



## ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL URBANO EM UMA MESORREGIÃO AMAZÔNICA COM USO DE COMPONENTES PRINCIPAIS (CP)

Elisane Gabriel do Nascimento Silva<sup>1</sup>  
Maria Isabel Vitorino<sup>2</sup>

**Resumo,** A sustentabilidade abrange um conjunto complexo de dimensões que vão além da simples preocupação ambiental, configurando-se como um fenômeno multidimensional. Para assegurar um crescimento urbano verdadeiramente sustentável, é fundamental estabelecer conexões conscientes entre diversas áreas. Assim, o objetivo deste artigo é analisar um sistema de indicadores obtendo resultados de (in)sustentabilidade relacionado ao desenvolvimento urbano da Mesorregião Metropolitana de Belém. Para mensuração, foi empregada a metodologia de Análise de Componentes Principais (ACP), que operacionalizou através da *Plataforma Estatística PALaeontological STatistics* (PAST), o sistema de indicadores da Matriz de Indicadores Sustentáveis (MASU), que estão divididos nas dimensões ambiental, político-institucional e social. Os resultados evidenciam que grande parte dos indicadores da dimensão social e ambiental são sustentáveis, sendo os mais representativos, enquanto os Indicadores da dimensão Político-Institucional são insustentáveis, com menor representatividade para a área estudada. A partir dessa análise, destacam-se os municípios de Barcarena, Santa Bárbara do Pará, Santa Isabel do Pará e Inhangapi, que apresentam uma ampla gama de indicadores sustentáveis. Em contrapartida, Belém e Ananindeua demonstram um maior número de indicadores insustentáveis nas Componentes Principais (CP) analisados. Essa disparidade sugere a necessidade de que a gestão pública local direcione investimentos significativos em iniciativas de sustentabilidade, visando promover um desenvolvimento sustentável nos municípios da Mesorregião Metropolitana de Belém.

**Palavras-chave:** Indicadores; Sustentabilidade; Desenvolvimento urbano.

## ANALYSIS OF URBAN SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN AN AMAZON MESOREGION USING PRINCIPAL COMPONENTS (CP)

**Abstract,** Sustainability encompasses a complex set of dimensions that go beyond simple environmental concerns, configuring itself as a multidimensional phenomenon. To ensure truly sustainable urban growth, it is fundamental to establish conscious connections between diverse areas. Thus, the objective of this article is to analyze a system of indicators, obtaining results of (un)sustainability related to the urban development of the Metropolitan Mesoregion of Belém. For measurement, the Principal Component Analysis (PCA) methodology was employed, operationalized through the PALaeontological STatistics (PAST) statistical platform, using the Sustainable Indicators Matrix (MASU) indicator system, which is divided into environmental, political-institutional, and social dimensions. The results show that a large part of the indicators in the social and environmental dimensions are sustainable, being the most representative, while the indicators in the political-institutional dimension are unsustainable, with less representativeness for the area studied. Based on this analysis, the municipalities of Barcarena, Santa Bárbara do Pará, Santa Isabel do Pará, and Inhangapi stand out, presenting a wide range of sustainable indicators. In contrast, Belém and Ananindeua show a greater number of unsustainable indicators in the Principal Components (PC) analyzed. This disparity suggests the need for local public management to direct significant investments in sustainability initiatives, aiming to promote sustainable development in the municipalities of the Metropolitan Region of Belém.

**Keywords:** *Indicators; Sustainability; Urban development.*

### 1 Introdução

Alcançar a sustentabilidade urbana depende de diversos fatores que orientam as ações da

<sup>1</sup> Mestre em Ciências Ambientais. Universidade Federal do Pará (UFPA). Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5989-0050>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9135217864016094>. E-mail: [elisane@ufpa.br](mailto:elisane@ufpa.br)

<sup>2</sup> Doutorado em Meteorologia (INPE). Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará (UFPA). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3253-5301>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4813399912998401>. E-mail: [vitorino@ufpa.br](mailto:vitorino@ufpa.br)



sociedade. Historicamente, a utilização dos recursos ambientais foi compreendida como inesgotável, sendo explorada de forma intensiva para sustentar a expansão do capitalismo industrial. No entanto, após décadas de exploração descontrolada, tornou-se evidente o agravamento da degradação ambiental, cujos efeitos ultrapassaram os limites das áreas industriais e passaram a impactar diretamente os espaços urbanos.

Nesse contexto, em 1972, a crescente preocupação com os recursos naturais e com a expansão da degradação ambiental culminou na realização da Conferência de Estocolmo, marco internacional das discussões ambientais. Já naquele período, observava-se a deterioração da qualidade de vida no espaço urbano, impulsionada pelo consumo excessivo dos recursos naturais.

Nessa época, houve um crescimento expressivo de desenvolvimento do conceito ambiental pelas conferências do Habitat foi promovido pela Organização das Nações Unidas nos anos de 1976 (Habitat I – Vancouver, Canadá), 1996 (Habitat II – Istambul, Turquia) e 2001 (Istambul+5 - Nova Iorque, EUA).

Em 1992, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92 ou ECO-92), que estabeleceu o conceito de desenvolvimento sustentável e gerou acordos cruciais como a Agenda 21, e posterior agenda 30 que foi a reafirmação dos compromissos. Além de resultar na criação de objetivos, metas e indicadores que permitem avaliar e analisar os processos sustentáveis para se orientar no desenvolvimento sustentável.

Logo, o objetivo deste artigo é analisar a sustentabilidade por meio dos indicadores da Matriz de Indicadores Sustentáveis Urbanos (MASU), empregando a metodologia de Análise de Componentes Principais (ACP), para os dados dos municípios da Mesorregião Metropolitana de Belém, proporcionando, assim, subsídios estratégicos para o desenvolvimento sustentável da região.

## **2 Referencial teórico**

### **2.1 Da sustentabilidade ao desenvolvimento sustentável**

A sustentabilidade pode ser compreendida como um estado ou condição desejável de equilíbrio entre as dimensões ambiental, social e econômica. Enquanto o desenvolvimento sustentável corresponde ao processo ou conjunto de estratégias voltadas para alcançar esse equilíbrio ao longo do tempo. Nesse sentido, o desenvolvimento sustentável atua como o meio que se busca a sustentabilidade, orientando políticas, práticas e modelos de gestão que respeitem os limites ecológicos do planeta e promovam justiça social e eficiência econômica (Brundtland, 1987; Daly, 1996).



No contexto urbano, a sustentabilidade implica em garantir que as cidades sejam socialmente inclusivas, economicamente viáveis e ambientalmente responsáveis, conseguindo promover a qualidade de vida dos habitantes urbanos enquanto se preservam os recursos naturais e o meio ambiente (Brundtland, 1987).

Assim, uma cidade sustentável será aquela que para uma mesma oferta de serviços, minimiza o consumo de energia fóssil e de outros recursos materiais, explorando ao máximo os fluxos locais e satisfazendo o critério de conservação de estoques e de redução do volume de rejeitos (Roseland, 1997; Acserald, 1999).

## 2.1 A avaliação da sustentabilidade

A mensuração da sustentabilidade urbana é fundamental para subsidiar a formulação de políticas públicas que orientam o desenvolvimento de cidades mais justas, habitáveis e ambientalmente responsáveis. Assim, se evidencia a necessidade de identificar ferramentas de avaliação e indicadores claros que permitam não apenas o planejamento e a gestão mais eficientes dos espaços urbanos, mas também o fortalecimento da capacidade de resposta aos desafios ambientais, sociais e econômicos.

A criação de meios e técnicas para a mensuração da sustentabilidade constitui um grande desafio tanto para pesquisadores quanto para órgãos governamentais, em razão da complexidade de traduzir suas múltiplas características em dados mensuráveis e de garantir a coleta sistemática dessas informações, de modo a viabilizar análises e o monitoramento em escalas local, nacional e internacional.

Nesse sentido, a busca de maneiras para se medir a sustentabilidade os indicadores se apresentam como essenciais para concretizar análises do processo de desenvolvimento em bases sustentáveis, através da operacionalização de um conjunto de variáveis que são relevantes para a comunicação de informações e para a compreensão da realidade estudada (Martins; Cândido, 2008).

Siche *et al.* (2007), infere que a utilização de índices e indicadores, como pesquisa científica possui mérito em formar a explicação dos mecanismos e das lógicas atuantes na área sob análise e a quantificação dos fenômenos mais importantes que ocorrem no sistema. Através destas duas premissas serão possíveis conhecer como a ação humana está afetando seu entorno, alertar sobre os riscos de sobrevivência humana e animal, prever situações futuras e guiar na tomada de melhores decisões políticas.

