

# UTILIZAÇÃO DO MÉTODO FUZZY AHP PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS SUSTENTÁVEIS DE LOTES URBANOS RESIDENCIAIS NA CIDADE DE MARINGÁ - PR

*Mario Henrique Bueno Moreira Callefi<sup>1</sup>, Jose Luiz Miotto<sup>2</sup>, Rafaela Vilas Boas Silva<sup>3</sup>,  
Diego Vieira Ramos<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Docente do Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade Estadual de Maringá- UEM, Campus Goioerê/PR, Mestre em Engenharia Urbana; doutorando em Engenharia de Produção UEM -mariocallefi@gmail.com

<sup>2</sup>Docente do Departamento de Engenharia Civil – UEM - jlmiotto@uem.br

<sup>3</sup>Arquiteta e Urbanista, Mestre, Pesquisadora do Programa de Engenharia Urbana, PEU/UEM - rafaelavbs@hotmail.com

<sup>4</sup>Docente do departamento de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário Ingá (Uningá); Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geografia/ Universidade Estadual e Maringá (UEM) - diego.vieira.arquitetura@gmail.com

## RESUMO

A sustentabilidade é um tema que cada vez mais vêm ganhando importância na prática e na literatura. Sabendo que a construção civil é responsável por grandes impactos ao meio ambiente, é essencial que se desenvolva ações para tornar o setor mais sustentável. Nesse sentido, surgiram as certificações das edificações sustentáveis, que poderiam garantir o alinhamento de uma edificação nos aspectos da sustentabilidade. Porém, nas certificações existentes existe um foco superficial nas questões relacionadas ao lote. Sabendo disso, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de avaliação dos aspectos sustentáveis de lotes urbanos residenciais na cidade de Maringá - PR por meio da utilização do método Fuzzy AHP para cálculo do peso dos critérios e indicadores definidos. Composto pois 26 critérios, divididos em seis indicadores, o sistema de avaliação proposto irá possibilitar avaliar se um lote urbano residencial apresenta um não características que demonstre seu potencial sustentável. Porém, a partir do cálculo do peso dos critérios, 8 critérios apresentados apresentaram pesos zerados ou insignificantes, resultando assim em um sistema de avaliação composto por 18 critérios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lotes urbanos; Fuzzy AHP; Aspectos sustentáveis.

## 1 INTRODUÇÃO

O correto funcionamento da economia, e para a promoção de uma sociedade em que exista justiça social, é preciso que sejam desenvolvidas ações para se garantir a preservação do meio ambiente, deste modo, priorizando o equilíbrio entre os três pilares da sustentabilidade: meio ambiente, sociedade e economia (FINKBEINER et al., 2010).

Nesse contexto, é preciso ressaltar que a indústria da construção civil está entre as principais consumidoras de recursos naturais e geradores de impactos ambientais. Em um cenário em que as questões ambientais passaram a ter uma expressiva importância no cenário global, tornou-se necessário incentivar a adoção de medidas para garantir que os novos edifícios possuam características que contribuam para o aumento da eficiência ambiental (BALABAN, 2012).

Como forma de garantir essa sustentabilidade ao setor da construção civil, foram criadas as certificações que fossem capazes de fornecer uma metodologia de avaliação dos aspectos sustentáveis de uma edificação. Entre essas questões, podemos citar os aspectos ligados a eficiência elétrica, quantidade de resíduos gerados nas etapas de construção edificação, entre outros aspectos (MATTONI et al., 2018).

Apesar da grande importância das certificações relacionadas as edificações sustentáveis, Kosanović e Fikfak (2016) apontam que essas certificações se concentram em questões relacionadas ao entorno da edificação, bem como características físicas da própria construção. Dessa forma, os autores expõem que aspectos ligados ao próprio lote é praticamente deixada de lado nesse tipo de certificação.

