

ANÁLISE DE ACESSIBILIDADE E PROPOSTA DE SOLUÇÃO OTIMIZADA PARA A LOCALIZAÇÃO DAS ESCOLAS PÚBLICAS MUNICIPAIS NA CIDADE DE MONTES CLAROS – MG

ACCESSIBILITY ANALYSIS AND OPTIMIZED SOLUTION PROPOSAL FOR THE LOCATION OF MUNICIPAL PUBLIC SCHOOLS IN THE CITY OF MONTES CLAROS – MG

ANÁLISIS DE ACCESIBILIDAD Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN OPTIMIZADA PARA LA UBICACIÓN DE ESCUELAS PÚBLICAS MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE MONTES CLAROS – MG

Rodrigo Marques do Nascimento¹ <https://orcid.org/0000-0001-5540-1344>

Narciso Ferreira dos Santos Neto² <https://orcid.org/0000-0002-1742-3515>

Daniel Coelho de Oliveira³ <https://orcid.org/0000-0003-2565-6551>

RESUMO

A urbanização acelerada das cidades brasileiras impôs desafios para organização do espaço urbano, a exemplo da composição de diretrizes para localização de escolas públicas. Sem critérios, sobretudo, de acessibilidade, tem-se como resultado longos trajetos residência-escola. Este trabalho objetiva propor uma localização otimizada para as escolas públicas municipais da cidade de Montes Claros - MG, utilizando a ferramenta *facility location* do TransCAD. Para tanto, cria-se uma matriz de distância entre 131.864 pontos (domicílios) que compõem a análise e é indicado quais dessas localizações apresentam capacidade de minimizar a distância de caminhada em relação aos demais domicílios restantes, com base na malha viária urbana. Previamente, analisa-se a acessibilidade dos moradores e delimitam-se regiões a partir de indicadores, função da distância de caminhada aluno-escola, utilizando a função *Service Area* do ArcGIS. Consta-se que há desequilíbrios espaciais na distribuição das escolas municipais em Montes Claros - MG, com destaque para a região noroeste que apresenta escassez de escolas de educação infantil. A distância de caminhada residência-escola para os moradores da maior parte da cidade é superior a 1.000 m. A proposta apresenta considerável melhoria na acessibilidade dos moradores. Diante disso, a pesquisa apresenta fundamentos que corroboram para a redução do trajeto aluno-escola.

Palavras-chave: Otimização de localização. Sistemas de Informações Geográficas. Montes Claros – MG.

¹ Doutorando em Engenharia Civil – UnB. Professor efetivo do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - IFNMG. E-mail: rodrigo.nascimento@ifnmg.edu.br

² Doutor em Engenharia de Transportes – COPPE/UFRJ, Professor do Departamento de Administração, PPGSAT, PPGMCS e PPGDS – Universidade Estadual de Montes Claros. E-mail: narciso.ferreira@unimontes.br

³ Doutor em Ciências Sociais – CPDA/UFRRJ, Professor do Departamento de Ciências Sociais, PPGSAT e PPGDS – Universidade Estadual de Montes Claros. E-mail: daniel.oliveira@unimontes.br

ABSTRACT

The quick urbanization of Brazilian cities has brought challenges for the organization of urban space, such as; the composition of guidelines, for the location of public schools. Without a patterned regulation, accessibility is a vital concern, which is a long distance between home and school. This paper aims to propose an optimized location for public schools in the city of Montes Claros - MG, using the tool TransCAD's facility location. To this end, a distance matrix is created between 131,864 points (households) that make up the analysis and it is indicated which of these locations have the capacity to minimize the walking distance in relation to the other remaining households, based on the urban road network. Previously, the accessibility of residents was analyzed and regions were delimited based on indicators, based on the student-school walking distance, using the Service Area function of ArcGIS. It appears that there are spatial imbalances in the distribution of public schools in Montes Claros - MG, with emphasis on the northwest region, that has a shortage of pre-school teaching facilities. The home to school walking distance for residents for majority part of the city is more than 1,000 m. In this study considerable improvement for the access of residents is proposed and in view of this, fundamentals that can facilitate reduction of the students long school path are presented.

Keywords: Location optimization. Geographic Information System. Montes Claros – MG.

RESUMEN

La urbanización acelerada de las ciudades brasileñas ha impuesto desafíos para la organización del espacio urbano, por ejemplo, la constitución de directrices para la ubicación de las escuelas públicas. La inexistencia de criterios, principalmente de accesibilidad, conlleva a largas distancias entre el hogar y la escuela. Este trabajo tiene como objetivo proponer una ubicación optimizada para las escuelas públicas municipales en la ciudad de Montes Claros - MG, utilizando la herramienta de ubicación de instalaciones de TransCAD. Para ello, se crea una matriz de distancia entre 131.864 puntos (hogares) que componen el análisis, indicando las localidades que tienen la capacidad de minimizar la distancia de trayecto en relación con el resto de los hogares, basado en la red de carreteras urbana. Previamente, se analizó la accesibilidad de los residentes y se delimitaron regiones a partir de indicadores, como la distancia recorrida estudiante-escuela, utilizando la función Service Area de ArcGIS. Se verificó que existe un desequilibrio espacial en la distribución de las escuelas municipales en Montes Claros - MG, principalmente en la región noroeste, la cual presenta una escasez de escuelas de educación infantil. La distancia a pie entre la casa y la escuela para los residentes de la mayor parte de la ciudad supera los 1.000 m. La propuesta define una mejora considerable en la accesibilidad de los residentes. Considerando lo anterior, la investigación presenta fundamentos que corroboran la reducción de la trayectoria entre estudiante y escuela.

Palabras clave: Optimización de ubicación. Sistemas de Información Geográfica. Montes Claros – MG.

INTRODUÇÃO⁴

O processo de urbanização no Brasil, especialmente no período posterior à Segunda

⁴ Agradecemos ao apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Guerra Mundial até a década de 1980, é marcado por um constante e acelerado crescimento da população urbana, motivado pelo desenvolvimento industrial nacional e o estabelecimento do mercado interno. Nota-se que no período entre 1940 e 1980, o qual dá-se a verdadeira inversão quanto ao lugar da residência da população brasileira, a taxa de urbanização salta, em quarenta anos, de 26,35% para 68,86% (SANTOS, 2009).

Esse aumento da concentração de pessoas, acompanhado ao aumento de atividades, riqueza, objetos, instrumentos e pensamentos na cidade, produziu, em função da lógica capitalista de apropriação do espaço urbano, a fragmentação múltipla em periferias, subúrbios e residências secundárias (LEFEBVRE, 2002). Nessa lógica, consolidou-se uma crise urbana generalizada, deteriorando os sistemas naturais e diversos aspectos da vida urbana. Constatou-se o aumento exacerbado da violência, desigualdade social com a gigantesca concentração espacial da pobreza, grande déficit habitacional e desigualdade na distribuição e qualidade dos serviços e infraestrutura no espaço intraurbano (SANTOS, 2009).

Diante desse cenário, numa tentativa de que as cidades pudessem lidar melhor com as questões físico-territoriais, corrigir distorções administrativas, melhorar as condições da comunidade local, a partir de 1990, observa-se a convergência de medidas, por meio do planejamento, que visam a democratização da gestão urbana, com enfoque em planos participativos, tal qual é difundido, hoje, em meios, como universidades, órgãos municipais e metropolitanos de planejamento e em órgãos de classe ligados à engenharia e à arquitetura (VILLAÇA, 2004).

Fato é que, apesar dos avanços no que tange à consolidação do planejamento urbano, inúmeros problemas ainda são passíveis de um olhar investigativo dos que pensam, vivem, discutem e planejam as cidades, especialmente no que diz respeito à distribuição de equipamentos urbanos, serviços públicos e infraestrutura urbana. A distribuição dos equipamentos urbanos nas cidades interfere diretamente na qualidade de vida da população, visto que são considerados instrumentos de bem-estar social e de apoio ao desenvolvimento econômico, bem como de ordenação territorial e de estruturação dos aglomerados humanos (MORAES *et al.*, 2008).

Nesse contexto, destacam-se as escolas públicas que podem ser classificadas como equipamento comunitário ou urbano. O art. 4º, parág. 2º da Lei federal 6.766, de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, define que equipamentos comunitários são “equipamentos públicos de educação, cultura, saúde, lazer e similares”. A NBR 9050 define equipamento urbano como “todos os bens públicos e privados, de utilidade pública, destinados à prestação de serviços necessários ao funcionamento da cidade, em espaço

público e privados”.

Vale salientar que o objetivo dessas escolas é promover a educação de maneira universal, gratuita, laica e de qualidade, posicionando-se como instrumento institucional eficiente na promoção da sociedade democrática, possibilitando desenvolvimento e participação social a todos os cidadãos ao garantir que possam alcançar a igualdade política, intelectual e técnica (TEIXEIRA, 2009).

Essas escolas se inserem na conjuntura do planejamento urbano, uma vez que a sua distribuição e localização são variáveis que interferem na cobertura espacial, sobretudo na distância de deslocamento aluno-escola. Nessa perspectiva, o planejamento urbano enquanto processo de produção, estruturação, organização do espaço urbano, deve estabelecer parâmetros, por exemplo, distância máxima de caminhada e ótima localização, com base nas características da demanda em conjunto com grupos políticos, sociedade civil e técnicos, para se alcançar diretrizes e decisões acertadas para distribuição e localização de escolas na cidade.

Dessa forma, a exemplo de diversas cidades no Brasil, Montes Claros, localizada no Norte do estado de Minas Gerais, apresenta ausência de regramento para balizar a localização de escolas públicas, o que pode originar uma rede escolar desacoplada da demanda da cidade, no que diz respeito às questões demográficas, socioeconômicas e geográficas. Por conseguinte, a existência de áreas da cidade com carência desses equipamentos urbanos, ocasiona dificuldades de acesso, fazendo com que a população seja obrigada a realizar longos deslocamentos a pé, ou mesmo, despender recursos com a locomoção residência-escola.

Em estudos da última década (LEITE *et. al.* 2014) constata-se que entre 2000 e 2011 Montes Claros atingiu crescimento de 27% na parte ocupada do perímetro urbano, como reflexo do crescimento da população urbana que, entre 2000 e 2010, passou de 283.616 para 337.687 habitantes. Em 2022, a população registrada é 414.240, conforme o IBGE. Tal aspecto, faz com que a distribuição e disponibilidade de equipamentos urbanos de educação seja de suma importância para atender as necessidades dessa população que cresce continuamente no espaço urbano.