Portanto, a mensuração da sustentabilidade urbana é fundamental para embasar a tomada

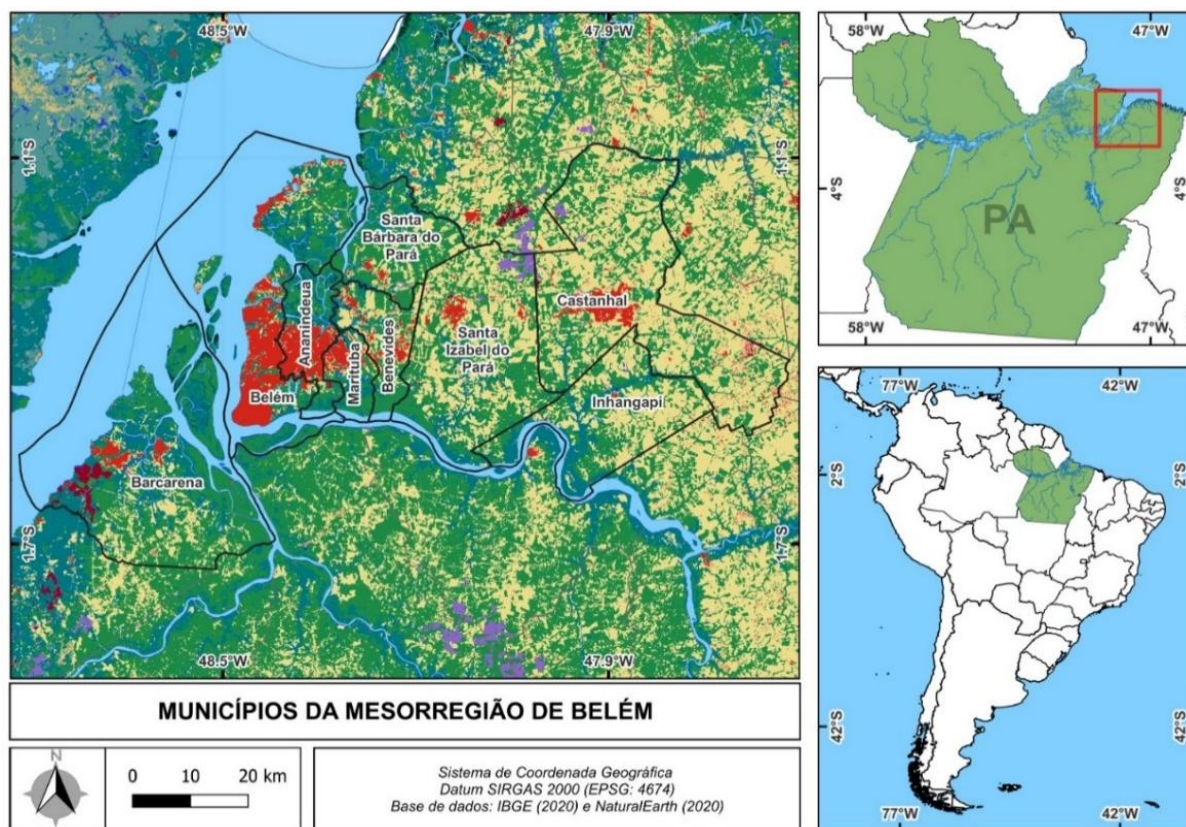
de decisão de atores públicos e privados, subsidiando a formulação de políticas públicas eficazes, além de contribuir para o equilíbrio entre desenvolvimento sustentável urbano e a preservação ambiental.

### 3 Procedimentos metodológicos

#### 3.1 Materiais

A Figura 1 apresenta a área de estudo correspondente à Mesorregião Metropolitana de Belém, composta por nove municípios, entre os quais se destacam: Ananindeua, Barcarena, Belém, Benevides, Castanhal, Inhangapi, Marituba, Santa Bárbara do Pará e Santa Isabel do Pará. Em 2020, esta mesorregião possuía uma área territorial de 5.349,146 km<sup>2</sup>, com população estimada de 2.668.066 habitantes, e densidade demográfica de 498,78 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2022).

Figura 1 - Mesorregião Metropolitana de Belém no Pará.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na presente análise, foram empregados dados dos anos de 2010, 2013 e entre 2017 e 2020, com o objetivo de avaliar o desempenho dos indicadores urbanos sustentáveis.

O Quadro 1 apresenta a Matriz de Indicadores Sustentáveis Urbanos (MASU), que contém o sistema de indicadores utilizado na avaliação.



Quadro 1- Matriz de Indicadores Sustentável Urbana (MASU)

CATEGORIA	SIGLA	INDICADOR
<b>DIMENSÃO AMBIENTAL</b>		
Cobertura Vegetal	DA01	Floresta Municipal (%)
	DA02	Desflorestamento (%)
	DA03	Área verde por habitante (m <sup>2</sup> /hab)
Quantidade de água	DA04	Média anual da Precipitação acumulada (mm/ano)
Alterações Climáticas	DA05	Média Anual da Temperatura do Ar (°C)
	DA06	Emissão Geral de Gases do Efeito Estufa [toneladas (t) de CO <sub>2</sub> e (GWP-AR5)] <i>per capita</i>
Qualidade do Ar	DA07	Frota de veículos <i>per capita</i>
	DA08	Média da Concentração de partículas finas (PM <sub>2,5</sub> ) em suspensão em (µg/m <sup>3</sup> )
	DA09	Remoção Geral de Gases do Efeito Estufa [tCO <sub>2</sub> e (GWP-AR5)] <i>per capita</i>
Consumo Elétrico	DA10	A intensidade no uso energético domiciliar (KWh/hab.)
	DA11	Índice de Intensidade Energética - Industrial [kWH / (x 1000) R\$]
<b>DIMENSÃO POLÍTICO-INSTITUCIONAL</b>		
Gestão pública	DPI01	Autonomia
	DPI02	Gastos com Pessoal
	DPI03	Grau de informatização da máquina pública local
	DPI04	Existência de Conselho Municipal da cidade e/ou de Desenvolvimento Urbano
Gestão Ambiental Urbana	DPI05	Existência de Conselho Municipal de Meio Ambiente
	DPI06	Unidades de conservação municipal (und.)
	DPI07	Presença de entidades ambientalistas registradas no Cadastro Nacional de Entidades Ambientalistas (CNEA)
Informação e participação política	DPI08	Participação político eleitoral (%)
	DPI09	Desenvolve programa ou ação de inclusão digital.
	DPI10	Porcentagem de serviços urbanos solicitados <i>on line</i> (%).
	DPI11	Serviços públicos disponibilizados na página da internet do município (%).
<b>DIMENSÃO SOCIAL</b>		
Condições de Vida	DS01	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)
	DS02	internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (%)
Habitação adequada	DS03	Estimativa do Número de Domicílios Ocupados em áreas classificadas como aglomerados subnormais
	DS04	Estimativa do Número de Domicílios Ocupados
	DS05	Percentual da estimativa do Número de Domicílios Ocupados em aglomerados subnormais sobre o total de domicílios (%)
	DS06	O inverso da taxa de habitações subnormais (%)
Esgotamento Sanitário	DS07	Atendimento de Esgoto Com Coleta e Sem Tratamento (%)
	DS08	Atendimento de Esgoto Sem Coleta e Sem Tratamento (%)
Abastecimento de Água Potável	DS09	Rede de distribuição com Estação/Unidade de Tratamento de água
	DS10	Consumo médio de água per capita
	DS11	Índice de atendimento urbano de água

Fonte: Elaborado pela autora.

Os indicadores desta matriz, foram selecionados com bases conceituais dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS, inseridos na Agenda 30 da ONU, em particular o ODS06 que declara a importância de alcançar água potável e saneamento para todos, ODS11 que visa tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis,



ODS13 que foca na ação relacionada a mudança do clima global e o ODS03 que visa garantir vida saudável e promover o bem-estar para todos.

### 3.2 Métodos

Para o diagnóstico dos dados, foi empregada a metodologia de Análise por Componente Principal (ACP) que faz parte de uma classe de métodos estatísticos multivariados cujo propósito fundamental é definir a estrutura subjacente numa matriz de dados, ou seja, avalia as inter-relações (correlações) entre muitas variáveis, para se identificar grupos de variáveis que formam dimensões latentes chamados fatores (Santana *et al.*, 2005).

Esta técnica consegue explicar a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório, composto por  $p$ -variáveis aleatórias, por meio da construção de combinações lineares das variáveis originais. Tais combinações lineares são chamadas de Componentes Principais (CP) e não são correlacionados entre si. Assim, para cada  $p$ -variável original, é possível obter-se  $p$  componentes principais. Assim, devido à própria forma de construção, a primeira Componente Principal (CP) é sempre a mais representativa, em termos da variância total, e a  $p$ -ésima é sempre a de menor representatividade (Mingoti, 2005).

A ACP reduz muitas variáveis a eixos que representam algumas variáveis agrupadas, sendo estes eixos perpendiculares (ortogonais) que explicam a variação dos dados de forma decrescente e independente. Assim, a análise fatorial pode ser usada para conseguir reduzir, ou resumir um número de dados, com uma perda mínima de informações, através de identificação das variáveis que representam um conjunto maior de variáveis ou, construção de um conjunto novo e menor de variáveis, o qual poderá substituir o conjunto original de tais variáveis (Hongyu *et al.*, 2016; Hair *et al.*, 2009).

Neste agrupamento de dados uma transformação ortogonal é obtida pela multiplicação de um vetor por um vetor ortogonal na matriz. Considerando um vetor para definir um ponto no espaço  $K$ -dimensional, uma transformação corresponde a uma rotação rígida dos eixos coordenados (também se o determinante for negativo), resultando em uma nova base para o espaço (Wilks, 2006).

A rotação ortogonal gera fatores não correlacionados entre si e que são interpretados a partir dos seus pesos (*loadings*), que variam de  $0 \pm 1$ . O método Varimax minimiza o número de variáveis com elevados pesos num fator, de modo a que a solução para cada componente principal se aproxime de  $\pm 1$  se houver associação entre os componentes, ou de zero se houver ausência de associação (Santana *et al.*, 2005).



Ademais, a ACP consegue agrupar indivíduos de acordo com sua variação, isto é, são agrupados segundo suas variâncias, ou seja, segundo seu comportamento dentro da população, representado pela variação do conjunto de características que o define. Além da análise multivariada ter sido desenvolvida para resolver problemas como redução da dimensionalidade das variáveis, agrupando os indivíduos (observações) por suas similaridades, em diversas áreas do conhecimento (Hongyu *et al.*, 2016).