Além disso, Callefi, Miotto e Silva (2020) apontam que é essencial que se desenvolvam ferramentas que possibilitem identificar de maneira satisfatória o quanto um

lote pode estar ou não alinhado aos aspectos fundamentais da sustentabilidade. Kosanović e Fikfak (2016) também destacam que é essencial o entendimento se um determinado lote pode ser considerado adequado para se implantar uma edificação considerada sustentável.

Nesse sentido, é preciso ressaltar que indicadores podem ser utilizados para a avaliação das características dos lotes urbanos residenciais, ligadas à dimensão ambiental do conceito de sustentabilidade. Uma vez que eles permitem analisar de maneira empírica determinado cenário (CALLEFI; MIOTTO, SILVA, 2020).

Para suporte no processo de avaliação da sustentabilidade podem ser utilizados os métodos de análise multicritério, que de acordo com Belton e Stewart (2001), são metodologias que possibilitam a tomada de decisões a partir da definição e da análise de critérios relacionados com o problema proposto, possibilitando que dentro de um cenário estabelecido sejam identificadas as melhores opções em comparação a outras.

Entre os diversos métodos de análise multicritério existentes está o AHP ou Analytic Hierarchy Process, que pode ser definido como sendo um método de avaliação que realiza a comparação por pares a partir de determinados critérios (SAATY, 2008). Porém, o método Fuzzy AHP surgiu como uma opção mais adequada do ponto de vista da praticabilidade e viabilidade, uma vez que ele apresenta menor tempo computacional de execução e maior estabilidade e simplicidade (YANG et al., 2019). O Fuzzy AHP é amplamente aplicado para abordar a incerteza da tomada de decisão, que tem sido aplicada em muitos campos, como seleção e avaliação de fornecedores (TIAN et al., 2017).

Nesse contexto, esse artigo abrange a elaboração de um sistema para se avaliar lotes urbanos residenciais sob o enfoque da sustentabilidade, que por meio da definição de indicadores e critérios ligados às certificações das construções sustentáveis e da literatura internacional que aborda o tema, possibilitará a análise das características sustentáveis desse tipo de lote.

## **2 INDICADORES OU CRITÉRIOS RELACIONADOS AOS ASPECTOS SUSTENTÁVEIS DE LOTES URBANOS**

Para que a avaliação da sustentabilidade dos lotes seja realizada corretamente é necessário que esse processo seja baseado nos principais fatores relacionados com a utilização do solo urbano ambientalmente correta, entre eles: a qualidade do ar, recursos hídricos, características do terreno e do ecossistema natural (JUNG; LEE, 2012).

Para a realização dessa avaliação torna-se necessário que seja empregado indicadores ou critérios, os quais possibilitam que os lotes urbanos sejam avaliados de forma que se possa se verificar o grau de conformidade que o lote analisado está dos padrões sustentáveis preestabelecidos.

Tanto na literatura, bem como na esfera técnica (ex: certificações das construções sustentáveis) ainda é encontrado um reduzido número de indicadores ou critérios que estejam relacionados a temática dos aspectos sustentáveis de lotes urbanos.

Para verificar os indicadores e critérios existentes na literatura envolvendo essa temática, foram realizadas buscas nas bases de dados científicos Science Direct e Web of Science. As seguintes strings foram inicialmente selecionadas para pesquisas nas bases: "site\*"; "land\*"; "lot\*"; "indicator\*"; "criteri\*"; "sustaina\*"; "index\*"; "urban"; "cit\*". Com combinações entre as strings foram realizadas as pesquisas nas bases.

A partir da realização dessa busca nas bases científicas foram selecionados quatro artigos: Azouz e Galal (2016), Jung e Lee (2012), Kosanović e Fikfak (2016) e Yu e Xudong (2016). Esses trabalhos foram os únicos que apresentavam critérios ou indicadores pertinentes e significativos para a pesquisa.

Azouz e Galal (2016) estabelecerem critérios para se avaliar lotes sustentáveis no contexto da escolha de lotes para a construção de hotéis. Nesse estudo o foco principal era

garantir a redução dos impactos negativos da implantação do empreendimento na comunidade local. Os critérios apresentados foram definidos a partir da análise de diferentes certificações, entre elas o DGNB for Hotels, LEED V4 BD+C: Hospitality, The Pearl Rating System for Estidama V.1 (PBRs). Além disso, os critérios definidos foram organizados em três categorias: seleção do lote e qualidade, local de proteção e desenvolvimento e construção da atividade prevenção de poluição.

