o número adequado de trajetórias para a amostra se baseia em múltiplos critérios de ajuste, incluindo BIC e AIC, e probabilidades posteriores de pertencimento, conforme descrito por NAGIN e ODGERS (2010). A robustez do modelo foi confirmada por probabilidades posteriores de pertencimento ao grupo com valores superiores a 0,7 e por razões de chance de classificação correta com valores superiores a 5,0 (NAGIN; ODGERS, 2010).

Para examinar a associação entre o ambiente e as trajetórias de AF, primeiramente, as covariáveis sociodemográficas e as características ambientais foram descritas e comparadas entre os quatro grupos de trajetória identificados (baixo, alto, decrescente e crescente), utilizando testes ANOVA, Kruskal-Wallis e qui-quadrado. Em seguida, foram conduzidos modelos de regressão logística multinomial robusta. Os grupos de trajetória foram as variáveis de desfecho (referência: grupo de "alta AF"), e as características ambientais, categorizadas em tercis, segundo os valores de base (2007) foram as variáveis de

exposição. Todas as análises foram ajustadas pelas covariáveis sociodemográficas e pelo Status Socioeconômico da vizinhança ou bairro. Em relação aos ajustes realizados, estudos anteriores demonstraram associação do desfecho e exposição com sexo e idade em diferentes contextos (GHANI; RACHELE; WASHINGTON; TURRELL, 2016). Renda e escolaridade também foram consideradas confundidores da relação, assim como a classificação socioeconômica do bairro HABITAT. O tempo de permanência em um endereço foi visto como fator relacionado aos arranjos de moradia dos indivíduos ao longo das diferentes fases da vida e ao status socioeconômico da área, podendo influenciar na percepção do ambiente, e na identificação de possíveis caminhos para aumentar a prática de AF. Uma razão de chances (OR) < 1,00 significa uma menor probabilidade de pertencer a determinada trajetória do que na trajetória de referência quando comparado com seus pares.

### **Aspectos Éticos**


O protocolo de pesquisa recebeu aprovação ética da Universidade de Tecnologia de Queensland (Ref. nº 3967H, 1300000161). O consentimento dos participantes foi obtido por meio da própria devolução dos questionários enviados pelo correio.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 7.1 ARTIGO 1



www.scielo.br/rbepid
Revista Brasileira de Epidemiologia  
<https://doi.org/10.1590/1980-549720230011.supl.1>

**ORIGINAL ARTICLE**



### Time trends and COVID-19 post-pandemic changes in physical activity and sedentary behavior prevalence among Brazilian adults between 2006 and 2021

Tendências temporais e mudanças pós-pandemia de COVID-19 na prevalência de atividade física e comportamento sedentário em adultos brasileiros entre 2006 e 2021

Thania Mara Teixeira Rezende Faria<sup>I</sup> , Alanna Gomes da Silva<sup>II</sup> ,  
Rafael Moreira Claro<sup>III</sup> , Deborah Carvalho Malta<sup>IV</sup> 

<sup>I</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, School of Medicine, Post Graduate Program in Public Health – Belo Horizonte (MG), Brazil.  
<sup>II</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, School of Nursing, Graduate Program in Nursing – Belo Horizonte (MG), Brazil.  
<sup>III</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, School of Nursing, Department of Nutrition – Belo Horizonte (MG), Brazil.  
<sup>IV</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, School of Nursing, Department of Maternal-Infant Nursing and Public Health – Belo Horizonte (MG), Brazil.

**ABSTRACT**

**Objective:** To analyze time trends and prevalence of physical activity and sedentary behavior among adults of Brazilian capitals between 2006 and 2021, including the pandemic period. **Methods:** This is a time-series of cross-sectional surveys based on the National Surveillance System for Risk and Protective Factors for Chronic Diseases by Telephone Survey. Trends of sufficient leisure-time physical activity, sufficient physical activity while commuting, insufficient practice of physical activity, and total screen time were estimated by using Prais-Winsten regression. Annual prevalences and time trends were estimated for each indicator by sex, age group and education. **Results:** For total population, significant time trends were found for leisure-time physical activity ( $\beta=0.614$ ) and total screen time ( $\beta=1.319$ ). As for prevalence, leisure-time physical activity increased from 29% in 2009 to 39% in 2019, followed by a reduction of 2.3% between 2020 and 2021. Total screen time prevalence increased considerably between 2019 and 2020 (4.7%). Though physical inactivity tended to reduce along the series, its prevalence increased by 3.4% between 2019 and 2021, as well as physical activity while commuting decreased by 3.7% in the same time period. **Conclusion:** Whereas leisure-time physical activity increased over the years, it is uncertain whether this trend will be the same in the years following COVID-19. Not only did people alter their leisure-time habits, but also there was an increasing dominance of screen time due to the change in work and social patterns. More strategies need to be addressed to tackle physical inactivity and sedentary behavior, and to review the post-pandemic national targets.

**Keywords:** Physical activity. Sedentary lifestyle. Noncommunicable diseases. Time series. COVID-19.

**CORRESPONDING AUTHOR:** Thania Mara Teixeira Rezende Faria. Rua Zilah Correa de Araújo, 345, Apto 302, Bloco 02, Ouro Preto, CEP: 31.310-450, Belo Horizonte (MG), Brazil. E-mail: [thania\\_faria@hotmail.com](mailto:thania_faria@hotmail.com)

**CONFLICT OF INTERESTS:** nothing to declare.

**HOW TO CITE THIS ARTICLE:** Faria TMTR, Silva AG, Claro RM, Malta DC. Time trends and COVID-19 post-pandemic changes in physical activity and sedentary behavior prevalence among Brazilian adults between 2006 and 2021. Rev Bras Epidemiol. 2023; 26(Suppl 1): e230011.supl.1. <https://doi.org/10.1590/1980-549720230011.supl.1>

**SCIENTIFIC EDITOR:** Márcia Furquim de Almeida 

**THIS DOCUMENT HAS AN ERRATUM:** <https://doi.org/10.1590/1980-549720230011.supl.1erratum>

This is an open article distributed under the CC-BY 4.0 license, which allows copying and redistribution of the material in any format and for any purpose as long as the original authorship and publication credits are maintained.

Received on: 08/31/2022; Reviewed on: 12/08/2022; Accepted on: 12/12/2022; Corrected on: 09/13/2024.




Changes in physical activity trends with pandemic. Rev Bras Epidemiol. 2023; 26(Suppl 1): e230011.supl.1 1

## INTRODUCTION

The first case of corona virus disease (COVID-19) in Brazil was confirmed on February 26<sup>th</sup>, 2020, followed by the first community transmission reported in São Paulo, on March 10<sup>th</sup>. The COVID-19 pandemic magnified existing socioeconomic disparities and health inequities, especially in low- and middle-income countries<sup>2</sup>. Social distancing and isolation measures induced change in the routine of people and families, with alarming implications on the physical and mental health of individuals<sup>3,4</sup>.

The impact of the pandemic on the mitigation and control of non-communicable diseases (NCDs) is a major public health concern<sup>5</sup>. In the context, physical inactivity and sedentary behavior amplify the burden of NCDs, since obesity and chronic conditions are risk factors for the development of severe cases of the disease<sup>6,7</sup>.

Depicting time trends of physical activity (PA) and sedentary behavior helps to both monitor risk and protective factors for NCDs and to understand the new dynamics of healthy behavior after the COVID-19 pandemic<sup>8</sup>. Previous studies in Brazil indicated an increase in leisure-time physical activity (LTPA) and a reduction in TV-viewing between 2006 and 2012 according to the National Surveillance System for Risk and Protective Factors for Chronic Diseases by Telephone Survey (VIGITEL)<sup>9</sup>, and the same result from 2008 to 2019, based on the Brazilian Health Survey (PNS) and the National Household Sample Survey (PNAD)<sup>10</sup>. However, further studies showed that although time trends of PA increased between 2006 and 2014 at a steady level, they showed gradual reductions after 2016<sup>9</sup>.

After the pandemic, not only has PA reduced at rapid rates, but also sedentary behavior has increased<sup>11</sup>. In Brazil, a cross-sectional study conducted in 2020 showed that  $\geq 4$  hours/day of TV-viewing,  $\geq 4$  hours/day of computer/tablet use, and physical inactivity increased by 266, 38 and 26%, respectively, in the country<sup>12</sup>. Besides, by drastically raising the number of physically inactive individuals, the COVID-19 pandemic increased the chances of a cardiovascular event, especially among those with preexisting conditions<sup>4</sup>. In fact, while the current Global Plan aims at a 15% reduction in physical inactivity globally, and the Brazilian Action Plan aims at a 30% increase in PA levels, it is still uncertain whether current efforts will compensate for the observed deceleration progress or if the targets will need to be revised<sup>13</sup>.

After COVID-19, much more has been highlighted on the need for continuous surveillance and action planning for the most vulnerable and at high-risk groups<sup>6,14</sup>. To ensure the continuity of care, some strategies have been used, from telemedicine and triage<sup>5</sup> to incentives for home-based exercises<sup>15</sup>.

In this sense, it is important to monitor the practice of PA in the Brazilian population, aiming to support surveillance, prevention and health promotion actions. In view of

this, the objective of this study was to analyze the prevalence and time trends of PA and sedentary behavior indicators in the adult population of the Brazilian state capitals between 2006 and 2021, including the pandemic period.

A closer monitoring of population behavior as regards risk and protective factors for NCDs over the years, with special focus on the prevalence between 2020 and 2021, may elicit a new perspective of action in the context of the novel coronavirus. This is an opportunity to understand if the target of 30% reduction by 2030 in physical inactivity stated in the Brazilian Action Plan to tackle the rise of NCDs<sup>16</sup> can be achieved or must be revised and, in either case, what can be done to stay on the right course.

## METHOD

### Design and sampling

This is a cross sectional time-series study on PA indicators between the years 2006 and 2021, based on the information from VIGITEL.

VIGITEL is a population-based survey that monitors risk and protective factors for NCDs since 2006 by means of a probabilistic sampling methods that include adults aged 18 years or older living in households with at least one land-line telephone in the 26 state capitals of Brazil and the Federal District<sup>17</sup>. Each year, VIGITEL interviews approximately 54,000 individuals<sup>17</sup>. In the years 2020 and 2021, the sample size was approximately of 27,000 individuals<sup>17</sup>. Details on the sampling and data collection process are provided in VIGITEL publications<sup>18</sup>.

### Variables

For the present study, four main indicators were analyzed. First, sufficient LTPA. According to the World Health Organization (WHO), a physically active adult is that who practices a minimum of 150 minutes or more of moderate-intensity PA per week or 75 minutes or more of vigorous-intensity PA per week<sup>19</sup>. Which means that individuals are classified as physically active if they achieve either a combination of 30 minutes of moderate-intensity PA on at least 5 days per week, or 25 minutes of vigorous-intensity PA on at least 3 days/week. The indicator is a composite of the questions: "In the last three months, did you practice any type of physical exercise or sport?", "What is the main type of physical exercise or sport that you practiced?", "Do you exercise at least once a week?", "How many days a week do you usually exercise?" and "On the day you exercise, how long does this activity last?".

Second, sufficient PA while commuting. Physically active individuals while commuting are those who commute to work or school by bicycle or walking for the equivalent of at least 150 minutes of moderate-intensity PA per week, in other words, those who spend at least 30 minutes per day walking or cycling a round trip to work or school at



least five days of the week. Questions about commuting to work and/or school include: "Do you walk or cycle to or from work?", "How much time do you spend to go back and forth on this route (on foot or by bicycle)?", "Currently, are you attending a course/school or do you take someone to a course/school?", and "When you go to or return from this course or school, do you walk or cycle?".

Third, insufficient practice of PA. Insufficient practice of PA considers the number of individuals whose sum of minutes spent either in physical activities in their free time, commuting to work/school and/or in occupational activity does not reach the equivalent of at least 150 minutes of moderate PA per week. This indicator is estimated from the questions already mentioned about LTPA and PA while commuting and from questions on the individual's occupational activity: "In the last three months, have you worked?", "In your work, do you carry weight or do other heavy activities?", "In a normal week, how many days do you do these activities at work?" and "When you perform these activities, how long does it usually last?". For these three indicators, physical activities lasting less than ten minutes were not considered for the purpose of calculating the weekly sum of minutes spent exercising<sup>17</sup>.

Lastly, we calculated total screen time. This represents the percentage of individuals who have the habit of watching television or using a computer, tablet or cellphone for three or more hours per day. This cutoff represents a marker for sedentary behavior among individuals. The indicator takes into account the answers given to the questions "On average, how many hours a day do you usually watch television?" and "On average, how many hours of your free time (excluding work) does the use of a computer, tablet or cell phone take up per day?".

The following sociodemographic variables were included: sex (male/female), age category (18–24; 25–34; 35–44; 45–54; 55–64 and 65 years or more), education (0–8; 9–11; 12 years or more) and region (North, Northeast, Central-West; Southeast, and South).

#### Data analysis

We obtained the prevalence and time trends as reported by a Prais-Winsten regression for the four indicators and presented results by sex, age category, education, and Brazilian region. Time trends were estimated from 2006 to 2021. However, not all indicators could be reported due to the inconsistency of newly added or revised questions in the questionnaire. LTPA was reported between 2009 and 2021, insufficient practice of PA from 2014 to 2021, and total screen time from 2016 to 2021. The pandemic and post-pandemic period started in 2020.

The slope of the Prais-Winsten regression represented the positive or negative tendency in the overall time period (explanatory variable). The outcome variables were the PA and sedentary behavior indicators, and the explanatory variable was the year of the survey. A negative sign of the

slope ( $\beta$ ) of the line adjusted by the model indicates that the relationship between the indicator and time is decreasing, while a positive slope value represents the average annual increase. The existence of a significant linear trend was considered when the angular coefficient of the model proved to be different from zero for a  $p \leq 0.05$ . The accuracy of the models was evaluated through its  $R^2$  value. Besides, we evaluated the annual difference among the years and displayed each increasing or decreasing change in the prevalence. The *survey* command was used in the analyses to consider post-stratification weights of the sampling.

The analyses were performed using the Stata Software version 15.1. VIGITEL data are available for public access and use. Ethical clearance was approved by the National Commission for Ethics in Research for Human Beings of the Ministry of Health (Opinion 2.100.213 – CAAE: 65610017.1.0000.0008).

## RESULTS

Our analyses included 784,479 individuals for the entire study period between 2006 and 2021. In general, we observed significant time trends ( $p < 0.05$ ) for LTPA (2009–2021) and total screen time (2016–2021) in all categories. On the other side, the trends of insufficient PA (2014–2021) and PA while commuting (2006–2021) were non-significant for the entire population and for most categories.

LTPA was reported from 2009 to 2021 (Table 1). In the total population, the trend of the indicator increased steadily ( $\beta = 0.614$ ;  $p = 0.010$ ) from 2009 to 2019 (29.9 to 39.0%). In following years, the prevalence of LTPA decreased to 36.8% in 2020 and to 36.7% in 2021, which means a reduction in the prevalence of 2.3% between 2019 and 2021. There was a significant time trend increase for both men ( $\beta = 0.488$ ;  $p = 0.018$ ) and women ( $\beta = 0.790$ ;  $p = 0.003$ ) over the years analyzed, with greater slope for the latter. In general, though, men demonstrated higher prevalence of LTPA than women, irrespectively of the year. Though there was a steady increase in the levels of LTPA practice from 2009 to 2019 for men (from 39.0% in 2009 to 46.7% in 2019) and women (from 22.1% in 2009 to 32.4% in 2019), the prevalence of LTPA decreased considerably for both sexes in the following years. For men, the decrease was of 3.6% and for women it was of 1.1% between 2019 and 2021.

As regards LTPA according to age categories, coefficients were positive and significant for all groups, except for people with 65 years or more, which also represented the smallest positive slope ( $\beta = 0.137$ ;  $p = 0.06$ ). Prevalence was higher for younger individuals' groups, and most groups displayed its peak prevalence in 2019, except for those aged 18 to 24 years (50.6% in 2018 and 49.4% in 2019); 35 to 44 years (36.8% in 2019 and 38.0% in 2020); and 55 to 64 years (32.4% in 2018 and 31.5% in 2019).

Concerning LTPA according to education, the greater the number of years of formal education, the higher the

**Table 1. Prevalence and time trend of sufficient leisure-time physical activity, according to sociodemographic characteristics. VIGITEL, Brazilian capitals, 2009–2021.**

		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	$\beta^*$	p-value
Sex	Total	29.9	30.1	31.6	33.5	33.8	35.3	37.6	37.6	37.0	38.1	39.0	36.8	36.7	0.614	0.010
	Male	39.0	39.1	40.4	41.5	41.2	41.6	45.6	46.6	43.4	45.4	46.7	44.2	43.1	0.488	0.018
	Female	22.1	22.4	24.0	26.5	27.4	30.0	30.8	29.9	31.5	31.8	32.4	30.5	31.3	0.790	0.003
Age group	18–24	42.7	43.6	44.4	47.6	49.7	50.0	51.4	52.2	49.1	50.6	49.4	47.1	50.6	0.592	0.049
	25–34	33.9	34.3	35.9	39.1	39.3	41.5	45.2	46.0	44.2	45.5	48.5	41.5	42.6	0.857	0.024
	35–44	25.3	26.0	27.5	31.0	29.6	31.2	36.4	35.7	33.8	36.0	36.8	38.0	34.0	0.951	<0.001
	45–54	24.2	24.3	26.5	25.8	27.3	30.1	30.5	30.4	33.7	32.6	34.6	33.0	34.6	0.951	<0.001
	55–64	24.2	24.4	25.5	25.2	26.6	28.4	29.1	29.7	30.0	32.4	31.5	32.1	31.6	0.733	<0.001
	≥65	22.6	20.7	22.5	23.6	22.3	22.8	23.5	22.3	23.3	24.4	24.4	23.9	21.8	0.137	0.061
Education	0–8	19.5	19.6	21.2	21.6	22.0	22.9	25.4	24.5	23.3	24.6	25.8	23.6	22.6	0.336	0.056
	9–11	34.8	34.6	35.3	37.1	37.2	38.5	40.1	40.4	39.7	40.4	39.5	38.0	37.3	0.236	0.292
	≥12	41.6	41.3	42.5	45.4	45.4	47.8	49.6	47.9	47.0	48.1	50.0	46.2	47.3	0.522	0.029
Region	North	31.6	29.9	32.8	37.2	35.1	37.0	41.3	39.0	40.7	42.4	40.7	35.3	39.3	0.712	0.026
	Northeast	29.4	28.9	31.1	33.4	34.5	35.0	36.1	38.1	37.3	41.2	40.4	41.6	39.8	1.085	<0.001
	Central-West	35.5	36.8	34.8	37.4	39.7	38.2	46.8	43.1	45.0	43.4	43.5	43.4	39.3	0.627	0.040
	Southeast	28.0	28.5	30.0	31.1	30.8	34.0	35.2	35.6	33.4	33.6	36.4	32.0	33.5	0.486	0.024
	South	32.6	33.8	35.4	36.8	38.3	37.7	38.3	37.3	39.4	39.8	40.3	40.9	37.7	0.510	0.003

\*The accuracy of the model was evaluated through its  $R^2$  value.

coefficient and the prevalence of LTPA. Nevertheless, it was significant only for the group with more than 12 years of schooling ( $\beta=0.522$ ;  $p=0.02$ ). Higher prevalence was observed in 2019 for all educational groups, with a decrease in the following two years of the series.

Lastly, LTPA was analyzed by Brazilian region. Trends demonstrated a significant increase in the practice of LTPA in all of them, especially in the North ( $\beta=0.712$ ;  $p=0.026$ ) and Northeast ( $\beta=1.085$ ;  $p<0.001$ ). The mean prevalence of LTPA ranged between 32.5% in the Southeast and 40.5% in the Central-West. Amongst all, the peak prevalence was reached in 2019 for the North (40.7%), Central-West (43.5%), and Southeast (36.4%); and in 2020 for the Northeast (41.6%) and the South (40.9%), followed by decreases in the prevalence of LTPA in the population of both these regions.

As regards PA while commuting, trends were analyzed from 2006 to 2021 (Table 2). In the period, no significant values were found, neither for the prevalence in the total population ( $\beta=-0.018$ ;  $p=0.924$ ), nor for sex, age, education, or region, except for an important annual difference between 2019 and 2021. In 2019, the prevalence of PA while commuting was 14.1% and in 2021 it was 10.4%, meaning a reduction of 3.7% within this time-period.

The time trend of insufficient physical active adults could be reported only from 2014 to 2021 (Table 3). In this period, one significant value was found for the Northeast Region, in which the indicator showed a considerable decrease ( $\beta=-0.804$ ;  $p<0.007$ ) throughout the years analyzed. In the total population, although no significant values were found, there was an important reduction in the prevalence

of physical inactivity between 2014 and 2019, followed by an increase of 2.4% between 2019 and 2020 and of 3.4% between 2019 and 2021.

The habit of staying in front of a screen, measured as total screen time, was analyzed between 2016 and 2021 (Table 4). The time trends were positive for all except one category, that of individuals aged 18 to 24 years ( $\beta=0.445$ ;  $p=0.23$ ). In the total population, the increase was of 1.319 over the years ( $p=0.001$ ), and higher for women ( $\beta=1.499$ ;  $p=0.004$ ) than for men ( $\beta=1.099$ ;  $p<0.001$ ); for individuals aged 45 to 54 years ( $\beta=2.224$ ;  $p<0.001$ ) and 55 to 64 years ( $\beta=2.312$ ;  $p=0.002$ ) than other age groups; people with 0 to 8 years of education ( $\beta=1.577$ ;  $p<0.001$ ) than those with more years of schooling; and in the Central-West ( $\beta=1.718$ ;  $p=0.001$ ) and Southeast ( $\beta=1.520$ ;  $p<0.001$ ) among all regions. The largest increase in total screen time was observed between 2019 and 2020 for all categories, meaning a greater annual variation in those years (Table 5).

## DISCUSSION

The study analyzed the annual prevalence and time trends of PA indicators among Brazilian adults, from 2006 to 2021. Generally, before the pandemic period people became more physically active, as we can see by both an increase in LTPA practice and a reduction in insufficient PA. However, the overall increase over the years was disrupted by a drop in LTPA and an increase in insufficient PA after 2019. Additionally, it was observed a reduction in sufficient PA while commuting and an increase in total screen time,

**Table 2. Prevalence and time trend of sufficient physical activity while commuting. VIGITEL, Brazilian capitals, 2006–2021.**

		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	$\beta^*$	p-value
Sex	Total	10.9	10.7	11.3	17.0	17.9	14.8	14.2	12.1	12.3	11.9	14.4	13.4	14.4	14.1	13.3	10.4	-0.018	0.924
	Male	13.5	12.7	13.5	17.6	17.9	15.1	13.8	12.2	13.0	12.4	15.4	14.2	15.0	14.5	13.8	10.8	-0.119	0.425
	Female	8.7	9.1	9.4	16.5	17.9	14.6	14.5	11.9	11.6	11.6	13.5	12.8	13.8	13.8	12.9	10.0	0.073	0.746
Age group	18–24	11.4	11.3	12.5	19.8	21.0	18.1	16.5	13.8	14.9	11.9	17.6	14.2	16.0	16.7	16.5	13.1	0.073	0.750
	25–34	12.4	12.3	11.8	19.6	20.8	17.2	16.5	12.6	13.7	13.6	14.8	15.1	15.5	14.4	15.2	10.5	-0.095	0.670
	35–44	12.9	13.1	13.9	19.5	21.2	17.1	15.6	15.0	14.3	14.9	17.1	15.9	17.9	16.6	15.5	11.7	-0.034	0.873
	45–54	12.3	11.7	12.5	17.8	19.0	14.6	15.0	13.5	12.7	13.2	15.2	14.9	14.8	17.2	14.8	12.4	0.040	0.804
	55–64	7.1	7.5	9.5	12.0	11.6	10.8	11.3	9.4	9.6	9.2	12.7	11.2	13.0	11.4	9.7	8.9	0.125	0.350
	≥65	3.3	2.3	2.6	4.5	3.9	4.3	4.2	3.0	3.6	4.0	5.0	4.7	5.1	4.8	3.6	3.4	0.068	0.246
Education	0–8	13.4	12.4	12.7	18.5	18.6	15.3	14.5	12.0	12.7	12.3	14.5	14.6	14.9	14.3	12.7	9.2	-0.198	0.302
	9–11	10.3	10.8	11.8	17.7	19.1	15.5	15.2	13.0	13.4	13.0	15.6	14.5	16.0	15.7	14.6	13.1	0.143	0.468
	≥12	6.4	6.8	7.9	13.1	15.0	13.0	12.1	10.8	10.0	10.0	12.9	11.0	11.9	12.2	12.4	8.0	0.128	0.549
Region	North	13.7	13.8	13.6	19.1	18.8	16.2	13.4	11.8	12.1	11.2	13.2	12.4	12.4	12.8	12.7	11.1	-0.245	0.159
	Northeast	11.6	10.9	11.2	16.6	16.4	13.6	13.5	11.2	11.4	10.0	12.9	11.8	12.9	12.4	13.0	9.9	-0.099	0.488
	Central-West	9.8	10.1	9.6	13.6	13.6	11.6	12.3	9.6	8.9	7.0	10.3	11.7	10.5	10.4	8.5	7.7	-0.153	0.272
	Southeast	10.0	10.4	11.5	17.7	20.0	15.7	15.4	13.4	13.7	14.3	16.7	15.4	16.8	16.4	14.7	11.5	0.121	0.611
	South	10.9	10.1	10.1	16.4	15.5	16.4	13.0	11.0	12.1	12.5	13.8	11.5	13.8	14.3	14.4	9.0	-0.007	0.966

\*The accuracy of the model was evaluated through its  $R^2$  value.