Outrossim, o modelo de dados multivariados, podem ser quantitativos ou qualitativos, e consistem em uma ou mais variáveis independentes (preditoras) e duas ou mais variáveis dependentes (respostas). A distinção entre dados univariados e multivariados recai sobre como os dados são organizados e analisados, e não em como são coletados (Gotelli *et al.*, 2016).

Quanto aos coeficientes de ponderação e a análise de correlação das características para cada Componente Principal (CP) corrobora-se que, quanto maior o valor absoluto do coeficiente, mais relevante será a variável original no componente, ou seja, valores próximos de 1 ou -1 na escala de correlação (Silva *et al.*, 2021).

Segundo Wilks (2006), em uma nova matriz  $N$ , podemos interpretar as relações entre linhas e colunas ( $a \times a$ ). Um vetor não nulo  $v$  é denominado *eigenvector* (ou autovetor) de  $N$ , e o produto  $Nv$  resulta em um múltiplo escalar de  $v$ , o que se expressa pela relação  $Nv = \lambda v$ . Aqui,  $\lambda$  representa um escalar conhecido como *eigenvalue* (ou autovalor), e, portanto, podemos afirmar que  $v$  é um *eigenvector* associado ao valor  $\lambda$ .

Para se manter a heterogeneidade das informações métricas dentro do grupo de dados, foi viabilizada a padronização por meio do *score-z*. Aplicado como o método de padronização para os indicadores adimensionais, transformando-os em um novo grupo de dados chamado “z”, com todos os valores em um padrão com uma média de 0 e um desvio padrão igual a 1.

Após a padronização, os dados são importados para a Plataforma Estatística *PALaeontological Statistics* (PAST), que apurou as informações gerando as Correlações e variâncias das ACPs.

A ACP também permite que seja agrupado indivíduos similares que podem ser expressos por meios visuais como dispersões gráficas no espaço bi ou tridimensional, de fácil interpretação geométrica, permitindo, assim, validar ou rejeitar a hipótese de que os indicadores qualitativos ou quantitativos (Silva *et al.*, 2021).

Em relação aos meios visuais, temos o Diagrama de Dispersão (ou gráfico *Scatter Plot*), que será utilizado o conhecimento do plano cartesiano para interpretá-lo. Segundo Santos (2014), as duas retas se encontram de forma perpendicular (ortogonal) entre si. E as suas propriedades de um ponto e localização em um quadrante, ou em qualquer ponto do espaço ortogonal, serão definidas como  $P = (Xp, Yp)$ .



Analisar os Escores através do Diagrama de Dispersão, tem sido importante para se verificar a relação entre resultados espaciais para os indicadores e os municípios. Além de enxergar outros parâmetros na análise que é totalmente relevante para confirmar a veracidade das informações de cada cluster, visto que ambos foram criados de forma automática (Torcate *et al.*, 2020).

Neste sentido, a análise da ACP para o diagrama de dispersão será através dos sinais e sentidos dos quadrantes, que dependerá primeiramente da posição espacial dos autovalores e do peso dos autovetores, que as CPs irão assumir dentro dos Quadrantes. Será considerado neste estudo, a relação existente apenas na análise dos Quadrantes 1 (+,+) sendo totalmente positivo e o Quadrante 3 (-,-) sendo totalmente negativo, para alcançar a (in)sustentabilidade dos indicadores aferidos nas dimensões.

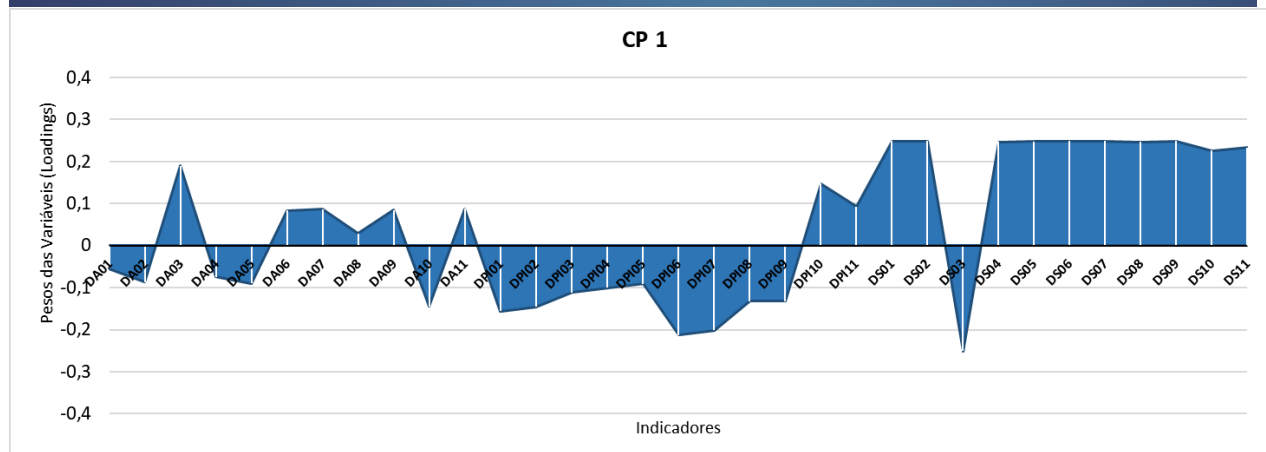
Ainda, ao se analisar os autovetores, podemos inferir que: quanto mais próximo ao eixo, menos representativo se expressa, devido a inclinação do ângulo entre a bissetriz traçada no plano cartesiano. Assim, em relação as cargas fatoriais próximas ao eixo indicam que a variável tem uma influência fraca no componente.

Com base no que foi apresentado, foram organizados uma matriz que abrangem 297 variáveis que foram processadas pela plataforma *PAST*. Para se evidenciar os resultados de autovalores vinculados, estas variáveis foram organizadas no experimento em 9 linhas representando os Municípios e em 33 colunas correspondendo às variáveis dos indicadores (índices já padronizados). No entanto, a análise realizada com as variáveis na disposição inversa, ou seja, com os indicadores como linhas e os municípios como colunas, não apresentou resultados significativos para a análise.

#### 4 Resultado e discussão

A figura 2 exprime a análise da CP1, que foi capaz de proporcionar uma maior explicação dos dados, externando um percentual de 43% de análise.

Figura 2 - Variabilidade dos coeficientes da CP1 entre indicadores e total de municípios.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados do software Past.

Na Dimensão Ambiental, podemos destacar 6 indicadores apresentando resultados positivos, mas com baixa representatividade nos *loadings*, que incluem: DA03 – Categoria de Cobertura Vegetal; DA06 – Categoria de Alterações Climáticas; DA07, DA08, DA09 – Categoria de Qualidade do Ar; e DA11 – Categoria de Consumo Elétrico, os quais são favoráveis à sustentabilidade da região. Em contraste, a 4 indicadores que se mostraram desfavoráveis: DA01 e DA02 – Categoria de Cobertura Vegetal; DA04 – Categoria de Quantidade de Água; e DA05 – Categoria de Alterações Climáticas, sugerindo características insustentáveis na área analisada.

Partindo deste resultado, os indicadores apontados com correlações negativas com apresentações insustentáveis são: DA01 - Floresta Municipal (%), DA02 - Desflorestamento (%), DA04 - Média anual da Precipitação acumulada (mm/ano), DA05 - Média Anual da Temperatura do Ar (°C).

Nesse sentido, algumas áreas da mesorregião, sofrem com a cultura dos incêndios florestais que trazem cicatrizes na região, e inibe a pluviosidade devido à redução da quantidade de vegetação deixando de lançar água para a atmosfera. Como consequência, ocorre uma forte supressão de nuvens em função da presença de aerossóis, onde as queimadas são responsáveis pela maior parte de CO<sup>2</sup> lançadas na atmosfera. O clima, por sua vez, que tende a ser o maior regulador dos ciclos biogeoquímicos, poderá afetar os elementos do solo, água e ar (Moutinho, 2009; Beltrão, 2008).

Portanto, a insustentabilidade pode estar relacionada ao efeito das mudanças climáticas e do desmatamento na mesorregião. E como consequência temos a degradação ambiental que pode ser impulsionada por práticas econômicas insustentáveis, e tem causado fenômenos climáticos extremos, que comprometem tanto a segurança alimentar quanto a saúde das comunidades que vivem em regiões vulneráveis.



Lima e Costa (2022) apontam que a intersecção entre a pobreza e a insustentabilidade urbana, revelando que as comunidades em aglomerados subnormais são afetadas de maneira desproporcional pela deterioração ambiental.

Neste aspecto, em Belém e nos demais municípios da Mesorregião, existem a urbanização “não-compensatória”, ou seja, urbanização desarticulada, predatória ou sem planejamento, o que potencializa impactos negativos no âmbito ambiental e social. Substitui-se a multifuncionalidade dos rios urbanos (pesca, mobilidade, sociabilidade) pelo paisagismo (Cardoso; Miranda, 2018; Pereira Junior, 2021).

Por sua vez, temos a Dimensão Político-Institucional que revelou apenas 2 indicadores positivos: DPI10 e DPI11, pertencentes à categoria de Informação e Participação Política, que são favoráveis à sustentabilidade urbana. Em contraste, 9 indicadores apresentaram uma representatividade insustentável para a região, incluindo DPI01, DPI02, DPI03 e DPI04 da categoria Gestão Pública, assim como DPI05, DPI06, DPI07 da categoria Gestão Ambiental Urbana, além de DPI08 e DPI09 da categoria Informação e Participação Política.