Partindo da premissa de que o planejamento municipal deve distribuir às escolas públicas alcançando, dentre outros aspectos, a perspectiva de minimizar a distância de caminhada para população, esse artigo visa analisar a acessibilidade atual das escolas municipais na cidade de Montes Claros-MG e propor uma solução otimizada para sua localização. A análise da acessibilidade é realizada com auxílio do *software* ArcGis no intuito de delimitar e qualificar regiões conforme a distância de caminhada até a escola mais

próxima. Em relação à proposta de solução otimizada, utiliza-se o modelo de p-mediana disponível no *software* TransCad por meio da função “minimizar o custo médio de serviço” que busca reduzir o custo total do serviço prestado aos usuários do sistema, ou seja, objetiva minimizar a distância geral que o público precisa percorrer para chegar a uma determinada localidade.

REDE ESCOLAR E INDICADORES DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

A tarefa de definir a localização ou estabelecer diretrizes para a distribuição de escolas se configura como um desafio para as cidades. Torres (2006) destaca que as instalações públicas, a exemplo de escolas e creches, têm caráter distributivo e, na lógica de implantação, diversos fatores devem ser analisados, por exemplo, o perfil socioeconômico e os aspectos relacionados à localização do público-alvo, locais com demanda potencial não atendida e/ou com escolas superlotadas.

A análise dessas variáveis, como subsídio para se planejar a localização da rede escolar, torna-se ainda mais complexa em cidades de grande porte. Torres (2005) ressalta que “Em áreas urbanas de pequeno porte, os gestores locais têm condições de inspecionar pessoalmente cada escola, bem como podem conversar com a população local, tendo capacidade de identificar facilmente as situações de pressão da demanda.” (TORRES, 2005, p. 10). No entanto, o autor acrescenta que, em áreas urbanas com grande extensão, esse problema se torna complexo dado a elevada quantidade de escolas a se gerir (TORRES, 2005).

Constata-se que, no Brasil, não há definição de metodologia ou parâmetros para distribuir as escolas no território nacional. No Plano Nacional de Educação (PNE) de 2014, que corresponde ao conjunto de diretrizes, metas e estratégias para a política educacional, é validado como meta a universalização do atendimento escolar, porém não discorre sobre os critérios para a localização das escolas.

Na prática, a decisão pela localização das escolas públicas fica a cargo da gestão municipal. Nessa esfera, os gestores contam com o Censo Escolar, caracterizado por ser o principal instrumento de coleta de informações da educação básica, que coleta dados sobre os estabelecimentos de ensino, gestores, turmas, alunos e profissionais em sala de aula, além de informações sobre o movimento e o rendimento dos alunos (INEP, 2021). Nesse aspecto, o censo torna-se uma ferramenta de balizamento para se fazer levantamento de informações para instalação ou ampliação da rede escolar.

Considerando esse cenário de ausência de parâmetros e de metodologias para a alocação de escolas, diversos autores propuseram indicadores para auxiliar na alocação de instituições de ensino. Embutido nas sugestões desses pesquisadores, observa-se que há como principal intento a perspectiva de reduzir as distâncias entre as escolas e as moradias dos estudantes.

Em se tratando de escolas de ensino infantil e de ensino fundamental, as quais atendem aos estudantes com idade entre 0 a 5 anos e 6 a 14 anos, respectivamente, o público é composto majoritariamente por crianças. Nesse sentido, o trajeto casa-escola necessita que haja um acompanhante e, dependendo da distância a ser percorrida, o deslocamento exigirá o uso de transporte motorizado individual ou coletivo.

Nessa perspectiva, Campos Filho (2003) recomenda que a máxima distância de caminhada até uma instituição pública, por exemplo, de educação, para que o deslocamento seja de maneira confortável, é de 800 m. Essa distância é sugerida por representar um desejo da população, sobretudo de baixa e média renda, quando se trata de acessibilidade a equipamentos públicos, já que permite melhor interação entre o serviço público e a comunidade, resultando na melhoria da qualidade no atendimento (CAMPOS FILHO, 2003).

Ainda no tocante à indicação de índices que norteiam a localização, Batista *et al.* (2011) e Oliveira (2007) realizaram estudos de caso no município de Florianópolis, SC, e Canoas, RS, respectivamente, utilizando indicadores de Brau, Mercê e Tarrago (1980), conforme a Tabela 1, os quais estabelecem hierarquia para a qualidade do serviço de educação com base na distância aluno-escola. Nos estudos, constatou-se que a metodologia utilizada se constitui num importante instrumento para indicação de áreas com sobrecarga ou que têm carência do serviço.

Tabela 1 - Qualificação das distâncias aos serviços educacionais (distância em metros)

Acessibilidade	Educação Infantil	Educação Fundamental	Ensino Médio
Excelente	Menos de 250	Menos de 250	Menos de 500
Ótima	250 - 500	250 - 500	500 - 1.000
Regular	500 - 750	500 - 750	1.000 - 2.000
Baixa	750 - 1.000	750 - 1.000	2.000 - 3.000
Péssima	Acima de 1.000	Acima de 1.000	Acima de 3.000

Fonte: BRAU, MERCÊ e TARRAGO (1980).

De acordo com a Tabela 1, a qualificação da distância da residência até as escolas de educação infantil e ensino fundamental seguem o mesmo critério, sendo classificadas com acessibilidade excelente as escolas em que o público-alvo esteja até 250 m de distância. Para distâncias entre 250 m e 500 m, essa classificação é ótima; e, entre 500 m e 750 m, a

acessibilidade é considerada regular. Já no intervalo de 750 m a 1.000 m, a acessibilidade é baixa; e, acima de 1.000 m, é caracterizada como péssima.

PANORAMA SOBRE MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE ESCOLAS

Para além dos indicadores, os problemas de localização podem ser estruturados por meio de modelos matemáticos, conhecidos como problemas de localização de instalações, que podem ser uma escola, posto de saúde, hospital, ou qualquer outro equipamento urbano, público ou privado. Essas aplicações objetivam, para Mapa e Lima (2012, p. 121), “estar o mais próximo possível da demanda, com o intuito de reduzir custos em transportes, maximizar a área de cobertura, aumentar o nível de acessibilidade da demanda ou reduzir ao máximo os custos com instalações.

Os problemas de localização de instalações também podem ser denominados de localização-alocação, visto que, além da decisão de “onde” se fixar uma instalação, deve-se definir, entre as instalações existentes, em qual delas as demandas devem ser destinadas (LORENA *et al.*, 2001).

Para tanto, de acordo com Maller e Gandolpho (2014) e Menezes (2010), a metodologia mais aplicável no estudo de localização de equipamentos urbanos, de maneira geral, é o modelo das p-medianas.

A localização de p-medianas é considerada um problema clássico de otimização combinatória e consiste em localizar p instalações (medianas) de um dado serviço. As posições dessas instalações podem ocorrer em n possíveis locais, que correspondem ao ponto de localização da demanda do sistema, com $n > p$, de modo a minimizar a soma das distâncias de cada ponto até sua mediana mais próxima (MALLER; GANDOLPHO, 2014, p. 110).

O modelo de p-medianas foi utilizado por Silva *et al.* (2021) para identificar os melhores locais para a instalação de Institutos Federais no estado de Santa Catarina, de maneira a minimizar os custos com transportes. No estudo, são considerados três cenários de demandas como fatores determinantes para modelar a localização das instituições. No primeiro, a localização é definida com base na distribuição populacional; o segundo toma como referência o número de alunos formando-se no ensino fundamental mais os alunos formando-se no ensino médio; e, no terceiro, leva-se em consideração a quantidade de analfabetos presentes no estado.

Barcelos *et al.* (2004), após identificar regiões onde havia excesso e escassez de vagas na cidade de Vitória, no estado do Espírito Santo, propõem com as p-medianas uma

realocação para as escolas públicas do ensino fundamental. Utilizando dados da população com idade escolar, em nível dos setores censitários do IBGE, é indicada a localização ideal do número n de escolas presentes na cidade, implicando que em regiões mais adensadas haverá maior atração por escolas. Ademais, é apresentada uma proposta de localização utilizando também a demanda por alunos com idade escolar para o ensino fundamental. No entanto, a capacidade das n escolas são limitadas, de modo que todas comportem a mesma quantidade de alunos.

Ainda na perspectiva da aplicação das p -medianas, Menezes e Pizzolato (2014), considerando o forte crescimento populacional da região de Guaratiba, no estado do Rio de Janeiro, para 2015 e 2020, propuseram um planejamento locacional das escolas da rede pública, no intuito de minimizar o deslocamento aluno-escola. Em primeiro momento, as escolas, com capacidade máxima definida para 1.300 alunos, são alocadas com base na população escolar estimada. Em segundo momento, as escolas são localizadas de modo a se ter a cobertura máxima possível, considerando uma distância máxima de deslocamento aluno-escola de 1.500 m.

Nesse sentido, com objetivo de estudar, analisar e propor soluções para a localização de escolas públicas, utilizando o problema das p -medianas, diversos outros autores apresentaram trabalhos nessa linha, quais sejam: Teixeira *et al.* (2007), Teixeira e Antunes (2008), Pizzolato *et al.* (2004), Menezes (2010), Ndiaye *et al.* (2012), Maller e Gandolpho (2014), Bruno *et al.* (2014) e Ndulumba (2018). Em suma, caracterizam a utilização do modelo das p -medianas na detecção do melhor local para a localização de instituições de ensino em função das demandas.

PANORAMA SOBRE MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE ESCOLAS

Para uma rede de p instalações e n vértices (possíveis locais para localização das instalações), onde $N = (1, 2, \dots, n)$ atribui-se uma matriz simétrica entre esses vértices, matriz de custo (ou distâncias) $[D]_{ij}$ e uma matriz de alocação $[X]_{ij}$. Sendo que a demanda, importância ou peso do vértice i é representado por a_i . Dado isso, a partir da matriz $[X]_{ij}$, se $x_{jj} = 1$, conclui-se que em j existe uma instalação alocada, caso contrário $x_{jj} = 0$. Além disso, se j é alocado à mediana i , $x_{ij} = 1$, caso contrário, $x_{ij} = 0$.

$$\text{MIN} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i d_{ij} \cdot x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1; j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = p \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj}; i, j \in N \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; i, j \in N \quad (5)$$

A função objetivo (1) traduz a minimização do custo ou distância ponderada (produto da demanda a_i e distância d_{ij} entre os clientes e as instalações). A restrição (2) garante que, em cada cliente j , seja alocado somente a uma instalação i . A restrição (3) atesta que apenas o número p de instalações sejam abertas. As restrições (4) impõem que um cliente é atendido somente em locais em que haja a presença de uma mediana com uma instalação. As restrições (5) garantem que as variáveis são binárias, isto é, assumem valor igual a zero ou um.