**Table 3. Prevalence and time trend of insufficient practice of physical activity. VIGITEL, Brazilian capitals, 2014–2021.**

		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	$\beta^*$	p-value
Sex	Total	48.7	47.5	45.1	46.0	44.1	44.8	47.2	48.2	-0.086	0.818
	Male	40.1	37.2	34.1	37.6	35.1	36.1	37.3	39.3	-0.019	0.957
	Female	56.0	56.3	54.5	53.1	51.7	52.2	55.6	55.7	-0.093	0.819
Age group	18–24	37.0	37.5	34.3	37.5	35.7	36.5	38.4	35.6	0.060	0.656
	25–34	41.3	38.9	36.7	36.7	35.6	36.8	40.8	42.6	0.189	0.760
	35–44	47.2	44.3	42.3	44.6	40.8	42.2	44.3	45.0	-0.233	0.512
	45–54	51.2	50.0	46.9	46.2	45.2	44.2	44.3	46.3	-0.776	0.057
	55–64	57.3	58.0	53.9	54.1	51.2	52.3	55.7	56.6	-0.210	0.683
	≥65	72.5	71.7	71.2	70.6	69.2	69.1	70.4	73.0	0.004	0.990
Education	0–8	56.9	56.0	53.7	54.9	53.4	53.7	57.5	58.4	0.206	0.618
	9–11	44.9	44.5	41.6	42.9	39.8	43.4	44.1	45.2	0.035	0.921
	≥12	42.9	41.0	40.2	40.8	40.3	38.6	42.3	43.5	0.065	0.837
Region	North	48.4	46.5	44.9	45.6	44.1	45.2	48.6	46.8	-0.059	0.854
	Northeast	50.1	51.0	46.0	48.2	44.1	45.8	44.3	47.2	-0.804	0.007
	Central-West	46.1	41.8	41.2	40.6	40.9	42.5	44.2	45.2	-0.006	0.990
	Southeast	46.1	41.8	41.2	40.6	40.9	42.5	44.2	45.2	-0.006	0.990
	South	46.7	46.5	46.6	44.5	42.2	42.8	43.0	48.0	-0.089	0.852

\*The accuracy of the model was evaluated through its  $R^2$  value.

also accentuated after 2019. In general, LPTA trends were lower for people aged 65 years or more, for women, and for people with lower education.

Two observations must be highlighted. Firstly, the prevalence of PA and sedentary behavior demonstrated a shift between 2019 and 2021. The decreasing prevalence of LPTA and increasing prevalence of insufficiently active

individuals between these years could be most probably associated with the COVID-19 pandemics and the change in behavior dynamics<sup>20</sup>. It is noteworthy that, in Brazil, healthy behavior decreased after the COVID-19 pandemic not only for total population<sup>21</sup>, but especially for those who reported some type of NCD, such as diabetes, hypertension, heart disease, cancer or respiratory diseases<sup>22</sup>. In fact, during the



**Table 4. Prevalence and time trend of total screen time. VIGITEL, Brazilian capitals, 2016–2021.**

		2016	2017	2018	2019	2020	2021	$\beta^*$	p-value
Sex	Total	61.7	61.0	63.3	62.7	67.4	66.0	1.319	0.001
	Male	62.9	62.1	65.0	63.9	67.3	66.7	1.099	<0.001
	Female	60.6	60.1	61.9	61.7	67.5	65.4	1.499	0.004
Age group	18–24	82.1	79.9	81.3	79.2	83.3	83.2	0.445	0.238
	25–34	73.9	71.7	74.3	73.3	78.1	73.9	0.903	0.010
	35–44	59.2	60.7	62.8	62.4	66.1	64.6	1.353	<0.001
	45–54	51.1	50.8	55.5	53.9	60.3	60.2	2.224	<0.001
	55–64	48.2	48.8	50.5	52.1	58.6	57.0	2.312	0.002
	≥65	42.3	42.5	43.8	45.7	49.3	51.0	1.848	0.003
Education	0–8	45.1	44.3	48.3	46.3	52.7	49.2	1.577	<0.001
	9–11	69.3	67.4	69.6	68.5	72.7	71.3	0.880	0.011
	≥12	70.1	69.6	70.1	70.2	73.3	73.0	0.754	0.024
Region	North	62.8	62.3	64.4	63.2	67.4	66.2	1.025	0.001
	Northeast	60.7	61.1	62.1	61.6	65.2	64.5	0.945	0.003
	Central-West	58.7	58.3	61.1	60.4	66.2	64.8	1.718	0.001
	Southeast	62.9	61.2	64.6	64.0	69.1	66.8	1.520	<0.001
	South	61.0	61.5	61.7	61.2	66.5	67.5	1.339	0.031

\*The accuracy of the model was evaluated through its R<sup>2</sup> value.

**Table 5. Annual difference in the total prevalence of physical activity indicators. VIGITEL, Brazilian capitals, 2006–2021.**

Year	LTPA		PA while commuting		Insufficient PA practice		Total screen time	
	Prevalence (%)	Annual difference	Prevalence (%)	Annual difference	Prevalence (%)	Annual difference	Prevalence (%)	Annual difference
2006	*	*	10.9	*	*	*	*	*
2007	*	*	10.7	-0.2	*	*	*	*
2008	*	*	11.3	0.6	*	*	*	*
2009	29.9	*	17.0	5.7	*	*	*	*
2010	30.1	0.2	17.9	0.9	*	*	*	*
2011	31.6	1.5	14.8	-3.1	*	*	*	*
2012	33.5	1.9	14.2	-0.6	*	*	*	*
2013	33.8	0.3	12.1	-2.1	*	*	*	*
2014	35.3	1.5	12.3	0.2	48.7	*	*	*
2015	37.6	2.3	11.9	-0.4	47.5	-1.2	*	*
2016	37.6	0.0	14.4	2.5	45.1	-2.4	61.7	*
2017	37.0	-0.6	13.4	-1.0	46.0	0.9	61.0	-0.7
2018	38.1	1.1	14.4	1.0	44.1	-1.9	63.3	2.3
2019	39.0	0.9	14.1	-0.3	44.8	0.7	62.7	-0.6
2020	36.8	-2.2	13.3	-0.8	47.2	2.4	67.4	4.7
2021	36.7	-0.1	10.4	-2.9	48.2	1.0	66.0	-1.4

LTPA: leisure-time physical activity; PA: physical activity; \*data were not available during this period.

pandemic, despite incentives for home-based exercises to maintain PA levels<sup>15</sup>, people were most of the time secluded due to social isolation and mitigation measures to control the spread of the virus, impacting on the control of such chronic conditions<sup>20</sup>.

Likewise, PA while commuting had its largest decrease between 2019 and 2021, by 3.7%, and total screen time increased considerably by 3.3% in the same period. Alterations in total screen time could be related to the reduced options of recreational activities during lockdown as well



as to the increasing distress caused by the general context<sup>23</sup>, which also negatively influenced sleeping in all age categories<sup>24</sup> but specially for children and adolescents<sup>23,25</sup>. Over the years, total screen time increased more among women, older adults and people with fewer years of formal education, supposedly due to the spread of digitalization and increased access to technology. Other studies found a reduction in TV-viewing among people with higher education and younger age, but the measure did not include other screen devices such as computer, cellphone and tablets, which have been replacing TV-viewing<sup>10</sup>. During the COVID-19 pandemic, higher increases in the prevalence of solely TV-viewing was observed among younger adults and those with higher schooling, but the prevalence remained higher for older adults and individuals with fewer years of formal education<sup>12</sup>.

Secondly, there might be an interesting point on motivation as a determinant for healthy behavior adherence. Whereas men, people of younger age and those with more years of education tend to exercise more and show less sedentary behavior, LTPA prevalence reduced more among these same groups between 2019 and 2021, which was also observed previously<sup>12</sup>. However, this is surprising because it would be expected for them to maintain the same pattern. Such observations are important and need further detailing so as to better understand the determinants of health and sedentary behavior during the pandemic<sup>26</sup> as well as inequities in PA practice<sup>27</sup>.

Results suggest that the COVID-19 pandemic has altered PA patterns in the population and in the cities<sup>28</sup>. Added up by the misaligned sum of political forces to deal with the situation<sup>29</sup>, one of the effects of the pandemic was not only that people reduced their time outside and changed habits by staying longer periods in front of screens, but also that the demographic and epidemiological transitions together with the increasing dominance of technology in working and social environments might have intensified the observed pattern<sup>11</sup>.

On one side, while the North and the Northeast regions are the most vulnerable in the country<sup>30</sup>, they presented the highest trends of LTPA practice and the lowest total screen time. Although such tendencies contradict that lower socioeconomic status predicts lower PA outcomes, access to primary health care and social assistance programs tend to be higher in these regions<sup>30</sup>, pointing to the importance of government-level support to promote population-protective behaviors.

This is a cross-sectional study which reveals relevant tendencies on NCD risk and protective factors along the years. Though correlations with contextual factors can be stated, we understand they cannot directly prove a cause-effect relationship. Our findings are conservative and based on evidences from previous studies showing that the COVID-19 pandemic led to drawbacks on healthy behavior against the rise of NCDs<sup>11,12,20-23</sup>. Additional misaligned government re-

sponse may have influenced the increasing disparities in PA and sedentary behavior during the pandemic<sup>29,30</sup>.

To our knowledge, this study sheds light on the need to further investigate the impact of the COVID-19 pandemic on the determinants of PA as well as on the global and national targets in different scenarios. With regards to the limitations of the findings, the insignificant statistics observed for sufficient PA while commuting and for most categories of insufficient PA practice could be related to the data errors, which still do not account for the complete time-series. Also, the lack of consistency remaining in the questionnaires reveal a demand for standardization in surveillance methods across the years. VIGITEL collects self-declared data by landline and the use of post-stratification weights aims to reduce representation bias. Nevertheless, with the reduction of landline coverage, the non-representation of the population may increase. Besides, VIGITEL is not representative of the entire country, but only of the adult population of Brazilian state capitals.

In order for Brazil to continue on the track of the National target of a 30% increase in the prevalence of LTPA until 2030 and the goal of 15% decrease in physical inactivity as stated in the Global Agenda, we highlighted that more government-level strategies have to be addressed in order to reduce the downward tendency observed in the past years. Revalidation of the global and national targets is also an action to be ruled. Population levels of PA practice and sedentary behavior are still a challenge, confronted by new life perspectives after the COVID-19 pandemic.

## REFERENCES

1. Croda J, Oliveira WKd, Frutuoso RL, Mandetta LH, Baia-da-Silva DC, Brito-Sousa JD, et al. COVID-19 in Brazil: advantages of a socialized unified health system and preparation to contain cases. *Rev Soc Bras Med Trop* 2020; 53: e20200167. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0167-2020>
2. Kelley M, Ferrand RA, Muraya K, Chigudu S, Molyneux S, Pai M, et al. An appeal for practical social justice in the COVID-19 global response in low-income and middle-income countries. *Lancet Glob Health* 2020; 8(7): e888-e889. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30249-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30249-7)
3. Barros MBdA, Lima MG, Malta DC, Szwarcwald CL, Azevedo RCSd, Romero D, et al. Report on sadness/depression, nervousness/anxiety and sleep problems in the Brazilian adult population during the COVID-19 pandemic. *Epidemiol Serv Saude* 2020; 29(4): e2020427. <https://doi.org/10.1590/S1679-49742020000400018>
4. Peçanha T, Goessler KF, Roschel H, Gualano B. Social isolation during the COVID-19 pandemic can increase physical inactivity and the global burden of cardiovascular disease. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2020; 318(6): H1441-H1446. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00268.2020>
5. World Health Organization. The impact of the COVID-19 pandemic on noncommunicable disease resources and services: results of a rapid assessment. Geneva: WHO; 2020.

6. Kluge HHP, Wickramasinghe K, Rippin HL, Mendes R, Peters DH, Kontsevaya A, et al. Prevention and control of non-communicable diseases in the COVID-19 response. *Lancet* 2020; 395(10238): 1678-80. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31067-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31067-9)
7. Hennis AJ, Coates A, Del Pino S, Ghidinelli M, de Leon RGP, Bolastig E, et al. COVID-19 and inequities in the Americas: Lessons learned and implications for essential health services. *Rev Panam Salud Publica* 2021; 45: e130. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2021.130>
8. Silva AGd, Teixeira RA, Prates EJS, Malta DC. Monitoring and projection of targets for risk and protection factors for coping with noncommunicable diseases in Brazilian capitals. *Cien Saude Colet* 2021; 26(4): 1193-206. <https://doi.org/10.1590/1413-81232021264.42322020>
9. Mielke GI, Hallal PC, Malta DC, Lee IM. Time trends of physical activity and television viewing time in Brazil: 2006-2012. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2014; 11: 101. <https://doi.org/10.1186/s12966-014-0101-4>
10. Werneck AO, Barboza LL, Araújo RH, Oyeyemi AL, Damacena GN, Szwarcwald CL, et al. Time trends and sociodemographic inequalities in physical activity and sedentary behaviors among Brazilian adults: National Surveys from 2003 to 2019. *J Phys Act Health* 2021; 18(11): 1332-41. <https://doi.org/10.1123/jpah.2021-0156>
11. Ráthonyi G, Kósa K, Bács Z, Ráthonyi-Ódor K, Füzesi I, Lengyel P, et al. Changes in workers' physical activity and sedentary behavior during the COVID-19 Pandemic. *Sustainability* 2021; 13: 9524. <https://doi.org/10.3390/su13179524>
12. Silva D, Werneck AO, Malta DC, Souza Júnior PRB, Azevedo LO, Barros MBA, et al. Changes in the prevalence of physical inactivity and sedentary behavior during COVID-19 pandemic: a survey with 39,693 Brazilian adults. *Cad Saude Publica* 2021; 37: e00221920. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00221920>
13. Amini H, Habibi S, Islamoglu A, Isanejad E, Uz C, Daniyari H. COVID-19 pandemic-induced physical inactivity: the necessity of updating the Global Action Plan on Physical Activity 2018-2030. *Environ Health Prev Med* 2021; 26: 1-3. <https://doi.org/10.1186/s12199-021-00955-z>
14. Hall G, Laddu DR, Phillips SA, Lavie CJ, Arena R. A tale of two pandemics: How will COVID-19 and global trends in physical inactivity and sedentary behavior affect one another? *Prog Cardiovasc Dis* 2021; 64: 108. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2020.04.005>
15. Ghram A, Briki W, Mansoor H, Al-Mohannadi AS, Lavie CJ, Chamari K. Home-based exercise can be beneficial for counteracting sedentary behavior and physical inactivity during the COVID-19 pandemic in older adults. *Postgrad Med* 2021; 133: 469-80. <https://doi.org/10.1080/00325481.2020.1860394>
16. Malta DC, Silva Jr JBd. O Plano de Ações Estratégicas para o Enfrentamento das Doenças Crônicas Não Transmissíveis no Brasil e a definição das metas globais para o enfrentamento dessas doenças até 2025: uma revisão. *Epidemiol Serv Saude* 2013; 22: 151-64. <http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742013000100016>
17. Brasil. Ministério da Saúde. *Vigitel Brasil 2021: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico: estimativas sobre frequência e distribuição sociodemográfica de fatores de risco e proteção para doenças crônicas nas capitais dos 26 estados brasileiros e no Distrito Federal em 2021*. Brasília: Ministério da Saúde; 2021.
18. Bernal RTI, Iser BPM, Malta DC, Claro RM. Surveillance system for Risk and Protective Factors for Chronic Diseases by Telephone Survey (Vigitel): changes in weighting methodology. *Epidemiol Serv Saude* 2017; 26: 701-12. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742017000400003>
19. Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med* 2020; 54: 1451-62. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>
20. Barr-Anderson DJ, Hazzard VM, Hahn SL, Folk AL, Wagner BE, Neumark-Sztainer D. Stay-at-home orders during COVID-19: The influence on physical activity and recreational screen time change among diverse emerging adults and future implications for health promotion and the prevention of widening health disparities. *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18: 13228. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413228>
21. Malta DC, Szwarcwald CL, Barros MBdA, Gomes CS, Machado ÍE, Souza Júnior PRBd, et al. The COVID-19 Pandemic and changes in adult Brazilian lifestyles: a cross-sectional study, 2020. *Epidemiol Serv Saude* 2020; 29(4): e2020407. <https://doi.org/10.1590/S1679-49742020000400026>
22. Malta DC, Gomes CS, Barros MBdA, Lima MG, Almeida WdSd, Sá ACMGNd, et al. Noncommunicable diseases and changes in lifestyles during the COVID-19 pandemic in Brazil. *Rev Bras Epidemiol* 2021; 24: e210009. <https://doi.org/10.1590/1980-549720210009>
23. Runacres A, Mackintosh KA, Knight RL, Sheeran L, Thatcher R, Shelley J, et al. Impact of the COVID-19 pandemic on sedentary time and behaviour in children and adults: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2021; 18: 11286. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111286>
24. Drumheller K, Fan CW. Unprecedented times and uncertain connections: A systematic review examining sleep problems and screentime during the COVID-19 pandemic. *Sleep* 2022; 2: 100029. <https://doi.org/10.1016/j.sleepe.2022.100029>
25. Guo Y-F, Liao M-Q, Cai W-L, Yu X-X, Li S-N, Ke X-Y, et al. Physical activity, screen exposure and sleep among students during the pandemic of COVID-19. *Sci Rep* 2021; 11: 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88071-4>
26. Owen N, Sugiyama T, Eakin EE, Gardiner PA, Tremblay MS and Sallis JF. Adults' sedentary behavior: determinants and interventions. *Am J Prev Med* 2011; 41: 189-96. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.05.013>
27. Sfm C, Van Cauwenberg J, Maenhout L, Cardon G, Lambert E, Van Dyck D. Inequality in physical activity, global trends by income inequality and gender in adults. *Int J Behav Nutr Phys Act* 2020; 17: 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12966-020-01039-x>



28. Oni T, Micklesfield LK, Wadende P, Obonyo CO, Woodcock J, Mogo ER, et al. Implications of COVID-19 control measures for diet and physical activity, and lessons for addressing other pandemics facing rapidly urbanising countries. *Glob Health Action* 2020; 13: 1810415. <https://doi.org/10.1080/16549716.2020.1810415>
29. Xavier DR, Silva EL, Lara FA, Silva GR, Oliveira MF, Gurgel H, et al. Involvement of political and socio-economic factors in the spatial and temporal dynamics of COVID-19 outcomes in Brazil: A population-based study. *Lancet Reg Health Am* 2022: 100221. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2022.100221>
30. Rocha R, Atun R, Massuda A, Rache B, Spinola P, Nunes L, et al. Effect of socioeconomic inequalities and vulnerabilities on health-system preparedness and response to COVID-19 in Brazil: a comprehensive analysis. *Lancet Glob Health* 2021; 9: e782-e92. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(21\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(21)00081-4)

## RESUMO

**Objetivo:** Analisar as tendências temporais e a prevalência dos indicadores de atividade física e comportamento sedentário em adultos das capitais brasileiras entre 2006 e 2021, incluindo o período de pandemia. **Métodos:** Trata-se de estudo de série temporal de inquéritos transversais baseado no Sistema de Vigilância Telefônica de Doenças Crônicas. As tendências de atividade física suficiente no lazer, atividade física suficiente no deslocamento, prática insuficiente de atividade física e tempo total de tela foram estimadas por meio da regressão de Prais-Winsten. As tendências temporais e as prevalências anuais foram calculadas por sexo, faixa etária e escolaridade. **Resultados:** Na população total, foram encontradas tendências temporais significativas para atividade física suficiente no lazer ( $\beta=0,614$ ) e tempo total de tela ( $\beta=1,319$ ). Quanto à prevalência, a atividade física suficiente no lazer aumentou de 29% em 2009 para 39% em 2019, seguida de redução de 2,3% entre 2020 e 2021. A prevalência do tempo total de tela aumentou consideravelmente entre 2019 e 2020 (4,7%). Embora a inatividade física tendesse a diminuir ao longo da série, sua prevalência aumentou 3,4% entre 2019 e 2021, assim como a atividade física no deslocamento diminuiu 3,7% no mesmo período. **Conclusão:** Enquanto a atividade física suficiente no lazer aumentou ao longo dos anos, é incerto se essa tendência se manterá nos anos seguintes à COVID-19. Não apenas as pessoas alteraram seus hábitos de lazer, mas também há um domínio crescente do tempo de tela em razão da mudança nos padrões sociais e de trabalho. Mais estratégias precisam ser abordadas para o enfrentamento da inatividade física, do comportamento sedentário e para a revisão das metas nacionais pós-pandemia.

**Palavras-chave:** Atividade física. Comportamento sedentário. Doenças não transmissíveis. Séries históricas. COVID-19.

**ETHICAL APPROVAL:** Ethical clearance was approved by the National Commission for Ethics in Research for Human Beings of the Ministry of Health (Opinion 2.100.213 – CAAE: 65610017.1.0000.0008).

**AUTHORS' CONTRIBUTIONS:** Faria, T. M. T. R.: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Writing – original draft, Writing – review and editing. Silva, A. G.: Methodology, Visualization of data, and Validation. Claro, R. M.: Data curation, Writing – original draft, Supervision, and Validation. Malta, D. C.: Project administration, Conceptualization, Supervision, and Validation. All authors approved the final version.

**FUNDING:** none.



## 7.2 ARTIGO 2

Public Health 243 (2025) 105727



Contents lists available at ScienceDirect

Public Health

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/puhe](http://www.elsevier.com/locate/puhe)

## Improving the mapping of leisure-time physical activity inequities: the use of artificial intelligence to advance estimates of small-areas in Brazil

Thania Mara Teixeira Rezende Faria<sup>a,c,\*</sup>, Marisa Affonso Vasconcelos<sup>b</sup>,  
Regina Tomie Ivata Bernal<sup>d</sup>, Gregore Iven Mielke<sup>c</sup>, Juliana Bottoni de Souza<sup>f</sup>,  
Crizian Saar Gomes<sup>d</sup>, Marcos André Gonçalves<sup>c</sup>, Jussara Marques de Almeida<sup>c</sup>,  
Deborah Carvalho Malta<sup>a,e</sup>

<sup>a</sup> Postgraduate Program of Public Health, School of Preventive Medicine, Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil

<sup>b</sup> Department of Computer Science, Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil

<sup>c</sup> School of Public Health, The University of Queensland, Australia

<sup>d</sup> Postgraduate Program of Public Health, Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil

<sup>e</sup> Department of Maternal and Child Care and Public Health, Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil

<sup>f</sup> Postgraduate Program of Nursing, Federal University of Minas Gerais, Brazil

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Public health surveillance  
Physical activity  
Inequities  
Artificial Intelligence

### ABSTRACT

**Objective:** We estimated the prevalence of leisure-time physical activity (LTPA) in small areas of the city of Belo Horizonte and analyzed inequities across areas and between two time periods, 2009–2013 and 2014–2018.

**Study design:** Small area estimation using clustered data.

**Methods:** Data from the Surveillance of Risk and Protective Factors for Chronic Diseases (Vigitel) between 2009 and 2018 for the city of Belo Horizonte, Brazil, were used. Firstly, interviews were georeferenced (n = 16,019) in the census tracts (3,830) of the city. Secondly, the socioeconomic and sanitation components of a Health Vulnerability Index (IVH), indicator used to classify census tracts, served as input variables for a k-means clustering technique to group the tracts in smaller areas of higher homogeneity in relation to IVS components. Lastly, direct estimation of LTPA prevalence was obtained in each cluster by applying post-stratification weights to sample. Absolute and relative differences were calculated between periods and prevalence differences between clusters to analyze inequities.

**Results:** Nine clusters were found. LTPA prevalence ranged from 23.70 % in a very high-risk cluster to 45.55 % in a low-risk cluster during the 2009–2013 period, and from 31.44 % in a high-risk cluster to 52.81 % in a low-risk cluster from 2014 to 2018. Reducing inequities were observed among the more disadvantaged clusters, but it remained persistently large between the lowest and highest vulnerability groups.

**Conclusion:** Small area estimates are an advantage for a more accurate level of health surveillance. Different machine learning methods are encouraged to provide information for more tailored interventions at local level.

### 1. Introduction

Physical activity (PA) is critically important for public health, and has been associated with a reduced risk of all-cause mortality and increased life expectancy,<sup>1,2</sup> a lower incidence of chronic conditions,<sup>3,4</sup> reduced levels of mental health disorders,<sup>5</sup> and lower direct and indirect health care costs.<sup>6</sup> For this reason, PA, along with its determinants and

environmental predictors, continues to be monitored worldwide.<sup>7–9</sup>

Globally, approximately 31 % of the population is physically inactive.<sup>10</sup> In Brazil, leisure-time physical activity (LTPA) levels have been monitored through large national surveys. According to the Surveillance System of Risk and Protective Factors for Chronic Diseases by Telephone (*Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico* – Vigitel), LTPA has slightly increased over the past

\* Corresponding author. Avenida Alfredo Balena, 190 Room 434. Belo Horizonte, Brazil.

E-mail addresses: [thaniamfaria@gmail.com](mailto:thaniamfaria@gmail.com) (T.M. Teixeira Rezende Faria), [marisavasconcelos@dcc.ufmg.br](mailto:marisavasconcelos@dcc.ufmg.br) (M.A. Vasconcelos), [reginabernal@terra.com.br](mailto:reginabernal@terra.com.br) (R.T. Ivata Bernal), [g.ivenmielke@uq.edu.au](mailto:g.ivenmielke@uq.edu.au) (G.I. Mielke), [juliana\\_bottoni@yahoo.com.br](mailto:juliana_bottoni@yahoo.com.br) (J. Bottoni de Souza), [criziansaar@gmail.com](mailto:criziansaar@gmail.com) (C.S. Gomes), [mgoncalv@dcc.ufmg.br](mailto:mgoncalv@dcc.ufmg.br) (M.A. Gonçalves), [jussaramarquesdealmeida@gmail.com](mailto:jussaramarquesdealmeida@gmail.com) (J.M. Almeida), [dcmalta@uol.com.br](mailto:dcmalta@uol.com.br) (D.C. Malta).