A gestão pública dos municípios, com indicadores insustentáveis, necessitam ter ênfase ao planejamento urbano, na oferta de serviços essenciais e na aplicação de instrumentos legais, como o Plano Diretor e o Estatuto da Cidade, abrangendo a organização do espaço urbano, a sustentabilidade e, de forma crescente, o uso de tecnologias (cidades inteligentes) e da governança participativa, visando à melhoria da qualidade de vida da população.

Outrossim, a ineficiência da gestão ambiental urbana, causam impactos socioambientais, quando não existe gerenciamento na supressão da natureza, precisando buscar uma gestão mais racional, de maneira que não precise devastar o meio ambiente, assegurando a conservação e preservação do ambiental (Goes; Morales, 2013).

No que se refere à circulação de informações entre a instituição pública e a sociedade, esse processo favorece a comunicação com as unidades públicas, amplia o acesso da população às informações e contribui para maior agilidade na resolução de demandas nos órgãos governamentais, em consonância com as diretrizes de desburocratização dos serviços públicos.

Enfim, a gestão política urbana é atribuição constitucional das administrações municipais, porém, a política pública tem revelado fragilidade, em alguns casos até ineficiência de sua regulação urbanística. E diante das contradições que se mostram na produção do espaço urbano, como se observa no caso do município de Marituba, que tem se concretizado a partir da dinâmica do mercado de terras e da produção habitacional promovida por agentes privados, principalmente na última década (Catalá; Carmo, 2021).

Na Dimensão Social, os resultados apontam sustentabilidade na maioria dos indicadores, com maior representatividade nos *loadings*, uma vez que 10 deles apresentaram correlações

positivas e com maiores contribuições sustentáveis para a mesorregião. A exceção corresponde ao indicador DS03 — Estimativa do Número de Domicílios Ocupados em áreas classificadas como aglomerados subnormais — pertencente à categoria Habitação Adequada, que se mostrou desfavorável à sustentabilidade da mesorregião.

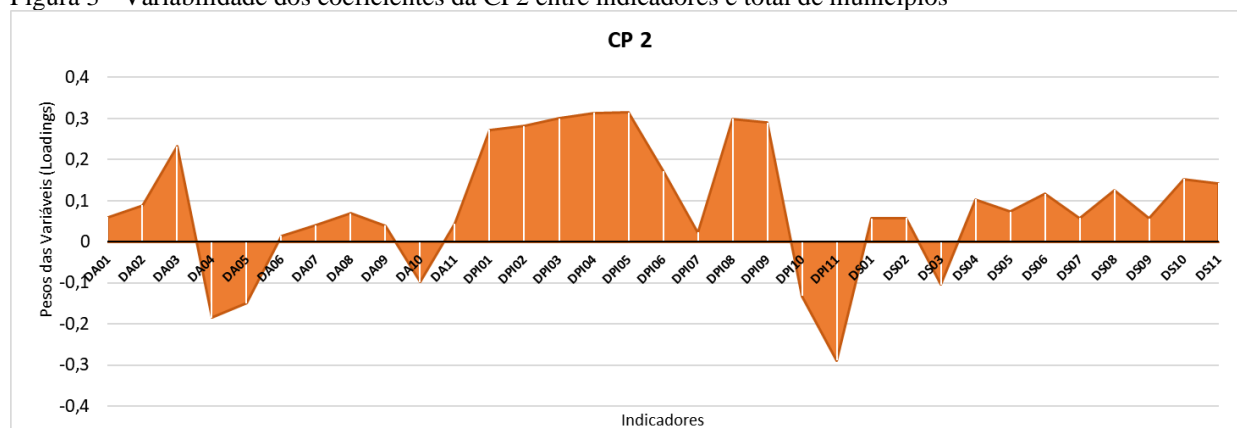
A insustentabilidade neste indicador (DS03) indica que a área de estudos mostrou-se caracterizada por ocupações irregulares e falta de infraestrutura adequada, tendo em vista um crescimento populacional acelerado, intensificado pela insustentabilidade econômica e ambiental.

Neste cenário urbano, a insustentabilidade pode ser entendida como a falha de um sistema urbano em suprir as demandas atuais sem prejudicar a capacidade das gerações futuras. Em Belém, os aspectos como a deterioração ambiental, a deterioração dos serviços públicos e a ausência de planejamento urbano transformam-se em vulnerabilidades que aumentam a quantidade de residências em áreas subnormais. De acordo com o estudo de Silva *et al.* (2020), a deterioração das condições de moradia, como a falta de acesso à água potável e saneamento básico, piora a saúde pública e perpetua ciclos de pobreza.

Esse aumento da pobreza local, é devido tanto à migração de pessoas em busca de melhores condições de vida quanto à especulação imobiliária e à ausência de políticas públicas eficazes que assegurem moradia digna. Para Rodrigues e Almeida (2021) a falta de um planejamento urbano integrado tem causado um efeito direto na infraestrutura básica, leva ao aumento do custo de vida e à degradação da qualidade das moradias.

A figura 3 apresenta a CP2, que esclarece 25% da variância dos dados.

Figura 3 - Variabilidade dos coeficientes da CP2 entre indicadores e total de municípios



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados do software Past.

Os resultados da análise da CP2 (Figura 3) evidenciam a Dimensão Ambiental apresentando baixa intensidade de variância nos *loadings*. Contudo, contemplam 8 indicadores com correlações positivas, dos quais se mostram favoráveis à sustentabilidade. Destacam-se neste grupo, os indicadores DA01, DA02 e DA03 pertencentes à categoria Cobertura Vegetal; DA06 da



categoria Alterações Climáticas; DA07, DA08 e DA09 da categoria Qualidade do Ar; e DA11 da categoria Consumo Energético. Em contrapartida, 3 indicadores apresentaram correlações negativas, configurando-se como desfavoráveis à sustentabilidade da mesorregião: DA04, relacionado à Quantidade de Água; DA05, da categoria Alterações Climáticas; e DA10, da categoria Consumo Energético

Dos indicadores com correlações negativas indicando insustentabilidade temos: DA4 - Média anual da Precipitação acumulada (mm/ano), DA5 - Média Anual da Temperatura do Ar (°C) e DA10 - A intensidade no uso energético domiciliar (KWh/hab.).

A mesorregião metropolitana de Belém apresenta uma média anual de chuvas elevada, oscilando entre 2.500 e 3.200 mm. Entretanto, a insustentabilidade urbana, é evidenciada pelo desmatamento e pela impermeabilização do solo, que tem aumentado os perigos de inundações, afetando o ciclo hidrológico local (Carvalho *et al.*, 2020).

Ainda, a mesorregião possui a temperatura do ar já apresenta uma tendência de elevação, com médias anuais variando entre 24°C e 27°C. No entanto, esse crescimento está relacionado ao fenômeno das ilhas de calor, consequência do desmatamento e da urbanização acelerada. Pesquisas apontam que a ausência de vegetação e a intensificação da urbanização contribuem tanto para o aumento das temperaturas quanto para a piora da qualidade do ar (Martins *et al.*, 2021).

Outrossim, os fatores socioeconômicos e a infraestrutura disponível afetam o consumo de energia em residências na mesorregião. Em geral, as condições de moradia e o acesso a fontes de energia determinam a intensidade do uso energético. Contudo, observa-se adoções de práticas insustentáveis, como o uso indiscriminado de aparelhos elétricos e falta de eficiência energética, aumentam o consumo e, por consequência, as emissões de gases de efeito estufa (ANEEL, 2022).

Por fim, na Dimensão Político-Institucional dos 11 indicadores analisados, a CP 2 (Figura 3) apontam 9 indicadores: DPI01, DPI02, DPI03, DPI04 – categoria de Gestão pública; DPI05, DPI06, DPI07 – categoria de Gestão Ambiental Urbana; DPI08, DPI09 – categoria de Informação e participação política, favoráveis a sustentabilidade. Enquanto, 2 indicadores com representatividade negativa sendo insustentáveis para a Mesorregião, sendo: DPI10, DPI11 – categoria de Informação e participação política.

Dos indicadores com correlações negativas e insustentáveis temos: DPI10 - Porcentagem de serviços urbanos solicitados *on line* e DPI11 - Serviços públicos disponibilizados na página da internet do município.

Os resultados evidenciam insustentabilidade em alguns setores das prefeituras da mesorregião, que precisam de um sistema integrado e automatizado, para terem uma comunicação mais direta com a população. A partir da desburocratização, o processo em abrir chamados passa



a solucionar problemas nos bairros da cidade. Com isso, a comunicação se torna mais eficiente e direta, aumentando, por consequência, o nível geral de satisfação da população (Matos; Del Vechio, 2020).

Com os avanços da tecnologia e da conectividade entre as ferramentas, as pessoas resolvem problemas de forma rápida com os diversos recursos disponíveis no smartphone, computadores e até em relógios digitais (Cintra; Fedel, 2019). Assim, investir em comunicação é, não apenas importante para melhorar os serviços, mas uma medida essencial para garantir uma conexão mais próxima com aqueles que sustentam a organização, do setor privado ou público, os cidadãos.

Enfim, os resultados da CP sobre a Dimensão Social (Figura 3) apontam uma baixa de amplitude de variância de dados, abrangendo 10 indicadores favoráveis a sustentabilidade, exceto no indicador DS03— da categoria pobreza, caracterizando-se como desfavoráveis à sustentabilidade.