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Os Sistemas de Informações Geográficas têm sido utilizados por diversas ciências como ferramenta de auxílio para tomada de decisões, haja vista sua capacidade de processar dados e apresentá-los espacialmente por meio de imagens e representações cartográficas.

Para Ferrari (1997), o SIG pode ser usado ao nível operacional, que são aquelas atividades do dia a dia de uma organização, que são imprescindíveis ao seu funcionamento, ao nível gerencial, que são decisões de caráter tático, por exemplo, decidir qual a melhor localização para uma nova filial ou, para um setor governamental, decidir qual a região mais carente de um determinado serviço público. E, por último, ao nível estratégico, que são aquelas atividades que contribuem diretamente para o cumprimento dos objetivos fundamentais da organização.

O TransCAD é um Sistema de Informação Geográfica que permite criar e personalizar mapas, construir e manter conjunto de dados geográficos com propriedade para se efetuar

diversas análises espaciais. Por possuir, além dessas funções comuns aos SIGs, o TransCAD apresenta um conjunto de ferramentas capaz de solucionar problemas de demanda e logística ligado à área de transportes.

Diante disso, o *software* é considerado um (SIG-T), ou seja, Sistema de Informação Geográfica para planejamento de Transporte, o que permite realizar análises de localização de facilidades. A ferramenta que possibilita essas análises é denominada de *facility location*, a qual auxilia na decisão de onde se alocar um determinado número de estabelecimentos de forma mais eficiente, considerando, sobretudo, a localização dos usuários desses estabelecimentos no intuito de aprimorar a interação entre o usuário e o estabelecimento.

Nesse aspecto, a ferramenta possibilita a localização para atender à demanda de forma mais eficiente: de escolas, hospitais, bibliotecas e centros de serviços de respostas e emergências, por exemplo, corpo de bombeiros e centro policial, no intuito de fornecer serviços de qualidade à comunidade com baixo custo. Para tanto, modelam matematicamente a distância e o tempo que o usuário gasta para acessar o estabelecimento e dá solução ao questionamento: onde p estabelecimentos devem ser alocados para que o maior número de pessoas da comunidade possa ser alcançado em determinado tempo e distância limite?

Para se obter resposta, o *software* utiliza de metodologias distintas, as quais consideram as especificidades de cada estabelecimento. Em suma, o problema de localização de facilidades pode ser solucionado com os objetivos: minimizar o custo médio de serviço, maximizar o custo mais baixo de serviço e maximizar o lucro.

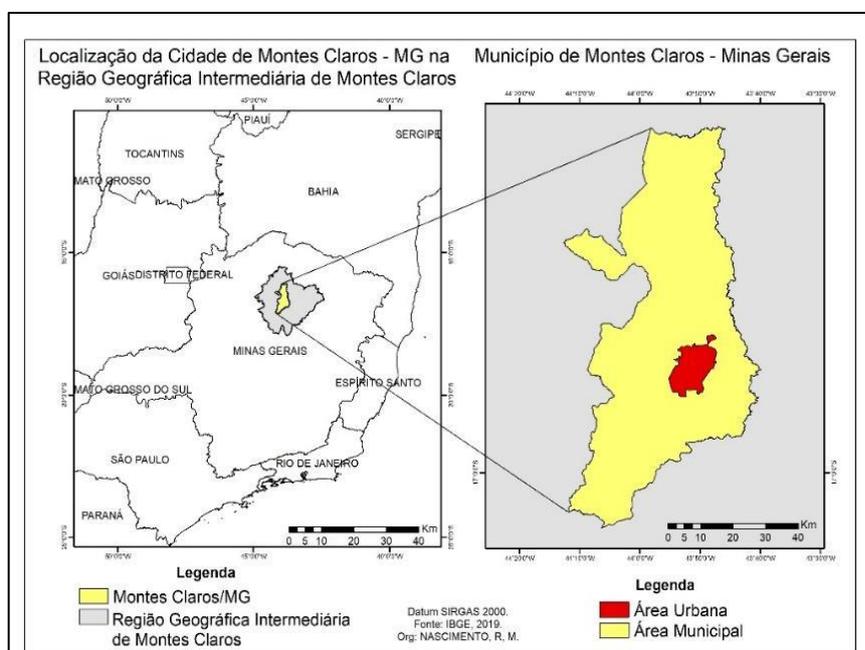
Entre os objetivos relacionados, destaca-se o de minimizar o custo médio de serviço, por ser utilizado para modelar a localização de equipamentos públicos, visto que, quando não delimitada a área de influência, favorece a distribuição equitativa desses equipamentos na cidade. Nesse trabalho, ao utilizar a ferramenta *facility location* optou-se por utilizar a função “minimizar o custo médio de serviço”, que faz uso do modelo de localização das p-mediana.

A função busca reduzir o custo total do serviço prestado aos clientes, ou seja, objetiva minimizar a distância geral que o público precisa percorrer para chegar à facilidade. Salienta-se que é possível determinar o número de facilidades a serem abertas ou facultar ao *software* que indique quantidade, sendo necessário, nesse caso, que se aponte o nível de serviço que se deseja.

MONTES CLAROS – MG E AS ESCOLAS PÚBLICAS MUNICIPAIS COMO OBJETO DE ESTUDO

O estudo é desenvolvido na área urbana do município de Montes Claros, localizado no Norte de Minas Gerais, que conta atualmente com população estimada em 413.487, segundo os dados do IBGE (2020). O município conta com área de unidade territorial de 3.589,811 km² IBGE (2020) e Produto Interno Bruto - PIB a preços correntes de mais de 8,9 bilhões de reais, conforme o IBGE (2017). Na Figura 1 é representada a localização da cidade em relação à Região Geográfica Intermediária de Montes Claros e ao estado de Minas Gerais.

Figura 1 - Localização da cidade de Montes Claros-MG.



Fonte: IBGE (2019).

Montes Claros conta com 43 unidades de Centro Municipal de Educação Infantil – CEMEI, os quais abrangem as etapas de berçário, maternal I, maternal II, 1º período e 2º período e atendem alunos com idade entre 0 e 5 anos, de acordo com levantamento realizado pela SME, em 2021. A Tabela 2 traz a discriminação dessas unidades de ensino e a localização (coordenadas geográficas).

Tabela 2 - Relação das unidades urbanas de escolas de educação infantil

Unidade de CEMEI	Localização	Unidade de CEMEI	Localização
Alegria de Viver	622325,85; 8153070,94	O Bom Samaritano	623554,80; 8150935,60
Amiguinhos da Adelour	622784,29; 8150493,82	O Nosso Lar	621709,71; 8148134,78
Amiguinhos da Vila	620092,16; 8149650,44	Padre Murta	622977,44; 8152023,86
Amiguinhos de Jesus	622766,20; 8147017,98	Paulo Freire	624947,36; 8155829,95
AninhaCorrêa Ribeiro	622581,37; 8152734,70	Prof. ^a Ana Lúcia Mota	624738,91; 8150862,49
Branca de Neve	618599,66; 8143163,10	Prof. ^a IdoletaMaciel	623345,22; 8148249,53
Canacy	619389,58; 8155649,05	Prof. ^a Hamilton Lopes	622165,92; 8151582,44
CasinhaFeliz	619585,33; 8154823,41	Prof. ^a Elizabeth Pereira	625774,29; 8151141,43
Cristo Rei	621833,71; 8147468,40	Prof. ^a HeloisaSarmiento	620169,30; 8150713,36
DeputadoAntônioPimenta	621519,60; 8149811,59	Prof. ^a Maria da Conceição	622259,98; 8149660,38
Dona IvoneSilveira	619303,83; 8149464,07	Prof. ^a Maria das Dores	621029,77; 8145773,77
Dona Ruth Tupinambá	621605,56; 8149481,31	Santa Rafaela	622289,01; 8145888,69
Dr. Ivan Lopes	620883,12; 8153519,10	São Francisco de Assis	619930,55; 8153177,90
Dr.Mário Ribeiro	622199,10; 8156437,80	São Judas	621480,9; 8148008,78
Madre Paula Elizabeth	620325,68; 8151652,34	São Marcos	624865,65; 8148920,42
Major Prates	619428,84; 8147957,63	São Norberto	618961,99; 8151843,22
ManoelCaribéFilho	621337,80; 8147778,20	Solar de Jesus	619551,61; 8146375,70
Mei-Mei	621960,48; 8149245,36	Centro de Convívio Luizinha	619254,26; 8153210,97
Monteiro Lobato	621536,84; 8145761,52	Centro de Convívio Raimundo Neto	619750,45; 8146674,38
Mundo da Criança	620854,52; 8147182,92	Centro Municipal Eloim Lopes	624605,69; 8155027,10
N. Sra. da Conceição	620208,71; 8153421,11	E.M Aurora Monteiro	626140,82; 8154785,61
Nova Vida	620631,59; 8153113,06		

Fonte: Secretaria Municipal de Educação de Montes Claros-MG (2018).

A capacidade máxima de alunos para essas unidades é de 10.161, e, no ano de 2021, a quantidade de alunos matriculados correspondeu a 8.259. Vale salientar que a capacidade máxima de cada uma das unidades é variável, tendo o CEMEI São Francisco de Assis, com a menor estrutura, 60 vagas, e o CEMEI Mundo da Criança, com 425 vagas – destacando-se com a maior capacidade para receber alunos. Em geral, o turno de funcionamento dessas escolas é matutino e vespertino, e apenas três unidades de ensino funcionam em turno integral.

As unidades de ensino fundamental são 30 e têm capacidade de atender até 19.520 alunos, considerando os turnos de funcionamento matutino e vespertino. Algumas dessas escolas funcionam no turno noturno para receber a modalidade de ensino EJA (Educação de Jovens e Adultos), que se configura em oferta de ensino fundamental e médio para pessoas que já ultrapassaram a idade escolar regular e não tiveram a oportunidade de estudar. Essa modalidade não é fruto de análise neste estudo, uma vez que apresenta critérios de funcionamento específicos e que diferem do ensino regular. Salienta-se que o ensino fundamental atende às modalidades de ensino que vão do 1º ao 9º ano, as quais contam com

alunos com idade de 6 a 14 anos. A Tabela 3 traz a discriminação dessas unidades de ensino e a localização (coordenadas geográficas).