<https://doi.org/10.1016/j.puhe.2025.105727>

Received 16 July 2024; Received in revised form 12 February 2025; Accepted 9 April 2025

0033-3506/© 2025 The Royal Society for Public Health. Published by Elsevier Ltd. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.



17 years, at an average annual rate of nearly 2 % in the population of capital cities.<sup>11</sup> Likewise, according to the Brazilian National Health Survey (*Pesquisa Nacional de Saúde – PNS*), from 2013 to 2019, LTPA showed a 5 % annual increase throughout the country.<sup>12,13</sup> However, inequities in LTPA tend to prevail in the most socioeconomically disadvantaged areas. Moreover, men tend to be more active than women, as well as younger individuals, people with higher education and socioeconomic status tend to be more active than their counterparts.<sup>12,14,15</sup>

National surveys enable the estimation of health outcomes in large geographic areas, such as capital cities and regions.<sup>16</sup> This is extremely important in the process of tracking global and national targets, such as the Sustainable Development Goals (SDGs) and the Brazilian National Action Plan to tackle Noncommunicable Diseases (NCDs) up to 2030.<sup>17</sup> Nevertheless, large cities are highly heterogeneous in terms of the distribution of health outcomes, which is one of the main reasons why more granular views help reveal the spatial variability hidden behind generic population estimates.<sup>18</sup>

Small area estimation (SAE) methods use national survey data to obtain estimates for smaller areas.<sup>19</sup> The United States, for instance, has been developing a project since 2016 by using the Behavioral Risk Factor Surveillance System (BRFSS) to estimate the prevalence of health risk and protective factors for NCDs across 500 cities.<sup>20</sup> Likewise, Australia has determined 2,221 small areas across the country to monitor cancer risk and protective factors.<sup>18</sup>

These estimates are used to support public policies to reduce health inequalities by helping to identify areas that require further intervention.<sup>18,21</sup> However, only a few studies to date have presented the prevalence of LTPA in smaller areas.<sup>22,23</sup> These studies have found that the prevalence of LTPA and healthy eating is lower in socioeconomically disadvantaged areas.<sup>23</sup> Moreover, smoking levels tend to be higher in vulnerable areas rated according to the Health Vulnerability Index (*Índice de Vulnerabilidade Social – IVS*),<sup>22,23</sup> an indicator used to track health disparities and guide resource allocation in one of the most populous cities of the Southeast region of Brazil.<sup>24</sup> Notably, these results reveal varying measures of prevalence based on different socioeconomic strata in the city.<sup>24,25</sup>

Further studies are needed to produce more reliable SAEs in large cities. In this sense, machine learning can be used as a tool to strengthen surveillance and predict outcomes through the analysis of data from traditional surveys.<sup>26</sup> Therefore, the primary aim of this study is to estimate the prevalence of LTPA in small regions of the city of Belo Horizonte, using machine learning techniques and analyzing inequities by comparing the prevalence of LTPA in different regions of the city and within two time periods, 2009–2013 and 2014–2018.

## 2. Methods

### 2.1. Study design

The present study used cross-sectional data from Vigitel, conducted between 2009 and 2018. Vigitel interviews around 2000 individuals annually in the 27 state capitals of Brazil and is a primary source of information for health surveillance in the country.

Briefly, Vigitel consists of a series of questions concerning socio-demographic and behavioral characteristics related to NCD risk and protective factors. Sample selection is carried out in two stages. In the first stage, 5,000 telephone lines are randomly selected from a list of records from leading telephone companies, which are then randomly subdivided into samples of 200 phone lines each. In the second stage, in each household, one adult over 18 years of age is randomly selected to participate in the survey. Further information about Vigitel sampling can be found elsewhere.<sup>16</sup>

Specifically for this study, we used data from Belo Horizonte, a city of 2,315,560 inhabitants.<sup>25</sup> The survey employs a post-stratification weight to each individual. These weights are calculated using the rake

method and population projections (both with and without fixed-line telephones), based on age, sex, and education for each year.<sup>27</sup> A total of 19,041 answers were reported in Vigitel, Belo Horizonte, between 2009 and 2018, divided in two time periods (2009–2013 and 2014–2018), which were adopted so as to maintain a similar number of years for each period.

Each Vigitel interview was attributed to a census tract in the city. The georeferencing procedure consisted of the linkage of the landline addresses of the respondents with the 2010 National Address Registry for Statistical Purposes (*Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos – CNEFE*) from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE*).<sup>25</sup> The objective of georeferencing using the CNEFE is to report an address to a census sector. From the total number of answers, 16,019 interviews were georeferenced. The analytical and non-analytical samples are described in [Supplementary Table 2](#).

### 2.2. Leisure-time physical activity

LTPA was assessed considering the cut-off point of a minimum of 150 min of moderate PA per week, or 75 min of vigorous PA per week, or a combination of both.<sup>1</sup> Each year, participants were asked if, in the last three months, they had engaged in any type of PA or sport. If they had been active for the last three months, specific questions were asked about the type (“What is the main type of PA or sport that you practiced?”); frequency (“Do you exercise at least once a week?”, “How many days a week do you usually exercise?”); and duration of the activity in a week (“On the day you practice exercise or sport, how long does this activity last?”).

The indicator was constructed by multiplying frequency, duration, and type of PA. Since the survey included only categorical variables, the mean value of categories was considered for frequency and duration. Moderate PA consumes an average of 3–4 metabolic equivalents (METs), while vigorous PA spends an average of 6–8 METs.<sup>7,28</sup> Therefore, the total minutes of PA per week was multiplied by the type of PA, considering 1 for moderate PA and 2 for vigorous PA. According to Vigitel, moderate PA included walking or treadmill walking, resistance training, water aerobics, gymnastics in general (stretching, pilates, yoga), swimming, martial arts, cycling, volleyball and *footvolley*, and dance (ballet, ballroom dancing, belly dancing), while vigorous PA included running or treadmill running, aerobic gymnastics (spinning, step, jump), football, basketball, and tennis. Based on current PA Guidelines, physically active individuals were coded as 1; otherwise, 0.

### 2.3. Small areas

Belo Horizonte has a total of 3,936 census tracts in an area of 331.4 km<sup>2</sup>.<sup>25</sup> The census tracts are the smallest territorial unit available in Brazil according to the IBGE. In this study, to define small-area clusters, we grouped census tracts according to the IVS, which integrates socioeconomic and sanitation indicators to categorize areas into socioeconomic vulnerability levels.<sup>24</sup>

According to the Municipal Health Department of Belo Horizonte, eight variables grouped into two dimensions (sanitation and socioeconomic) were used to construct the IVS.<sup>24</sup> The variables or indicators derived from census data ([Supplementary Table 1](#)). Each variable was weighed using a participatory method (Delphi method). Specialists from other municipal secretariats and academic researchers were invited to provide their judgement on the weighting, along with technicians involved in the development process. More on the construction of IVS can be found elsewhere.<sup>24</sup>

This process resulted in a score for each census tract. Of the 3,936 census tracts, 106 were not scored due to data confidentiality concerns or because they had no resident population and consisted solely of collective households. The classification of census tracts resulted in four main categories: low risk (LO), medium risk (MD), high risk (HI), and



very high risk (VH). These categories were based on the distances of the score from the mean value and the standard deviation of the IVS. The Municipal Health Department makes the IVS classification of each census tract accessible to the general public.

#### 2.4. Data analysis

##### 2.4.1. Clustering technique

Given that IVS categories are crucial in defining effective public health policies, we decided to regroup the census areas within each original IVS into more refined groups. These groups consisted of sectors that are more similar in terms of sociodemographic and sanitation components, since the way the IVS was constructed revealed significant heterogeneity within each category. This heterogeneity was assessed using the coefficient of variation (CV) of each category (Table 1).

The IVS was further refined using K-means clustering, an unsupervised machine learning technique, to differentiate tracts within each risk level, ensuring higher homogeneity within each resulting cluster. K-means was applied four times, once for each IVS level (LO, MD, HI, VH) using the scores of the two dimensions of IVS as input variables. Each execution of K-means served to identify subgroups (clusters) of census tracts within a given IVS level. This approach enabled a more granular analysis of LTPA prevalence by grouping similar vulnerability profiles, rendering the findings interpretable and relevant for targeted public health actions, as compared to other techniques (e.g., density-based techniques).

We explored a range of (*k*) number of clusters, ranging from 2 to 20. The best number of clusters were determined based on Silhouette analysis.<sup>29</sup> This method evaluates how well objects are clustered by comparing the average distance between objects and provides a Silhouette score within a range of  $[-1, 1]$ . Silhouette coefficients close to +1 indicate that the cluster's data is well separated from the neighboring clusters, while a negative silhouette coefficient suggests an incorrect data assignment to groups (Supplementary Fig. 1).

The results of the cluster analysis revealed varying prevalences across clusters within the same original IVS, as well as reduced coefficients of variation (CVs) per cluster (Table 2). A total of 9 clusters were defined: two derived from the LO group (i.e.: LO-0, LO-1), two from the MD group (i.e.: MD-0, MD-1), three from the HI group (i.e.: HI-0, HI-1, HI-2), and two from the VH group (i.e.: VH-0, VH-1). The distribution of clusters in the city is illustrated in the Supplementary Material, Figs. 2–6.

##### 2.4.2. Small area estimation

The prevalence of LTPA and its respective 95 % confidence intervals (95 % CI) were estimated between 2009–2013 and 2014–2018 in each cluster using the georeferenced sample. The estimation of prevalence was obtained by the direct method, in which the proportion of individuals in a cluster that reached the recommended levels of LTPA was calculated through the *svy* command of Stata 15.1. The direct method considers only the variables of the sampling design. Therefore, post-stratification weights are applied through the *svy* command, corrected for selection bias in the Vigitel telephone line sampling.<sup>27</sup>

The Student's *t*-test, with a significance level of 5 %, was used to

**Table 1**  
Coefficient of variation for the original IVS categories.

	Mean IVS score	Coefficient of variation (%)
LO	0.148	20.51
MD	0.242	10.40
HI	0.326	8.08
VH	0.437	13.35

LO, low risk; MD, medium risk; HI, high risk; VH, very high risk.

IVS, Health Vulnerability Index (or *Índice de Vulnerabilidade Social*, in Portuguese).

**Table 2**  
Coefficient of variation for the defined clusters.

	Mean IVS score	Coefficient of variation (%)
LO-0	0.168	9.13
LO-1	0.116	15.99
MD-0	0.220	6.65
MD-1	0.262	5.15
HI-0	0.350	4.24
HI-1	0.337	7.57
HI-2	0.306	4.43
VH-0	0.487	13.55
VH-1	0.411	7.67

LO-0 and LO-1, clusters derived from the low risk group; MD-0 and MD-1, clusters derived from the medium risk group; HI-0, HI-1 and HI-2, clusters derived from the high risk group; VH-0 and VH-1, clusters derived from the very high risk group.

IVS, Health Vulnerability Index (or *Índice de Vulnerabilidade Social*, in Portuguese).

assess the differences in LTPA between the clusters. To analyze inequities, we further calculated absolute differences, in percentage points (p.p.), and relative differences between time periods. Absolute differences between clusters were calculated by considering the highest and lowest prevalence of each IVS group.

### 3. Results

Belo Horizonte is the sixth largest city in Brazil, with 2,315 million inhabitants. In 2023, the city was ranked fifth in the country, with a Human Development Index (HDI) of 0.797.<sup>30</sup> The sample of Vigitel for Belo Horizonte between 2009 and 2018 ( $n = 16,019$ ) mainly consisted of women (9,797 or 61.2 %), aged 65 years or over (3,963 or 24.7 %), and individuals with 9–12 years of education (5,765 or 36.0 %). Full sample characteristics according to clusters are displayed in the Supplementary Material. Clusters LO-0 and LO-1 showed a lower proportion of adults aged 18–34 years. Regarding education, clusters LO-0 and LO-1, when compared to the other clusters, also presented a lower proportion of adults with up to 11 years of education. These patterns are consistent across both time periods analyzed in this study.

Estimates from 2009 to 2013 ranged from 23.70 % (95 % CI: 17.98–29.42), the region of highest vulnerability (cluster VH-1), to 45.55 % (95 % CI: 42.35–48.75) in regions of lowest vulnerability (cluster LO-1). Between 2014 and 2018, the lowest prevalence of LTPA was observed in the highest risk regions, HI-0 (31.44 %, 95 % CI: 25.70–37.17), while the highest estimated prevalence was in the lowest risk region, LO-1 (52.81 %, 95 % CI: 48.64–56.98), which are also less vulnerable. When comparing the two periods, there was a relative increase in the prevalence of LTPA in 4 of the 9 clusters; in the remaining clusters, no statistically significant differences were observed (Table 3).

In general, the higher the vulnerability, the lower the estimated prevalence. Lower prevalence estimates were identified in the peripheral areas of the city, while higher prevalences were found in the inner city, where clusters of high socioeconomic status are located (see Supplementary Figs. 2–6 for the distribution of clusters).

Fig. 1 shows the absolute difference in LTPA prevalence between clusters. The respective calculated differences were: (i) the highest prevalence of the LO group (LO-1) minus the lowest prevalence of the other IVS groups, i.e. for the MD risk, the lowest prevalence was found in MD-1 cluster; for the HI, the lowest prevalence was in HI-1; for the VH, lowest prevalence was in VH-1; (ii) the highest prevalence of the MD group (MD-0) minus the lowest prevalence of the HI group (HI-1) and the lowest prevalence of the VH group (VH-1); and (iii) the highest prevalence of the HI group (HI-0) minus the lowest prevalence of the VH group (VH-1).

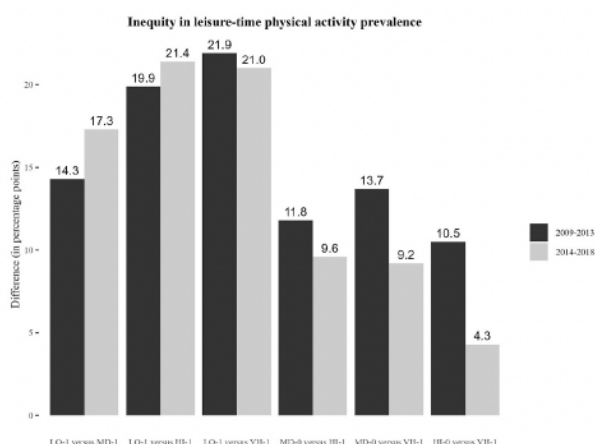
As for the variation between the highest and lowest prevalence of each IVS strata, in the first period, the prevalence of LTPA varied 21.9 %

**Table 3**  
Characteristics of the sample and estimates of LTPA prevalence according to cluster.

Cluster	Total number of census tracts	Census tracts with interviews	1st period			2nd period			Absolute difference	Relative difference
			2009 to 2013			2014 to 2018				
			Number of interviews	LTPA %	95 % CI	Number of interviews	LTPA %	95 % CI	p.p.	%
LO-0	818	750	1766	39.23	(36.49–41.97)	1570	46.90	(43.74–50.06)	7.67*	19.56
LO-1	512	492	1367	45.55	(42.35–48.75)	946	52.81	(48.64–56.98)	7.26*	15.94
MD-0	697	619	1638	37.41	(34.64–40.19)	1485	41.01	(37.88–44.15)	3.60	9.62
MD-1	763	697	1983	31.24	(28.89–33.58)	1721	35.47	(32.67–38.27)	4.24*	13.56
HI-0	260	209	438	34.15	(28.91–39.39)	376	31.44	(25.70–37.17)	-2.71	-7.94
HI-1	100	84	193	25.61	(18.71–32.51)	197	36.12	(28.27–43.97)	10.51	41.03
HI-2	377	326	807	28.43	(24.70–32.16)	763	35.18	(30.84–39.53)	6.75*	23.75
VH-0	101	71	131	28.46	(19.30–37.61)	107	34.39	(24.19–44.59)	5.94	20.86
VH-1	202	155	287	23.70	(17.98–29.42)	244	31.82	(24.69–38.95)	8.12	34.26
Total	3830	3403	8610			7409				

\*Statistically significant values considering  $p < 0.05$ .

p.p., percentage points; LO-0 and LO-1, clusters derived from the low risk group; MD-0 and MD-1, clusters derived from the medium risk group; HI-0, HI-1 and HI-2, clusters derived from the high risk group; VH-0 and VH-1, clusters derived from the very high risk group.  
LTPA, leisure-time physical activity.



**Fig. 1.** Difference in the prevalence of LTPA between clusters, according to time period

Note: The difference refers to the absolute difference between the highest prevalence of one IVS stratum and the lowest prevalence of the subsequent IVS stratum with higher vulnerability. LO-0 and LO-1, clusters derived from the low risk group; MD-0 and MD-1, clusters derived from the medium risk group; HI-0, HI-1 and HI-2, clusters derived from the high risk group; VH-0 and VH-1, clusters derived from the very high risk group.

between the LO-1 cluster and the VH-1 cluster. In the second period, the same difference was of 21.0 %. This uneven relation was prominent when compared to the difference among other clusters. Overall, this difference tended to decrease amid the higher vulnerability clusters (i.e.: between the MD and HI clusters, between the MD and VH clusters, and between the HI and VH clusters), but not between the most socioeconomically advantaged (LO) and the MD and HI clusters.

#### 4. Discussion

The present study aimed to estimate the prevalence of LTPA in smaller areas of the city of Belo Horizonte, Brazil, and analyze inequities in LTPA between two time periods and between cluster areas. The main contribution of this work is to highlight the prevalence differences found between clusters and emphasize the need to advance LTPA surveillance in smaller areas, particularly arguing that this approach can be integrated with the surveillance of other NCD risks and protective factors.

Disaggregation of the IVS into its components allowed us to group

more similar tracts and estimate the prevalence of outcome in a way that unraveled interesting scenarios when compared to the estimations from previous studies using the original IVS.<sup>22,23</sup> In this study, we observed an overall significant increase in LTPA between 2009–2013 and 2014–2018 in adults living in areas of LO and MD vulnerability (not including cluster MD-0). Among the clusters of higher vulnerability, only cluster HI-2 showed a statistically significant increase.

While a decreasing trend in LTPA is commonly observed as vulnerability increases,<sup>23,31</sup> based on the point estimates, the increase in the HI-2 cluster was higher than the MD-0 cluster, disclosing a specific scenario that could not be observed by an aggregated estimate. Ensuring higher homogeneity within each resulting cluster allowed for a more granular analysis of LTPA prevalence by grouping similar vulnerability profiles, making the findings more precise and, in this sense, pertinent for public health actions in socioeconomically heterogeneous areas.

It is important to mention that there are several challenges in using data from national surveys to estimate indicators in small areas. The sensitivity of the estimates depends on the small area definition or the Modifiable Areal Unit Problem (MAUP),<sup>18</sup> which refers to the major challenge of choosing the smallest partition of data that provides significant results and matches the administrative capacity of the local government to handle the results. The present study's choice of area partition is one among various possibilities of census tract aggregation.

Inequity in LTPA prevalence was observed in the difference increase (in p.p.) between the low vulnerability and the high vulnerability clusters from 2009 to 2013 to 2014–2018, as opposed to the difference decrease between the MD, HI, and VH clusters. While we could not account for an individual-level perspective to explain disparities, to some extent, the LO-0 and LO-1 clusters presented a higher percentage of individuals with higher education and older age; existing literature on inequities in LTPA supports our findings regarding the higher prevalence in one of those groups, i.e.: for the clusters with a higher proportion of individuals with more years of education. A study conducted by Werneck et al. (2021) found that, although LTPA prevalence increased over time in Brazil, the increase in population levels of PA was more pronounced among the most educated and wealthier individuals between 2013 and 2019.<sup>12</sup>

However, whereas sociodemographic characteristics were consistent in both time periods, we further attribute the persistent inequality between the lowest disadvantaged and the medium and high disadvantaged groups to several potential barriers to LTPA practice in peripheral areas of the city related to urban inequalities,<sup>32</sup> as well as city infrastructure aspects that result in an unequal distribution of public equipment for PA practice in the city according to the IVS<sup>31,33</sup> and a less conducive environment for PA practice in underprivileged areas.<sup>34</sup>



Environmental factors, such as the mixed use of land, street connectivity, safety and transportation, in general positively associated with various modes of active leisure and transportation,<sup>35–37</sup> are commonly observed in more dense regions as compared to the outskirts of the city and, in fact, not sufficiently distributed as per population density, especially in low- and middle-income countries.<sup>36,38</sup> Moreover, according to the observations of a previous study,<sup>39</sup> open public spaces, such as parks and squares, require further development in the city of Belo Horizonte in order to create a favorable environment for PA practice in such an important urban center.

All in all, it is important to note the limitations of this study. Firstly, the distribution of other covariates associated with the outcome of interest could not be accounted for, thereby strengthening the assumption of a correlation between the IVS and LTPA. In addition, the small sample size in disadvantaged areas, resulting from the survey's sampling design, which relied only on landline telephone owners, demonstrates the need to create synthetic populations, especially in more vulnerable areas to reduce the estimation standard error. Thirdly, Vigitel is based on self-reported measures of LTPA rather than on objective measures, which increases the chance of recall bias and social desirability in the responses.

In conclusion, machine learning and other artificial intelligence techniques are an advantage for monitoring and surveillance.<sup>26</sup> The observation of varying LTPA prevalences within catchment areas covered by health facilities highlights the complexity applied to public policy planning.<sup>40</sup> Conversely, it also represents an opportunity to address local demands more effectively, with more tailored interventions rather than a “one size fits all” strategy in the territory. Therefore, monitoring LTPA in smaller areas helps to promote more tailored interventions, possibly reducing LTPA regional inequalities. Since population surveys are expensive to implement, innovative surveillance should be continuously stimulated in the country to reduce inequities and improve people's health, particularly in the most disadvantaged areas of Brazilian cities.

#### Ethical approval

Vigitel was approved by the National Health Council (no. 3.258.076). This study was approved by the ethics committee of the Federal University of Minas Gerais (UFMG) under opinion no. 6.538.883.

#### Funding

This study was funded by the following resources: 1) Center for Innovation and Artificial Intelligence for Health (CI-IA Saúde) that receives grants from the São Paulo State Research Support Foundation (FAPESP process n° 2020/09866-4), Minas Gerais Research Support Foundation (FAPEMIG process No. PPE-00030-21), and UNIMED Belo Horizonte; 2) FAPEMIG (call 017/2022); 3) the National Council for Scientific and Technological Development of Brazil (CNPq, call 21/2023); and 4) Ministry of Health/National Health Fund (TED 67/2023). We acknowledge the Brazilian Foundation for the Improvement of Higher Education (CAPES-PRINT process No. 88887.935773/2024-00) for the financial support to TMTRF during her doctoral internship program at the University of Queensland. GIM is supported by a National Health and Medical Research Council Investigator Grant (APP2008702). We also acknowledge the authors' private grants by Brazilian funding agencies, the Foundation for Research Support of the State of Minas Gerais (FAPEMIG), the Foundation for Research Support of the State of São Paulo (FAPESP) and the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

#### Declaration of interest statement

The authors declare that they have no known competing financial

interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this article.

#### Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2025.105727>.