Kosanović e Fikfak (2016) desenvolveram critérios para avaliação ecológica de lotes residenciais privados em áreas urbanas. O estudo foi realizado nas cidades de Belgrado, na Sérvia, e Liubliana, na Eslovênia.

Jung e Lee (2012) definiram fatores para simplificar a seleção de alternativas de lotes que sejam ambientalmente adequados. E Yu e Xudong (2016) definiram índices ecológicos para avaliação da adequação de terras, ou seja, determinar o quão adequado ecologicamente um lote pode ser.

### 3 FUZZY AHP

O Fuzzy AHP foi inicialmente proposto por Van Laarhoven e Pedrycz (1983), os quais se basearam no método proposto por Saaty, e desenvolveram um método difuso para ser empregado na tomada de decisões. Segundo Chang (1996), o Fuzzy AHP é uma metodologia que se utiliza de julgamentos comparativos difusos, os quais são representados através de números difusos triangulares.

Um número Fuzzy triangular  $M(l, m, u)$  em  $R$  como um número difuso triangular se sua função de pertinência for igual a Equação 1:

$$(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} - \frac{l}{m-l}, & x \in [m, u] \\ \frac{x-u}{m-u} - \frac{u}{m-u}, & x \in [l, m] \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

Existem diversas técnicas relacionadas ao Fuzzy AHP, porém uma das mais utilizadas é a de Chang (1996), a qual se utiliza de extensões difusas para se realizar o cálculo dos pesos das matrizes de comparação difusas (AHMED; KILIC, 2015).

Dessa forma, o presente trabalho irá utilizar o método Fuzzy AHP proposto por Chang (1996). Nove etapas devem ser realizadas para possibilitar o cálculo dos pesos dos indicadores e critérios propostos.

A primeira etapa envolve a identificação dos critérios e o estabelecimento da hierarquia do problema. A segunda etapa consiste na realização da comparação entre os pares conforme a escala apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1:** Escala fundamental de julgamento de importância do método Fuzzy AHP

Variável linguística	Números Fuzzy
Igual importância	(1, 1, 1)
Fraca ou Ligeira	(1, 2, 3)
Importância Moderada	(2, 3, 4)
Moderada +	(3, 4, 5)
Importância Forte	(4, 5, 6)
Forte +	(5, 6, 7)
Muito forte	(6, 7, 8)
Muito, muito forte	(7, 8, 9)
Importância Extrema	(9, 9, 9)

Fonte: Kannan et al. (2013, p. 359).

A terceira etapa abrange a construção da matriz A (Equação 2) de cada especialista. Sendo  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  uma matriz de comparação pareada difusa, onde  $a_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ . Além disso, no método Fuzzy AHP o cálculo do recíproco pode ser realizado da seguinte maneira: tendo como exemplo a comparação do critério 1 e 2, se consideramos o critério 1 com uma importância fraca ou ligeira em relação ao critério 2, temos que o elemento  $a_{12}=(1,2,3)$ , e sabendo que o inverso de um número Fuzzy  $(1, m, u)$  é  $(1/u, 1/m, 1)$ , temos que nesse caso o elemento  $a_{21}=(0.33, 0.5, 1)$ .