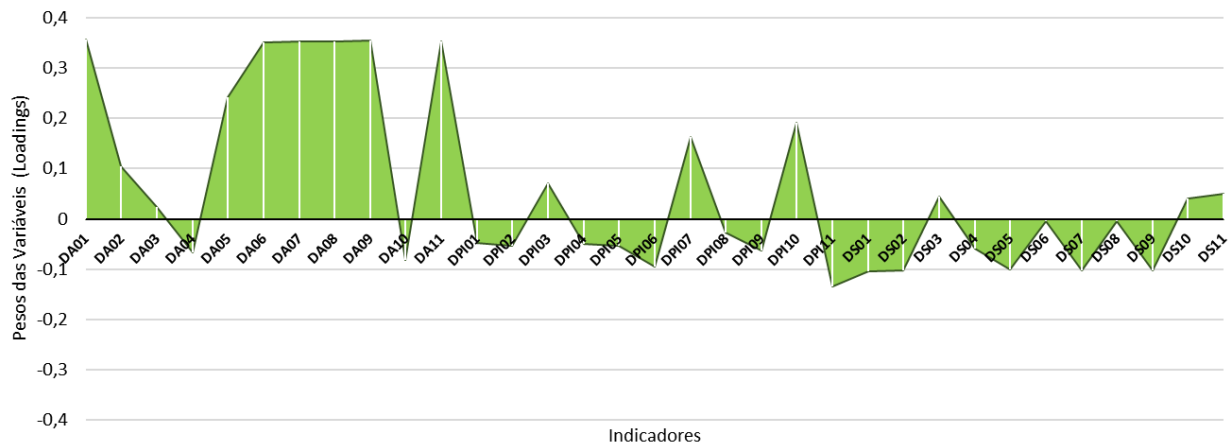
Este indicador apontado como insustentável, é a Estimativa do Número de Domicílios Ocupados (DS03), em áreas classificadas como aglomerados subnormais. Para Catalá e Carmo (2021) os Investimentos em infraestrutura urbana ou em urbanização de favelas são mínimos, que observa o município de Marituba com maior percentual de assentamentos precários na Região Metropolitana de Belém (RBM), alcançando 77% do total de domicílios em 2010, no entanto, o investimento em obras de urbanização de favelas e saneamento ambiental não alcançou 2% do total de investimentos previstos no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), programa federal que reúne ações dessa natureza.

Nesse contexto, temos a multifuncionalidade historicamente associada aos rios urbanos — como pesca, mobilidade e sociabilidade — é progressivamente substituída por intervenções de caráter predominantemente paisagístico. Contudo, tais processos apresentam limitações analíticas, uma vez que não elucidam de forma aprofundada a origem e as causas dos fenômenos observados, tampouco explicam as razões da distribuição desigual no espaço urbano ou os interesses subjacentes que favorecem determinadas áreas em detrimento de outras (Cardoso; Miranda, 2018; Pereira Junior, 2021).

A Figura 4, demonstra a CP3 que esclarece 21% da variância de dados para a mesorregião.

Figura 4 - Variabilidade dos coeficientes da CP3 entre indicadores e total de municípios.

### CP 3



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados do software Past.

Os resultados da análise da CP3 (Figura 4) evidenciam que a dimensão ambiental apresenta 9 indicadores favoráveis à sustentabilidade regional, a saber: DA01, DA02 e DA03, pertencentes à categoria Cobertura Vegetal; DA05 e DA06, relacionados à categoria Alterações Climáticas; DA07, DA08 e DA09, vinculados à categoria Qualidade do Ar; e DA11, referente à categoria Consumo Elétrico. Em contrapartida, apenas 2 indicadores — DA04, associado à categoria Quantidade de Água, e DA10, vinculado à categoria Consumo Elétrico — mostram-se menos representativos para a sustentabilidade da Mesorregião.

Os indicadores apontados com correlações negativas a sustentabilidade são: DA4 - Média anual da Precipitação acumulada (mm/ano) e DA10 - intensidade no uso energético domiciliar (KWh/hab).

Sobre a precipitação na mesorregião, esta sofre influência de diversos fatores, mas a diminuição da cobertura florestal está relacionada à redução da infiltração de água e ao crescimento do escoamento superficial, fatores que podem modificar o regime hidrológico local (Sá *et al.*, 2020). Ademais, nesta mesorregião, a vivência de chuvas fortes em curtos períodos, seguidas por longas secas, evidencia a urgência de políticas eficientes para gestão da água e proteção ambiental.

Outrossim, a elaboração e execução de um projeto de gerencia da água deve-se levar em consideração a preservação de nascentes, vegetação ciliar, conhecimentos hidráulicos, hidrologia e crescimento populacional e que o auxílio de programas computacionais possam auxiliar na construção de um projeto bem elaborado com o intuito de planejar e melhorar o desempenho hidráulico, operação diária, situações de cenários futuros e ainda criar medidas que possam reduzir os custos com energia elétrica (Nogueira; Vinagre, 2018).

Em relação ao consumo elétrico, com a crescente demanda energética em um contexto de infraestrutura limitada e estratégias inadequadas de gestão, levando em consideração a combinação



dos fatores socioeconômicos, como o aumento populacional e a urbanização acelerada, agrava a pressão sobre os recursos energéticos, destacando a necessidade de métodos que promovam eficiência energética e fontes renováveis (Silva *et al.*,2020).

Na análise dos resultados da CP3 da dimensão político-institucional, apontam apenas 3 indicadores (DPI03 – categoria de Gestão pública; DPI07 – categoria de Gestão ambiental urbana; DPI10 – categoria de Informação e participação política) positivos a sustentabilidade da região. Enquanto, 8 indicadores são analisados com correlações negativas para a sustentabilidade da Mesorregião, dentre eles estão: DPI01, DPI02, DPI04 – categoria de Gestão pública; DPI05, DPI06 – categoria de Gestão ambiental urbana; DPI08, DPI09, DPI11– categoria de Informação e participação política.

A CP3 evidencia a presença de indicadores com correlações negativas nesta dimensão, dos quais são apresentados a seguir: DPI01- Autonomia, DPI02- Gastos com pessoal, DPI04 - Existência de Conselho Municipal da cidade e/ou de Desenvolvimento Urbano, DPI05- Existência de Conselho Municipal de Meio Ambiente, DPI06- Unidades de conservação municipal (und.) DPI08- Participação político eleitoral (%), DPI09 - Desenvolve programa ou ação de inclusão digital, e DPI11 - Serviços públicos disponibilizados na página da internet do município (%).

A insustentabilidade nestes indicadores, podem levar a um ciclo vicioso em que a ausência de uma governança eficiente e a fraca participação da sociedade civil favorecem a continuidade de questões sociais e ambientais. Este contexto, pode acarretar um crescimento urbano caótico, agravamento das desigualdades sociais e obstáculos na aplicação de políticas públicas que atendam de forma eficaz às demandas da população local, além de comprometer a sustentabilidade e a qualidade de vida na mesorregião.

Aliás, nos municípios estudados existem muitos desafios frente ao gerenciamento institucional, a criação de leis e regras não é suficiente para garantir a efetiva modificação da gestão do serviço público. É necessário que haja uma reestruturação física e tecnológica nas estruturas da administração pública para se adequar ao novo conceito de eficiência na gestão dos serviços públicos, ao contrário, as regras serão apenas letras (Cintra; Fedel, 2019).

Por fim, os resultados da análise da Dimensão Social por meio da CP3 (Figura 4) indicam baixa amplitude da variância dos dados, evidenciando apenas 3 indicadores com correlação positiva em relação à sustentabilidade regional: DS03, associado à categoria Habitação Adequada, e DS10 e DS11, vinculados à categoria Abastecimento de Água Potável. Excetuando, 8 indicadores — DS01 e DS02, referentes às Condições de Vida; DS04, DS05 e DS06, relacionados à Habitação Adequada; DS07 e DS08, associados ao Esgotamento Sanitário; e DS09, concernente ao Abastecimento de Água Potável — apresentaram correlações negativas para a Mesorregião.

Os indicadores que evidenciaram correlações negativas a sustentabilidade da região são:



DS01 - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), DS02 - internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (%), DS04 - Estimativa do Número de Domicílios Ocupados, DS05 - Percentual da estimativa do Número de Domicílios Ocupados em aglomerados subnormais sobre o total de domicílios (%), DS06 - O inverso da taxa de habitações subnormais (%), DS07 - Atendimento de Esgoto Com Coleta e Sem Tratamento (%), DS08 - Atendimento de Esgoto Sem Coleta e Sem Tratamento (%), e DS09 - Rede de distribuição com Estação/Unidade de Tratamento de água.

A insustentabilidade no indicador DS01 - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é caracterizada pela degradação ambiental e pela pobreza, que diminui a qualidade da vida urbana, impactando diretamente no IDHM desta mesorregião, que apresenta proporções que revelam desigualdades notórias, onde áreas mais vulneráveis sofrem com a falta de acesso a serviços essenciais, refletindo nas condições de saúde e educação (IBGE, 2020).

A crescente desigualdade habitacional e a precariedade das condições de vida em regiões vulneráveis são evidenciadas pela insustentabilidade nos indicadores DS04 - Estimativa do Número de Domicílios Ocupados e DS05 - Percentual da estimativa do Número de Domicílios Ocupados em aglomerados subnormais sobre o total de domicílios (%).

Uma elevada concentração de domicílios em aglomerados subnormais sinaliza a ausência de acesso a serviços essenciais, infraestrutura adequada e oportunidades de desenvolvimento econômico. Assim, essa condição cria um ciclo de pobreza que mantém a exclusão social e impede o desenvolvimento sustentável, destacando a urgência de políticas públicas eficientes para fomentar a inclusão e elevar a qualidade de vida nessas comunidades.