#### References

1. Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med.* 2020;54:1451–1462.
2. Lee I-M, Shiroma EJ, Lobelo F, Puska P, Blair SN, Katzmarzyk PT. Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet.* 2012;380:219–229.
3. Kazemi A, Soltani S, Aune D, et al. Leisure-time and occupational physical activity and risk of cardiovascular disease incidence: a systematic-review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Int J Behav Nutr Phys Activ.* 2024;21:45.
4. Mielke GI, Ding D, Keating SE, Nunes BP, Brady R, Brown WJ. Physical activity volume, frequency, and intensity: associations with hypertension and obesity over 21 years in Australian women. *J Sport Health Sci.* 2024;13:631–641.
5. Noetel M, Sanders T, Gallardo-Gómez D, et al. Effect of exercise for depression: systematic review and network meta-analysis of randomised controlled trials. *Br Med J.* 2024;384, e075847.
6. Ding D, Lawson KD, Kolbe-Alexander TL, et al. The economic burden of physical inactivity: a global analysis of major non-communicable diseases. *Lancet.* 2016;388:1311–1324.
7. Hallal PC, Andersen LB, Bull FC, Guthold R, Haskell W, Ekelund U. Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. *Lancet.* 2012;380:247–257.
8. Sallis J, Bull F, Guthold R, Heath G, Inoue S, Kelly P. Physical Activity 2016: progress and challenges progress in physical activity over the Olympic quadrennium. *Lancet Phys Act Series.* 2016;2:305S1–305S5.
9. Bauman AE, Reis RS, Sallis JF, Wells JC, Loos RJF, Martin BW. Correlates of physical activity: why are some people physically active and others not? *Lancet.* 2012;380:258–271.
10. Strain T, Flaxman S, Guthold R, et al. National, regional, and global trends in insufficient physical activity among adults from 2000 to 2022: a pooled analysis of 507 population-based surveys with 5–7 million participants. *Lancet Global Health.* 2024;12:e1232–e1243.
11. Mielke GI, Hallal PC, Malta DC, Lee IM. Time trends of physical activity and television viewing time in Brazil: 2006–2012. *Int J Behav Nutr Phys Activ.* 2014;11:101.
12. Werneck AO, Barboza LL, Araújo RHO, et al. Time trends and sociodemographic inequalities in physical activity and sedentary behaviors among Brazilian adults: national surveys from 2003 to 2019. *J Phys Act Health.* 2021;18:1332–1341.
13. Wendt A, Ricardo LIC, Costa CS, Knuth AG, Tenório MCM, Crochemore-Silva I. Socioeconomic and gender inequalities in leisure-time physical activity and access to public policies in Brazil from 2013 to 2019. *J Phys Act Health.* 2021;18:1503–1510.
14. Mielke GI, Malta DC, Nunes BP, Cairney J. All are equal, but some are more equal than others: social determinants of leisure time physical activity through the lens of intersectionality. *BMC Public Health.* 2022;22:36.
15. Wendt A, Machado AKF, da Silva BGC, Costa CS, Ricardo LIC, da Silva SG. Inequalities in leisure-time physical activity and television viewing according to age among a Brazilian adult population. *J Phys Act Health.* 2024;21:146–154.
16. Brazil. Ministry of Health. In: SdVeSeADdAeE Vigilância, Transmissíveis dDN, eds. *Vigitel Brasil 2006-2023: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico: estimativas sobre frequência e distribuição sociodemográfica de prática de atividade física nas capitais dos 26 estados brasileiros e no Distrito Federal entre 2006 e 2023.* 2024;68. Brasília.
17. Brasil. Ministério da Saúde. Plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) no Brasil 2021-2030. Brasília. Ministério da Saúde. 2021;118p.:il.
18. Hogg J, Cameron J, Cramb S, Baade P, Mengersen K. Mapping the prevalence of cancer risk factors at the small area level in Australia. *Int J Health Geogr.* 2023;22:37.
19. Rao JN, Molina I. *Small Area Estimation.* John Wiley & Sons; 2015.
20. Wang Y, Holt JB, Xu F, et al. Using 3 health surveys to compare multilevel models for small area estimation for chronic diseases and health behaviors. *Prev Chronic Dis.* 2018;15.
21. Kong AY, Zhang X. The use of small area estimates in place-based health research. *Am J Publ Health.* 2020;110:829–832.
22. Bernal RTI, de Carvalho QH, Pell JP, et al. A methodology for small area prevalence estimation based on survey data. *Int J Equity Health.* 2020;19:124.
23. Cardoso LSdM, Gomes CS, Moreira AD, Bernal RTI, Ribeiro ALP, Malta DC. *Consumo de frutas e hortaliças, prática de atividade física no tempo livre e consumo abusivo de bebida alcoólica em Belo Horizonte, Brasil, segundo índice de Vulnerabilidade à Saúde.* vol. 24. Revista Brasileira de Epidemiologia; 2021, e210013.
24. PBH. Índice de Vulnerabilidade da Saúde. *Prefeitura de Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Saúde.* vol. 2013. 2012.
25. Demographic census data. [database on the Internet] [cited 02 April 2024]. Available from: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>; 2010.



26. Delpino F, Costa Â, Farias S, Chiavegatto Filho ADP, Arcêncio RA, Nunes B. Machine learning for predicting chronic diseases: a systematic review. *Public Health*. 2022; 205:14–25.
27. Bernal RTI, Iser BPM, Malta DC, Claro RM. Sistema de Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico (Vigitel): mudança na metodologia de ponderação. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*. 2017;26:701–712.
28. Haskell WL, Lee I-M, Pate RR, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*. 2007;116:1081.
29. Rousseeuw PJ. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *J Comput Appl Math*. 1987;20:53–65.
30. UNDP. Relatório Especial 2023 | 25 Anos: Desenvolvimento Humano No Brasil. Construir Caminhos, Pactuando Novos Horizontes. Brasília, DF: United Nations Development Program 2023.
31. Gomes CS, Vieira CS, Rocha FL, et al. Spatial analysis of leisure-time physical activity in an urban area. *Rev Bras Epidemiol*. 2021;24, e210012.
32. Galea S, Vlahov D. Urban health: evidence, challenges, and directions. *Annu Rev Publ Health*. 2005;26:341–365.
33. Gomes CS, Mendes LL, Vieira MA, Costa MA, Melendez GV. Spatial distribution of sedentary behavior and unhealthy eating habits in Belo Horizonte, Brazil: the role of the neighborhood environment. *Ciência Saúde Coletiva*. 2022;27:1503–1512.
34. Lamb KE, Ferguson NS, Wang Y, Ogilvie D, Ellaway A. Distribution of physical activity facilities in Scotland by small area measures of deprivation and urbanicity. *Int J Behav Nutr Phys Activ*. 2010;7:1–8.
35. Pearce JR, Maddison R. Do enhancements to the urban built environment improve physical activity levels among socially disadvantaged populations? *Int J Equity Health*. 2011;10:1–9.
36. Arango CM, Páez DC, Reis RS, Brownson RC, Parra DC. Association between the perceived environment and physical activity among adults in Latin America: a systematic review. *Int J Behav Nutr Phys Activ*. 2013;10:1–9.
37. Florindo AA, Onita BM, Knebel MTG, Júnior RdSW, Teixeira IP, Turrell G. Public open spaces and leisure-time walking: a longitudinal study with Brazilian people in the COVID-19 pandemic. *J Phys Activ Health*. 2023;20:1027–1033.
38. Crochemore-Silva I, Knuth AG, Mielke GI, Loch MR. Promotion of physical activity and public policies to tackle inequalities: considerations based on the Inverse Care Law and Inverse Equity Hypothesis. *Cad Saude Publica*. 2020;36, e00155119.
39. Borges PA, da Silva JI, Dourado TEPS, et al. Distribuição e qualidade de espaços públicos para atividade física de lazer em uma capital do Brasil. *Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde*. 2023;28:1–9.
40. Gelius P, Messing S, Goodwin L, Schow D, Abu-Omar K. What are effective policies for promoting physical activity? A systematic review of reviews. *Prev Med Rep*. 2020; 18, 101095.

## Material Suplementar Artigo 2

### IMPROVING THE MAPPING OF LEISURE-TIME PHYSICAL ACTIVITY INEQUITIES: THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO ADVANCE ESTIMATES OF SMALL-AREAS IN BRAZIL

**Table 1.** Variables of sanitation and socioeconomic components of IVS-2012, Belo Horizonte.

<b>Health Vulnerability Index-2012, Belo Horizonte</b>			
<b>Sanitation variables</b>	<b>Table</b>	<b>Subvariable label</b>	<b>Subvariable description</b>
Inadequate water supply	Domicilio01_MG	v013	Permanent private households with well or spring in the property.
		v014	Permanent private households with rainwater cistern.
		v015	Permanent private households with other forms of water supply.
		v019	Permanent private households with bathroom for the exclusive use of the residents or sanitary and sanitary sewage via the rudimentary fossa.
		v020	Permanent private households with bathrooms for the exclusive use of residents or sanitary and sanitary sewage via ditch.
Inadequate sanitary sewage	Domicilio01_MG	v021	Permanent private homes with a bathroom for the exclusive use of residents or a toilet and sewage system via river, lake or sea.
		v022	Permanent private homes with a bathroom for the exclusive use of residents or a toilet and sewage system via another drain.
		v023	Permanent private homes without a bathroom for the exclusive use of residents or a toilet.
		v037	Permanent private households with garbage collected in a cleaning service bucket.
Inadequate waste	Domicilio01_MG	v038	Permanent private households with burned garbage on the property.
		v039	Permanent private households with rubbish buried in the property.

<b>Sociodemographic variables</b>	<b>Table</b>	<b>Subvariable label</b>	<b>Subvariable description</b>
		v040	Permanent private households with rubbish thrown in wasteland or public place.
		v041	Permanent private households with rubbish thrown in river, lake or sea.
		v042	Permanent private households with other waste destination.
Ratio of residents per household	Basico_MG	v003	Average number of residents in private households, obtained by dividing v002 (number of residents) by v001 (number of households).
Illiterate Population	Pessoa01_MG	v001	Literate people with 5 or more years of age (1 - literate population).
Household with up to ½ minimum wage	DomicilioRenda_MG	v005	Households with nominal monthly household income per capita up to 1/8 minimum wage.
		v006	Households with nominal monthly household income per capita of more than 1/8 to 1/4 minimum wage.
		v007	Households with nominal monthly household income per capita of more than ¼ to ½ minimum wage.
Average income of the person responsible for the household	Basico_MG	v005	Average monthly nominal income of people responsible for permanent private homes (with and without income) (inverted).
Back, brown or indigenous people	Pessoa03_MG	v003	Resident people and color or race – black.
		v004	Resident people and color or race – brown.
		v005	Resident people and color or race – indigenous.

IBGE, Censo 2010. Available through: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html>

IVS, Health Vulnerability Index (or *Índice de Vulnerabilidade Social*, in Portuguese).

**Table 2.** Characteristics of analytical and non-analytical sample of Vigitel, Belo Horizonte, between 2009 and 2018, unweighted percentages.

Variable	Analytic sample	Non-analytic sample	Total	p-value <sup>1</sup>
	N=16,019	N=3,382	N= 19,401	
	<b>n (%)</b>	<b>n (%)</b>	<b>n (%)</b>	
<b>Sex</b>				0.83
Men	6,222 (38.8)	1,307 (38.7)	7,529(38.8)	
Women	9,797 (61.2)	2,075 (61.4)	11,872(61.2)	
<b>Age groups</b>				<0.001
18-24	1,498 (9.4)	351 (10.4)	1,849(9.5)	
25-34	2,209 (13.8)	631 (18.7)	2,840(14.6)	
35-44	2,586 (16.1)	690 (20.4)	3,276(16.9)	
45-54	2,885 (18.0)	606 (17.9)	3,491(18,1)	
55-64	2,878 (18.0)	499 (14.8)	3,377(17.4)	
> = 65	3,963 (24.7)	605 (17.9)	4,568(23.5)	
<b>Years of Education</b>				<0.001
0 to 8 years	5,550 (34.7)	1,054 (31.2)	6,604(34,0)	
9 to 12 years	5,765 (36.0)	1,254 (37.1)	7,019(36.2)	
> = 12 years	4,704 (29.4)	1,074 (31.8)	5,778(29.8)	

<sup>1</sup>Categorical variables: Chi-squared test

**Table 2.1.** Estimated prevalence of leisure-time physical activity (LTPA) using post-stratification weights in analytical sample and total sample according to age and education. Vigitel Belo Horizonte, 2009 to 2018.

Variable	LTPA, Vigitel 2009-2018	
	Analytic sample N=16,019	Total sample N=19,401
<b>Age groups</b>		
18-24	47.6 (44.9;50.4)	47.9 (45.4;50.4)
25-34	44.3 (42.0;46.7)	44.2 (42.1;46.2)
35-44	34.1 (32.1;36.2)	34.4 (32.5;36.2)
45-54	31.7 (29.8;33.6)	31.5 (29.8;33.3)
55-64	33.7 (31.7;35.6)	33.6 (31.8;35.5)
> = 65	28.3 (26.7;30.0)	28.2 (26.7;29.8)
<b>Years of Education</b>		
0 to 8 years	24.8 (23.4;26.3)	25.0 (23.7;26.3)
9 to 12 years	40.3 (38.8;41.9)	40.5 (39.1;41.9)
> = 12 years	48.4 (46.6;50.1)	48.2 (46.7;49.8)

LTPA, leisure-time physical activity.

**Table 3.** Characteristics of analytical and non-analytical sample of Vigitel, Belo Horizonte, between 2009 and 2018, weighted percentages.

Variable	Analytic sample N=16,019 n (%)	Non-analytic sample N=3,382 n (%)
<b><i>Sex</i></b>		
Men	45.8	45.1
Women	54.2	54.9
<b><i>Age groups</i></b>		
18-24	14.5	15.7
25-34	23.3	28.3
35-44	17.6	20.7
45-54	18.2	16.8
55-64	13.3	9.7
> = 65	13.1	8.8
<b><i>Years of Education</i></b>		
0 to 8 years	35.0	32.2
9 to 12 years	36.4	37.6
> = 12 years	28.6	30.2

Percentages adjusted by post-stratification weights.

**Table 4.** Census 2010 demographic characteristics according to clusters, Belo Horizonte, 2010.

Variable	Clusters									Total
	LO-0	LO-1	MD-0	MD-1	HI-0	HI-1	HI-2	VH-0	VH-1	
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>Sex</b>										
Men	45.0	43.8	46.0	46.5	46.7	47.0	46.9	47.7	47.2	45.8
Women	55.0	56.2	54.0	53.5	53.3	53.0	53.1	52.3	52.8	54.2
<b>Age groups</b>										
18-24	14.7	13.8	15.2	16.5	20.5	18.4	18.1	20.3	21.5	16.2
25-34	23.7	21.7	24.1	24.7	27.1	26.3	25.8	28.5	28.4	24.4
35-44	18.0	16.2	19.9	20.3	19.7	21.2	20.4	21.7	20.7	19.1
45-54	17.9	17.8	17.8	17.1	15.8	16.4	16.5	15.1	14.7	17.2
55-64	12.6	14.7	11.7	11.0	9.3	10.0	10.3	8.2	8.3	11.7
> = 65	13.1	15.8	11.3	10.5	7.5	7.7	8.9	6.2	6.3	11.3

Note. There is no education in the census data.

LO-0 and LO-1, clusters derived from the low risk group; MD-0 and MD-1, clusters derived from the medium risk group; HI-0, HI-1 and HI-2, clusters derived from the high risk group; VH-0 and VH-1, clusters derived from the very high risk group.

**Table 5.** Characteristics of analytical sample Vigitel, Belo Horizonte, between 2009 and 2018, according to cluster and time period, unweighted percentages.

<i>Variable</i>	2009-2013										p-value <sup>1</sup>
	LO-0	LO-1	MD-0	MD-1	HI-0	HI-1	HI-2	VH-0	VH-1	Total	
	N=1,766 n (%)	N=1,367 n (%)	N=1,638 n (%)	N=1,983 n (%)	N=438 n (%)	N=193 n (%)	N=807 n (%)	N=131 n (%)	N=287 n (%)	N=8,610 n (%)	
<b><i>Sex</i></b>											0.11
Men	693 (39.2)	500 (36.6)	673 (41.1)	799 (40.3)	194 (44.3)	80 (41.5)	304 (37.7)	54 (41.2)	115 (40.1)	3,412(39.6)	
Women	1,073 (60.8)	867 (63.4)	965 (58.9)	1,184 (59.7)	244 (55.7)	113 (58.6)	503 (62.3)	77 (58.8)	172 (59.9)	5,198(60.4)	
<b><i>Age groups</i></b>											<0.001
18-24	174 (9.9)	116 (8.5)	177 (10.8)	217 (10.9)	60 (13.7)	26 (13.5)	101 (12.5)	27 (20.6)	48 (16.7)	946(11.0)	
25-34	236 (13.4)	177 (13.0)	235 (14.4)	375 (18.9)	95 (21.7)	38 (19.7)	172 (21.3)	27 (20.6)	62 (21.6)	1,417(16.5)	
35-44	257 (14.6)	159 (11.6)	300 (18.3)	401 (20.2)	98 (22.4)	42 (21.8)	177 (21.9)	22 (16.8)	60 (20.9)	1,516(17.6)	
45-54	344 (19.5)	237 (17.3)	342 (20.9)	371 (18.7)	67 (15.3)	34 (17.6)	140 (17.4)	24 (18.3)	39 (13.6)	1,598(18.6)	
55-64	292 (16.5)	272 (19.9)	259 (15.8)	292 (14.7)	66 (15.1)	32 (16.6)	106 (13.1)	12 (9.2)	43 (15.0)	1,374(16.0)	
> = 65	463 (26.2)	406 (29.7)	325 (19.8)	327 (16.5)	52 (11.9)	21 (10.9)	111 (13.8)	19 (14.5)	35 (12.2)	1,759(20.3)	
<b><i>Years of Education</i></b>											<0.001
0 to 8 years	368 (20.8)	124 (9.1)	596 (36.4)	835 (42.1)	254 (58.0)	96 (49.7)	387 (48.0)	64 (48.9)	177 (61.7)	2,901(33.7)	

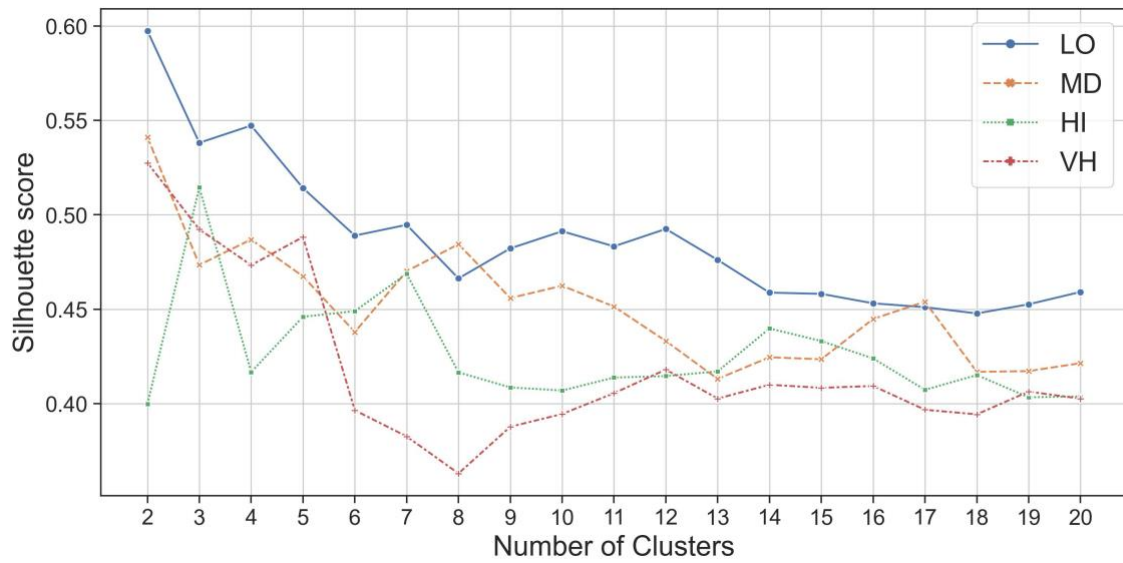




0 to 8 years	384 (24.5)	84 (8.9)	563 (37.9)	767 (44.6)	203 (54.0)	95 (48.2)	392 (51.4)	52 (48.6)	109 (44.7)	2,649(35.7)
9 to 11 years	490 (31.2)	201 (21.3)	536 (36.1)	665 (38.6)	134 (35.6)	79 (40.1)	262 (34.3)	45 (42.1)	105 (43.0)	2,517(34.0)
> = 12 years	696 (44.3)	661 (69.9)	386 (26.0)	289 (16.8)	39 (10.4)	23 (11.7)	109 (14.3)	10 (9.4)	30 (12.3)	2,243(30.3)

<sup>1</sup>Categorical variables: Chi-squared test

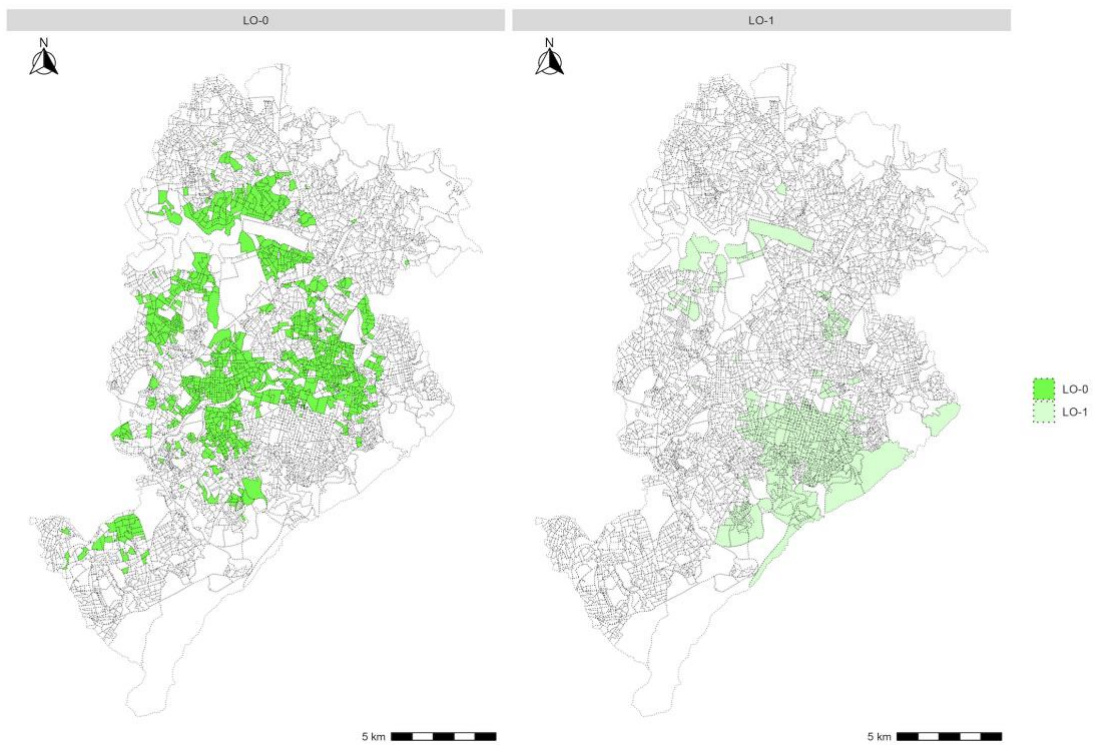
LO-0 and LO-1, clusters derived from the low risk group; MD-0 and MD-1, clusters derived from the medium risk group; HI-0, HI-1 and HI-2, clusters derived from the high risk group; VH-0 and VH-1, clusters derived from the very high risk group.

**Supplementary material****Figure 1.** Silhouette score according to number of clusters per IVS group.

Note: LO, low risk; MD, medium risk; HI, high risk; VH, very high risk.

IVS, Health Vulnerability Index (or *Índice de Vulnerabilidade da Saúde*, in Portuguese).

**Figure 2.** Mapping of clusters of low risk according to city areas, Belo Horizonte.



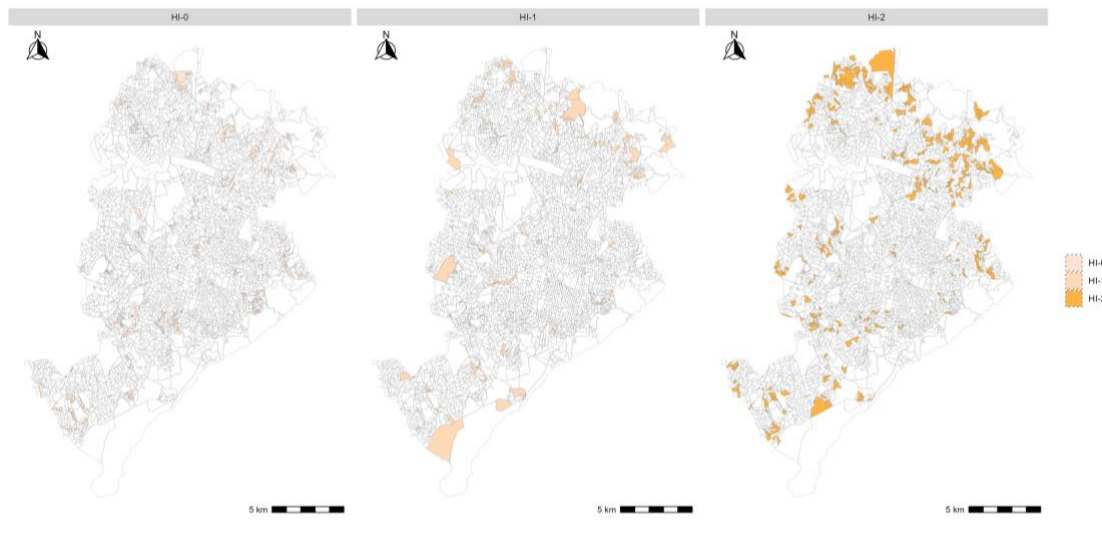
Note: LO-0 and LO-1, clusters derived from the low risk IVS group.