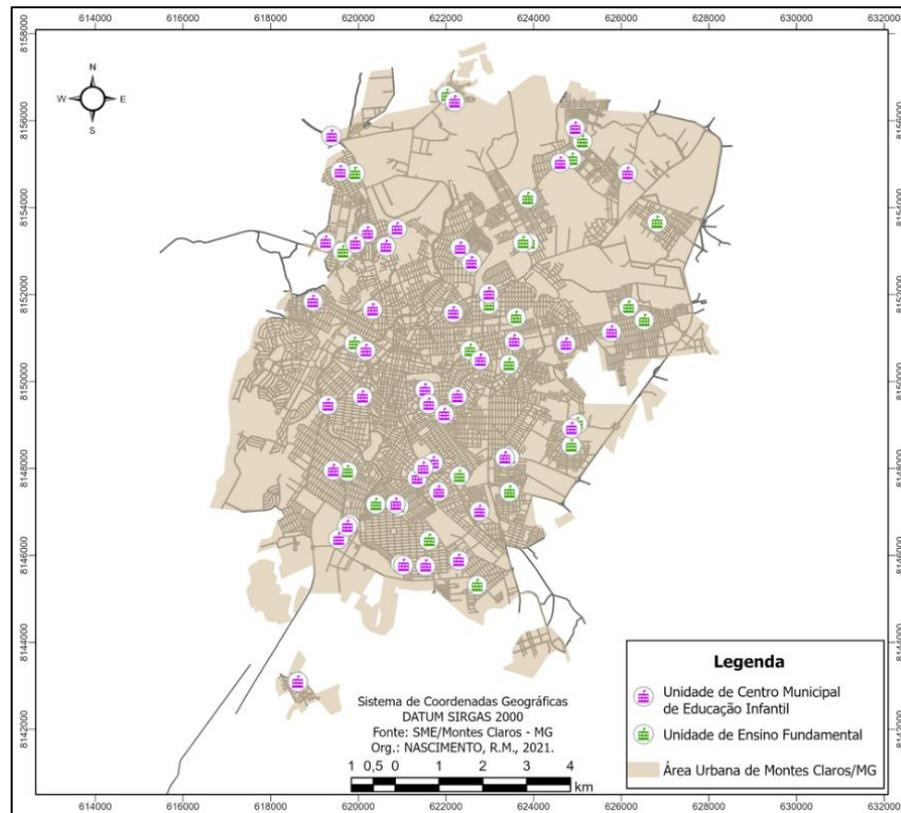
Tabela 3 - Relação das unidades urbanas de escolas de ensino fundamental

Unidade de Escola Municipal	Localização	Unidade de Escola Municipal	Localização
Afonso Salgado	619643,33; 8152987,57	Jason Caetano II	623452,71; 8148251,49
AlcidesCarvalho	622978,25; 8151765,78	João Valle Maurício	624878,44; 8155115,01
Bolivar de Andrade	623902,21; 8153189,51	Joaquim José De Azevedo	622556,03; 8152765,25
Celestino Pereira Salgado	626815,55; 8153663,86	Mestra Fininha	620398,90; 8147176,53
Dominguinhos Pereira - Caic	620924,29; 8147127,05	prof. ^a Eunice Carneiro	620963,55; 8145805,22
Dona VidinhaPires	619753,66; 8147928,95	prof. ^a Hilda Carvalho	622306,11; 8147825,22
Dr.MárioTourinho	622548,53; 8150720,43	prof. ^a Maria de Lourdes	626526,17; 8151406,42
Dr. Alfredo Coutinho	625002,52; 8149035,17	prof. ^a Neide Melo Franco	624858,79; 8148524,63
CrisantinoBorém	621618,69; 8146350,42	prof. ^a Simone Soares	623599,11; 8151476,46
DúNarciso	625112,88; 8155520,88	Rotary São Luiz	622019,56; 8156587,82
EgídioCordeiro Aquino	626167,34; 8151712,09	Rozenda Zane Moraes	623759,27; 8153200,42
Geraldo Pereira de Souza	623439,08; 8150396,74	RuyLage	623864,13; 8154210,76
Irmã Beata	619796,38; 8146726,43	Sebastião Mendes	623451,44; 8147461,58
Jair de Oliveira	619921,48; 8154787,85	SôniaQuadros	619907,25; 8150876,55
Jason Caetano I	623423,57; 8148294,62	Zizinha Ribeiro	622711,56; 8145312,45

Fonte: Secretaria Municipal de Educação de Montes Claros-MG (2018).

A Figura 2 representa a localização das escolas públicas municipais da área urbana de Montes Claros, distinguindo-as em escolas de educação infantil e escolas de ensino fundamental.

Figura 2 - Localização das escolas de educação infantil e fundamental.



Fonte: Secretaria Municipal de Educação de Montes Claros-MG (2021).

ASPECTOS METODOLÓGICOS

ANÁLISE DA ACESSIBILIDADE

O nível de acessibilidade da rede escolar municipal foi analisado com base nos indicadores de Brau, Mercê e Tarrago (1980), relacionados com a distância de caminhada da residência até a escola, conforme já citado no referencial teórico. Desse modo, foi necessário identificar a área de cobertura de cada escola que possibilitasse uma distância de caminhada de até 250 m, entre 250 m e 500 m, entre 500 m e 750 m, entre 750 m e 1.000 m e acima de 1.000 m.

Nessa perspectiva, utilizou-se a função *Service Area* presente na extensão *Network Analyst* do *software* ArcGIS, a qual delimita uma região em que se pode acessar uma dada localização em um limite de distância especificado, essa área delimitada é denominada de *buffer*. Essa função necessita que se forneça a feição de pontos a partir da qual será analisada a sua área de cobertura e a rede viária que será utilizada, para se fazer o cálculo da distância dos pontos até a distância máxima especificada a fim de delimitar a área de cobertura.

Para tanto, a feição de pontos aplicada é a localização geográfica das unidades de CEMEI e escolas de ensino fundamental urbanas de Montes Claros e a rede viária corresponde ao conjunto de vias da cidade, obtida no laboratório de transportes da Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, que será utilizada para o cálculo da distância.

Assim, utilizando o *software* ArcGIS, inseriu-se o mapa de bairros de Montes Claros para gerar os mapas contendo a área de cobertura de cada uma das escolas de educação infantil e fundamental da cidade, e para cada escola essa área de cobertura foi classificada como acessibilidade excelente, ótima, regular, baixa e péssima.

Salienta-se que, após obtido o valor da área com distância de caminhada considerada excelente, ótimo, regular, baixa e péssima, realizou-se o cálculo para entender qual percentual da área da cidade era classificado em cada nível de acessibilidade. Nesse aspecto, considerou-se a área total da cidade o somatório da área dos bairros.

ANÁLISE DA SOLUÇÃO OTIMIZADA PARA LOCALIZAÇÃO DAS ESCOLAS

Para otimizar a localização das escolas de educação infantil e fundamental, utilizou-se o *software* TransCAD, por meio da função *facility location*, que possibilita minimizar a distância média de caminhada dos moradores até as escolas. Para isso, foi utilizado as localizações geográficas dos domicílios da cidade fornecida pelo laboratório de geoprocessamento da UNIMONTES. Destaca-se que essa feição de pontos resulta de levantamento realizado pelo laboratório em 2020 e conta com 131.864 domicílios georreferenciados, e tem como identificação um código ID que varia de 1 a 131.864.

Além disso, necessitou-se indicar quais são as localizações geográficas candidatas para que se instale uma escola. Para tanto, utilizou-se novamente a feição de pontos de domicílios da cidade, uma vez que se entende que qualquer ponto de domicílio da cidade pode ser passível de se configurar como ideal para minimizar a distância de caminhada residência-escola.

Para a obter a localização ótima das escolas de educação infantil, entre os 131.864 pontos candidatos, definiu-se a quantidade de 43 escolas para serem abertas; e para as escolas de ensino fundamental, definiu-se 30, visto que o objetivo é que se tenha a localização otimizada com a quantidade de escolas existentes na cidade atualmente.

Em seguida, utilizou-se a rede viária de Montes Claros para que fosse mensurada a distância de caminhada residência-escola.

Com esses dados inseridos, foi gerada uma matriz de distância, a qual consta a distância de caminhada de cada ponto de domicílio para todos os pontos candidatos para abertura de uma escola.

Utilizando a matriz de distâncias foi inserido na janela *facility location* a quantidade de 43 escolas a serem abertas para a educação infantil e 30 para o ensino fundamental, utilizando a função objetivo que minimiza a distância média de caminhada da residência até a escola.

Após a análise, o *software* fornece as coordenadas das localizações ótimas, com isso é possível extrair a quantidade e a localização geográfica de moradias que cada escola atende, a distância de caminhada entre cada residência e a escola que lhe atende e o custo total por escola, que representa a somatória das distâncias de caminhada de todas as residências até a escola.

Uma vez obtida essa localização otimizada para as escolas de educação infantil e fundamental, analisou-se o nível de acessibilidade com base nos indicadores de Brau, Mercê e Tarrago (1980), utilizando a função *Service Area* presente na extensão *Network Analyst* do *software* ArcGIS. Esse procedimento permitiu que se comparasse qual a variação da área de cobertura com acessibilidade excelente, ótima, regular, baixa e péssima, proporcionada com a localização atual das escolas e a localização otimizada obtida com o uso do TransCAD.