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

Uma vez definido a matriz A de cada especialista, na quarta etapa é necessário se realizar a média geométrica entre os elementos correspondentes, conforme apresentado na Equação 3, sabendo que k é representa o número do especialista e ne o número total de especialistas. A média geométrica é considerada para o Fuzzy AHP segundo Buckley (1985).

$$a_{ijTotal} = (\prod_{k=1}^{ne} a_{kij})^{\frac{1}{ne}} \quad (3)$$

A quinta etapa consiste na realização do cálculo da Razão de Consistência (RC) da matriz dos especialistas. Caso a consistência seja menor que 0,1, é entendido que os julgamentos são considerados consistentes. Para calcular a consistência primeiramente precisamos converter os números fuzzy triangulares em números chamados de crisp (Equação 4). Posteriormente, é necessário se calcular a matriz W (Equação 5) e a matriz Y (Equação 6). Com isso, é possível se determinar o número principal de Eigen ( $\lambda_{máx}$ ) (Equação 7).

$$M_{crisp} = \frac{(l+4m+u)}{6} \quad (4)$$

$$W = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{1j}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}} \\ \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{2j}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}} \\ \vdots \\ \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{nj}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}} \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$Y = A \cdot W \quad (6)$$

$$\lambda_{máx} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{Y_i}{W_i} \right) \quad (7)$$

A partir do cálculo do  $\lambda_{máx}$ , na sexta etapa, primeiramente é preciso calcular o Índice de Consistência (IC) (Equação 8). Em seguida é necessário definir o valor do Índice Randômico (IR). A Tabela 2 contém o valor do Índice Randômico (IR) para matrizes de ordem 1 até as de ordem 6.

$$IC = \frac{(\lambda_{máx} - n)}{n - 1} \quad (8)$$

**Tabela 2:** Escala fundamental de julgamento de importância do método Fuzzy AHP

Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6
Índice Randômico (IR)	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24

Fonte: Adaptado de Saaty e Kearns (1985).

A partir do cálculo do  $\lambda_{\max}$ , na sexta etapa, primeiramente é preciso calcular o Índice de Consistência (IC) (Equação 8). Em seguida é necessário definir o valor do Índice Randômico (IR). A Tabela 2 contém o valor do Índice Randômico (IR) para matrizes de ordem 1 até as de ordem 6. Saaty e Kearns (1985) salientam que ao ser realizada a divisão do IC pelo IR, de acordo com a ordem da matriz definida, obtém-se a RC. Na Equação 9 é exposto o cálculo da RC:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (9)$$

A sexta etapa envolve o cálculo do valor da extensão sintética difusa do  $i$ -ésimo objeto para  $m$  objetivos, conforme se apresenta na Equação 10.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} \quad (10)$$

A sétima etapa abrange a realização do cálculo do grau de possibilidade. O grau de possibilidade de  $S_2 \geq S_1$  é definido como conforme as Equações 11, 12 e 13.

$$V(S_2 \geq S_1) = \text{Sup}_{y \geq x} [\min(\mu_{S_2}(y), \mu_{S_1}(x))] \quad (11)$$

$$V(S_2 \geq S_1) = \text{hgt}(S_1 \cap S_2) = \mu_{S_2}(d) \quad (12)$$

$$\mu_{S_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{se } M_2 \geq M_1 \\ 0, & \text{se } l_1 \geq l_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (13)$$

O grau de possibilidade de um número difuso convexo ser maior que  $k$  números difusos convexas  $M_i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ) pode ser definido por:  $V(M_1, M_2, \dots, M_k) = \min V(M \geq M_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ . Dessa forma temos:

$$d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), k = 1, 2, \dots, n; k \neq 1 \quad (14)$$

A oitava etapa consiste na realização do cálculo do vetor peso  $W$ , conforme a Equação 15.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (15)$$

A última etapa abrange o cálculo do peso normalizado de cada elemento de  $W$ , conforme a Equação 16:

$$NW_i = \frac{w_i}{\sum w_i} \quad (16)$$

## 4 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada seguindo quatro etapas metodológicas essenciais: definição preliminar, validação, definição final e mensuração dos indicadores e critérios.

A primeira etapa envolve a definição preliminar dos indicadores e critérios que tivesse relacionados a temática da pesquisa. Diferentes certificações das construções

sustentáveis foram consideradas, bem como autores da literatura internacional que apresentassem critérios relacionadas a temática da pesquisa.