**Figure 3.** Mapping of clusters of medium risk according to city areas, Belo Horizonte.



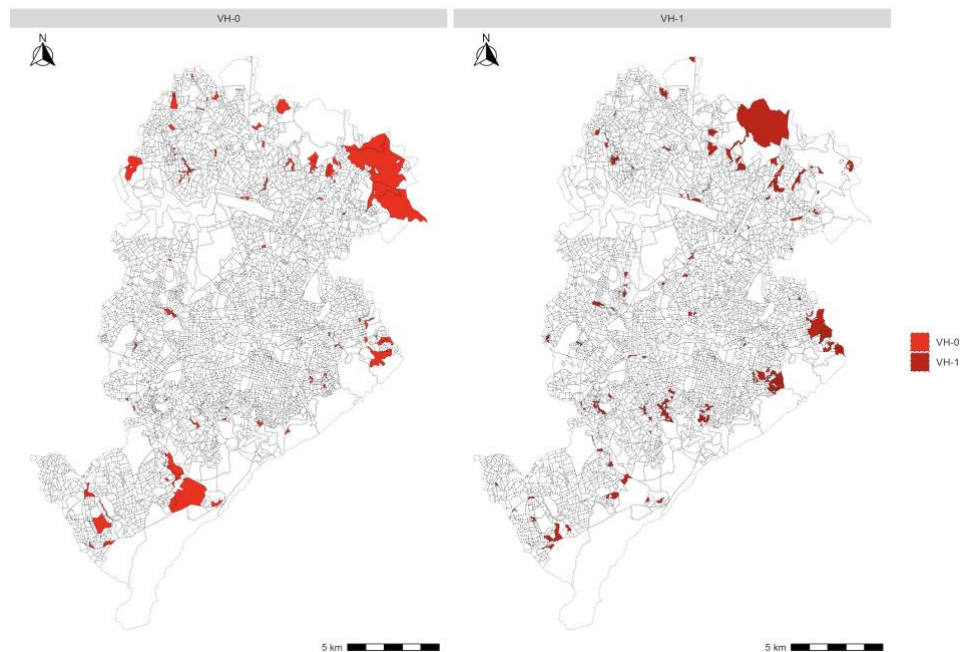
Note: MD-0 and MD-1, clusters derived from the medium risk IVS group

**Figure 4.** Mapping of clusters of high risk according to city areas, Belo Horizonte.



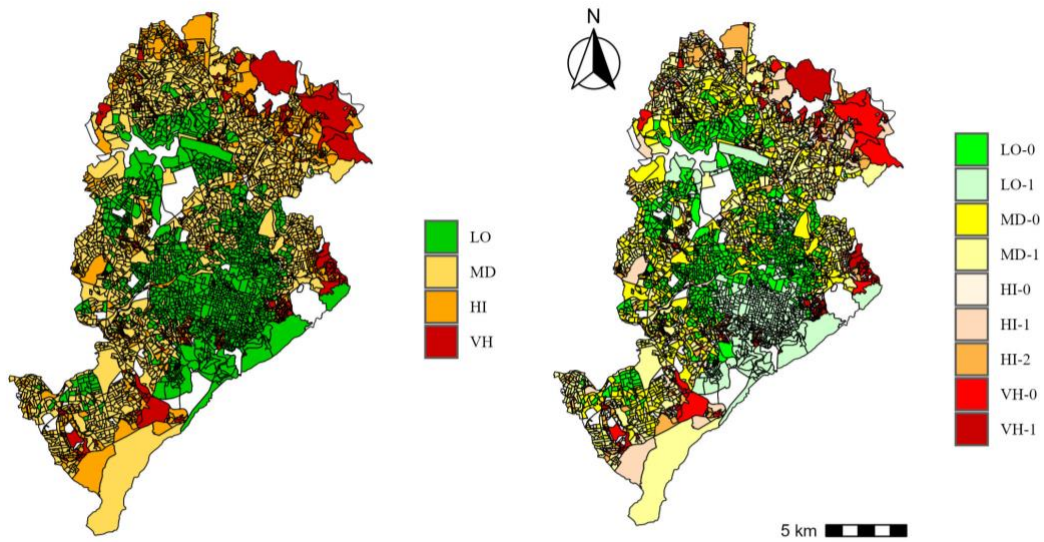
Note: HI-0, HI-1 and HI-2, clusters derived from the high risk IVS group.

**Figure 5.** Mapping of clusters of very high risk according to city areas, Belo Horizonte.



Note: VH-0 and VH-1, clusters derived from the very high risk IVS group.

**Figure 6.** Mapping of all clusters derived from IVS according to city areas, Belo Horizonte.




Note: LO-0 and LO-1, clusters derived from the low risk group; MD-0 and MD-1, clusters derived from the medium risk group; HI-0, HI-1 and HI-2, clusters derived from the high risk group; VH-0 and VH-1, clusters derived from the very high risk group.



## 7.3 ARTIGO 3

Journal of Physical Activity and Health, (Ahead of Print)  
<https://doi.org/10.1123/jpah.2024-0892>  
 © 2025 Human Kinetics, Inc.  
 First Published Online: Oct. 8, 2025

Human Kinetics   
 ORIGINAL RESEARCH

## Environmental Features and Trajectories of Physical Activity Over 10 Years in Mid-Age Australian Adults

Thania Mara Teixeira Rezende Faria,<sup>1,2</sup> Wendy J. Brown,<sup>3,4</sup> Nicola W. Burton,<sup>5,6</sup>  
 Deborah Carvalho Malta,<sup>1</sup> and Gregore Iven Mielke<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postgraduate Program of Public Health, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil; <sup>2</sup>School of Public Health, The University of Queensland, Brisbane, QLD, Australia; <sup>3</sup>Faculty of Health Sciences & Medicine, Bond University, Gold Coast, QLD, Australia; <sup>4</sup>School of Human Movement and Nutrition Sciences, The University of Queensland, Brisbane, QLD, Australia; <sup>5</sup>School of Applied Psychology, Griffith University, Brisbane, Australia; <sup>6</sup>Griffith Centre for Mental Health, Griffith University, Brisbane, Australia

**Background:** Our aim was to determine adult's trajectories of meeting 150 minutes per week of physical activity (PA) and assess associations between environmental features (and changes in these) with trajectory membership. **Methods:** We used data from the How Areas in Brisbane Influence Health and AcTivity (HABITAT) cohort study, Australia. Data on PA were assessed in 2007, 2009, 2011, 2013, and 2016 among individuals aged 45–60 years. At each survey, data on length of bike paths, area of parks, residential density, street connectivity, land use mix, and number of street lights were measured. PA trajectories were determined using group-based trajectory modeling. Group differences were analyzed based on median and interquartile range (IQR) of environmental features and associations were assessed through multinomial logistic regression. **Results:** We identified 4 trajectories of meeting PA guidelines: *low* (14.4%), *decreasing* (13.7%), *increasing* (30.4%), and *high* (41.5%). Median (IQR) values of environmental features were very similar among trajectory groups ( $P > .05$ ) with relatively little change between initial (2007) and final (2016) timepoints. Associations with trajectory membership were observed for bike path length among participants in the mid-tertile of the *low* trajectory group compared with the *high* trajectory (odds ratio [OR]=0.55; 95% confidence interval [CI], 0.36–0.84); and for street connectivity in the *low* (OR=0.67; 95% CI, 0.51–0.87), and *increasing* trajectory groups (OR=0.76; 95% CI, 0.61–0.94). **Conclusion:** In the context of this “livable city,” environmental features did not thoroughly predict patterns of PA among mid-age adults. Environmental predictors of PA deserve further attention, especially in low-income and middle-income countries, as active friendly environments have important connotations for various types of PA.

**Keywords:** built environment, determinants, middle-aged adults, trajectory analysis

### Key Points

- Four different patterns of physical activity participation were found, and few environmental features were associated with trajectory membership.
- The influence of the environment on adult's physical activity trajectories may depend on the city context and the broader concept of active space, not limited to their area of residence.
- The recognition of different patterns and determinants of physical activity throughout adulthood is important for physical activity initiation and maintenance among individuals transitioning from mid to late adulthood.


Physical activity (PA) is associated with reduced risk of non-communicable diseases,<sup>1,2</sup> and all-cause mortality.<sup>3</sup> From 57 million deaths in 2008, about 9% (or 5.3 million) could have been prevented if individuals had met the World Health Organization guidelines of at least 150 minutes of moderate to vigorous PA per week.<sup>4</sup> The importance of PA to population health reflects in its positive effects on individuals' health, and its economic impact on national and global health care costs.<sup>5</sup> Yet 31.3% of the global population remains insufficiently active.<sup>6</sup>


In most high-income countries, healthcare systems are overwhelmed by the growing burden of non-communicable diseases, with more people experiencing prolonged periods of illness before death.<sup>7,8</sup> The most cost-effective way to improve population health is to preserve individuals' capacity before they become unwell and require healthcare services, that is, to prevent illness before it occurs.<sup>9</sup> This approach aligns with the World Health Organization Healthy Ageing strategy which advocates for the development of healthier aging processes among adults transitioning from mid to late adulthood.<sup>9</sup>

Extensive research on PA has shown the importance of environmental factors, such as safe street crossings, the presence of recreational facilities, and aesthetics as predictors of PA.<sup>10–13</sup> Environmental features have been related to physically active modes of transportation and recreation.<sup>10–13</sup> For example, there are positive associations between street connectivity, mixed land use, and residential density with walking for transport,<sup>14,15</sup> cycling for transport,<sup>16,17</sup> walking for recreation,<sup>18,19</sup> and cycling for recreation.<sup>20</sup> Some authors have suggested that associations between environmental features and cycling for transport may

Teixeira Rezende Faria  <https://orcid.org/0000-0002-4816-6582>

Brown  <https://orcid.org/0000-0001-9093-4509>

Burton  <https://orcid.org/0000-0002-3221-2265>

Malta  <https://orcid.org/0000-0002-8214-5734>

Mielke  <https://orcid.org/0000-0002-3043-2715>

Teixeira Rezende Faria (thania\_faria@hotmail.com) and Mielke (g.ivenmielke@uq.edu.au) are corresponding authors.



depend on the level of exposure, with a statistically significant association observed only in the higher quintiles of exposure,<sup>16</sup> similar to the findings in relation to walking for transport.<sup>14</sup>

Research on *trajectories* of PA (ie, *increasing* or *decreasing* patterns) show that being older, health problems, and smoking indicated higher odds of belonging to a *decreasing* PA trajectory.<sup>21</sup> On the other hand, fewer sleeping difficulties, lower screen time, healthier eating patterns, and lower frequency of smoking are associated with an *increasing* PA trajectory.<sup>22</sup> However, little is known about how the environmental features of the areas where adults live are associated with such trajectories.<sup>14,23,24</sup>

An understanding of the directionality and long-term associations between local area environmental features and PA trajectories could inform the design of healthier cities for aging populations.<sup>9</sup> Data from the Australian Bureau of Statistics show that as people age, they are less likely to move houses or neighborhoods.<sup>25</sup> This stability underlines the importance of understanding how local environmental features are associated with mid- to late-adulthood PA trajectories. Focusing on individuals who do not move residence reduces possible variability introduced by changing environments and potential confounders associated with changing environments.

Therefore, the overarching aim of this study was to investigate how features of neighborhood environments (and changes in these) shape long-term trajectories of PA in the transition from mid to older age adults among adults living in Brisbane, Australia.

## Methods

### Study Participants

We used data from the HAbITAT (How Areas in Brisbane Influence Health and Activity) study, which commenced in 2007 with the aim to understand PA patterns and their socio-demographic, psychological, and environmental determinants in mid to older age adults living in Brisbane, Australia.<sup>26</sup> The HAbITAT protocol was initially approved by the Human Research Ethics Committee of the Queensland University of Technology (Ref. Nos. 3967H & 1300000161), and agreement to participate involved the return of mail surveys by participants.

Census Collectors Districts (CCDs) in Brisbane, as per the 2001 National Census of the Australian Bureau of Statistics, were ranked into deciles according to the Australian Bureau of Statistics Index of Relative Socioeconomic Disadvantage.<sup>27</sup> From a total of 1680 CCDs, 20 CCDs from each decile were randomly selected. Because the boundaries of each CCD were not necessarily the same in later censuses, each selected CCD was used to generate a “HAbITAT neighborhood” with the same boundaries for each survey year in order to allow for comparability of data.

Registration on the electoral roll is mandatory for all adults over 18 years in Australia. Using 2007 electoral records, 85 households with at least one individual aged 40–65 years were sampled in each CCD and one person in that age group from each selected household was randomly selected. At baseline, a survey was mailed to 17,000 selected individuals (200 CCDs × 85 households), and 11,035 individuals responded, comprising the initial sample. This sample was very similar to the Brisbane adult population aged 40–65 years in terms of sociodemographic characteristics.<sup>28</sup> Respondents were sent mail surveys in 2007 (survey 1), 2009 (survey 2), 2011 (survey 3), 2013 (survey 4), and 2016 (survey 5); further details on response rates are reported elsewhere.<sup>29</sup>

The process chart showing sample selection for the current study is shown in [Supplementary Figure S1](#) (available online). Individuals

were selected for analysis using baseline survey information. For the purposes of this current study, participants who had not changed address across the 5 surveys, and who had responded to all 5 surveys were included. In terms of examining PA trajectories, including respondents who had not moved during the study period reduced the likelihood of PA behaviors changing in response to change in residential area. From the 11,035 initial respondents, 16 were excluded due to age restrictions (<40 y), 1543 were excluded because they were not the same respondent in all surveys (eg, different demographic data provided), and 6433 were excluded because their address changed at some point. The final sample comprised 3043 respondents.

### Physical Activity

PA was assessed using a modified version of the Active Australia Survey.<sup>30</sup> The following questions were asked: “In the last week, how many times have you walked continuously, for at least 10 minutes, for recreation, exercise, or to get to or from places?” “What do you estimate was the total time that you spent walking in this way in the last week?” “In the last week, how many times did you do any vigorous physical activity which made you breath harder or puff and pant? (eg, jogging, cycling, aerobics, competitive tennis)” “What do you estimate was the total time that you spent doing this vigorous physical activity in the last week?” “In the last week, how many times did you do any other more moderate physical activities that you have not already mentioned? (eg, gentle swimming, social tennis, golf)” “What do you estimate was the total time that you spent doing these activities in the last week?”

As part of data management, missing values were not imputed and extreme durations for a single activity type were truncated to a value of 840 minutes (14 h).<sup>30</sup> Weekly time spent in each activity was multiplied by a metabolic equivalent (MET) of 3.33 for walking or moderate PA, and 6.66 for any vigorous PA, and summed to provide a total measure of energy expenditure (METs-minutes) in a week. The classification of sufficient PA was based on the threshold of ≥500 METs-minutes per week, which is equivalent to at least 150 minutes of moderate PA, or 75 minutes of vigorous PA per week, or an equivalent combination of both, consistent with World Health Organization PA recommendations.<sup>31</sup>

### Environmental Variables

The environmental variables were objectively measured within each HAbITAT neighborhood using data obtained from local government and recorded using MapInfo.<sup>14</sup> These areas are called HAbITAT *neighborhoods* because they are likely to form broader areas that have significance for their inhabitants.<sup>32</sup> Neighborhood variables, included length of bike paths, area of parks, residential density, street connectivity, land use mix, and number of street lights. These were assessed in 2007 (survey 1), and 2016 (survey 5) with the exception of area of parks which was measured in 2013.<sup>14</sup>

Bike path length was measured in meters for all off-road trails (located away from traditional roads used by cars and motor vehicles).<sup>33</sup> Area of parks was measured in square meters, residential density in number of dwellings per hectare, and street connectivity according to the number of 4-way or more intersections. Land use mix represented a composite indicator based on the presence of different building types (retail, office/business, leisure/recreation, residential, and health/community services) in an area, a continuous measure ranging from 0 to 1, 0 representing greater homogeneity and 1 representing greater land use heterogeneity.<sup>34</sup> Number of street lights was assessed as the count of streets lights within a neighborhood area.

## Covariates

### Neighborhood Socioeconomic Classification

Each HABITAT neighborhood was classified using a method that weighted the values of the Index of Relative Socioeconomic Disadvantage scores from 1986 to 2011 to keep the socioeconomic classification of each area consistent.<sup>17,35</sup> The Index of Relative Socioeconomic Disadvantage is a measure of the socioeconomic disadvantage that takes into account 17 constructs such as unemployment, household structure, English language competency, and Indigenous status.<sup>28</sup> For data analyses, the HABITAT neighborhoods were divided into quartiles from the most disadvantaged (first quartile) to the least disadvantaged (fourth quartile).

### Individual-Level and Sociodemographic Measures

Sociodemographic characteristics of participants were self-reported in the survey, and included sex (male or female), age (in years), education (<12 y of school, 12 y of school, postschool certificate or diploma, bachelor degree, higher degree comprising having a Masters or Doctors certificate), income (as *Gross Household Income* per year in AUD\$: <\$41599, \$41,600–72,799, \$72,800–129,999, ≥\$130,000), living arrangements (single without children, single with children, couple without children, couple with children), and time living at address (categorized in quartiles, from less years to more years in the same area). All characteristics were assessed at baseline in 2007.

### Data Analysis

All analyses were conducted using STATA IC/15.1. Initially, sociodemographic characteristics of the analytical sample ( $n=3043$ ) and those excluded from the analysis ( $n=7976$ ) were presented using descriptive statistics and compared using  $t$  tests (for continuous data) and chi-square tests (for categorical data). Summary descriptive statistics, including mean and standard deviation, median, 25th and 75th percentiles, minimum and maximum values were reported for each environmental feature in 2007 and 2016. Changes in the environmental features were calculated as the difference between each measurement in 2016 and 2007 for each variable, and described using mean and standard deviation (SD), median, 25th and 75th percentiles, minimum and maximum values.

### Physical Activity Trajectories

Group-based trajectory modeling was used to identify different trajectories of meeting PA guidelines.<sup>36</sup> For this, a STATA plugin called *Traj* was used. The number of groups and polynomials were determined based on the Bayesian information criterion, Akaike information criterion, and log-likelihood. The best model was chosen according to the posterior probability of group membership > 0.7 (probability of belonging to the respective trajectory) and the odds of correct classification > 5.0.<sup>36</sup> Box plots were used to show the medians and interquartile ranges (IQRs) of PA at each survey for each of the PA trajectory groups.

### Association Between Environmental Features and PA Trajectories

The relationships between the environmental features and PA trajectories were conceptualized and illustrated using an acyclic graph (Supplementary Figure S2 [available online]). Sociodemographic covariates were described according to PA trajectory groups and compared using analysis of variance, Kruskal–Wallis,

and chi-square tests in order to evaluate their distribution. The median and IQR of each environmental feature were described according to PA trajectory groups. Median values were chosen as they divide the sample at the 50th percentile. Kruskal–Wallis tests were used to assess overall associations between environmental features and PA trajectories. Second, multinomial logistic regression models were conducted to investigate the association between environmental features in 2007 with PA trajectories from 2007 to 2016. For this, the PA trajectory groups were included as the dependent variable, and the environmental features were included as independent variables, categorized in tertiles.

All analyses were adjusted for sociodemographic covariates, including sex, age, education, income, living arrangements, and time living at address (at baseline), and used robust variance to account for the clustering of individuals within the same neighborhood. We took the *high* PA trajectory group as the reference category. Thus, an odds ratio (OR) < 1.00 indicates that participants in one certain exposure tertile are less likely than individuals in the lowest tertile of environmental features to be in one trajectory than in the *high* PA trajectory (reference group).

## Results

The analytic sample ( $n=3043$ ) included a majority of women (58.7%), individuals with postschool education (65.9%), annual income > AUD\$ 72,800 to 129,999 (47.3%), and people with children (50.8%; Table 1).

The full range of environmental features by HABITAT neighborhood in 2007 and 2016 are presented in Table 2. In 2007, the average bike path length was 283.4 m and average park area was 115,520.4 m<sup>2</sup>. Residential density was 16.5 dwellings per hectare, and land use mix was mostly homogeneous (0.3), with 2.2 4-way intersections per HABITAT neighborhood and an average of 68.2 street lights in each area. In 2016, bike path length increased to an average of 1950.6 m, and street lights to 76.4 counts. Area of parks, residential density, and land use mix remained very similar across the 10 years.

Four PA trajectories of meeting PA guidelines over the 10-year period were selected from linear polynomial models with group posterior probabilities ranging from 0.73 to 0.86 and odds of correct classification between 6.63 and 20.39 (Supplementary Table S1 [available online]). The trajectories were named *low* (14.4%), *decreasing* (13.7%), *increasing* (30.4%), and *high* (41.5%), and are shown in Figure 1.

In the *low* trajectory group, median (IQR) METs-minutes per week ranged from 100 in survey years 2007 (0–300), 2009 (0–283), 2011 (0–300), and 2013 (0–300) to 200 (0–400) in survey year 2016 (Figure 2). For the *decreasing* trajectory group, there was a marked decrease from 849 (599–1598) METs-minutes per week in 2007 to 200 (0–400) in 2016. In the *increasing* trajectory group, median 400 (167–633) METs-minutes per week in 2007 increased to 833 (500–1598) in 2016. The *high* trajectory group had very stable median values of 1748 (1098–2731) in 2007, 1798 (999–2880) in 2009, 1499 (866–2398) in 2011, and 1598, both 2013 (899–2597) and 2016 (899–2647).

Individual-level and sociodemographic differences according to PA trajectory groups are shown in Table 3. The *high* trajectory group was mainly composed of individuals with postschool certificate or diploma (28.9%), and higher income (between AUD\$ 72,800 and 129,999 [29.8%] and ≥AUD\$ 130,000 [23.2%]), couples living with children (44.7%), individuals who were in the third quartile of socioeconomic disadvantage (28.2%), and those who had



**Table 1 Characteristics of Analytic and Nonanalytic Sample of HABITAT at Baseline (2007)**

	Analytic sample	Nonanalytic sample	<i>p</i> <sup>b</sup>
	N = 3043 <sup>a</sup>	N = 7976 <sup>a</sup>	
	n (%)	n (%)	
Age, mean (SD)	52.23 (7.04)	50.87 (7.02)	<.001
Sociodemographic characteristics			
Sex			<.001
Male	1257 (41.3)	3590 (45.0)	
Female	1786 (58.7)	4386 (55.0)	
Education			<.001
<12 y of school	741 (24.4)	2403 (30.1)	
12 y of school	288 (9.5)	875 (11.0)	
Postschool certificate or diploma	871 (28.6)	2344 (29.4)	
Bachelor degree	563 (18.5)	1154 (14.5)	
Higher degree (Masters/Doc)	572 (18.8)	1161 (14.6)	
Missing	8 (0.3)	39 (0.5)	
Gross household income per year, AUD			<.001
<\$41599	582 (19.1)	1649 (20.7)	
\$41,600–72,799	685 (22.5)	1751 (22.0)	
\$72,800–129,999	896 (29.4)	1942 (24.4)	
≥\$130,000	545 (17.9)	1342 (16.8)	
Don't know/don't want to answer	304 (10.0)	1110 (13.9)	
Missing	31 (1.0)	182 (2.3)	
Living arrangements			<.001
Single without children	593 (19.5)	1723 (21.6)	
Single with children	194 (6.4)	763 (9.6)	
Couple without children	882 (29.0)	2055 (25.8)	
Couple with children	1352 (44.4)	3313 (41.5)	
Missing	22 (0.7)	122 (1.5)	
Time living at address			<.001
First quartile (mean 2.3 y)	537 (17.9)	2418 (30.9)	
Second quartile (mean 6.6 y)	673 (22.4)	2016 (25.8)	
Third quartile (mean 12.9 y)	815 (27.1)	1734 (22.2)	
Fourth quartile (mean 27.4 y)	980 (32.6)	1649 (21.1)	
Socioeconomic classification of habitat neighborhood			.002
First quartile (most disadvantaged)	800 (26.3)	2345 (29.4)	
Second quartile	739 (24.3)	2001 (25.1)	
Third quartile	780 (25.6)	1889 (23.7)	
Fourth quartile (least disadvantaged)	724 (23.8)	1741 (21.8)	

Abbreviations: HABITAT, How Areas in Brisbane Influence Health and Activity; PA, physical activity.

<sup>a</sup>Continuous variable: mean (SD); categorical variables: n (%); missing values: only n. <sup>b</sup>Age: *T* test; categorical variables: chi-squared test.

lived at the same address for about 3.5 years (29.8%). Results show that there were statically significant differences between the 4 trajectory groups only in the distribution of education attainment, household income, and socioeconomic classification of neighborhood. There were no significant differences in the distributions of age, sex, living arrangements, and time living at the same address. Regarding those variables, a higher proportion of individuals in the *low* PA trajectory attended <12 years of school (33.3%); and a higher proportion of individuals in the *decreasing* trajectory had a household income of < AUD \$41,599 per year (22.1%) and lived in the most disadvantaged neighborhoods (34.3%).

Median and IQR of environmental features among PA trajectory groups are shown in Table 4. There was no, or relatively little, change in most variables. Area of parks, residential density, street connectivity, and land use mix remained virtually constant, while bike path length and street lights increased from 2007 to 2016, but with no differences among trajectory groups.

The ORs for being in each PA trajectory, compared with the *high* PA trajectory group, based on environmental features are shown in Table 5. Compared with those in the *high* PA trajectory group, participants in the mid-tertile of bike path length were less likely to be in the *low* PA trajectory group (OR 0.55; 95% confidence interval,

**Table 2** Description of Environmental Features in Survey 1 and Survey 5 for the Total Sample (N = 3043)

	Bike path length, m	Area of park, m <sup>2</sup>	Residential density (dwellings/hect)	Street connectivity (count 4)	Land use mix (5 groups)	Street light (count)
Wave 1 (2007)						
Mean (SD)	283.4 (504.5)	115,520.4 (848,398.4)	16.5 (12.6)	2.2 (2.3)	0.3 (0.1)	68.2 (32.1)
Minimum	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	3.0
25th percentile	0.0	0.0	12.4	0.0	0.2	48.0
Median (50th percentile)	0.0	11,397.1	14.8	2.0	0.3	63.0
75th percentile	473.7	44,398.8	16.7	3.0	0.5	84.0
Maximum	5694.4	9,960,905.0	144.2	12.0	0.8	188.0
Wave 5 (2016) <sup>a</sup>						
Mean (SD)	1950.6 (1482.5)	117,229.0 (848,514.7)	17.6 (13.6)	3.4 (3.5)	0.3 (0.2)	76.4 (41.4)
Minimum	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	5.0
25th percentile	773.4	0.0	13.0	1.0	0.2	52.0
Median (50th percentile)	1789.0	12,311.2	15.3	2.0	0.4	68.0
75th percentile	2632.2	45,825.3	18.2	5.0	0.5	92.0
Maximum	9995.6	9,960,912.0	144.2	19.0	0.8	390.0
Difference between waves						
Mean (SD)	1667.2 (1419.5)	-63,148.6 (758,877.8)	1.2 (3.9)	1.2 (3.0)	0.0 (0.0)	8.2 (16.1)
Minimum	-656.2	-8,951,552.0	-7.0	-5.0	-0.2	-12.0
25th percentile	648.3	-0.2	0.0	0.0	0.0	1.0
Median (50th percentile)	1371.5	0.0	0.3	0.0	0.0	4.0
75th percentile	2299.1	0.5	1.2	2.0	0.0	9.0
Maximum	9995.6	98,801.6	42.3	16.0	0.2	202.0

<sup>a</sup>Area of parks mean (SD) and maximum values refer to survey 4 (2013).