RESULTADOS

ANÁLISE DA ACESSIBILIDADE

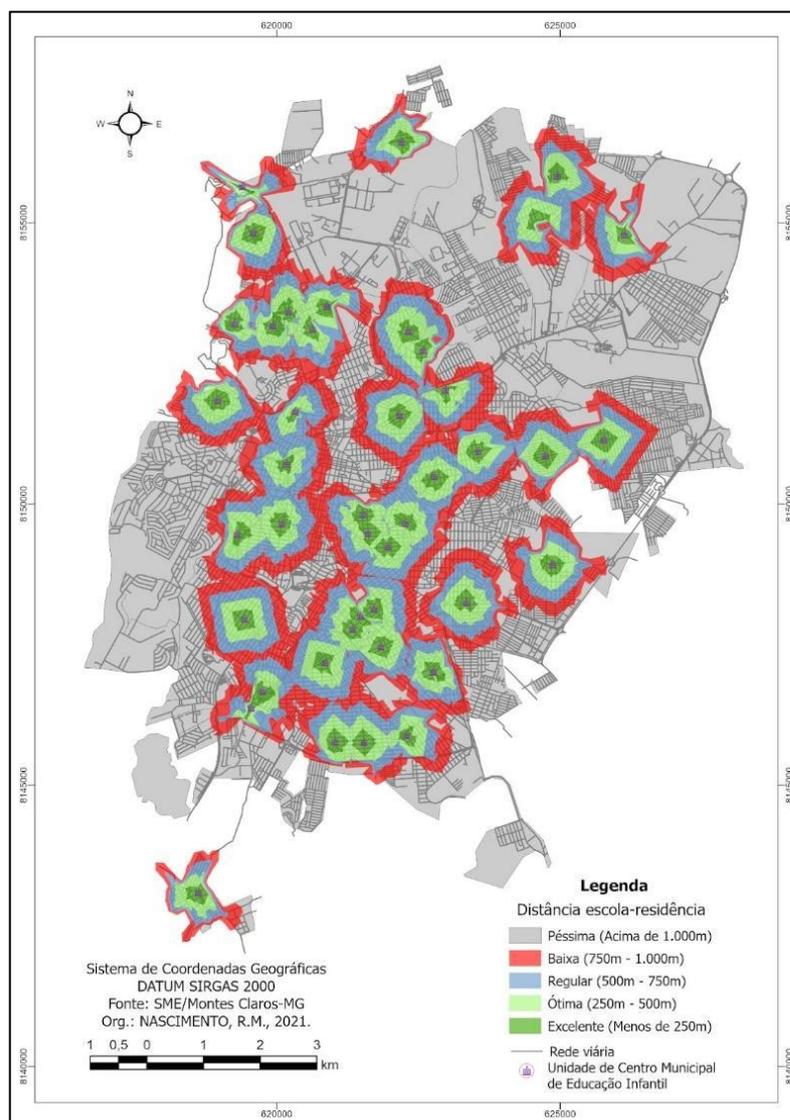
No contexto da análise da acessibilidade das escolas municipais da área urbana de Montes Claros, tem-se o Figura 3, que representa a espacialização dos CEMEIs da cidade com a qualificação da acessibilidade por meio da distância aluno-residência, conforme indicador produzido por Brau, Mercê e Tarrago (1980).

Diante disso, nota-se que, entre os CEMEIs disponíveis na cidade, há significativa concentração espacial dessas unidades nas regiões sul, central e oeste. Quando se observa a região norte, esse nível de proximidade e de quantidade dos CEMEIs não é mantido, constatando, nessa região, carência de instalações de ensino infantil, fazendo com que se observe extensas regiões com classificação de acessibilidade péssima.

A baixa concentração de escolas de educação infantil na região Noroeste pode ser explicada por conta do movimento comum na formação das cidades brasileiras, a saber:

crescimento acelerado e desordenado. Em Montes Claros, em função da urbanização da região norte ter sido de maneira abrupta e ausente de planejamento, em decorrência da implantação do distrito industrial, promoveu-se intensa concentração de indústrias a partir da década de 1970 e atraiu a população imigrante, dada a possibilidade de se conseguir um emprego, morar próximo ao trabalho e não ter gasto com transporte (CASTELLS, 1983).

Figura 3 - Qualificação da acessibilidade para as unidades de CEMEI da área urbana de Montes Claros - MG.



Fonte: Autores (2021).

Nesse sentido, dado que Montes Claros apresenta área urbana de aproximadamente 91,85 km², constata-se que cerca de 44,03 km² dessa extensão qualifica-se em regiões, com acessibilidade considerada péssima, isto é, os moradores inseridos em 47,9% da área urbana,

caso necessitem acessar uma unidade do CEMEI, a distância de caminhada entre a moradia e o CEMEI mais próximo ultrapassará 1.000 m.

Em relação à acessibilidade excelente, a cobertura espacial da cidade com essa qualificação é de apenas 4 km², o que, em percentual, corresponde a aproximadamente 4,35% da área urbana. Esse percentual é quase triplicado quando se observa a área percentual da cidade com acessibilidade ótima, que corresponde a 12%. Já o percentual da área urbana com distância de caminhada residência-escola entre 500 m e 750 m, tem valor aproximado de 16%.

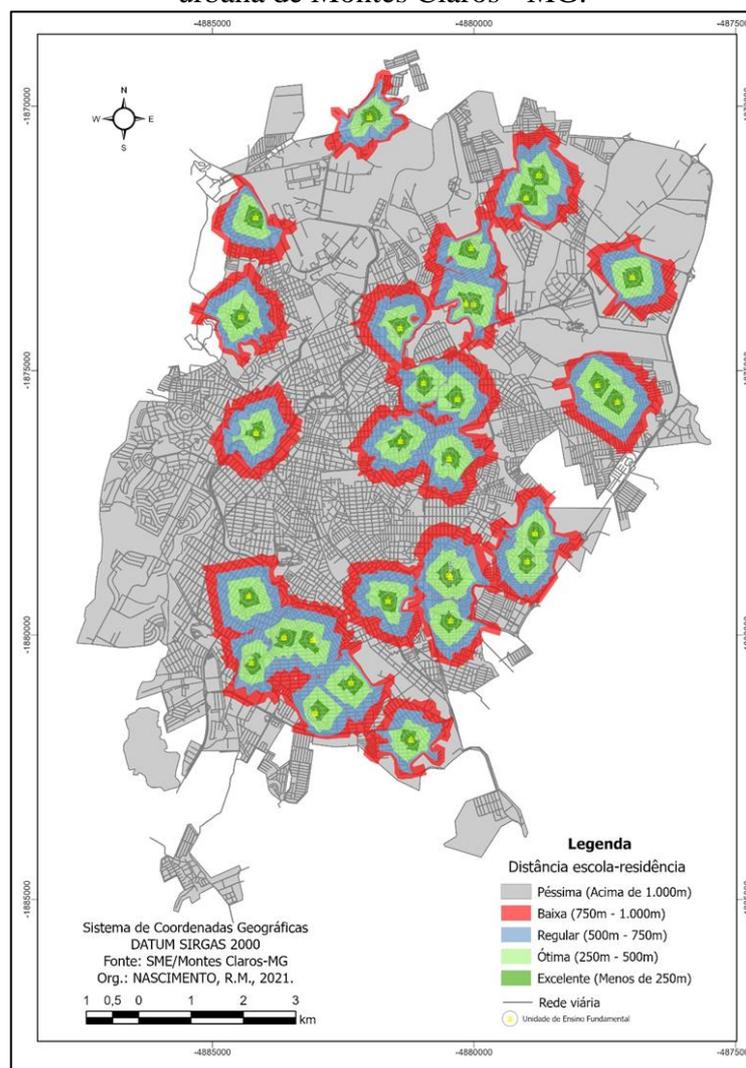
No que se refere à área urbana com acessibilidade baixa, o valor obtido é de 18,15 km², o que representa em percentual 19,8% da área urbana de Montes Claros.

Constata-se que, com a mesma quantidade de escolas que existem atualmente, pode-se diminuir o trajeto aluno-escola, sobretudo, por existirem escolas que distam menos de 250 m entre si, como nos casos dos CEMEI Manoel Caribé Filho e o CEMEI São Judas, resultando em sobreposição de área com acessibilidade excelente. Além disso, há outros que distam entre 500 m e 750 m entre si, a exemplo dos CEMEI Monteiro Lobato e CEMEI prof.^a Maria das Dores, o que gera interseção de áreas com acessibilidade regular. Essas áreas sobrepostas, caso as escolas tivessem outra localização geográfica, possibilitaria o encurtamento do trajeto residência-escola para os moradores de 33,97% da área da cidade, que precisam percorrer distância superior 1.000 m.

Esses desequilíbrios espaciais na distribuição de escolas municipais estão possivelmente atrelados aos processos de urbanização e expansão urbana que podem ter se dado em descompasso com o incremento da quantidade de escolas na cidade ou em razão de concepções de configuração da rede escolar que priorizaram a alocação de escolas em pontos específicos do espaço urbano.

Em relação às escolas de ensino fundamental da rede municipal, Figura 4, constata-se que apenas 2,78 km² da área da cidade é qualificada com acessibilidade excelente, ou seja, 3,03% em cobertura espacial da cidade capaz de proporcionar aos moradores uma distância de caminhada de até 250 m da residência até a escola. No que se refere à cobertura com acessibilidade ótima a área é de 8,19 km², enquanto a área com nível de acessibilidade considerado regular é de 11,26 km². Em relação à acessibilidade qualificada como baixa, a cobertura espacial é de 14,86 km², o que corresponde a aproximadamente 16,18% da área urbana de Montes Claros.

Figura 4- Qualificação da acessibilidade para as unidades de ensino fundamental da área urbana de Montes Claros - MG.



Fonte: Autores (2021).

Nessa perspectiva, observa-se que a maior parte da área urbana de Montes Claros apresenta péssima acessibilidade às escolas municipais de ensino fundamental. Cerca de 59,62% da área urbana da cidade é composta por residências em que a distância de caminhada até uma escola de ensino fundamental mais próxima ultrapassa a 1 km, o que equivale a uma área de 54,76 km².

Quando se compara a localização espacial das escolas de ensino infantil em relação as de ensino fundamental, observa-se que, por ter quantidade maior, os CEMEIs apresentam maior área de cobertura com nível de acessibilidade considerado excelente. Por conseguinte, a cobertura das escolas de ensino fundamental tem maior área com acessibilidade avaliada como péssima. Verifica-se que as escolas de ensino fundamental se localizam, em geral, nas regiões periféricas da cidade, ao contrário do que se constata com as escolas de educação

infantil, observando-se que as escolas de maiores capacidades estão também nas regiões mais afastadas da porção central.

Na região central da cidade, há carência de escolas municipal de ensino fundamental. Em Montes Claros, a rede de ensino fundamental é conveniada com a rede estadual de ensino, o que permite que a infraestrutura do estado possa ser utilizada para a matrícula de alunos com idade entre 6 e 14 anos. Como as escolas estaduais não são fruto de análise neste trabalho, essa lacuna espacial de escolas municipais pode ser que se encontre preenchida com escolas da rede estadual, diminuindo, pois, a distância de caminhada para os alunos que acessam o ensino fundamental na cidade.