No total foram selecionados 61 critérios, mas como existiam critérios semelhantes entre si, foi preciso eliminar as equivalências. Além disso, alguns dos critérios recomendados por esses autores, ou pelas certificações, não se adequavam ao contexto da cidade de Maringá – PR. Então, foram selecionados apenas os critérios que tivessem adequados a realidade da cidade em estudo.

A partir da filtragem de critérios semelhantes, foram determinados de maneira preliminar 27 critérios, distribuídos em sete indicadores: condições ambientais; características do entorno; preservação ambiental; condições socioeconômicas; mobilidade urbana; localização do lote; qualidade urbana.

A segunda etapa abrangeu a validação dos indicadores e critérios definidos de maneira preliminar. Sabendo que o método Fuzzy AHP se utiliza de especialistas e que segundo a literatura a quantidade de especialistas irá depender da natureza do problema analisado, buscando sempre garantir que a RC possa apresentar um valor inferior a 0,1 (YANG; LI; YAO, 2010).

Sendo assim, levando em conta que a quantidade de especialistas pode ser variada, dependendo da preocupação com a RC e também em ter uma quantidade de especialistas que abrange as áreas de conhecimentos relacionadas com o problema, definiu-se uma quantidade total de sete especialistas.

Para esta segunda etapa também foi desenvolvido um questionário, o qual foi entregue ou encaminhado por e-mails aos especialistas. Nesse questionário havia espaço para o especialista realizar julgamentos sobre a validação dos critérios propostos, bem como havia espaço para que esses especialistas pudessem apontar se havia a necessidade de outros critérios serem considerados na pesquisa.

Quando os especialistas consideraram um critério como não sendo válido para objetivo da pesquisa ou que seus requisitos não fossem adequados ao cenário de realidade da cidade de Maringá - PR, eles foram orientados a, de forma resumida, apontar a razão dos critérios não serem válidos ou necessitarem de mudanças.

Para um critério ser validado para a pesquisa, considerou-se que no máximo um especialista o apontasse como não sendo válido para a análise do potencial de lotes urbanos residenciais atenderem aos requisitos de sustentabilidade. Para que novos critérios fossem considerados na pesquisa, considerou-se necessário que pelo menos dois especialistas solicitassem sua inclusão.

Uma vez validado os critérios, a terceira etapa abrangeu a definição definitiva dos critérios propostos, bem como sua distribuição dentro dos indicadores. No total foram identificados 26 critérios, os quais foram dispostos em seis indicadores (Quadro 1).

**Quadro 2:** Indicadores e critérios finais

<b>Indicador</b>	<b>Critério</b>
<b>Características do Entorno</b>	Áreas suscetíveis a alagamento
	Áreas suscetíveis a deslizamento de terra
	Impactos existentes no entorno
	Infraestrutura básica
	Brownfields
<b>Preservação Ambiental</b>	Coleta de resíduos sólidos urbanos e recicláveis
	Necessidade de movimentação de solo
	Espaços compartilhados para produção de alimentos
	Distância de corpos d'água
	Distância de Unidades de Conservação e de Áreas de Proteção Permanente (APP)
<b>Padrão Habitacional</b>	Densidade populacional no entorno do lote
	Densidade residencial no entorno do lote

	Tipologia residencial
	Lotes vazios no entorno
<b>Mobilidade Urbana</b>	Serviço de transporte diário mínimo
	Acesso ao transporte coletivo
	Acesso a ciclovias
<b>Localização do Lote</b>	Proximidade de Escolas
	Acesso a Serviços Básicos - Comércio
	Acesso a Equipamentos de Saúde
	Proximidade de Equipamentos ou Serviços de Lazer
<b>Qualidade Urbana</b>	Nível de Ruído Externo
	Sombreamento e Iluminação
	Paisagismo Urbano
	Qualidade do Ar
	Qualidade das Calçadas

Fonte: Autores (2021)

A quarta e última etapa, abrangeu a mensuração dos critérios e indicadores propostos. Para isso se utilizou da metodologia AHP Fuzzy, seguindo quatro passos principais: construção da hierarquia do problema, julgamentos dos especialistas, análise da RC dos julgamentos e determinação do peso dos critérios e indicadores.