0.36–0.84). Similar associations were observed for street connectivity (*Low* PA: OR = 0.67; 95% confidence interval, 0.51–0.87; *Increasing* PA: OR = 0.76; 95% confidence interval, 0.61–0.94). Overall, ORs suggested that individuals living in areas with greater park area, residential density, street connectivity, and land use mix were less likely to be in PA trajectory groups other than the *high* PA group. However, substantial variability was observed, as indicated by wide confidence intervals and a lack of statistical significance.

## Discussion

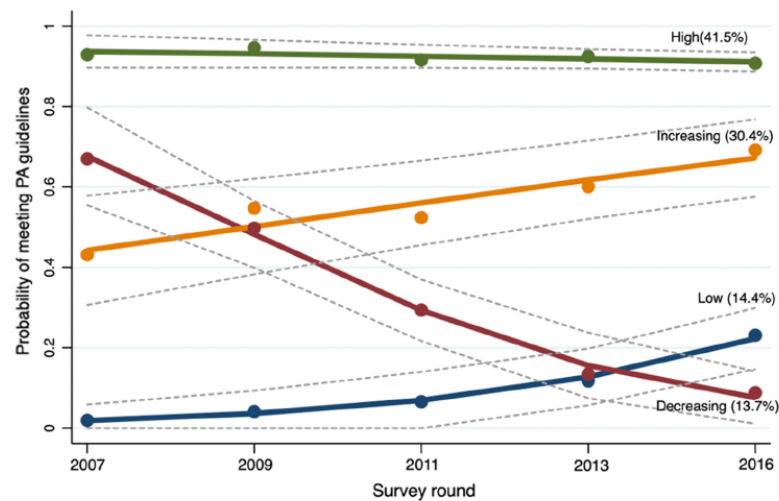
The aim of this study was to assess neighborhood environmental determinants of PA trajectories and observe potential changes in the environment over 10 years associated with PA trajectory groups. To the best of our knowledge, this is the first study to examine associations of the environment with trajectories of meeting PA guidelines in adults transitioning from mid- to late adulthood. Moreover, this study involved a large population-based sample, a wide range of socioeconomic strata and areas, and longitudinal data to assess both PA trajectories and environmental features.

We identified 4 trajectories of PA among individuals over 10 years of follow-up: one group had low PA levels in all 5 surveys (*Low*, 14.4% of participants); another had high probability of

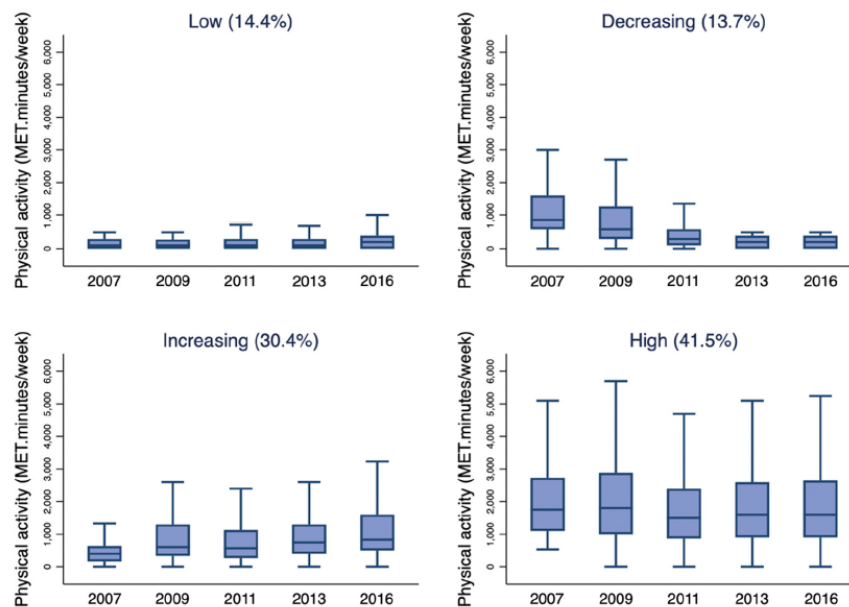
meeting PA guidelines at survey 1 and substantial reduction after survey 2 (*Decreasing*, 13.7% of participants); the third group had nearly 40% of probability of meeting PA guidelines in survey 1 and increased to ~70% in survey 5 (*Increasing*, 30.4% of participants); and the fourth group had a consistently high probability of meeting PA guidelines, with high median average of 1598 METs-minutes per week (*High*, 41.5% of participants).

Sex, education, and income are well-known correlates of PA trajectories.<sup>21,23,37</sup> Although it was not the main objective of the current study, we observed a higher percentage of individuals with higher education, higher income, and living in the least disadvantaged neighborhoods in the *high* PA trajectory group. As others have suggested, the environment may be less important than individual sociodemographic factors, such as income, and education in determining categories of PA.<sup>10,38</sup> This does not mean, however, that a PA-conducive environment has no association with PA behavior.<sup>38</sup>

In our study, bike path length and street connectivity were associated with PA trajectories: individuals living in neighborhoods in the mid-tertile for these variables were less likely to be in the *low* PA trajectory group. Our analyses also suggested that area of park, residential density, street connectivity, and land use mix might be associated with lower odds of being in the *low* PA trajectory, even though a statistical significance was not observed.



**Figure 1** — Trajectories of meeting PA guidelines ( $\geq 500$  METs-min/wk) among middle-aged adults from survey 1 to survey 5 (N = 3043). PA indicates physical activity.



**Figure 2** — Physical activity METs-minutes per week at each survey by trajectory of meeting physical activity guidelines (N = 3043). MET indicates metabolic equivalent.

These findings align with those of a previous review that investigated the influence of urban design and street infrastructure on PA behavior.<sup>39</sup> The presence of parks, influenced by size and quality,<sup>40,41</sup> as well as greater street connectivity, higher residential density, and mixed land use have all previously been found to be

positively associated with overall PA, especially walking and active transportation.<sup>13,20</sup>

Given the complexity of the relationship between environmental features and PA, the findings of our study should be interpreted with caution. Environmental variables may play

**Table 3 Characteristics of Current Study Participants at Baseline by PA Trajectory of Meeting PA Guidelines (n = 3043)**

	Low (17.6%)	Decreasing (11.6%)	Increasing (27.4%)	High (43.4%)	p <sup>b</sup>
	N = 535 <sup>a</sup>	N = 353 <sup>a</sup>	N = 834 <sup>a</sup>	N = 1321 <sup>a</sup>	
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	
Age, mean (SD), y	52.5 (6.7)	52.8 (7.0)	52.1 (7.0)	52.0 (7.2)	.200
Gender					.057
Male	204 (38.1)	131 (37.1)	347 (41.6)	575 (43.5)	
Female	331 (61.9)	222 (62.9)	487 (58.4)	746 (56.5)	
Education					<.001
<12 y of school	178 (33.3)	102 (28.9)	197 (23.6)	264 (20.0)	
12 y of school	59 (11.0)	39 (11.1)	82 (9.8)	108 (8.2)	
Postschool certificate or diploma	137 (25.6)	107 (30.3)	245 (29.4)	382 (28.9)	
Bachelor degree	79 (14.8)	51 (14.5)	156 (18.7)	277 (21.0)	
Higher degree (Masters/Doc)	79 (14.8)	52 (14.7)	152 (18.2)	289 (21.9)	
Missing	3 (0.6)	2 (0.6)	2 (0.2)	1 (0.1)	
Gross household Income per year, AUD					<.001
<\$41,599	112 (20.9)	78 (22.1)	167 (20.0)	225 (17.0)	
\$41,600–72,799	152 (28.4)	92 (26.1)	189 (22.7)	252 (19.1)	
\$72,800–129,999	156 (29.2)	97 (27.5)	249 (29.9)	394 (29.8)	
≥\$130,000	65 (12.2)	40 (11.3)	134 (16.1)	306 (23.2)	
Don't know/don't want to answer	49 (9.2)	45 (12.8)	82 (9.8)	128 (9.7)	
Missing	1 (0.2)	1 (0.3)	13 (1.6)	16 (1.2)	
Living arrangements					.089
Single without children	110 (20.6)	73 (20.7)	158 (18.9)	252 (19.1)	
Single with children	48 (9.0)	29 (8.2)	51 (6.1)	66 (5.0)	
Couple without children	148 (27.7)	105 (29.8)	225 (27.0)	404 (30.6)	
Couple with children	226 (42.2)	144 (40.8)	392 (47.0)	590 (44.7)	
Missing	3 (0.6)	2 (0.6)	8 (1.0)	9 (0.7)	
Time living at address					.150
First quartile 1 (mean 3.5 y)	127 (23.9)	85 (24.3)	226 (27.6)	388 (29.8)	
Second quartile (mean 9.3 y)	141 (26.6)	87 (24.9)	205 (25.0)	328 (25.2)	
Third quartile 3 (mean 16.5 y)	133 (25.1)	79 (22.6)	196 (23.9)	309 (23.7)	
Fourth quartile (mean 30.2 y)	130 (24.5)	99 (28.3)	193 (23.5)	279 (21.4)	
Socioeconomic classification of HABITAT neighborhood					<.001
First quartile (most disadvantaged)	164 (30.7)	121 (34.3)	233 (27.9)	282 (21.4)	
Second quartile	128 (23.9)	98 (27.8)	218 (26.1)	295 (22.3)	
Third quartile	140 (26.2)	71 (20.1)	196 (23.5)	373 (28.2)	
Fourth quartile (least disadvantaged)	103 (19.3)	63 (17.9)	187 (22.4)	371 (28.1)	

Abbreviations: HABITAT, How Areas in Brisbane Influence HealTh and AcTivity; PA, physical activity.

<sup>a</sup>Continuous variable: mean (SD); categorical variables: n (%). <sup>b</sup>Age: analysis of variance; continuous variable: Kruskal–Wallis test; categorical variables: chi-squared test.

different roles according to different sampling methods,<sup>41</sup> exposure, and outcome definitions,<sup>16,42</sup> as well as according to the geographical limits of where people practice PA, rather than the area where they live, including places close to work, and in the areas surrounding routes to and from places.<sup>43</sup> Hooper et al.<sup>41</sup> for instance, found no association between park size and probability of meeting PA guidelines in the whole population sample, but that the probability of meeting PA recommendations was higher among park users than park nonusers.<sup>41</sup>

The small changes in environmental features observed in Brisbane<sup>14</sup> limited our ability to examine relationships between

environmental *changes* at the neighborhood level and PA trajectories. For instance, our results demonstrate minimal variability in the distribution of selected environmental features among the 4 PA trajectory groups. There were relative increases in bike path length and street lighting, but these were similar in the 4 PA trajectory groups. It is noteworthy that as a major metropolitan city in a high-income country, Brisbane maintains relatively conducive environments for PA, with small changes over time.<sup>14</sup>

Our study has limitations that should be considered. With the focus on individuals achieving PA recommendations, the PA outcome variable may not have been specific enough, as it includes



**Table 4 Description of Environmental Features in 2007 and 2016, and Their Changes, by Trajectories of Meeting Physical Activity Guidelines**

	Low	Decreasing	Increasing	High	P <sup>a</sup>
	N = 535	N = 353	N = 834	N = 1321	
	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)	
Survey 1 (2007)					
Bike path length	0.00 (0.0 to 473.7)	0.00 (0.0 to 442.1)	0.00 (0.0 to 461.1)	0.00 (0.0 to 510.5)	.880
Area of park	10,328.8 (0.0 to 45,585.8)	12,311.2 (0.0 to 45,585.8)	12,074.1 (0.0 to 45,317.7)	11,625.2 (0.0 to 42,832.6)	.700
Residential density	14.8 (12.5 to 16.8)	15.1 (13.0 to 17.4)	14.8 (12.4 to 16.6)	14.8 (11.8 to 16.7)	.310
Street connectivity	1.0 (0.0 to 4.0)	2.0 (0.0 to 4.0)	1.0 (0.0 to 3.0)	2.0 (1.0 to 3.0)	.560
Land use mix	0.3 (0.2 to 0.5)	0.4 (0.2 to 0.5)	0.3 (0.2 to 0.5)	0.3 (0.2 to 0.5)	.740
Street light	63.0 (48.0 to 89.0)	64.0 (49.0 to 86.0)	63.0 (48.0 to 82.0)	63.0 (48.0 to 83.0)	.440
Survey 5 (2016)					
Bike path length	1739.8 (786.1 to 2535.1)	1847.0 (861.7 to 2632.2)	1776.2 (800.7 to 2632.2)	1795.3 (700.6 to 2632.2)	.610
Area of park	11,396.8 (0.0 to 45,825.3)	13,502.2 (9.7 to 46,138.5)	13,502.2 (0.0 to 46,138.5)	12,311.2 (0.0 to 45,318.1)	.530
Residential density	15.2 (13.0 to 17.7)	15.7 (13.4 to 19.4)	15.3 (13.0 to 18.0)	15.2 (12.7 to 18.2)	.220
Street connectivity	2.0 (1.0 to 5.0)	2.0 (1.0 to 5.0)	2.0 (1.0 to 5.0)	2.0 (1.0 to 5.0)	.850
Land use mix	0.3 (0.2 to 0.5)	0.4 (0.2 to 0.5)	0.4 (0.2 to 0.5)	0.4 (0.2 to 0.5)	.480
Street light	69.0 (52.0 to 100.0)	70.0 (54.0 to 100.0)	67.0 (52.0 to 91.0)	68.0 (50.0 to 91.0)	.270
Median difference between waves <sup>b</sup>					
Bike path length	1394.8 (648.3 to 2258.6)	1423.8 (662.9 to 2299.1)	1423.8 (662.9 to 2299.1)	1345.0 (634.1 to 2321.0)	.594
Area of park	0.0 (-0.2 to 0.6)	0.0 (-0.2 to 0.6)	0.0 (-0.2 to 0.4)	0.0 (-0.2 to 0.4)	.952
Residential density	0.3 (0.0 to 1.2)	0.4 (0.0 to 1.2)	0.4 (0.0 to 1.4)	0.3 (0.0 to 1.1)	.187
Street connectivity	0.0 (0.0 to 2.0)	0.0 (0.0 to 2.0)	0.0 (0.0 to 2.0)	0.0 (0.0 to 2.0)	.752
Land use mix	0.0 (0.0 to 0.0)	0.0 (0.0 to 0.0)	0.0 (0.0 to 0.0)	0.0 (0.0 to 0.0)	.266
Street light	4.0 (1.0 to 9.0)	4.0 (1.0 to 11.0)	4.0 (1.0 to 9.0)	4.0 (1.0 to 8.0)	.372

Abbreviation: IQR, Interquartile range.

<sup>a</sup>P value of continuous variable calculated with Kruskal–Wallis test. <sup>b</sup>Median change is calculated after originating a variable for the difference between raw values at wave 5 and wave 1.**Table 5 Multinomial Logistic Regression for the Association Between Environmental Features in 2007 and PA Trajectories From 2007 to 2016 (Reference: High group)**

	Participants, N	Low adjusted OR (95% CI)	Decreasing adjusted OR (95% CI)	Increasing adjusted OR (95% CI)
Bike path length				
Low	1731	Reference	Reference	Reference
Moderate	299	<b>0.55 (0.36–0.84)*</b>	0.72 (0.45–1.16)	0.88 (0.64–1.21)
High	1013	1.01 (0.79–1.30)	0.86 (0.65–1.14)	0.94 (0.75–1.18)
Area of park				
Low	1027	Reference	Reference	Reference
Moderate	1027	0.91 (0.67–1.24)	0.98 (0.70–1.40)	0.99 (0.77–1.29)
High	989	0.95 (0.68–1.33)	1.14 (0.77–1.68)	1.05 (0.79–1.40)
Residential density				
Low	1017	Reference	Reference	Reference
Moderate	1015	0.79 (0.60–1.05)	1.01 (0.72–1.41)	0.90 (0.71–1.14)
High	1011	0.84 (0.61–1.15)	0.97 (0.67–1.42)	0.80 (0.61–1.05)
Street connectivity				
Low	1508	Reference	Reference	Reference
Moderate	797	<b>0.67 (0.51–0.87)*</b>	0.88 (0.65–1.18)	<b>0.76 (0.61–0.94)*</b>
High	738	0.86 (0.66–1.13)	0.91 (0.67–1.25)	0.82 (0.65–1.04)

(continued)

Table 5 (continued)

	Participants, N	Low adjusted OR (95% CI)	Decreasing adjusted OR (95% CI)	Increasing adjusted OR (95% CI)
Land use mix				
Low	1026	Reference	Reference	Reference
Moderate	1006	0.82 (0.61–1.11)	0.94 (0.67–1.32)	0.87 (0.68–1.11)
High	1011	0.83 (0.59–1.16)	0.93 (0.62–1.39)	0.93 (0.69–1.24)
Street light				
Low	1026	Reference	Reference	Reference
Moderate	1032	1.11 (0.85–1.46)	1.28 (0.93–1.75)	1.12 (0.89–1.40)
High	985	1.19 (0.89–1.58)	1.21 (0.87–1.68)	0.97 (0.76–1.24)

Abbreviations: CI, confidence interval; PA, physical activity; OR, odds ratio. Note: Environmental features were categorized in tertiles as low, moderate, and high based on the values at survey 1. Multinomial logistic regression models adjusted for sex, age, education, income, living arrangements, time living at current address and neighborhood socioeconomic classification. The OR is an individual's probability of being in a certain trajectory as compared with the high trajectory (reference).

\* $P < .05$ .

both walking for transport and recreation, as well as various types of exercise that may have different levels of associations with environmental features. We acknowledge the difficulties of investigating the so-called *active space*<sup>43</sup> of individuals. *Active space* considers household buffers, as well as the broader geographic areas where individuals transit throughout the day, including places close to work, or visiting destinations that could be used for PA practice which may be outside the neighborhood where they live. The PA data are vulnerable to recall bias and social desirability due to self-reported responses. Moreover, limiting the sample to individuals who did not change address during the 10 years may have led to a higher percentage of individuals in the *high* and *increasing* PA trajectories than observed in the full sample, considering that the analytic sample included slightly more individuals with higher education and income—factors that have previously been associated with increased odds of meeting PA guidelines.<sup>24</sup> Lastly, the data reported here are from people living in a high-income country, and this may not be relevant to relationships between the environment and PA trajectories in low- and middle-income countries.

## Conclusions

The novelty of this study was the unique approach to longitudinal environmental data over a 10-year period, as well as the determination of PA trajectories of meeting PA guidelines among individuals transitioning from mid- to late adulthood. Environmental features may not be strongly associated with PA in this context, compared with other studies, as most areas in Brisbane are similarly “walkable.” Instead, sociodemographic aspects continue to be strong markers of differences in PA trajectories. The results of the current study suggest that bike path length and street connectivity may promote an active and healthy transition to late adulthood among individuals. Active-friendly environments must continue to be fostered as part of interventions to maximize opportunities for the maintenance and initiation of PA. Future studies could consider investigating PA trajectories in different environmental contexts, such as those of low- and middle-income countries, and age groups, as well as other related factors that may influence PA behavior, such as social mobility, and change of address.

## Acknowledgments

GIM is supported by a National Health and Medical Research Council Investigator Grant (APP2008702). TMTRF was supported by the Brazilian

Foundation for the Improvement of Higher Education (CAPES-PRINT process: 88887.935773/2024-00) during a Research Internship doctoral program. This paper presents independent research. The views expressed in this publication are those of the authors and not necessarily those of the acknowledged institutions. **Funding:** The HABITAT Study was funded by the National Health and Medical Research Council (NHMRC; IDs 497236, 339718, 1047453). Brisbane City Council provided additional funding support and specific geographical data. The funding bodies did not contribute to the design of the study or to collection, analysis, and interpretation of data or writing the manuscript.

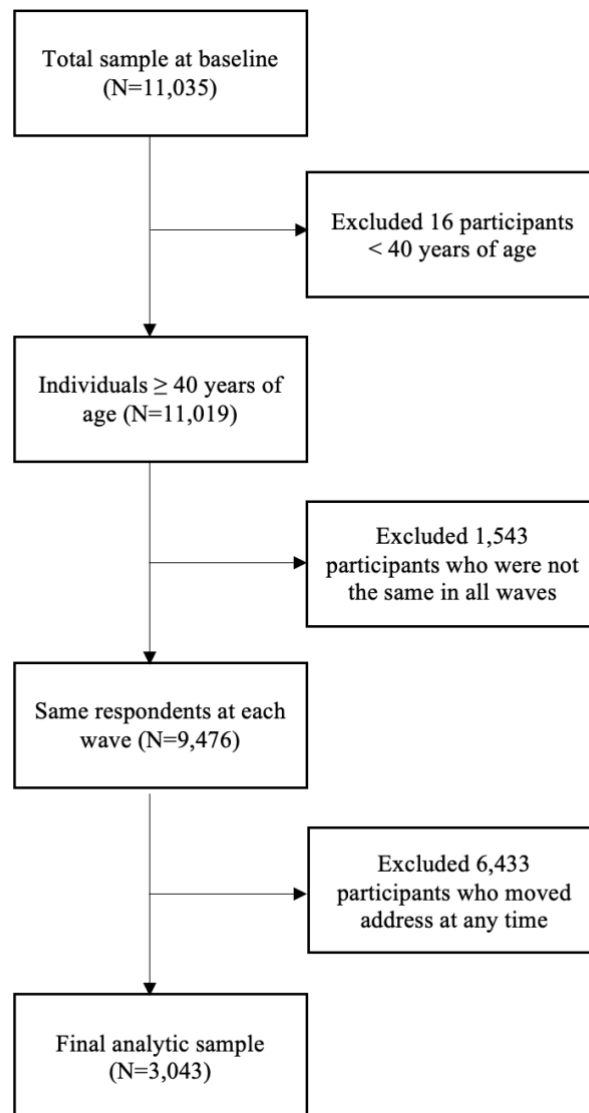
## References

- Nemoto Y, Brown WJ, Ding D, Nguyen B, Mielke GI. Trajectories of physical activity and chronic conditions among mid-aged women. *Am J Prev Med*. 2024;67:389–396. doi:10.1016/j.amepre.2024.05.013
- Gonzalez-Jaramillo N, Wilhelm M, Arango-Rivas AM, et al. Systematic review of physical activity trajectories and mortality in patients with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*. 2022;79(17):1690–1700. doi:10.1016/j.jacc.2022.02.036
- Yu R, Duncombe SL, Nemoto Y, Araujo RH, Chung HF, Mielke GI. Physical activity trajectories and accumulation over adulthood and their associations with all-cause and cause-specific mortality: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. Published online July 10, 2025. doi:10.1136/bjsports-2024-109122
- Lee I-M, Shiroma EJ, Lobelo F, Puska P, Blair SN, Katzmarzyk PT. Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet*. 2012;380(9838):219–229. doi:10.1016/S0140-6736(12)61031-9
- Ding D, Lawson KD, Kolbe-Alexander TL, et al. The economic burden of physical inactivity: a global analysis of major non-communicable diseases. *Lancet*. 2016;388(10051):1311–1324. doi:10.1016/S0140-6736(16)30383-X
- Strain T, Flaxman S, Guthold R, et al. National, regional, and global trends in insufficient physical activity among adults from 2000 to 2022: a pooled analysis of 507 population-based surveys with 5–7 million participants. *Lancet Glob Health*. 2024;12(8):e1232–e1243. doi:10.1016/S2214-109X(24)00150-5
- Cao B, Bray F, Ilbawi A, Soerjomataram I. Effect on longevity of one-third reduction in premature mortality from non-communicable diseases by 2030: a global analysis of the Sustainable Development Goal health target. *Lancet Glob Health*. 2018;6(12):e1288–e1296. doi:10.1016/S2214-109X(18)30411-X