ANÁLISE DA SOLUÇÃO OTIMIZADA PARA LOCALIZAÇÃO DAS ESCOLAS

A localização otimizada para as 43 escolas de ensino infantil, sugerida pelo modelo de p-mediana, foi capaz de mostrar a quantidade de domicílios atendidos, o custo médio, que corresponde à distância média de caminhada das moradias atendidas até a escola, o custo total, que equivale a soma da distância de todos os trajetos moradia até a escola com a identificação (ID) sugerida e a coordenada geográfica desses locais. O código ID é o ponto geográfico indicado pelo *software* como ideal para localização entre os 131.864 pontos disponíveis. Na Tabela 4 são apresentados esses indicadores.

Tabela 4: Solução ótima encontrada para a localização dos CEMEI's em Montes Claros – MG

ID	Domicílios Atendidos	Custo médio (m)	Custo total (Km)	Latitude	Longitude
56389	856	486,75	416,66	618676,63	8143059,48
87002	1.873	652,88	1.222,84	618534,77	8146887,32
69308	3.773	513,85	1.938,74	619948,61	8146802,79
54185	4.342	500,82	2.174,57	619520,49	8147985,75
35189	1.310	661,78	866,94	618529,36	8148452,3
120311	1.818	769,24	1.398,48	618466,92	8150019,27
81062	3.113	516,73	1.608,57	619768,47	8149138,97
8954	2.650	539,05	1.428,48	618717,99	8151596,16
128455	1.240	501,98	622,46	620691,44	8145074,87
39617	3.025	476,25	1.440,67	620755,47	8146291,26
112803	3.664	494,67	1.812,45	621606,2	8145859,89
31445	4.096	584,41	2.393,75	621021,16	8147342,62
51988	1.587	564,52	895,89	622747,94	8145560,82
115321	4.231	552,93	2.339,45	622137,25	8147890,27
125634	2.451	577,23	1.414,80	622757,25	8146774,63
41794	1.489	557,24	829,73	623529,28	8146700,67
116599	4.106	607,74	2.495,38	623545,49	8148315,12
108984	3.272	537,86	1.759,88	620992,5	8148961,68
32473	3.499	474,04	1.658,68	621356,12	8149645,01
19237	3.403	586,17	1.994,74	620244,04	8150257,78
111752	2.454	599,15	1.470,31	620253,68	8151314,16
71906	3.940	567,89	2.237,48	621364,23	8150774,4
71130	4.359	575,16	2.507,11	622414,05	8149124,7

97422	4.320	609,88	2.634,68	622219,39	8151753,11
50668	3.633	658,72	2.393,12	622993,43	8150466,08
14680	3.979	756,90	3.011,69	623637,6	8151780,5
117708	3.149	531,65	1.674,18	619625,96	8152934,47
43811	3.524	512,08	1.804,57	619664,13	8154453,86
118602	796	596,37	474,71	620109,8	8155923,3
79969	4.998	493,72	2.467,62	620367,67	8153328,51
36568	2.152	591,81	1.273,58	621235,8	8152427,77
94188	4.445	588,08	2.614,02	622440,15	8153441,08
47618	3.919	780,98	3.060,64	623584,66	8153880,43
102856	2.108	734,18	1.547,65	622285,36	8157257,3
89349	4.172	577,73	2.410,28	623826,91	8149505,89
27122	3.447	625,44	2.155,90	624811,39	8148572,18
96265	2.571	592,86	1.524,24	624793,92	8150999,23
61055	633	259,55	164,30	626667,82	8149666,77
108509	3.721	581,53	2.163,87	626155,36	8150818,96
23021	3.587	572,09	2.052,07	626640,06	8151683,86
873	3.761	829,73	3.120,61	626757,2	8153639,49
85166	2.387	641,81	1.532,01	623968,1	8155654,25
19704	4.011	742,99	2.980,13	625187,63	8155815,31

Fonte: Autores (2021).

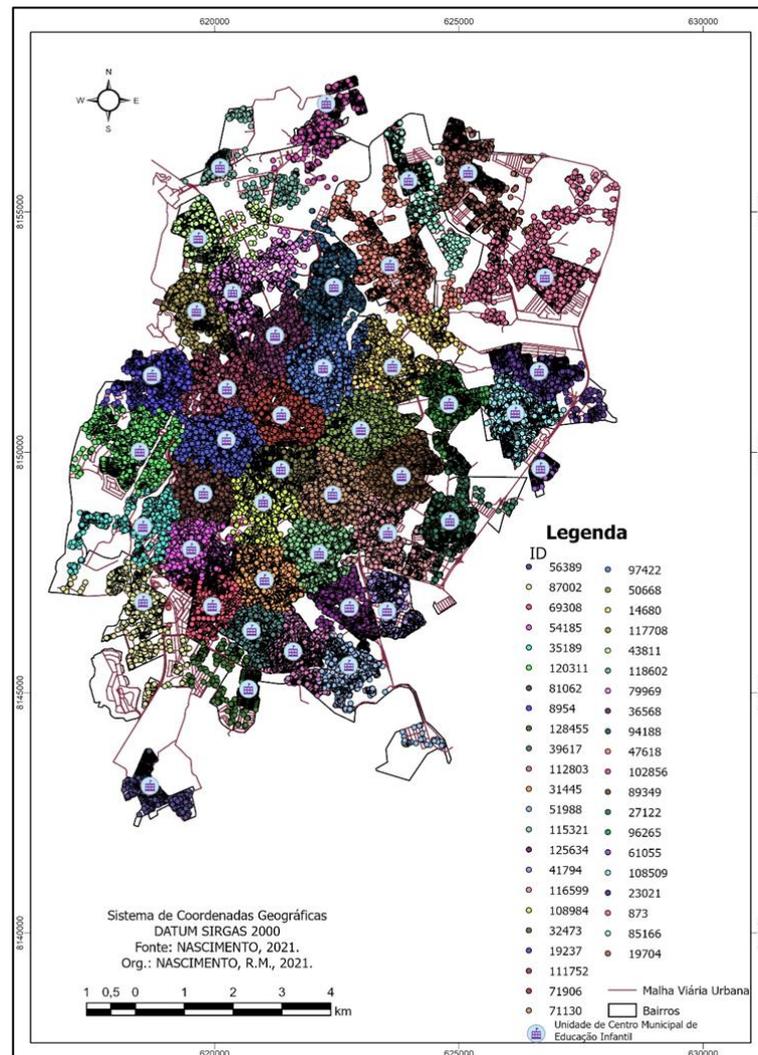
Para todas as escolas a distância média de caminhada foi inferior a 1.000 m, sendo que a maior média é de 828,73 m, sugerindo que, na média, nenhuma das escolas tem acessibilidade péssima, conforme os indicadores de acessibilidade de Brau, Mercê e Tarrago (1980). Em relação à quantidade de moradias atendidas por cada escola, observa-se que o número varia de 633 até 4.998, levando-se em conta que a capacidade das escolas tende a ser maior conforme o nível de adensamento de residências de cada região da cidade.

Um importante indicador obtido por meio de análise de localização otimizada é o custo total do sistema, o que nessa aplicação corresponde à soma das distâncias de todas as moradias até as respectivas escolas responsáveis pelo atendimento. À medida que esse valor aumenta, significa que os moradores precisam percorrer maiores distâncias para acessar uma escola.

Na proposta de localização para os CEMEIs, encontrou-se um custo total equivalente a 77.987,93 km.

Na prática, a Figura 5 indica qual é o conjunto de moradias que cada uma das 43 escolas irá atender, e as escolas estão identificadas pelo código de identificação (ID), relacionado na Tabela 4. Pode-se observar a delimitação da área a ser atendida por cada ponto.

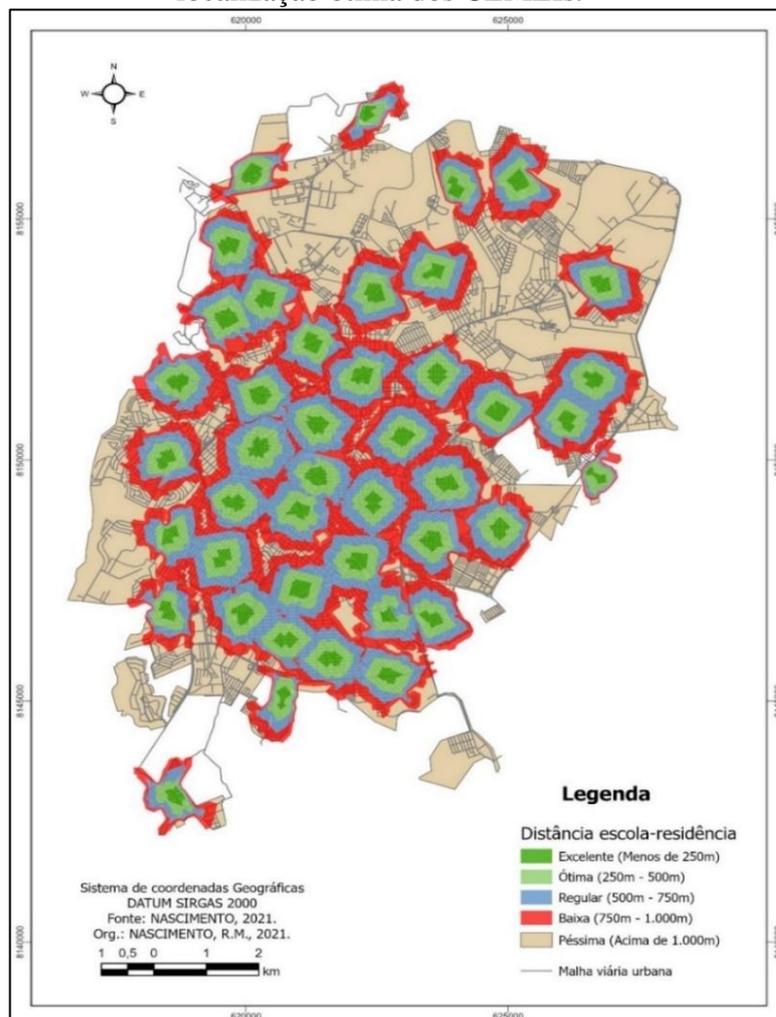
Figura 5: Identificação das moradias atendidas pelos CEMEIs com localização otimizada.



Fonte: Autores (2021).

No que se refere à análise da acessibilidade, a Figura 6 indica a localização ótima encontrada para as 43 unidades de CEMEI, em conjunto com a qualificação da área urbana em relação à distância de caminhada residência-escola, baseado em Brau, Mercê e Tarrago (1980).

Figura 6 - Qualificação da acessibilidade por meio da distância residência-escola para a localização ótima dos CEMEIs.