Na etapa de construção da hierarquia foi definido o diagrama de hierarquia do problema (Figura 1). No diagrama da Figura 1 se apresenta o objetivo da aplicação do Fuzzy AHP, que neste caso foi a avaliação do potencial de lotes urbanos residenciais atenderem aos requisitos ligados a sustentabilidade, por meio dos critérios propostos na pesquisa.

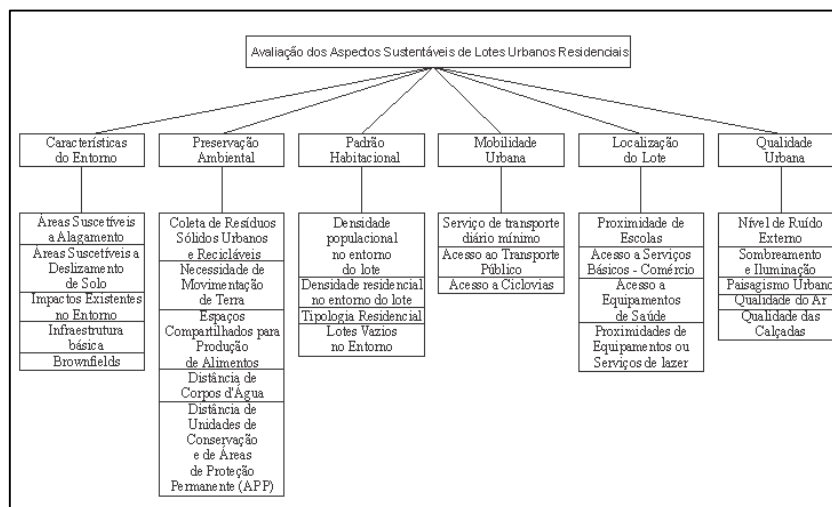


Figura 1: Estrutura hierárquica de indicadores e critérios

Fonte: Autores (2021)

O segundo e terceiro passo da mensuração dos indicadores e critérios consistiu na elaboração e aplicação de um questionário, o qual foi elaborado contemplando-se os indicadores e critérios apresentados no Quadro 2 e a escala do método Fuzzy AHP da Tabela 1.

Posteriormente, aos sete especialistas foi entregue o questionário desenvolvido. Os especialistas responderam ao questionário do método Fuzzy AHP sem nenhuma interferência dos pesquisadores. A comparação dos critérios e indicadores foi baseada na escala apresentada na Tabela 1.

Apesar de apenas a matriz dos julgamentos de todos os especialistas precisar ser consistente, foi testado também a RC de todos os julgamentos realizados individualmente, de maneira a reduzir a chance de a matriz de julgamentos sintetizada ser inconsistente.

Nos casos em que os questionários preenchidos pelos especialistas apresentaram Razão de Consistência maior que 0,1, os questionários foram devolvidos aos especialistas e foram dadas orientações para eles das tabelas que deveriam ser novamente preenchidas e de possíveis modificações que poderiam ser realizadas para garantir a consistência dos julgamentos.

Por último, se realizou a verificação da consistência da matriz dos especialistas e uma vez verificado que ela era consistente foi realizado o cálculo dos pesos dos critérios, conforme as etapas apresentadas na Seção 3.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Foi realizada a validação dos critérios junto aos especialistas por meio da aplicação de um questionário junto aos especialistas. Apenas os critérios de Acesso a Rodovias e de Acesso a Aeroportos foram considerados inválidos para o objetivo da pesquisa. Os especialistas apontaram que o critério de acesso a rodovias não era válido, pois entrava em conflito com o critério de Impactos na Qualidade do Entorno, que apontava que era necessário que não tivessem rodovias à distância de 2.500 m do lote. A justificativa dada pelos especialistas, quanto à invalidade do critério de Acesso a Aeroportos, é que um aeroporto nas proximidades do lote afetaria a qualidade vida dos moradores e aumentaria significativamente o nível de ruído no entorno.