Em relação a porcentagem de esgoto sem tratamento (DS07 e DS08), juntamente com a proporção de pessoas que não recebem nenhum tipo de atendimento, indicam uma crise na infraestrutura de saneamento. Esta mesorregião, encontra uma parcela significativa da população que não tem acesso a serviços de esgoto adequados, e estão expostas a um maior risco de doenças e deterioração ambiental (ANA, 2021).

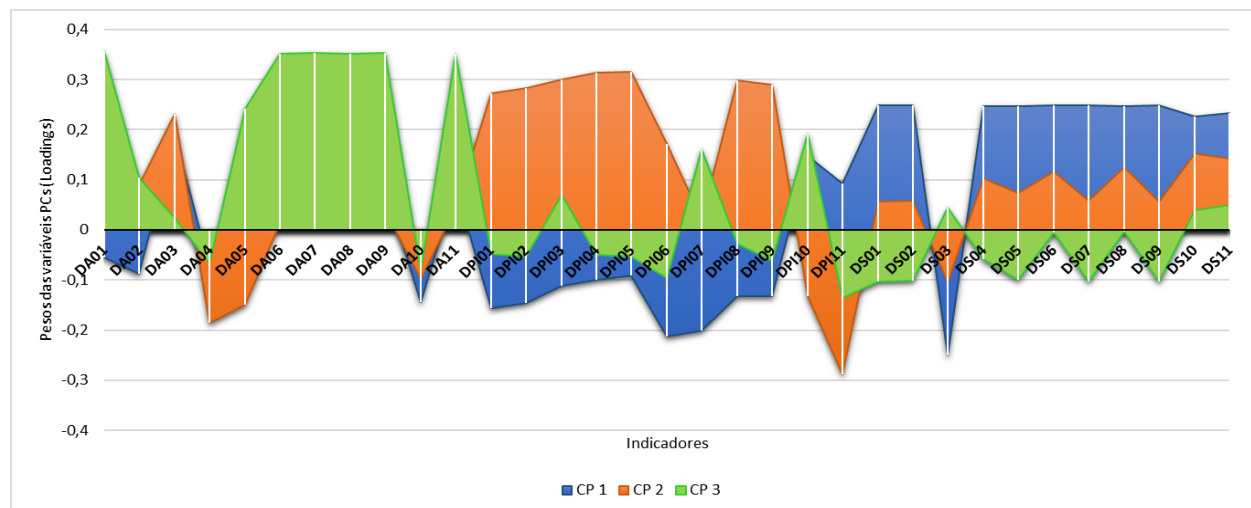
Sendo verificado, altas hospitalizações que implicam em enfermidades associadas a condições sanitárias precárias (DS02), que evidenciam uma conexão direta entre meio ambiente e saúde pública. Existindo nesta mesorregião, uma alta taxa de internações que indica uma demanda urgente por melhorias na infraestrutura de saúde (Meyer; Mendes, 2019).

A insustentabilidade no indicador DS09 - Rede de distribuição com Estação/Unidade de Tratamento de Água indica problemas na administração e operação das infraestruturas responsáveis por fornecer água tratada à população. Esta situação, pode levar a perdas de água, contaminação dos recursos hídricos e acesso desigual à água potável, o que prejudica a saúde pública e o meio ambiente (OMS, 2017).

Para mudar essa situação, é fundamental a criação de políticas unificadas que incentivem tanto o aprimoramento da infraestrutura quanto a inclusão social e o fortalecimento da saúde pública. Para tanto, é essencial adotar medidas que priorizem o tratamento de esgoto, a oferta de água potável e a regulamentação da habitação.

A partir dos resultados obtidos, a Figura 5 apresenta uma sobreposição das Componentes Principais (CP1, CP2 e CP3).

Figura 5 - Variabilidade dos coeficientes da CP1, CP2 e CP3 entre indicadores e total de municípios



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados do software Past.

Com base na Figura 5, foram extraídas informações correspondentes às CP1, CP2 e CP3 e de forma sintética, os resultados foram organizados no Quadro 2. As correlações foram categorizadas como (in)sustentáveis quando seus *loadings* evidenciados positivos ou negativos, simultaneamente em três CPs. Essa análise possibilitou a identificação dos indicadores com maior influência favorável ou desfavorável a sustentabilidade na Mesorregião.

Quadro 2 1- Síntese das correlações (*loadings*) positivas e negativas dos Componentes Principais (CPs).

DIMENSÃO	FAVORÁVEL a Sustentabilidade (CP Positiva)				DESFAVORÁVEL a Sustentabilidade (CP Negativa)			
	CP1 (43%)	CP2 (25%)	CP3 (21%)	Quant. de Indicador	CP1 (43%)	CP2 (25%)	CP3 (21%)	Quant. de Indicador
Ambiental (DA)	DA03, DA06, DA07, DA08, DA09, DA11	DA01, DA02, DA03, DA05, DA06, DA07, DA08, DA09, DA11	DA01, DA02, DA03, DA05, DA06, DA07, DA08, DA09, DA11	6	DA01, DA02, DA04, DA05, DA10	DA04, DA10	DA04, DA10	2
	DPI10, DPI11	DPI01, DPI02,		0	DPI01, DPI02,	DPI10, DPI11	DPI01, DPI02,	0



Político- Institucional (DPI)		DPI03, DPI04, DPI05, DPI06, DPI07, DPI08, DPI09	DPI03, DPI07, DPI10		DPI03, DPI04, DPI05, DPI06, DPI07, DPI08, DPI09		DPI04, DPI05, DPI06, DPI08, DPI09, DPI11	
Social (DS)	DS01, DS02, DS04, DS05, DS06, DS07, DS08, DS09, <b>DS10,</b> <b>DS11</b>	DS01, DS02, DS04, DS05, DS06, DS07, DS08, DS09, <b>DS10,</b> <b>DS11</b>	DS03, <b>DS10,</b> <b>DS11</b>	2	DS03	DS03	DS01, DS02, DS04, DS05, DS06, DS07, DS08, DS09	0

Fonte: Elaborado pela autora.

Da análise do quadro 2 temos evidenciados 6 indicadores da Dimensão Ambiental que mostram correlações positivas nas três CPs com comportamento sustentável. Dentre eles estão: categoria cobertura vegetal: DA03 – Área verde por habitante (m<sup>2</sup>/hab), alterações climáticas: DA06- Emissão Geral de Gases do Efeito Estufa [toneladas (t) de CO<sub>2</sub>e (GWP-AR5)] per capita, Categoria qualidade do ar: DA07 - Frota de veículos per capita, DA08 - Média da Concentração de partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) em suspensão em (µg/m<sub>3</sub>), DA09 - Remoção Geral de Gases do Efeito Estufa [tCO<sub>2</sub>e (GWP-AR5)] per capita e categoria Consumo elétrico: DA11 - Índice de Intensidade Energética - Industrial [kWh/(x 1000) R\$].

Em contrapartida, temos os indicadores da categoria Quantidade de água: DA04 - Média anual da Precipitação acumulada (mm/ano) e da categoria consumo elétrico: DA10 - A intensidade no uso energético domiciliar (KWh/hab.), apresentaram correlações negativas nas três CPs, mostrando comportamento insustentável.

A mesorregião metropolitana de Belém conta com uma variedade de áreas verdes e florestas que têm um papel essencial na qualidade de vida na cidade e traduz a sustentabilidade na área estudada. Essas áreas ambientais sustentáveis são fundamentais para a regulação do clima, preservação da biodiversidade e fornecimento de serviços ecossistêmicos, como purificação do ar e redução das ilhas de calor urbanas (Silva *et al.*, 2021).

Contudo, o crescimento urbano descontrolado tem causado a degradação e a fragmentação desses espaços naturais, o que resulta em efeitos negativos, como a diminuição da cobertura florestal e da qualidade de vida da população, que lida com questões relacionadas à poluição e à carência de infraestrutura verde (Souza; Lopes, 2020).

Assim, a preservação das florestas e áreas verdes nos municípios da mesorregião metropolitana de Belém é uma estratégia essencial para assegurar a sustentabilidade dos municípios, fomentando a saúde, a biodiversidade e a resiliência climática, além de constituir um



patrimônio para as gerações futuras.

A insustentabilidade nos indicadores da dimensão ambiental, como a DA04 - Média anual da Precipitação acumulada, que costuma ser elevada e geralmente são causas de inundações, agravadas pelo uso indiscriminado do espaço urbano e pela gestão inadequada dos recursos hídricos (Santos *et al.*, 2020).

Por outro lado, temos insustentabilidade no indicador DA10 - A intensidade no uso energético domiciliar (KWh/hab.), que é evidenciada pelo alto nível de consumo, que pode ser explicado pelo crescimento populacional descontrolado e à baixa eficiência energética das residências. Pesquisas apontam que, em cidades como Belém, o consumo médio de energia per capita tem aumentado, evidenciando a necessidade urgente de adotar políticas públicas que incentivem a eficiência energética e o uso de fontes renováveis (Cunha *et al.*, 2020).

Então, para fomentar a sustentabilidade na área, é fundamental adotar políticas públicas que unam a gestão eficaz da água e da energia, com o objetivo de reduzir ao máximo os efeitos negativos para o meio ambiente e a sociedade.