Fonte: Autores (2021).

Nota-se que a área da cidade com distância de caminhada menor que 250 m é de aproximadamente 4,4 km² e para distância de caminhada entre 250 m e 500 m a área é de 14,58 km². Em percentagem, 4,8% da área é excelente e 15,9%, ótima. Além disso, a área de 20,8 km² é qualificada como regular e de 23 km², em baixa, restando apenas 29,07 km² de área classificada com acessibilidade péssima.

Na área de cobertura qualificada com acessibilidade excelente, houve aumento de 10%. Já para área com acessibilidade ótima, houve incremento de 32,3%, enquanto que na área com acessibilidade regular o aumento foi de 42%, passando de 14,65 km² para 20,8 km². Obteve-se variação de 26,7% para a área considerada como acessibilidade baixa, tendo valor inicial de 18,15 km² e, após otimização da localização dos CEMEIs, o valor obtido é de 23 km².

Nessa perspectiva, constata-se que, com a mesma quantidade de escolas que existem atualmente, pode-se diminuir o trajeto aluno-escola, sobretudo, por existirem escolas que

distam menos de 250 m entre si, resultando em sobreposição de área com acessibilidade excelente. Ademais, há outros que distam entre 500 m e 750 m entre si, o que gera interseção de áreas com acessibilidade regular. Essas áreas sobrepostas, caso as escolas tivessem outra localização geográfica, possibilitaria o encurtamento do trajeto residência-escola para os moradores de 33,97% da área da cidade, que precisam percorrer distância superior 1.000 m.

No que diz respeito a solução ótima para as escolas de ensino fundamental, a Tabela 5, traz os indicadores de domicílios atendidos, custo médio, custo total e o código ID associado a coordenada geográfica da localização sugerida como ótima.

Verifica-se que a distância média de caminhada encontrada varia entre 486,75 m e 940,21 m, o que implica, de acordo com os indicadores de acessibilidade adotados nessa pesquisa, que, em média, a acessibilidade é regular e baixa, respectivamente. Não se observa nenhuma escola com distância média de caminhada superior a 1.000 m (acessibilidade péssima).

Tabela 5 - Solução ótima encontrada para a localização das unidades de ensino fundamental em Montes Claros – MG

ID	Domicílios Atendidos	Custo médio (m)	Custo total (Km)	Latitude	Longitude
56389	856	486,75	416,66	618676,63	8143059,48
87002	1.941	689,64	1.338,58	618534,77	8146887,32
65831	4.185	569,34	2.382,68	619988,12	8146835,01
55788	5.430	667,88	3.626,60	619405,38	8147860,92
120087	2.045	822,57	1.682,15	618522,47	8149972,66
67751	4.347	662,55	2.880,11	619795,99	8149300,41
110603	3.045	629,7	1.917,45	618868,79	8151711,89
128455	1.251	507,63	635,05	620691,44	8145074,87
112803	6.506	728,37	4.738,77	621606,2	8145859,89
4399	5.095	649,94	3.311,44	620971,52	8147265,36
115321	5.104	627,75	3.204,04	622137,25	8147890,27
115130	3.567	920,95	3.285,03	623169,26	8146584,88
18390	5.577	621,62	3.466,76	620855,59	8149372,52
9249	5.933	786,68	4.667,39	620783,85	8150923,74
34352	4.301	567,09	2.439,04	622149,76	8149068,45
63695	5.073	620,95	3.150,07	623430,9	8148613,3
13299	4.863	733,59	3.567,46	623577,98	8149859,65
49309	5.454	691,15	3.769,51	622154,69	8150305,86
101226	6.687	826,92	5.529,60	622353,43	8151882,07
43984	4.239	752,67	3.190,58	619720,93	8154585,21
91613	8.675	730,7	6.338,80	620203,27	8153152,61
94188	4.542	621,27	2.821,80	622440,15	8153441,08
47089	3.979	802,52	3.193,24	623630,41	8153763,8
102856	2.230	836,14	1.864,60	622285,36	8157257,3
61558	3.783	683,37	2.585,18	624739,48	8148603,67
104140	4.591	841,05	3.861,24	624274,02	8151494,26
17975	8.400	940,21	7.897,76	626254,61	8151188,08
873	3.759	829,06	3.116,45	626757,2	8153639,49
85166	2.395	640,02	1.532,85	623968,1	8155654,25
19704	4.011	742,99	2.980,13	625187,63	8155815,31

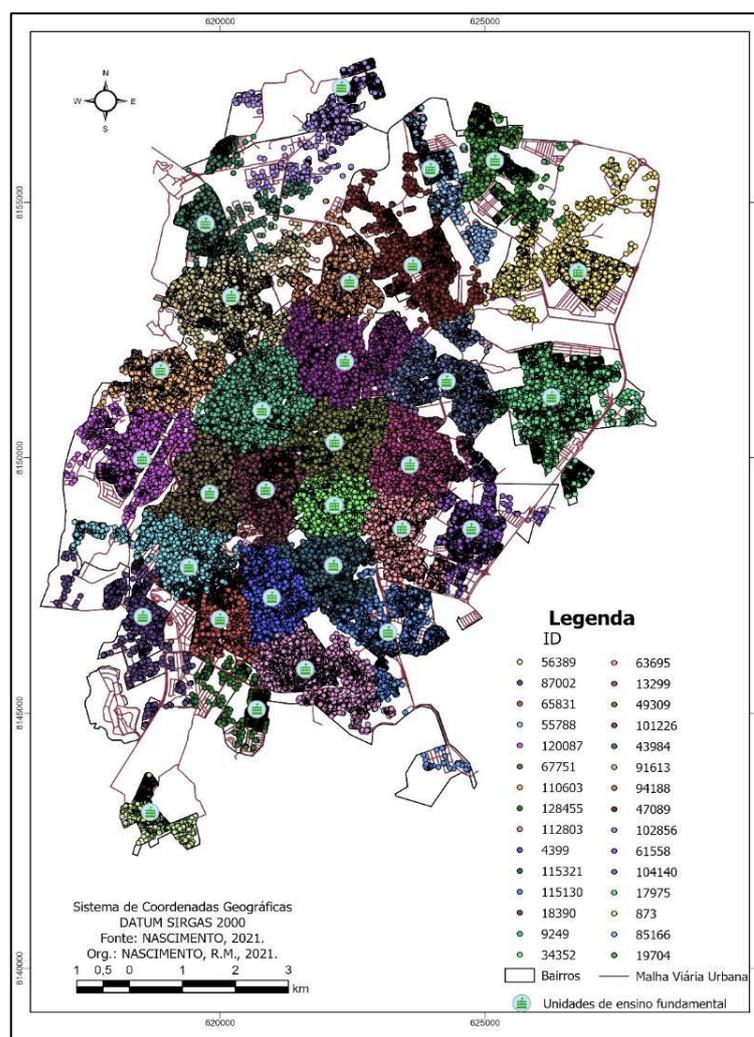
Fonte: Autores (2021).

Quanto à quantidade de domicílios atendidos, esse valor varia entre 856 e 8.675.

O custo total obtido, correspondendo a distância de caminhada da moradia até a escola para todos os domicílios, é de 95.391,02 km.

A Figura 7 apresenta o conjunto de moradias que cada uma das 30 escolas irá atender, e as escolas estão nominadas pelo código de identificação (ID), relacionado na Tabela 5.

Figura 7 - Identificação das moradias atendidas pelas unidades de ensino fundamental com localização otimizada.

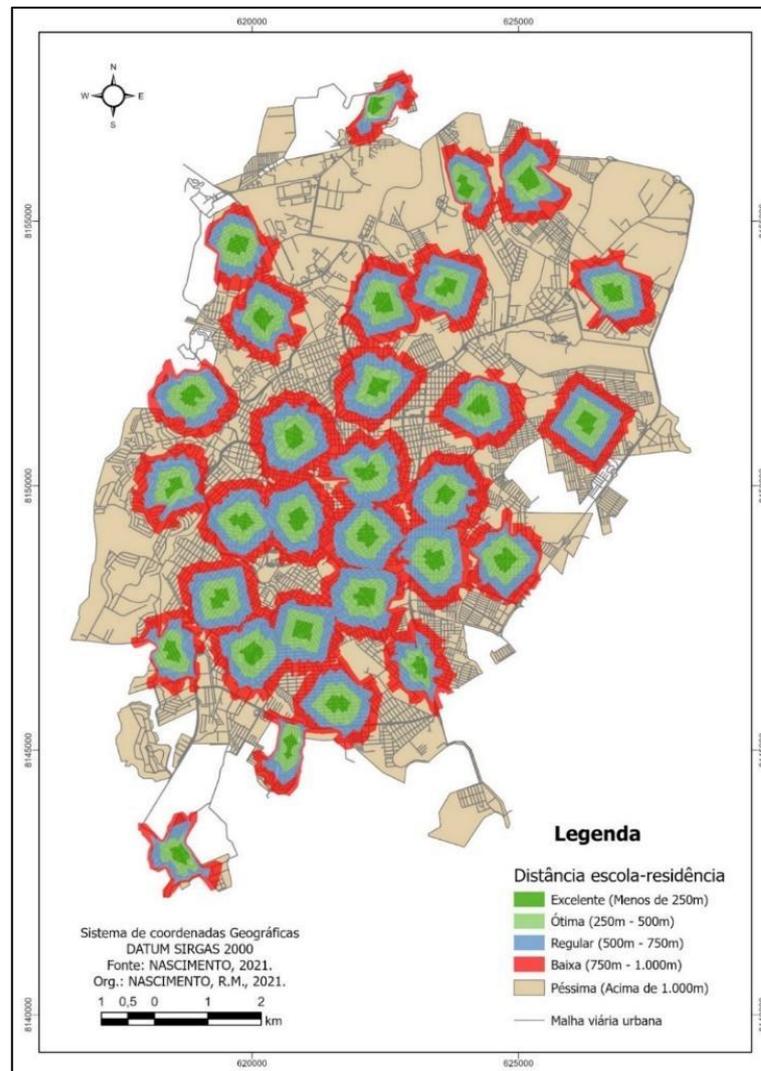


Fonte: Autores (2021).

No que se refere a acessibilidade, Figura 8, constata-se que 3,05 km² de área da cidade é caracterizada com distância de caminhada considerada excelente, 10,14 km² é classificada como ótima e 15,55 km², como regular. A área com classificação baixa, o valor é de 21,45 km², restando 41,66 km² com classificação tida como péssima, isto é, 45,36% do espaço da

cidade proporciona aos moradores distância de caminhada até a escola de ensino fundamental mais próxima uma distância superior a 1.000 m.