Em relação à inclusão de novos critérios na pesquisa, somente o critério de Qualidade de Calçadas foi apontado por mais de um especialista como sendo um fator relevante na avaliação das características sustentáveis dos lotes urbanos residenciais e que ainda não fazia parte da pesquisa.

Os especialistas ressaltaram que era importante modificar o título e descrição de alguns dos critérios e indicadores, facilitando o entendimento deles ou/e adaptando seus requisitos à realidade de Maringá - PR. Em relação aos indicadores, foi apontada a necessidade de eliminar o indicador de Condições Ambientais, uma vez que ele é semelhante com o de Preservação Ambiental, sendo alocados os critérios de Áreas Suscetíveis a Alagamento, de Áreas Suscetíveis a Deslizamento de Solo, Distância de Corpos d'Água e Áreas de Proteção Ambiental em outros indicadores.

### **5.1. MENSURAÇÃO DOS CRITÉRIOS**

Com a validação e definição final dos indicadores e critérios, a próxima etapa realizada foi a de mensuração. Primeiramente nesta etapa foi realizado o cálculo da RC para todas as matrizes de julgamentos de cada especialista. Posteriormente, os julgamentos dos especialistas foram sintetizados através do cálculo da média geométrica (Equação 3). Com isso, resultou-se num total de sete matrizes de julgamentos sintetizadas, sendo uma relativa a comparação entre os indicadores e as outras seis da comparação entre os critérios de cada indicador individualmente. Dessa forma, foi calculado a RC de cada uma dessas matrizes, os valores obtidos de RC são apresentados na Tabela 4.



**Tabela 4:** Peso calculado para os indicadores

<b>Matriz de julgamento analisada</b>	<b>RC</b>
Indicadores	0,0261
Características do Entorno	0,0230
Preservação Ambiental	0,0244
Padrão Habitacional	0,0126
Mobilidade Urbana	0,0104
Localização do Lote	0,0215
Qualidade Urbana	0,0184

**Fonte:** Autores (2021)

A partir da análise dos dados da Tabela 4 se verifica que nenhuma das matrizes de julgamentos sintetizadas apresentaram RC maior que 0,10, dessa forma sendo consideradas consistentes. Uma vez calculado a RC, foi calculado inicialmente o peso de cada indicador, conforme se apresenta na Tabela 5.

**Tabela 5:** Peso calculado para os indicadores

<b>Indicador</b>	<b>Peso</b>
Características do Entorno	0,4533
Preservação Ambiental	0,2299
Padrão Habitacional	0,0176
Mobilidade Urbana	0,2024
Localização do Lote	0,0706
Qualidade Urbana	0,0261
<b>Soma</b>	<b>1,0000</b>

**Fonte:** Autores (2021)

A partir dos dados apresentados na Tabela 5 se constata que o indicador com maior peso é o de Características do Entorno com aproximadamente 45%. O próximo passo envolveu o cálculo do peso de cada critério em cada indicador e também dentro do sistema de avaliação.

Dessa forma, na tabela 6 se apresenta o peso de cada critério definido na pesquisa. Para a realização do cálculo do peso de cada critério foi realizada a multiplicação do peso do critério com o peso do indicador que ele se encontra.