Na análise da Dimensão Político-Institucional, constatou que 9 indicadores exibiram cargas negativas na CP1 e positivas na CP2. No entanto, o comportamento com cargas opostas destes indicadores indicam que, embora haja avanços em alguns setores, as fragilidades estruturais são muito grandes e persistem. Estes aspectos mostram que as melhorias em certos indicadores na CP2, não são suficientes para mudar o padrão predominante de insustentabilidade identificada pela CP1 para a Mesorregião.

Neste sentido, os indicadores de sustentabilidade frequentemente que revelam uma natureza dualista, onde a interação entre seus aspectos positivos e negativos pode resultar na neutralização de seus impactos em avaliações ambientais e econômicas (Fletcher, 2016). Essa complexidade é reforçada por Costanza (2008), apontando que diferentes indicadores podem manifestar sinais contrários, levando a uma neutralização analítica das ações.

Por último, temos os resultados da Dimensão Social que apontam 2 indicadores com correlações positivas nas três CPs sendo totalmente sustentáveis para a mesorregião. A partir destes resultados, ressaltamos sustentabilidade nos indicadores DS10 - Consumo médio de água per capita e DS11 - Índice de atendimento urbano de água, que estão apresentando representatividade sustentáveis para a mesorregião.

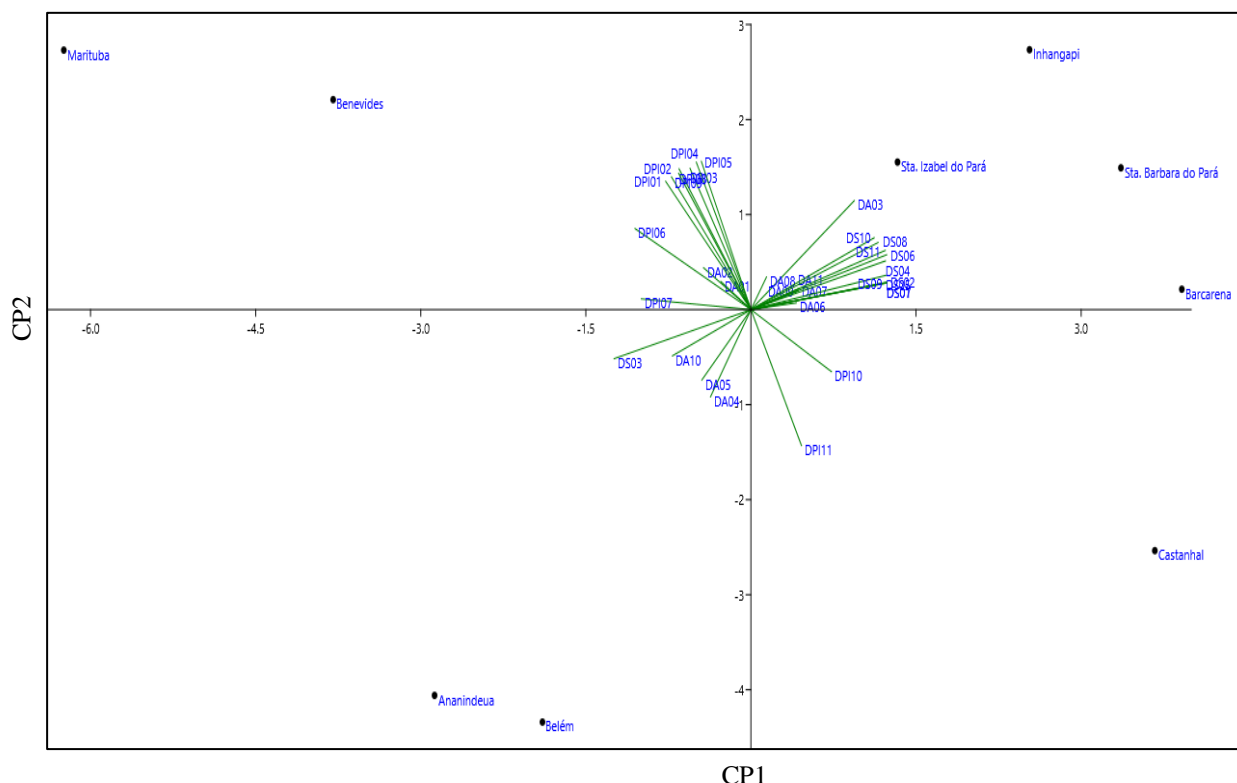
Como visto, a mesorregião é caracterizada por altos níveis de precipitação ou fluxos hídricos, que tem um impacto considerável na distribuição ampla dos recursos hídricos em ecossistemas aquáticos. Essa dinâmica, pode levar a um aumento da oferta de água em áreas antes consideradas áridas, porém também pode gerar preocupações em relação à qualidade desta água.

Assim, o indicador DS10-Consumo de água *per capita* é um indicador importante para a

gestão sustentável dos recursos hídricos, pois mostra padrões de uso que podem afetar a disponibilidade e a qualidade da água em áreas urbanas (Melo *et al.*, 2021). Simultaneamente, o indicador DS11-índice de atendimento urbano de água, que demonstra a eficácia da infraestrutura hídrica, fundamental para assegurar o acesso à água potável e reduzir as disparidades sociais (IBGE, 2020).

A Figura 6 permite identificar os agrupamentos de municípios formados a partir de contribuições semelhantes entre os indicadores nas CP1 e CP2, apenas, evidenciando padrões de proximidade estatística e comportamentos similares.

Figura 6 - Diagrama de Dispersão (*Scatter Plot*) dos CP1 e CP2.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir dos resultados do software Past.

Partindo dos resultados da Figura 6 temos o quadrante 1, caracterizado por cargas positivas na CP1 (eixo x) e positivas na CP2 (eixo y), evidenciam a presença de indicadores da Dimensão Ambiental e da Dimensão Social que implicam elevada similaridade nos pesos vetoriais com maior inclinação ao eixo x. Nesse sentido, são observados especialmente os municípios de Barcarena, Santa Bárbara do Pará, Inhangapi e Santa Izabel do Pará, evidenciando que esses entes territoriais foram influenciados de maneira convergente por indicadores similares.

Ademais, destacamos no quadrante 1 o município de Barcarena, apresentando menor inclinação vetorial devido estar mais próxima ao eixo da CP1, implicando em uma sustentabilidade com menor expressividade. Enquanto os demais municípios, encontram-se mais dispersos



especialmente entre nos eixos das CP1 e CP2, destacando-se com mais representatividade sustentável entre os indicadores.

Os indicadores vinculados à Dimensão Político-Institucional concentram-se majoritariamente nos Quadrantes 2 e 4. No quadrante 2, caracterizado por cargas negativas na CP1 (eixo x) e positivas na CP2 (eixo y), observa-se uma carga vetorial com maior inclinação em direção ao eixo y, o que indica predominância de cargas positivas associadas a baixa representatividade vetorial. Ainda, verifica-se a associação espacial desses indicadores com os municípios de Benevides e Marituba, que por sua vez, a cargas negativas mais acentuadas afastam suas posições espaciais no eixo x.

No mais, o quadrante 4 é caracterizado por cargas positivas na CP1 (eixo x) e negativas na CP2 (eixo y), indicando cargas vetoriais com ângulo centralizado e identificação espacial do município de Castanhal. Portanto, tanto o quadrante 2 quanto o quadrante 4 apresentam indicadores com efeito de compensação entre eles, uma vez que exibem simultaneamente sinais positivos e negativos, resultando em neutralização analítica dos *loadings*.

Por fim, no quadrante 3 temos tanto a CP1 (eixo x) quanto a CP2 (eixo y) apresentando cargas negativas, apontando os municípios de Belém e Ananindeua, com inclinações vetoriais divergentes aos eixos, e com vetores influenciados por similaridades de apenas três indicadores da dimensão Ambiental e um indicador da dimensão social, e não possuem representação dos demais indicadores, evidenciando insustentabilidade nestes municípios.

## 5 Considerações finais

O presente estudo realizou uma investigação dos indicadores da MASU por meio da aplicação do método estatístico de ACP. Este procedimento possibilitou a identificação e agrupamento dos indicadores em CPs, dos quais os três primeiros explicam 89% da variabilidade total dos dados analisados.

Dos resultados se infere, que um quadro de insustentabilidade em grande parte dos indicadores da Dimensão Político-Institucional, evidenciando fragilidades estruturais na condução das políticas públicas municipais. Tal cenário aponta para a urgência de aprimoramento da governança político-administrativa dos municípios estudados.

Aliás, os resultados evidenciaram sustentabilidade em grande maioria dos indicadores da Dimensão Ambiental e Social, ainda que algumas CPs apresentem baixa representatividade. Todavia, ressalta-se a necessidade de atenção contínua por parte da gestão pública às dinâmicas de mudança no uso e cobertura da terra, com ênfase no avanço do desmatamento nos municípios,



que podem gerar impactos socioambientais relevantes e comprometer a qualidade de vida da população.

No que tange à análise por municípios, no gráfico de dispersão foram apontados os municípios de Barcarena, Santa Barbara do Pará, Inhangapi e Santa Isabel do Pará, com maioríssima representatividade de indicadores sustentáveis nas dimensões Ambiental e social, devido as correlações de similaridades de cargas positivas nas CP1 e CP2. Apesar de possuírem alguns aspectos específicos importantes com necessidade de atenção pela gestão pública.

Contudo, a insustentabilidade observada na Dimensão Político-Institucional é significativamente influenciada pelos indicadores dos municípios de Benevides e Marituba. Enquanto o município Castanhal foi evidenciado espacialmente com apenas dois indicadores representando insustentabilidade na Dimensão Político-Institucional. Enquanto aos demais indicadores das dimensões, não apresentaram influência no local inferindo insustentabilidade nestes municípios.