Figura 8 - Qualificação da acessibilidade por meio da distância residência-escola para a localização ótima das unidades de ensino fundamental.



Fonte: Autores (2021).

Quando se compara esses dados de área de cobertura, obtidos pela localização otimizada, com os obtidos por meio da localização atual dessas escolas, observa-se que houve aumento de aproximadamente 9,7% na área de cobertura que promove acessibilidade excelente aos moradores; 23,8% na área classificada como ótima; e de 38,1%, na área com distância de caminhada de 500 m a 750 m até a escola. Observa-se melhoria da área que proporciona distância de caminhada entre 750 m e 1.000 m, com aumento de 44,3%. Por

consequente, verificou-se redução de aproximadamente 23,9% na área classificada como péssima.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou a localização atual das escolas públicas municipais da área urbana de Montes Claros, MG, no que diz respeito ao nível de acessibilidade. Os dados permitem propor uma localização otimizada para o número de escolas que atualmente a cidade dispõe. Em outras palavras, buscou-se entender o nível de acessibilidade que a disposição atual das escolas públicas municipais da cidade oferece e propor soluções para melhorar a acessibilidade dos moradores às escolas em pauta.

A aplicação da função *Service Area* indicou o nível de acessibilidade na área urbana em relação às escolas, demonstrando que, na maior parte da área da cidade, os moradores precisam se deslocar mais de 1.000 m para acessar uma unidade de educação infantil ou uma unidade de ensino fundamental.

Na perspectiva da solução otimizada para a localização das escolas públicas municipais, constatou-se que as áreas de cobertura com acessibilidade considerada excelente, ótima, regular e baixa aumentaram e as áreas com acessibilidade péssima reduziram consideravelmente, tanto para as escolas de educação infantil quanto para as escolas de ensino fundamental.

Os dados, ora citados, revelam que por meio do planejamento é possível minimizar as distâncias de trajeto residência-escola e evitar a má distribuição das escolas no espaço urbano. A tomada de decisão de instalação de escolas de modo racional pode atenuar fatores que estimulem o desinteresse ou evasão dos alunos nas escolas, ao evitar longos trajetos de caminhada e necessidade de uso de recursos para utilização de transporte público no percurso residência-escola.

O estudo auxilia os gestores públicos a entender o cenário atual da localização das escolas municipais em Montes Claros, MG, identificando áreas em que os moradores precisam percorrer longos trajetos para acessarem uma escola. Esse conjunto de informações pode subsidiar projetos de instalação de novas escolas, melhorar a acessibilidade e, consequentemente, a qualidade de vida da população.

Para além da perspectiva espacial, garantir escolas públicas acessíveis está diretamente relacionado à perspectiva de transformação social de uma população de baixa renda e que se insere num cenário de vulnerabilidade social.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se que seja inserido na análise as escolas da iniciativa privada, no intuito de entender se há concentração dessas instalações em determinadas áreas da cidade e quais as regiões que apresentam maior demanda por esse tipo de serviço, o que apontaria para uma análise ampla da rede escolar.

Ademais, sugere-se que, aliado ao nível de acessibilidade da escola sejam relacionadas a qualificação dessas escolas frente aos exames nacionais que medem o desempenho dos alunos. Isto é, existiria uma correlação entre localização das unidades escolares e desempenhos nos exames nacionais de desempenho escolar? As escolas situadas em regiões que os alunos precisam percorrer distâncias maiores têm indicadores educacionais inferiores ou não? Esses questionamentos podem ser objeto de futuros trabalhos de relevância.

Diante do exposto, ficou evidenciado que a coleta de dados referentes à população que acessa as unidades de educação pública é imprescindível para que se estabeleça o planejamento e a racionalização da tomada de decisão para o dimensionamento espacial das escolas. Soma-se a isso a importância de se utilizar os SIGs, em função da alta capacidade de executar análises espaciais e representá-las em formato de mapas, subsidiando decisões acertadas.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 9050. Norma Brasileira de Acessibilidade de Pessoa Portadora de Deficiência à Edificações, Espaço Mobiliário e Equipamento Urbano. Rio de Janeiro: **Associação Brasileira de Norma Técnica**.

BARCELOS, F. B.; PIZZOLATO, N. D.; LORENA, L. A. N. Localização de Escola de Ensino Fundamental com Modelo Capacitado e Não-Capacitado: Caso de Vitória/E. **Pesquisa Operacional**, v. 24, n. 1, p. 133-149, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/>. Acesso em: 05 jun. 2021.

BATISTA, G.; ORTH, D.; BORTOLUZZI, S. Geoprocessamento para determinação de acessibilidade aos equipamentos educacionais como ferramenta de apoio ao Estudo de Impacto de Vizinhança: estudo de caso na Planície do Campeche. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 15. 2011, Florianópolis, SC. Anais... Florianópolis, SC, 2011.

BRASIL. Lei nº 10.172, de 09 de janeiro de 2001. Aprova o Plano Nacional de Educação e dá outras providências. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**, Brasília,

- DF, 10 jan. 2001 Disponível em:
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110172.htm. Acesso em: 13 nov. 2020.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil, Subchefia para Assunto Jurídico. **Lei n. 6.766 de 1979**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/lei/l6766.htm. Acesso em: 08 maio 2020.
- BRAU, L.; MERCE, M.; TARRAGO, M. **Manual de urbanismo**. Barcelona: LEUMT, 1980.
- BRUNO, G.; GENOVEE, A.; PICCOLO, C; and STERLE, C. **A Location Model for the Reorganization of a School System: The Italian Case Study**. Procedia - Social and Behavioral Sciences, v. 108, p. 96-105, 8 Jan. 2014.
- CAMPO FILHO, C. M. **Cidade brasileira: eu controlo ou caso: o que os cidadãos devem fazer para a humanização da cidade no Brasil**. 3.ed. São Paulo: Studio Nobel, 1999.143p.
- CASTELLS, M. A questão urbana. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983.
- FERRARI, R. **Viagem ao IG: Planejamento Estratégico, Viabilização, Implantação e Gerenciamento de Sistema de Informação Geográfica**. 1º ed. Curitiba: Sagres Editora, 1997.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Censo Escolar**. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/pesquisas-estatisticas-e-indicadores/censo-escolar>. Acesso em: 18 fev. 2021.
- LEFEBVRE, Henri. **A Revolução Urbana**. Belo Horizonte: Humanitas, 2002.
- LEITE, M. E.; PEREIRA, A. M.; NOBRE, B. A.; MARTIN, A. S. Monitoramento da dinâmica no uso do solo urbano de Montes Claros. **Caminhos de Geografia**, v. 15, n. 51p. 172–180, 2014.
- LORENA, L. A. N.; ENNE, E. L. F.; PAIVA, J. A. C.; PEREIRA, M. A. Integração de modelos de localização de Sistema de Informações Geográficas. **Gestão e Produção**, v.8, n.2, p.180-195, 2001.
- MALLER, R. GANDOLPHO. **Localização de escola de Ensino Fundamental: caso de Itaipava/RJ**. Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis - REUCP, Petrópolis, v. 8, nº 2, p. 108-123, 2014. Disponível em: <https://seer.ucp.br/seer/index.php?journal=REVCEC&page=article&op=view&path%5B%5D=529>. Acesso em: jun. 2021.
- MAPA, S. M. S.; LIMA, R. S. Uso combinado de sistema de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problema de localização de instalações. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, p.119-136, 2012.
- MENEZES, R. C. **O uso do SIG – Sistema de Informação Geográfico – para o apoio à decisão no planejamento da localização da Escola Municipais em Guaratiba, Rio de**

- Janeiro**. 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- MENEZES, R. F.; and PIZZOLATO, N. D. Locating public schools in fast expanding areas: application of the capacitated p-median and maximal covering location models. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro, v. 34, n. 2, p. 301-317, 2014.
- MORAES, F. A.; GOUDARD, B.; OLIVEIRA, R. Reflexões sobre a cidade, seus equipamentos urbanos e a influência destes na qualidade de vida da população. *Revista Internacional Interdisciplinar INTHERthesis*, v. 5, n. 2, 2008.
- NDIAYE, F.; NDIAYE, B.; LY, I. Application of the p-Median Problem in School Allocation. **American Journal of Operations Research**, Vol. 2 No. 2, 2012, p. 253-259.
- NDULUMBA, A. M. L. **Modelação Espacial para Determinação da Localização Ótima de Escola Itinerantes. Caso de Estudo: Populações em Transumância no Município dos Gambos, Província Huíla em Angola**. 2018. 111f. Dissertação. (Mestrado) - Faculdade de Ciências Sociais e Humana, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2018.
- PIZZOLATO, N. D.; BARROS, A. G.; BARCELOS, F. B.; CANEN, A. G. Localização de escolas públicas: síntese de alguma linha de experiência no Brasil. **Pesquisa Operacional**, v. 24, n. 1, p. 111-131, 2004.
- SANTOS, Milton. **A Urbanização Brasileira**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2009. 176p.
- SILVA, S. A. DA; KONRATH, A. C.; BORNIA, A. C. Otimização utilizando a heurística da p-mediana para identificar locais para instalação de instituto federais no estado de Santa Catarina. **Exacta**, v. 19, n. 1, p. 150–165, 25 mar. 2021.
- TEIXEIRA, A. **Educação é um direito** 4. ed. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2009.
- TEIXEIRA, J. C.; ANTUNES, A. P. A. Hierarchical location model for public facility planning. **European Journal of Operational Research**, v. 185, p. 92–104, 2008.
- TEIXEIRA, J.; ANTUNES, A.; PEETERS, D. An optimization-based study on the redeployment of a secondary school network, **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science.**, v. 34, n. 2, p. 296-315, Apr. 2007.
- TORRES, H. G. Demografia urbana e políticas sociais. **Revista Brasileira de Estudo de População**, v. 23, n. 1, p. 27- 42, 2006.
- TORRES, H. G. Informação demográfica e política pública na escala regional e local. In: **"Reunión de expertos sobre población y desarrollo local"**. Santiago, Chile: Celade/Cepal, 2005.

VILLAÇA, Flavio. **Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil.** Processo de Urbanização no Brasil. São Paulo: EdUSP, 2004.

Artigo recebido em: 30 de maio de 2023.

Artigo aceito em: 30 de agosto de 2023.

Artigo publicado em: 05 de setembro de 2023.