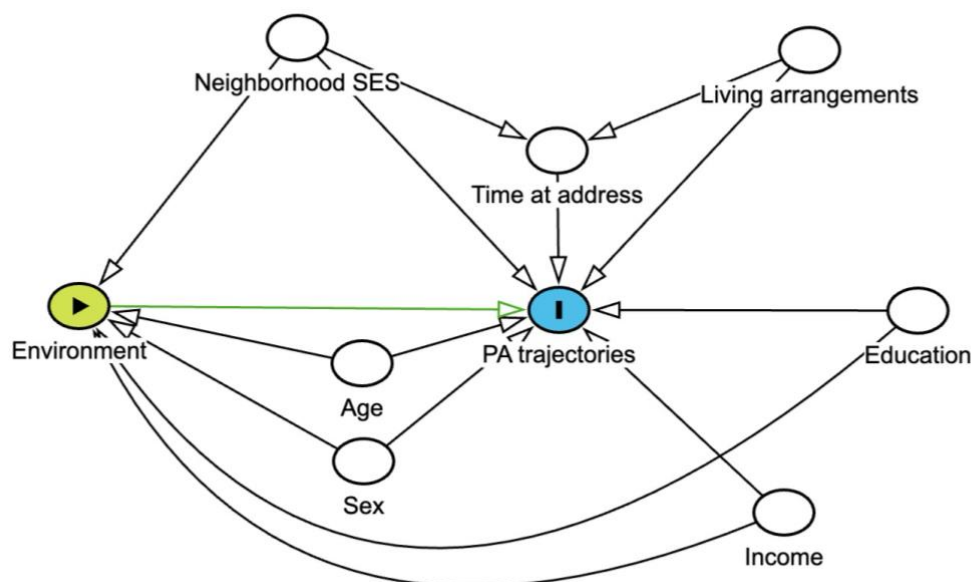


8. Muka T, Imo D, Jaspers L, et al. The global impact of non-communicable diseases on healthcare spending and national income: a systematic review. *Eur J Epidemiol.* 2015;30(4):251–277. doi:10.1007/s10654-014-9984-2
9. WHO. WHO Clinical Consortium on Healthy Ageing: Topic Focus: Frailty and Intrinsic Capacity: Report of Consortium Meeting, 2016. Geneva, Switzerland. 2017.
10. Giles-Corti B, Donovan RJ. The relative influence of individual, social and physical environment determinants of physical activity. *Soc Sci Med.* 2002;54(12):1793–1812. doi:10.1016/S0277-9536(01)00150-2
11. Sallis JF, Cerin E, Conway TL, et al. Physical activity in relation to urban environments in 14 cities worldwide: a cross-sectional study. *Lancet.* 2016;387(10034):2207–2217. doi:10.1016/S0140-6736(15)01284-2
12. Carlin A, Perchoux C, Puggina A, et al. A life course examination of the physical environmental determinants of physical activity behaviour: a “Determinants of Diet and Physical Activity” (DEDIPAC) umbrella systematic literature review. *PLoS One.* 2017;12(8):e0182083. doi:10.1371/journal.pone.0182083
13. Nigg C, Althman SA, Alghannam AF, et al. A systematic review on the associations between the built environment and adult’s physical activity in global tropical and subtropical climate regions. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2024;21(1):59. doi:10.1186/s12966-024-01582-x
14. Bentley R, Blakely T, Kavanagh A, et al. A longitudinal study examining changes in street connectivity, land use, and density of dwellings and walking for transport in Brisbane, Australia. *Environ Health Perspect.* 2018;126(5):57003. doi:10.1289/EHP2080
15. Knuiaman MW, Christian HE, Divitini ML, et al. A longitudinal analysis of the influence of the neighborhood built environment on walking for transportation: the RESIDE study. *Am J Epidemiol.* 2014; 180(5):453–461. doi:10.1093/aje/kwu171
16. Koohsari MJ, Cole R, Oka K, et al. Associations of built environment attributes with bicycle use for transport. *Environ Plan B Urban Anal City Sci.* 2020;47(9):1745–1757.
17. Heesch KC, Giles-Corti B, Turrell G. Cycling for transport and recreation: associations with the socio-economic, natural and built environment. *Health Place.* 2015;36:152–161. doi:10.1016/j.healthplace.2015.10.004
18. Hanson HM, Schiller C, Winters M, et al. Concept mapping applied to the intersection between older adults’ outdoor walking and the built and social environments. *Prev Med.* 2013;57(6):785–791. doi:10.1016/j.ypmed.2013.08.023
19. Christian H, Knuiaman M, Divitini M, et al. A longitudinal analysis of the influence of the neighborhood environment on recreational walking within the neighborhood: results from RESIDE. *Environ Health Perspect.* 2017;125(7):77009. doi:10.1289/EHP823
20. Kärmenniemi M, Lankila T, Ikäheimo T, Koivumaa-Honkanen H, Korpeläinen R. The built environment as a determinant of physical activity: a systematic review of longitudinal studies and natural experiments. *Ann Behav Med.* 2018;52(3):239–251. doi:10.1093/abm/kax043
21. Aggio D, Papachristou E, Papacosta O, et al. Trajectories of self-reported physical activity and predictors during the transition to old age: a 20-year cohort study of British men. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2018;15(1):1–12. doi:10.1186/s12966-017-0642-4
22. Lounassalo I, Hirvensalo M, Palomäki S, et al. Life-course leisure-time physical activity trajectories in relation to health-related behaviors in adulthood: the Cardiovascular Risk in Young Finns study. *BMC Public Health.* 2021;21(1):533. doi:10.1186/s12889-021-10554-w
23. Lounassalo I, Salin K, Kankaanpää A, et al. Distinct trajectories of physical activity and related factors during the life course in the general population: a systematic review. *BMC Public Health.* 2019; 19(1):271. doi:10.1186/s12889-019-6513-y
24. Bauman AE, Reis RS, Sallis JF, Wells JC, Loos RJF, Martin BW. Correlates of physical activity: why are some people physically active and others not? *Lancet.* 2012;380(9838):258–271. doi:10.1016/S0140-6736(12)60735-1
25. Australian Bureau of Statistics. Housing mobility and conditions. July 29, 2022. <https://www.abs.gov.au/statistics/people/housing/housing-mobility-and-conditions/latest-release>
26. Burton NW, Haynes M, Wilson L-AM, et al. HABITAT: a longitudinal multilevel study of physical activity change in mid-aged adults. *BMC Public Health.* 2009;9:76. doi:10.1186/1471-2458-9-76
27. Australian Bureau of Statistics. *Technical Paper: Socio-Economic Indexes for Areas (SEIFA).* 2001.
28. Turrell G, Haynes M, Burton NW, et al. Neighborhood disadvantage and physical activity: baseline results from the HABITAT multilevel longitudinal study. *Ann Epidemiol.* 2010;20(3):171–181. doi:10.1016/j.annepidem.2009.11.004
29. Turrell G, Nathan A, Burton NW, et al. Cohort Profile: HABITAT—a longitudinal multilevel study of physical activity, sedentary behaviour and health and functioning in mid-to-late adulthood. *Int J Epidemiol.* 2021;50(3):730–731h. doi:10.1093/ije/dyaa175
30. Australian Institute of Health and Welfare. *The Active Australia Survey: A Guide and Manual for Implementation, Analysis and Reporting.* 2003.
31. Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med.* 2020;54(24):1451–1462. doi:10.1136/bjsports-2020-102955
32. Turrell G, Haynes M, Wilson LA, Giles-Corti B. Can the built environment reduce health inequalities? A study of neighbourhood socioeconomic disadvantage and walking for transport. *Health Place.* 2013;19:89–98. doi:10.1016/j.healthplace.2012.10.008
33. Wilson LAM, Giles-Corti B, Burton NW, Giskes K, Haynes M, Turrell G. The association between objectively measured neighborhood features and walking in middle-aged adults. *Am J Health Promot.* 2011;25(4):e12–e21. doi:10.4278/ajhp.090421-QUAN-144.
34. Christian HE, Bull FC, Middleton NJ, et al. How important is the land use mix measure in understanding walking behaviour? Results from the RESIDE study. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2011;8(1):55–12. doi:10.1186/1479-5868-8-55
35. Rachele JN, Schmid CJ, Brown WJ, Nathan A, Kamphuis CB, Turrell G. A multilevel study of neighborhood disadvantage, individual socioeconomic position, and body mass index: exploring cross-level interaction effects. *Prev Med Rep.* 2019;14:100844. doi:10.1016/j.pmedr.2019.100844
36. Nagin DS, Odgers CL. Group-based trajectory modeling in clinical research. *Ann Rev Clin Psychol.* 2010;6(1):109–138. doi:10.1146/annurev.clinpsy.121208.131413
37. Nemoto Y, Brown WJ, Mielke GI. Trajectories of physical activity from mid to older age in women: 21 years of data from the Australian Longitudinal Study on Women’s Health. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2024;21(1):1540. doi:10.1186/s12966-023-01540-z
38. Corder K, Ogilvie D, van Sluijs EM. Invited commentary: physical activity over the life course—whose behavior changes, when, and why? *Am J Epidemiol.* 2009;170(9):1078–1081; discussion 1082–1083. doi:10.1093/aje/kwp273
39. Zhang Y, Koene M, Chen C, Wagenaar C, Reijneveld SA. Associations between the built environment and physical activity in children, adults and older people: a narrative review of reviews. *Prev Med.* 2024;180:107856. doi:10.1016/j.ypmed.2024.107856
40. Sugiyama T, Francis J, Middleton NJ, Owen N, Giles-Corti B. Associations between recreational walking and attractiveness, size,

- and proximity of neighborhood open spaces. *Am J Public Health*. 2010;100(9):1752–1757. doi:[10.2105/AJPH.2009.182006](https://doi.org/10.2105/AJPH.2009.182006)
41. Hooper P, Foster S, Edwards N, et al. Positive HABITATS for physical activity: examining use of parks and its contribution to physical activity levels in mid-to older-aged adults. *Health Place*. 2020;63:102308. doi:[10.1016/j.healthplace.2020.102308](https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2020.102308)
42. Stappers N, Van Kann D, Ettema D, De Vries N, Kremers S. The effect of infrastructural changes in the built environment on physical activity, active transportation and sedentary behavior—a systematic review. *Health Place*. 2018;53:135–149. doi:[10.1016/j.healthplace.2018.08.002](https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.08.002)
43. Christensen A, Radley D, Hobbs M, Gorse C, Griffiths C. Investigating how researcher-defined buffers and self-drawn neighbourhoods capture adolescent availability to physical activity facilities and greenspaces: an exploratory study. *Spatial Spatio-temporal Epidemiol*. 2022;43:100538. doi:[10.1016/j.sste.2022.100538](https://doi.org/10.1016/j.sste.2022.100538)

**Material Suplementar Artigo 3**ENVIRONMENTAL FEATURES AND TRAJECTORIES OF PHYSICAL  
ACTIVITY OVER 10 YEARS IN MID-AGE AUSTRALIAN ADULTS**Supplementary Figure 1.** Process chart for sample selection.

**Supplementary Figure 2.** Direct acyclic graph conceptualizing the interplays of the association. between the environment and physical activity trajectories of meeting PA guidelines.



PA trajectories are the outcome and the environment is considered the exposure. PA outcomes have been previously found to be differently associated with sex and age in different neighborhoods (GHANI; RACHELE; WASHINGTON; TURRELL, 2016). Income and education were considered direct correlates of the outcome and the exposure, i.e.: confounders of the exposure-outcome association. Time at address may be affected by living arrangements of single individuals or couples with and without children throughout different life stages, and the socioeconomic status of area may affect how long an individual stays at a place, assuming that the longer an individual stays at a certain area, the greater the perceptions of surrounding and the identification of possible pathways to increase PA practice. We assumed that the HABITAT neighborhood socioeconomic classification was a confounder of the association between the environment and PA trajectories.

**Supplementary Table 1.** Goodness-of-fit and adequacy of the model (meeting physical activity guidelines).

Group	Polynomial	BIC	AIC	Log-likelihood	Trajectories	Estimated probability of group membership	Average posterior probabilities	Odds of correct classification
2	Linear	-8770.14	-8755.09	-8750.09	-	-	-	-
2	Quadratic	-8757.64	-8736.56	-8729.56	-	-	-	-
2	Cubic	-8758.62	-8731.53	-8722.53	-	-	-	-
3	Linear	-8731.35	-8707.27	-8699.27	-	-	-	-
3	Quadratic*				-	-	-	-
3	Cubic	-8730.82	-8688.67	-8674.67	-	-	-	-
4	<b>Linear</b>	<b>-8704.01</b>	<b>-8670.89</b>	<b>-8659.89</b>	Low	14.40%	0.727	12.509
					Decreasing	13.70%	0.728	20.389
					Increasing	30.40%	0.715	6.629
					High	41.50%	0.856	7.759
4	Quadratic	-8711.95	-8666.80	-8651.80	-	-	-	-
4	Cubic	-8722.04	-8664.85	-8645.85	-	-	-	-
5	Linear	-8710.75	-8668.61	-8654.61	-	-	-	-
5	Quadratic*				-	-	-	-
5	Cubic	-8734.79	-8662.55	-8638.55	-	-	-	-

BIC: Bayesian information criterion; AIC: Akaike information criterion.

Boldface indicates the best-fit model with acceptable adequacy, average posterior probabilities and odds of correct classification (four trajectories of the linear polynomial model).

\*Models were nonsymmetric or highly singular.

Six or more group models were nonsymmetric or highly singular.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A vigilância exige abordagens diversas. Essa pesquisa buscou analisar os desafios contemporâneos da vigilância da AF através do uso de diferentes métodos, tais como as análises de tendência, a inteligência artificial para estimativas em pequenas áreas e as análises longitudinais de trajetórias, contribuindo para discussões acerca das desigualdades territoriais e dos fatores locais influentes na sua prática. Observou-se que a tendência crescente na prática de AF nas capitais brasileiras não é homogênea (Artigo 1); que as desigualdades territoriais nas grandes cidades aprofundam essas diferenças (Artigo 2); e que os determinantes ambientais explicam parte das trajetórias divergentes ao longo do tempo (Artigo 3).

O Brasil, país de média renda e maior da América Latina, possui um grande número de pesquisas em AF e grandes inquéritos nacionais que permitem o monitoramento das prevalências e da tendência de diversos indicadores em nível nacional (HALLAL; ANDERSEN; BULL; GUTHOLD *et al.*, 2012). Por outro lado, a Austrália, país de alta renda, também um dos maiores do mundo em extensão territorial e com grande desenvolvimento em pesquisa, avançou grandemente na instituição de inquéritos longitudinais que permitem o acompanhamento do desenvolvimento de doenças nos ciclos de vida e o entendimento de relações causais entre exposição e desfechos de saúde (TURRELL; NATHAN; BURTON; BROWN *et al.*, 2021).

O primeiro estudo da presente tese incluiu a observação das tendências de diversos indicadores de AF nas capitais brasileiras ao longo de 15 anos por meio do Vigitel, sendo eles AFTL, AF no deslocamento, prática insuficiente de AF nos domínios lazer, transporte e trabalho, e tempo de tela. Neste estudo, resultados estatisticamente significativos foram observados para população total nos indicadores de AFTL e tempo total de tela, indicando uma tendência de aumento da prevalência de ambos ao longo do tempo no conjunto das capitais brasileiras. No entanto, de modo geral, após a pandemia de COVID-19 houve um declínio na prática de AFTL e nos deslocamentos ativos, concomitante a um considerável aumento do tempo de tela.

Em relação às análises de subgrupos, os resultados demonstraram maiores prevalências de prática na população masculina, mais jovem e com maior escolaridade. No entanto, em termos de tendências e desigualdades, observamos um aumento mais acelerado da prevalência de AF na população feminina, e que esse aumento contribuiu para a redução das iniquidades de gênero. Por outro lado, um aumento estatisticamente

significativo da prática de AFTL foi observado apenas entre os mais escolarizados ou com  $\geq 12$  anos de educação formal. Esse fato pode levar a crer que a iniquidade educacional pode estar aumentando no Brasil, o que demanda de atenção por parte dos governos locais para mitigar o fenômeno. Observou-se, ainda, uma diferença nos indicadores de AF a depender da região brasileira, com maiores índices de AFTL nas regiões Norte e Nordeste, assim como menor tempo de tela nestas mesmas regiões.

A vigilância da AF no Brasil vem evoluindo com um número crescente de pesquisas (MACHADO; FLORINDO; KNUTH; VARELA *et al.*, 2025). Atualmente, o Vigitel permanece sendo o maior inquérito brasileiro para o acompanhamento dos fatores de risco e proteção para DCNT (MALTA; SILVA; MOURA; MORAIS, 2017), importante na medida em que dá subsídios ao acompanhamento dos planos e metas nacionais e globais (BERNAL; MALTA; ISER; MONTEIRO, 2016). Nesse contexto, a OMS preconiza a redução de 15% da inatividade física (OMS, 2018), enquanto o Plano de Enfrentamento das DCNT 2021-2030, no Brasil, estabeleceu a meta de aumento de 30% da prática de AF (BRASIL, 2021b). No entanto, caso a tendência observada se mantenha, é possível que o Brasil não alcance as metas preconizadas, uma vez que tanto as políticas de austeridade entre 2015 e 2019 reduziram o crescimento observado em anos anteriores (SILVA; TEIXEIRA; PRATES; MALTA, 2021), quanto a pandemia de COVID-19 trouxe novos comportamentos e desafios para a manutenção de modos de vida mais ativos em anos recentes (MALTA; GOMES; PRATES; BERNAL, 2023).

Em relação a esses resultados, cabe uma discussão acerca do fato da OMS não limitar o atingimento dos 150 minutos de prática de AF à algum domínio específico (BULL; AL-ANSARI; BIDDLE; BORODULIN *et al.*, 2020). Desse modo, o indicador de AFTL pode, no Brasil, subestimar os níveis populacionais de AF. Ademais, vale destacar também que os indicadores monitorados nos grandes inquéritos, atualmente, não consideram métricas, tais como o de pouca AF ou zero AF, o que segundo ARAUJO; WERNECK; GLENN WEAVER; TASSITANO *et al.* (2024), tem implicações na análise de iniquidades, que são mais aparentes quando tais métricas são utilizadas. Outro fato relevante na análise de indicadores diz respeito ao uso de telas e à agregação de diversos dispositivos em um mesmo indicador. É preciso considerar que o uso desses equipamentos pode ser concorrente; observa-se, por exemplo, o declínio do uso de televisão em favor do aumento do uso de celulares, refletindo novas dinâmicas na sociedade contemporânea.

Em termos das estimativas de AF em áreas menores, os resultados do Artigo 2 avançaram nas análises de prevalência entre os períodos 2009-2013 e 2014-2018, demonstrando variações e desigualdades intraurbanas entre áreas mais e menos desenvolvidas na cidade de Belo Horizonte. Para a vigilância, os estudos em pequenas áreas otimizam o uso de dados existentes sem novos custos de coleta, além de trazer visões importantes na análise de equidade (KONG; ZHANG, 2020).

A partir de grandes áreas e avançando para área menores, dentro de uma perspectiva inovadora com o uso da IA, este trabalho evidenciou diferenças nas prevalências de prática de AFTL segundo estratos ainda menores em relação aos anteriormente estudados (BERNAL; DE CARVALHO; PELL; LEYLAND *et al.*, 2020; CARDOSO; GOMES; MOREIRA; BERNAL *et al.*, 2021; GOMES; BERNAL; MOREIRA; TEIXEIRA *et al.*, 2021). De fato, a observação de um grupo ou cluster de alta vulnerabilidade (HI-2) com maior aumento na prevalência de AFTL entre os períodos – em relação a um grupo ou cluster de médio risco (MD-0) – nos levou a crer que visões mais granulares do território são importantes para revelar cenários antes encobertos.

Merece destaque o fato da manutenção das iniquidades entre áreas mais e menos favorecidas ao longo do tempo. Nesse quesito, observa-se a necessidade do desenvolvimento de políticas públicas que, para além do aumento das prevalências, objetivem o enfrentamento das desigualdades observadas, com foco no acesso à prática de AFTL, tendo em vista que a interseccionalidade de múltiplos fatores, tais como gênero e condição socioeconômica podem influenciar diretamente na preservação das iniquidades (MIELKE; MALTA; NUNES; CAIRNEY, 2022).

A vigilância das desigualdades é essencial para dar visibilidade às populações vulneráveis, cujas demandas são frequentemente ocultadas por médias municipais ou estaduais. Muito embora o sistema de saúde brasileiro possua uma estrutura de vigilância robusta, ela ainda carece de uma visão que contemple as iniquidades territoriais e a capacidade de agir sobre desigualdades espaciais, incluindo a disponibilidade de espaços públicos, segurança e mobilidade urbana.

Os estudos longitudinais e a vigilância dos ciclos de vida permitiram observar as diferenças e desigualdades na prática de AFTL condicionadas às características ambientais do local de residência de adultos de meia idade à idosos. Nesse sentido, a compreensão dos diferentes tipos de trajetórias de AF permitiu identificar, no terceiro trabalho, que o tamanho de ciclovias e a conectividade das ruas foram fatores importantes



para manutenção e o fomento desta prática entre adultos, ou seja, que essas são características urbanas que podem promover uma transição ativa e saudável da fase adulta para a velhice. Uma sugestão para estudos futuros, é a de avaliar o efeito da mudança de endereço no comportamento dos indivíduos, e a de aumentar o tamanho da amostra sem a exclusão de tantos indivíduos na linha de base.

Em relação a esse estudo, o grupo etário de adultos que transita da fase adulta para velhice justifica-se na medida em que o envelhecimento ativo é uma estratégia de combate à morbimortalidade (WHO, 2017). O estudo da vigilância, nesse contexto, sugere o desenvolvimento de cidades mais “propícias” à prática de AF, com ressalvas para o fato de que enquanto as características ambientais são provavelmente mais díspares nos países de baixa e média renda, os aspectos sociodemográficos continuam sendo fortes marcadores das trajetórias nos países mais ricos. De todo modo, múltiplos recursos devem ser fomentados para maximizar as oportunidades de manutenção e início à prática de AF em quaisquer contextos e para todas as idades.

Por fim, em função dos resultados e experimentações dos trabalhos dessa tese, algumas recomendações podem ser deixadas e dizem respeito à: (a) necessidade de avançar nos estudos de trajetórias de AF em países de baixa e média renda, tendo em vista às diferenças contextuais das populações que tendem a ser muito mais desiguais nesses países; (b) capacidade para o desenvolvimento de outras técnicas de IA no acompanhamento de indicadores em pequenas áreas, tendo em vista o baixo número de entrevistas nas áreas mais vulneráveis e socioeconomicamente desfavorecidas. O uso de populações sintéticas parece uma solução adequada, pois exhibe a capacidade de mitigar o efeito dos baixos quantitativos amostrais em certas regiões.

Os estudos resultantes desta tese são ferramentas para o aprimoramento da vigilância e para inovação em saúde. O desenvolvimento de métodos e métricas diversificadas é fundamental diante das novas demandas da vigilância contemporânea. Apesar dos inúmeros desafios, o emprego de abordagens plurais permitiu explorar dimensões e potencialidades até então pouco examinadas neste campo.

## REFERÊNCIAS

- ABS. Australian Bureau of Statistics. Physical Activity., 2022. Disponível em: <https://www.abs.gov.au/statistics/health/health-conditions-and-risks/physical-activity/2022>. Acesso em: 26/07/2025.
- AGGIO, D.; PAPACHRISTOU, E.; PAPACOSTA, O.; LENNON, L. T. *et al.* Trajectories of self-reported physical activity and predictors during the transition to old age: a 20-year cohort study of British men. **international journal of behavioral nutrition and physical activity**, 15, p. 1-12, 2018.
- ALLEN, M. S.; VELLA, S. A. Longitudinal determinants of walking, moderate, and vigorous physical activity in Australian adults. **Prev Med**, 78, p. 101-104, Sep 2015.
- ARAUJO, R. H. O.; WERNECK, A. O.; GLENN WEAVER, R.; TASSITANO, R. M. *et al.* No or Low Moderate-to-Vigorous Physical Activity: Focusing on the Least Active as an Additional Approach for Physical Activity Surveillance. **J Phys Act Health**, p. 1-5, Mar 14 2024.
- ARAUJO, R. H. O.; WERNECK, A. O.; SILVA, D. R.; JESUS, G. M. Sociodemographic inequalities in the trends of different types of leisure-time physical activity among Brazilian adults between 2006 and 2019. **Int J Equity Health**, 21, n. 1, p. 120, Aug 29 2022.
- AUSTRALIAN BUREAU OF STATISTICS. Technical Paper: Socio-Economic Indexes for Areas (SEIFA). 2001.
- AUSTRALIAN DEPARTMENT OF HEALTH, D. A. A. **Physical activity and exercise guidelines for all Australians**. Australia, 2021.
- AUSTRALIAN INSTITUTE OF HEALTH WELFARE. **The active Australia survey: a guide and manual for implementation, analysis and reporting**. Australian Institute of Health and Welfare, 2003. 1740242580.
- AUSTRALIAN INSTITUTE OF HEALTH WELFARE. **Physical Activity Report**. Australia, 2024.
- BADAWY, M.; RAMADAN, N.; HEFNY, H. A. Healthcare predictive analytics using machine learning and deep learning techniques: a survey. **Journal of Electrical Systems and Information Technology**, 10, n. 1, p. 40, 2023.
- BARATA, R. B. Vigilância epidemiológica: breve histórico e a experiência dos Estados Unidos e do estado de São Paulo. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, 31, p. e2021115, 2022.
- BARRETO, M. L.; ICHIHARA, M. Y. T.; AQUINO, E. M.; FONSENCA, A. D. A. **Desigualdades sociais e saúde: abordagens inovadoras para avaliar seus efeitos na população brasileira**. Salvador: EDUFBA, 2025. 6556307718.
- BAUMAN, A.; CHAU, J. Monitoring population trends through physical activity

surveillance-a chequered history in Australia. **Australasian Epidemiologist**, 22, n. 1, p. 5-8, 2015.

BAUMAN, A. E.; NAU, T.; CASSIDY, S.; GILBERT, S. *et al.* Physical activity surveillance in Australia: standardisation is overdue. **Australian and New Zealand Journal of Public Health**, 45, n. 3, p. 189-192, 2021.

BAUMAN, A. E.; REIS, R. S.; SALLIS, J. F.; WELLS, J. C. *et al.* Correlates of physical activity: why are some people physically active and others not? **The lancet**, 380, n. 9838, p. 258-271, 2012.

BAUMAN, A. E.; REIS, R. S.; SALLIS, J. F.; WELLS, J. C. *et al.* Correlates of physical activity: why are some people physically active and others not? **The Lancet**, 380, n. 9838, p. 258-271, 2012.

BENTLEY, R.; BLAKELY, T.; KAVANAGH, A.; AITKEN, Z. *et al.* A longitudinal study examining changes in street connectivity, land use, and density of dwellings and walking for transport in Brisbane, Australia. **Environmental health perspectives**, 126, n. 5, p. 057003, 2018.

BERNAL, R. T. I.; DE CARVALHO, Q. H.; PELL, J. P.; LEYLAND, A. H. *et al.* A methodology for small area prevalence estimation based on survey data. **Int J Equity Health**, 19, n. 1, p. 124, Jul 31 2020.