No mais, também foram apontadas insustentabilidade nos municípios de Ananindeua e Belém, por apresentaram apenas quatro indicadores (um da dimensão social e três da ambiental), dos quais mostraram correlações positivos e negativos, apresentando nulidade de ações sustentáveis. Da mesma forma, os demais indicadores analisados, não tiveram representatividade nestes municípios.

Este estudo, portanto, oferece uma análise crítica a nível regional, visando viabilizar a implementação de projetos locais com foco na sustentabilidade. Contudo, esses projetos públicos são fundamentais para promover o desenvolvimento sustentável na Mesorregião Metropolitana de Belém e, adicionalmente, contribuir para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

## 6 Referências

ACSERALD, H. Discursos da sustentabilidade urbana. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, Campinas, n. 1, maio 1999. Disponível em: <https://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/27>. Acesso em: 2 abr. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Relatório de Eficiência Energética**. Disponível em: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em: 01 fev.2023.

BELTRÃO, J. C. **A influência do arco do desmatamento sobre o ciclo hidrológico da Amazônia**. 2008. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, 2008. Disponível em: <http://www.repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/2925>. Acesso em: 11 jan. 2022.

BRUNDTLAND, Gro Harlem (org.). **Our Common Future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

CARDOSO, D. A. C.; MIRANDA, T. B. Invisibilidade social e produção do espaço subordinado em Belém (PA). **Paisagem e Ambiente**, n. 41, p. 85-107, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/141265/149631>. Acesso em: 10 fev. 2022.

CARVALHO, A. C. L.; MIRANDA ROCHA, G. Análise dos Riscos e da Vulnerabilidade Socioambiental Urbana, face ao Desenvolvimento Desordenado e a Pressão aos Recursos Hídricos em Belém-PA. **Brazilian Journal of**



**Development**, v. 6, n. 4, p. 18127-18142, 2020. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/8559>. Acesso em: 12 set. 2022.

CATALÁ, L. S.; CARMO, R. L. O conceito de aglomerado subnormal do IBGE e a precariedade dos serviços básicos de infraestrutura urbana. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 38, 2021. Disponível em: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/336434/9805-10759-1-SM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 fev. 2022.

CINTRA, C. C. S.; FEDEL, I. R. Desburocratização: impactos na informatização e celeridade do serviço público. **Revista de Direito Administrativo e Gestão Pública**, p. 55-75, 2019. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/288182122.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

COSTANZA, R. et al. **Sustainability or collapse: An integrated history and future of people on Earth**. Oxford University Press, 2011.

CUNHA, L. M., SILVA, A. J., ALMEIDA, R. C. Desafios da eficiência energética na Região Metropolitana de Belém: um estudo sobre o consumo domiciliar. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, 11(3), 45-58. 2020.

DALY, Herman E. **Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development**. Boston: Beacon Press, 1996.

ELKINGTON, John. **Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business**. Oxford: Capstone Publishing, 1997. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://proppg.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/11/2016/10/Referencia-de-Lilian-Giesta-Triple-bottom-line-in-21-century-2.pdf&ved=2ahUKEwinoI67p82SAxXjlpUCHb1GPGEQFnoECBkQAQ&usq=AOvVaw0uuK-5O77iYoDzxx kEJdV>. Acesso em: 01 fev.2026.

FLETCHER, R. **Sustainability Indicators: A Systematic Approach to Evaluating the Impact of Development Projects**. New York: Wiley, 2016.

GOES, G. A.; MORALES, A. G. Gestão pública e sustentabilidade: desafios, ações e possibilidades. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 4, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/266559966\\_Gestao\\_publica\\_e\\_sustentabilidade\\_desafios\\_acoes\\_e\\_possibilidades](https://www.researchgate.net/publication/266559966_Gestao_publica_e_sustentabilidade_desafios_acoes_e_possibilidades). Acesso em: 15 set. 2022.

GOTELLI, N. J.; *et al.* **Princípios de estatística em ecologia**. [S.l.]: Artmed Editora, 2016. Disponível em: <https://www.livrebooks.com.br/livros/principios-de-estatistica-em-ecologia-nicholas-j-gotelli-aaron-m-ellison-bfjcdqaaqbj/baixar-ebook>. Acesso em: 14 dez. 2021.

HAIR, Joseph F. **Multivariate data analysis**. 2009. Disponível em: <https://digitalcommons.kennesaw.edu/facpubs/2925/>. Acesso em: 14 dez. 2021.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. O. **Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação**. E.S-Engineering and Science, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/320646723\\_Analise\\_de\\_Componentes\\_Principais\\_Resumo\\_Teorico\\_Aplicacao\\_e\\_Interpretacao](https://www.researchgate.net/publication/320646723_Analise_de_Componentes_Principais_Resumo_Teorico_Aplicacao_e_Interpretacao). Acesso em: 10 jun. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Conheça cidades e Estados do Brasil**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 01 set. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Indicadores de sustentabilidade da água**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020.

LIMA, F. P.; COSTA, D. R. Mudanças Climáticas e Acesso à Moradia em Belém: A Intersecção entre Desigualdade e Insustentabilidade. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, 12(1), 67-84. 2022.

MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G. A. **Índice de Desenvolvimento Sustentável para Cidades (IDSMD)**: metodologia para análise e cálculo do IDSMD e classificação dos níveis de sustentabilidade – uma aplicação no Estado da Paraíba. João Pessoa: Sebrae, 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/272777408\\_INDICES\\_DE\\_desenvolvimento\\_sustentavel\\_para\\_localidades\\_uma\\_proposta\\_metodologica\\_de\\_construcao\\_e\\_analise/link/571a91f908aee3ddc568f91c/download](https://www.researchgate.net/publication/272777408_INDICES_DE_desenvolvimento_sustentavel_para_localidades_uma_proposta_metodologica_de_construcao_e_analise/link/571a91f908aee3ddc568f91c/download). Acesso em: 20 maio 2022.

MARTINS, L. A. et al. Efeito de Ilha de Calor e sua influência sobre a qualidade do ar em centros urbanos: O caso de Belém. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, 27, 31-45. 2021.

MATOS, L. C.; DEL VECHIO, G. H. Comunicação e atendimento ao público: o uso da Internet e de aplicativos móveis para elevar o nível de serviços e estreitar o relacionamento entre pessoas e organizações governamentais. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 2, p. 55-66, 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/862/522>. Acesso em: 19 fev. 2022.

MELO, S. S., SILVA, I. C., LIMA, T. S. Análise do consumo de água em áreas urbanas: um estudo na mesorregião metropolitana de Belém. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 26(1), 10-21. 2021.



MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada**: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MOUTINHO, P. **Desmatamento na Amazônia**: desafios para reduzir as emissões brasileiras. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2009.

NOGUEIRA, M. H. P.; VINAGRE, M. V. A. Análise e simulação da influência da precipitação pluviométrica no sistema de produção de água de Belém-PA (Complexo Bolonha) com o uso do EPANET. **RCT-Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 7, 2018. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rct/article/view/4989/2539>. Acesso em: 1 fev. 2022.

Organização Mundial da Saúde - OMS. **Água, Saneamento e Higiene em Instituições de Saúde**. 2017. Genebra: OMS. Disponível em: [https://www.who.int/health-topics/water-sanitation-and-hygiene-wash#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/water-sanitation-and-hygiene-wash#tab=tab_1). Acesso em: 05 mar.2023.

PEREIRA JUNIOR, M. V.; *et al.* Metropolização brasileira: um estudo sobre a dinâmica e os indicadores socioespaciais das regiões metropolitanas de São Luís e Belém. **Novos Cadernos NAEA**, v. 24, n. 3, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/10525>. Acesso em: 15 fev. 2022.

RODRIGUES, M. T.; ALMEIDA, C. P. Planejamento Urbano e Aglomerados Subnormais: Desafios e Oportunidades em Belém. **Cadernos MetrÓpole**, 23(1), 45-63. 2021

ROSELAND, M. Dimensions of the eco-city. **Cities**, v. 14, n. 4, p. 197-202, 1997. Disponível em: [http://www.researchgate.net/publication/222495799\\_Dimensions\\_of\\_the\\_eco-city](http://www.researchgate.net/publication/222495799_Dimensions_of_the_eco-city). Acesso em: 14 abr. 2021

SÁ, L. F., *et al.* Land Use Changes and Their Impact on Hydrological Indicators in the Amazon Region. **Geophysical Research Letters**, v. 47, n. 12, p. e2020GL087733. 2020.

SANTANA, A. C.; *et al.* O desempenho competitivo das empresas de polpa de frutas do APL de fruticultura do nordeste paraense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43., 2005, Ribeirão Preto. **Anais**. Brasília, DF: Sober. 2005.

SANTOS, V. M., **Ensino de matemática na escola de nove anos**: dúvidas, dúvidas e desafios. 1 ed. Cengage Learning: São Paulo. 2014.

SICHE, R. *et al.* Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, 2007.

SILVA, J. D.; SOUZA, M. A.; PEREIRA, L. S. Desafios da Sustentabilidade Energética na Amazônia: Análise da Intensidade no Uso Energético Domiciliar. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, 15(3), 45-62. 2020.

TORCATE, A. S.; *et al.* Utilizando o Learning Analytics com o K-Means para análise de dificuldades de aprendizagem na educação básica. In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA, 26., 2020, Natal, RN. **Anais...** Natal: SBC, 2020. p. 31-40. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wie/article/view/12595/12462>. Acesso em: 2 fev. 2022.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2. ed. London: Academic Press, 2006. 649p.