BERNAL, R. T. I.; ISER, B. P. M.; MALTA, D. C.; CLARO, R. M. Sistema de Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico (Vigitel): mudança na metodologia de ponderação. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, 26, n. 4, p. 701-712, 2017.

BERNAL, R. T. I.; MALTA, D. C.; ISER, B. P.; MONTEIRO, R. A. Method for projecting indicators for the goals of the Strategic Action Plan for Tackling Chronic Non-Communicable Diseases in Brazil according to Capitals and the Federal District. **Epidemiol Serv Saude**, 25, n. 3, p. 455-466, Jul-Sep 2016.

BIRKHEAD, G. S.; KLOMPAS, M.; SHAH, N. R. Uses of electronic health records for public health surveillance to advance public health. **Annu Rev Public Health**, 36, p. 345-359, Mar 18 2015.

BRASIL. **Plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) no Brasil: 2011-2022**. Ministério da Saúde, 2011a. 8533418310.

BRASIL. Portaria nº 719, de 7 de abril de 2011. Institui o Programa Academia da Saúde no âmbito do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, 2011b.

BRASIL. Política Nacional de Promoção da Saúde: PNaPS: revisão da Portaria MS/GM nº 687, de 30 de março de 2006 (National Health Promotion Policy: Pnaps/Brazil: revision of the MS/GM Ordinance nº687, of March 30th, 2006). Brasília: Ministério da Saúde 2014.

BRASIL. Pesquisa nacional de saúde: 2019: percepção do estado de saúde, estilos de vida, doenças crônicas e saúde bucal: Brasil e grandes regiões/IBGE. Coordenação de Trabalho e Rendimento. : IBGE Rio de Janeiro 2020.

BRASIL. **Guia de atividade física para a população brasileira.** Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção Primária à Saúde. Departamento de Promoção da Saúde. Brasília. 2021a. (8533428855).

BRASIL. Plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) no Brasil 2021-2030. Brasília: Ministério da Saúde 2021b.

BRASIL. Vigitel Brasil 2021: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico. Brasília: Ministério da Saúde 2022.

BRASIL. Vigitel Brasil 2006-2023: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico: estimativas sobre frequência e distribuição sociodemográfica de prática de atividade física nas capitais dos 26 estados brasileiros e no Distrito Federal entre 2006 e 2023. TRANSMISSÍVEIS., S. D. V. E. S. E. A. D. D. A. E. E. V. D. D. N. Brasília: 68 p. 2024.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) no Brasil 2021-2030 Brasília: Ministério da Saúde 2021.

BULL, F. C.; AL-ANSARI, S. S.; BIDDLE, S.; BORODULIN, K. *et al.* World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. **Br J Sports Med**, 54, n. 24, p. 1451-1462, Dec 2020.

BURTON, N. W.; HAYNES, M.; WILSON, L.-A. M.; GILES-CORTI, B. *et al.* HABITAT: a longitudinal multilevel study of physical activity change in mid-aged adults. **BMC Public Health**, 9, p. 1-11, 2009.

CARDOSO, L. S. D. M.; GOMES, C. S.; MOREIRA, A. D.; BERNAL, R. T. I. *et al.* Consumo de frutas e hortaliças, prática de atividade física no tempo livre e consumo abusivo de bebida alcoólica em Belo Horizonte, Brasil, segundo Índice de Vulnerabilidade à Saúde. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, 24, p. e210013, 2021.

CARLIN, A.; PERCHOUX, C.; PUGGINA, A.; ALEKSOVSKA, K. *et al.* A life course examination of the physical environmental determinants of physical activity behaviour: a “Determinants of Diet and Physical Activity”(DEDIPAC) umbrella systematic literature review. **PloS one**, 12, n. 8, p. e0182083, 2017.

CHEN, T.; LI, W.; ZAMBARANO, B.; KLOMPAS, M. Small-area estimation for public health surveillance using electronic health record data: reducing the impact of underrepresentation. **BMC Public Health**, 22, n. 1, p. 1515, Aug 9 2022.

CHRISTIAN, H. E.; BULL, F. C.; MIDDLETON, N. J.; KNUIMAN, M. W. *et al.* How important is the land use mix measure in understanding walking behaviour? Results from the RESIDE study. **International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity**, 8, p. 1-12, 2011.

CLELAND, C.; REIS, R.; HINO, A.; HUNTER, R. *et al.* Built environment correlates of physical activity and sedentary behaviour in older adults: A comparative review between high and low-middle income countries. **Health & place**, 57, p. 277-304, 2019.

CORDER, K.; OGILVIE, D.; VAN SLUIJS, E. M. Invited commentary: Physical activity over the life course--whose behavior changes, when, and why? **Am J Epidemiol**, 170, n. 9, p. 1078-1081; discussion 1082-1073, Nov 1 2009.

COUNTDOWN, N. NCD Countdown 2030: worldwide trends in non-communicable disease mortality and progress towards Sustainable Development Goal target 3.4. **Lancet (London, England)**, 392, n. 10152, p. 1072-1088, 2018.

CUNHA, P. M.; WERNECK, A. O.; SANTOS, L. D.; OLIVEIRA, M. D. *et al.* Can resistance training improve mental health outcomes in older adults? A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **Psychiatry Res**, 333, p. 115746, Mar 2024.

DELPINO, F.; COSTA, Â.; FARIAS, S.; CHIAVEGATTO FILHO, A. D. P. *et al.* Machine learning for predicting chronic diseases: a systematic review. **Public Health**, 205, p. 14-25, 2022.

DENG, D., 2020, **DBSCAN clustering algorithm based on density**. IEEE. 949-953.

DING, D. Surveillance of global physical activity: progress, evidence, and future directions. **The Lancet Global Health**, 6, n. 10, p. e1046-e1047, 2018.

DING, D.; EKELUND, U. From London buses to activity trackers: A reflection of 70 years of physical activity research. **Journal of sport and health science**, p. S2095-2546 (2024) 00094-00092, 2024.

DOS SANTOS FERREIRA VIERO, V.; MATIAS, T. S.; ALEXANDRINO, E. G.; VIEIRA, Y. P. *et al.* Physical activity pattern before and during the COVID-19 pandemic and association with contextual variables of the pandemic in adults and older adults in southern Brazil. **Journal of Public Health**, 32, n. 1, p. 79-87, 2024.

FARIA, T. M. T. R.; BRENNER, S.; DECKERT, A.; FLORINDO, A. A.; MIELKE, G. I. Health academy program and physical activity levels in Brazilian state capitals. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, 25, p. 1-8, 2020.

GERAGE, A. M.; BEZERRA, J. B.; TOMICKI, C.; CONEGLIAN, J. C. *et al.* High sedentary behavior and low light physical activity are associated with worse glucose rates in cardiometabolic diseases' subjects. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, 40, p. 295-299, 2024.

GHANI, F.; RACHELE, J. N.; WASHINGTON, S.; TURRELL, G. Gender and age differences in walking for transport and recreation: Are the relationships the same in all neighborhoods? **Preventive medicine reports**, 4, p. 75-80, 2016.

GILES-CORTI, B.; DONOVAN, R. J. The relative influence of individual, social and

physical environment determinants of physical activity. **Soc Sci Med**, 54, n. 12, p. 1793-1812, Jun 2002.

GOMES, C. S.; BERNAL, R. T. I.; MOREIRA, A. D.; TEIXEIRA, R. A. *et al.* Estimativas de prevalência de hipertensão e diabetes mellitus segundo índice de vulnerabilidade da saúde em Belo Horizonte, MG, Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, 24, p. e210015, 2021.

GOMES, C. S.; VIEIRA, C. S.; ROCHA, F. L.; TEMPONI, H. R. *et al.* Análise espacial da prática de atividade física no lazer em área urbana. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, 24, p. e210012, 2021.

HALLAL, P. C.; ANDERSEN, L. B.; BULL, F. C.; GUTHOLD, R. *et al.* Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. **Lancet**, 380, n. 9838, p. 247-257, Jul 21 2012.

HANSON, H. M.; SCHILLER, C.; WINTERS, M.; SIMS-GOULD, J. *et al.* Concept mapping applied to the intersection between older adults' outdoor walking and the built and social environments. **Preventive medicine**, 57, n. 6, p. 785-791, 2013.

HASKELL, W. L.; LEE, I.-M.; PATE, R. R.; POWELL, K. E. *et al.* Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. **Circulation**, 116, n. 9, p. 1081, 2007.

HAY, S. I.; ABAJOBIR, A. A.; ABATE, K. H.; ABBAFATI, C. *et al.* Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 333 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE) for 195 countries and territories, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. **The Lancet**, 390, n. 10100, p. 1260-1344, 2017.

HEESCH, K. C.; GILES-CORTI, B.; TURRELL, G. Cycling for transport and recreation: Associations with the socio-economic, natural and built environment. **Health & place**, 36, p. 152-161, 2015.

HIDIROGLOU, M., 2007, **Small-area estimation: theory and practice**. 3445-3456.

HOGG, J.; CAMERON, J.; CRAMB, S.; BAADE, P.; MENGERSEN, K. Mapping the prevalence of cancer risk factors at the small area level in Australia. **International Journal of Health Geographics**, 22, n. 1, p. 37, 2023.

HOOPER, P.; FOSTER, S.; EDWARDS, N.; TURRELL, G. *et al.* Positive HABITATS for physical activity: Examining use of parks and its contribution to physical activity levels in mid-to older-aged adults. **Health & Place**, 63, p. 102308, 2020.

IBGE. Censo Demográfico 2022. 2022.

IKOTUN, A. M.; EZUGWU, A. E.; ABUALIGAH, L.; ABUHAIJA, B.; HEMING, J. K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. **Information Sciences**, 622, p. 178-210, 2023.

KÄRMENIEMI, M.; LANKILA, T.; IKÄHEIMO, T.; KOIVUMAA-HONKANEN, H.; KORPELAINEN, R. The built environment as a determinant of physical activity: a systematic review of longitudinal studies and natural experiments. **Annals of behavioral medicine**, 52, n. 3, p. 239-251, 2018.

KAZEMI, A.; SOLTANI, S.; AUNE, D.; HOSSEINI, E. *et al.* Leisure-time and occupational physical activity and risk of cardiovascular disease incidence: a systematic-review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. **Int J Behav Nutr Phys Act**, 21, n. 1, p. 45, Apr 24 2024.

KNUIMAN, M. W.; CHRISTIAN, H. E.; DIVITINI, M. L.; FOSTER, S. A. *et al.* A longitudinal analysis of the influence of the neighborhood built environment on walking for transportation: the RESIDE study. **American journal of epidemiology**, 180, n. 5, p. 453-461, 2014.

KONG, A. Y.; ZHANG, X. The use of small area estimates in place-based health research. **American Journal of Public Health**, 110, n. 6, p. 829-832, 2020.

LEE, I.-M.; SHIROMA, E. J.; LOBELO, F.; PUSKA, P. *et al.* Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. **The lancet**, 380, n. 9838, p. 219-229, 2012.

LOUNASSALO, I.; HIRVENSALO, M.; PALOMÄKI, S.; SALIN, K. *et al.* Life-course leisure-time physical activity trajectories in relation to health-related behaviors in adulthood: the Cardiovascular Risk in Young Finns study. **BMC Public Health**, 21, n. 1, p. 533, Mar 19 2021.

LOUNASSALO, I.; SALIN, K.; KANKAANPÄÄ, A.; HIRVENSALO, M. *et al.* Distinct trajectories of physical activity and related factors during the life course in the general population: a systematic review. **BMC Public Health**, 19, n. 1, p. 271, Mar 6 2019.

MACHADO, P. G.; FLORINDO, A. A.; KNUTH, A. G.; VARELA, A. R. *et al.* Progress in Physical Activity Surveillance, Research, Policy, and Gender Equity in Brazil: Results From the Global Observatory for Physical Activity. **Journal of Physical Activity and Health**, 22, n. 7, p. 819-826, 2025.

MALTA, D.; MIELKE, G.; COSTA, N. D. Pesquisas de avaliação do Programa Academia da Saúde. **Florianópolis: Sociedade Brasileira de Atividade Física e Saúde**, 2020.

MALTA, D. C.; ALMEIDA, M. C. D. M.; DIAS, M. A. D. S.; MERHY, E. E. A mortalidade infantil em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, por área de abrangência dos Centros de Saúde (1994-1996). **Cadernos de Saúde Pública**, 17, n. 5, p. 1189-1198, 2001.

MALTA, D. C.; BARBOSA DA SILVA, J. Policies to promote physical activity in Brazil. **Lancet**, 380, n. 9838, p. 195-196, Jul 21 2012.

MALTA, D. C.; GOMES, C. S.; PRATES, E. J. S.; BERNAL, R. T. I. Mudanças nas doenças crônicas e os fatores de risco e proteção antes e após a terceira onda da COVID-

19 no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, 28, p. 3659-3671, 2023.

MALTA, D. C.; LEAL, M. D. C.; COSTA, M. F. L.; MORAIS NETO, O. L. D. Inquéritos Nacionais de Saúde: experiência acumulada e proposta para o inquérito de saúde brasileiro. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, 11, p. 159-167, 2008.

MALTA, D. C.; SILVA, M.; MOURA, L.; MORAIS, O. L. N. The implantation of the Surveillance System for Non-communicable Diseases in Brazil, 2003 to 2015: successes and challenges. **Rev Bras Epidemiol**, 20, n. 4, p. 661-675, Oct-Dec 2017.

MALTA, D. C.; TEIXEIRA, R. A.; CARDOSO, L. S. D. M.; SOUZA, J. B. D. *et al.* Premature mortality due to noncommunicable diseases in Brazilian capitals: redistribution of garbage causes and evolution by social deprivation strata. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, 26, p. e230002, 2023.

MCLAUGHLIN, M.; MCCUE, P.; SWELAM, B.; MURPHY, J.; EDNEY, S. Physical activity—the past, present and potential future: a state-of-the-art review. **Health Promotion International**, 40, n. 1, p. daae175, 2025.

MIELKE, G. I.; DING, D.; KEATING, S. E.; NUNES, B. P. *et al.* Physical activity volume, frequency, and intensity: Associations with hypertension and obesity over 21 years in Australian women. **Journal of Sport and Health Science**, 2024.

MIELKE, G. I.; HALLAL, P. C.; MALTA, D. C.; LEE, I. M. Time trends of physical activity and television viewing time in Brazil: 2006-2012. **Int J Behav Nutr Phys Act**, 11, p. 101, Aug 15 2014.

MIELKE, G. I.; MALTA, D. C.; NUNES, B. P.; CAIRNEY, J. All are equal, but some are more equal than others: social determinants of leisure time physical activity through the lens of intersectionality. **BMC Public Health**, 22, n. 1, p. 36, Jan 6 2022.

MOK, A.; KHAW, K. T.; LUBEN, R.; WAREHAM, N.; BRAGE, S. Physical activity trajectories and mortality: population based cohort study. **Bmj**, 365, p. 12323, Jun 26 2019.

MORRIS, J. N.; HEADY, J.; RAFFLE, P.; ROBERTS, C.; PARKS, J. Coronary heart-disease and physical activity of work. **The lancet**, 262, n. 6796, p. 1111-1120, 1953.

NAGIN, D. S.; ODGERS, C. L. Group-based trajectory modeling in clinical research. **Annual review of clinical psychology**, 6, p. 109-138, 2010.

NAU, T.; BELLEW, W.; SMITH, B. J.; BAUMAN, A. Formative assessment: Is Australia ready for a physical activity surveillance system? **Australian and New Zealand Journal of Public Health**, 47, n. 3, p. 100045, 2023.

NEMOTO, Y.; BROWN, W. J.; MIELKE, G. I. Trajectories of physical activity from mid to older age in women: 21 years of data from the Australian Longitudinal Study on Women's Health. **Int J Behav Nutr Phys Act**, 21, n. 1, p. 4, Jan 8 2024.

NETA, I. S. S.; MEDEIROS, M. S. D.; GONÇALVES, M. J. F. Vigilância da saúde



orientada às condições de vida da população: uma revisão integrativa da literatura. **Saúde em Debate**, 42, p. 307-317, 2018.

NIGG, C.; ALOTHMAN, S. A.; ALGHANNAM, A. F.; SCHIPPERIJN, J. *et al.* A systematic review on the associations between the built environment and adult's physical activity in global tropical and subtropical climate regions. **International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity**, 21, n. 1, p. 59, 2024.

OLAWADE, D. B.; WADA, O. J.; DAVID-OLAWADE, A. C.; KUNONGA, E. *et al.* Using artificial intelligence to improve public health: a narrative review. **Frontiers in Public Health**, 11, p. 1196397, 2023.

OLIVEIRA, A. S. Transição demográfica, transição epidemiológica e envelhecimento populacional no Brasil. **Hygeia-Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, 15, n. 32, p. 69-79, 2019.

OMS. **Global action plan for the prevention and control of noncommunicable diseases 2013-2020**. Organização Mundial de Saúde. Geneva. 2013.

OMS. Plano de Ação Global para a Atividade Física 2018-2030. **Versão síntese.(2018b)**, p. 1-8, 2018.

OMS. **The impact of the COVID-19 pandemic on Noncommunicable diseases resources and services: Results of a Rapid Assessment**. Organização Mundial da Saúde. Geneva. 2020.

PBH. Índice de Vulnerabilidade da Saúde, 2012. **Prefeitura de Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Saúde.**, 2013.

PORTO, L. G. G.; AZEVEDO, M. R.; MOLINA, G. E.; GUEDES, D. P. *et al.* A relação entre atividade física e saúde: uma abordagem histórica e conceitual. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, 28, p. 1-7, 2023.

PRATT, M.; BROWNSON, R. C.; RAMOS, L. R.; MALTA, D. C. *et al.* Project GUIA: a model for understanding and promoting physical activity in Brazil and Latin America. **Journal of Physical Activity and Health**, 7, n. s2, p. S131-S134, 2010.

PRATT, M.; VARELA, A. R.; BAUMAN, A. The physical activity policy to practice disconnect. **Journal of Physical Activity and Health**, 20, n. 6, p. 461-464, 2023.

PRATT, M.; VARELA, A. R.; HALLAL, P. C. Celebrating 10 years of the global observatory for physical activity—GoPA! **Journal of Physical Activity and Health**, 21, n. 5, p. 423-424, 2024.

RAMIRES, V.; BECKER, L.; SADOVSKY, A.; ZAGO, A. *et al.* Evolução da pesquisa epidemiológica em atividade física e comportamento sedentário no Brasil: atualização de uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, 19, n. 5, p. 529-529, 2014.

RANCHOD, Y. K.; DIEZ ROUX, A. V.; EVENSON, K. R.; SÁNCHEZ, B. N.; MOORE,

K. Longitudinal associations between neighborhood recreational facilities and change in recreational physical activity in the multi-ethnic study of atherosclerosis, 2000–2007. **American journal of epidemiology**, 179, n. 3, p. 335-343, 2014.

ROUSSEEUW, P. J. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. **Journal of computational and applied mathematics**, 20, p. 53-65, 1987.

ROVIO, S. P.; YANG, X.; KANKAANPÄÄ, A.; AALTO, V. *et al.* Longitudinal physical activity trajectories from childhood to adulthood and their determinants: The Young Finns Study. **Scand J Med Sci Sports**, 28, n. 3, p. 1073-1083, Mar 2018.

RUBINGER, L.; GAZENDAM, A.; EKHTIARI, S.; BHANDARI, M. Machine learning and artificial intelligence in research and healthcare. **Injury**, 54, p. S69-S73, 2023.

SALLIS, J. F.; CERIN, E.; CONWAY, T. L.; ADAMS, M. A. *et al.* Physical activity in relation to urban environments in 14 cities worldwide: a cross-sectional study. **The lancet**, 387, n. 10034, p. 2207-2217, 2016.

SALLIS, J. F.; CERVERO, R. B.; ASCHER, W.; HENDERSON, K. A. *et al.* An Ecological Approach to Creating Active Living Communities. **Annual Review of Public Health**, 27, n. 1, p. 297-322, 2006.

SALVO, D.; REIS, R. S.; SARMIENTO, O. L.; PRATT, M. Overcoming the challenges of conducting physical activity and built environment research in Latin America: IPEN Latin America. **Preventive medicine**, 69, p. S86-S92, 2014.

SILVA, A. G. D. **Avaliação do alcance das metas para a prevenção e controle das doenças crônicas não transmissíveis e da implementação de programas comunitários de atividade física no Brasil**. 2021. 149f f. (Tese (Doutorado em Enfermagem)) - Escola de Enfermagem, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <https://www.enf.ufmg.br/pos/defesas/998D.PDF?src=19085>.

SILVA, A. G. D.; TEIXEIRA, R. A.; PRATES, E. J. S.; MALTA, D. C. Monitoring and projection of targets for risk and protection factors for coping with noncommunicable diseases in Brazilian capitals. **Ciência & Saúde Coletiva**, 26, p. 1193-1206, 2021.

STRAIN, T.; FLAXMAN, S.; GUTHOLD, R.; SEMENOVA, E. *et al.* National, regional, and global trends in insufficient physical activity among adults from 2000 to 2022: a pooled analysis of 507 population-based surveys with 5· 7 million participants. **The Lancet Global Health**, 12, n. 8, p. e1232-e1243, 2024.

STRAIN, T.; MILTON, K.; DALL, P.; STANDAGE, M.; MUTRIE, N. How are we measuring physical activity and sedentary behaviour in the four home nations of the UK? A narrative review of current surveillance measures and future directions. **British journal of sports medicine**, 54, n. 21, p. 1269-1276, 2020.

TERRIS, M. Approaches to an epidemiology of health. **American journal of public health**, 65, n. 10, p. 1037-1045, 1975.

TROIANO, R. P.; STAMATAKIS, E.; BULL, F. C. How can global physical activity surveillance adapt to evolving physical activity guidelines? Needs, challenges and future directions. **British journal of sports medicine**, 54, n. 24, p. 1468-1473, 2020.

TROST, S. G.; OWEN, N.; BAUMAN, A. E.; SALLIS, J. F.; BROWN, W. Correlates of adults' participation in physical activity: review and update. **Med Sci Sports Exerc**, 34, n. 12, p. 1996-2001, Dec 2002.

TURRELL, G.; HAYNES, M.; BURTON, N. W.; GILES-CORTI, B. *et al.* Neighborhood disadvantage and physical activity: baseline results from the HABITAT multilevel longitudinal study. **Ann Epidemiol**, 20, n. 3, p. 171-181, Mar 2010.

TURRELL, G.; NATHAN, A.; BURTON, N. W.; BROWN, W. J. *et al.* Cohort Profile: HABITAT-a longitudinal multilevel study of physical activity, sedentary behaviour and health and functioning in mid-to-late adulthood. **Int J Epidemiol**, 50, n. 3, p. 730-731h, Jul 9 2021.

VARELA, A. R.; PRATT, M.; HARRIS, J.; LECY, J. *et al.* Mapping the historical development of physical activity and health research: a structured literature review and citation network analysis. **Preventive medicine**, 111, p. 466-472, 2018.

VILJANEN, M.; MEIJERINK, L.; ZWAKHALS, L.; VAN DE KASSTEELE, J. A machine learning approach to small area estimation: predicting the health, housing and well-being of the population of Netherlands. **Int J Health Geogr**, 21, n. 1, p. 4, Jun 6 2022.

WANG, Y.; HOLT, J. B.; XU, F.; ZHANG, X. *et al.* Using 3 health surveys to compare multilevel models for small area estimation for chronic diseases and health behaviors. **Preventing chronic disease**, 15, 2018.

WAXMAN, A. WHO's global strategy on diet, physical activity and health: response to a worldwide epidemic of non-communicable diseases. **Scandinavian Journal of Nutrition**, 48, n. 2, p. 58-60, 2004.

WERNECK, A. O.; BARBOZA, L. L.; ARAÚJO, R. H. O.; OYEYEMI, A. L. *et al.* Time Trends and Sociodemographic Inequalities in Physical Activity and Sedentary Behaviors Among Brazilian Adults: National Surveys from 2003 to 2019. **J Phys Act Health**, 18, n. 11, p. 1332-1341, Sep 21 2021.

WHITWORTH, A.; CARTER, E.; BALLAS, D.; MOON, G. Estimating uncertainty in spatial microsimulation approaches to small area estimation: A new approach to solving an old problem. **Computers, Environment and Urban Systems**, 63, p. 50-57, 2017.

WHO, 2017, **WHO clinical consortium on healthy ageing: topic focus: frailty and intrinsic capacity: report of consortium meeting, 1–2 December 2016 in Geneva, Switzerland.**

WHO. **Global action plan on physical activity 2018-2030: more active people for a healthier world.** World Health Organization, 2019. 9241514183.

WHO. Noncommunicable diseases: progress monitor 2022. 2022.

WHO. **Noncommunicable diseases. Key facts.** 2025. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>. Acesso em: 01/09/2025.

WILSON, L.-A. M.; GILES-CORTI, B.; BURTON, N. W.; GISKES, K. *et al.* The association between objectively measured neighborhood features and walking in middle-aged adults. **American Journal of Health Promotion**, 25, n. 4, p. e12-e21, 2011.

YU, R.; DUNCOMBE, S. L.; NEMOTO, Y.; ARAUJO, R. H. *et al.* Physical activity trajectories and accumulation over adulthood and their associations with all-cause and cause-specific mortality: a systematic review and meta-analysis. **British journal of sports medicine**, 2025.

ZHANG, X.; HOLT, J. B.; YUN, S.; LU, H. *et al.* Validation of multilevel regression and poststratification methodology for small area estimation of health indicators from the behavioral risk factor surveillance system. **American journal of epidemiology**, 182, n. 2, p. 127-137, 2015.