**Tabela 6:** Peso calculado para os critérios (Continua)

<b>Critério</b>	<b>Peso Dentro do Indicador</b>	<b>Peso Final</b>
Áreas Suscetíveis a Alagamento	0,2398	0,1087
Áreas Suscetíveis a Deslizamento de Terra	0,3078	0,1396
Impactos Existentes no Entorno	0,1574	0,0713
Infraestrutura básica	0,2817	0,1277
Brownfields	0,0133	0,0060
Coleta de Resíduos Sólidos e Recicláveis	0,1423	0,0327
Necessidade de Movimentação de Terra	0,0275	0,0063
Espaços Compartilhados para Produção de Alimentos	0,0000	0,0000
Distância de Corpos d'Água	0,4899	0,1126
Distância de Unidades de Conservação e de Áreas de Proteção Permanente (APP)	0,3403	0,0782
Densidade populacional no entorno do lote	0,4132	0,0073
Densidade residencial no entorno do lote	0,3324	0,0059
Tipologia Residencial	0,2404	0,0042
Lotes Vazios no Entorno	0,0141	0,0002
Serviço de transporte diário mínimo	0,1165	0,0236
Acesso ao Transporte Coletivo	0,8835	0,1789
Acesso a Ciclovias	0,0000	0,0000
Proximidade de Escolas	0,3453	0,0244
Acesso a Serviços Básicos - Comércio	0,1368	0,0097
Acesso a Equipamentos de Saúde	0,5179	0,0366
Proximidades de Equipamentos ou Serviços de lazer	0,0000	0,0000
Nível de Ruído Externo	0,3258	0,0085
Sombreamento e Iluminação	0,1792	0,0047
Paisagismo Urbano	0,0000	0,0000
Qualidade do Ar	0,4950	0,0129
Qualidade das Calçadas	0,0000	0,0000

**Fonte:** Autores (2021)

A partir da análise dos dados da Tabela 6 se verifica que os três critérios com maior peso foram o critério de Acesso ao Transporte Coletivo (0,1789), Áreas Suscetíveis a Deslizamento de Terra (0,1396) e Infraestrutura básica (0,1277). Além disso, se constatou que cinco critérios apresentaram pesos zerados: Espaços Compartilhados para Produção de Alimentos; Acesso a Ciclovias; Proximidades de Equipamentos ou Serviços de lazer; Paisagismo Urbano; Qualidade das Calçadas.

Levando em conta que se tem o objetivo de utilizar o peso calculado para os critérios como creditação dentro do sistema de avaliação, se constatou que além dos cinco critérios zerados, outros três critérios (Tipologia Residencial; Lotes Vazios no Entorno; Sombreamento e Iluminação) apresentaram pesos insignificantes, ou seja, não se alcançou um peso suficiente para se garantir pelo menos 1 crédito.

Dessa forma, é verificado que dos 26 critérios definidos, oito apresentaram nenhum crédito, dessa forma sendo excluídos do sistema de avaliação. Resultando assim em um sistema de avaliação com 18 critérios.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da realização desse artigo, foi possível se determinar um sistema que possibilitasse avaliar as características dos lotes urbanos de natureza residencial sobre a ótica da sustentabilidade. A pesquisa foi importante, pois apesar de Callefi, Miotto e Silva (2020) apresenta um sistema de avaliação adequado à realidade de Maringá, ele não foi

tão abrangente, como a presente a pesquisa. Além disso, o método utilizado foi o AHP convencional.

Além disso, apesar de Jung e Lee (2012) terem utilizado de um método de análise multicritério para quantificar os critérios, no trabalho atual foi proposto um sistema de avaliação mais amplo do que o desenvolvido por eles, já que foram considerados um número maior de critérios e indicadores.

As limitações da presente pesquisa envolvem a criação de um sistema baseado apenas na realidade de Maringá – PR, e não abrangendo a realidade de outras cidades brasileiras. Para futuras pesquisas é possível abranger especialistas de outras regiões do país, melhorando assim a visão de abrangência da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, F.; KILIC, K. Modification to Fuzzy Extent Analysis Method and its performance analysis. In: VI IESM Conference, 6, 2015, Sevilla. **Anais ...** Sevilla: VI IESM Conference, 2015.
- AZOUZ, M.; GALAL, A. Sustainable Site Assessment: A way to Sustainable Hospitality in Egypt. **Procedia Environmental Sciences**, v. 34, p. 360-374, 2016.
- BALABAN, O. The negative effects of construction boom on urban planning and environment in Turkey: Unraveling the role of the public sector. **Habitat International**, v. 36, n. 1, p. 26-35, 2012.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach**. Norwell, MA: Kluwer Academic, 2001.
- BUCKLEY, J. J. Fuzzy hierarchical analysis. **Fuzzy sets and systems**, v. 17, n. 3, p. 233-247, 1985.
- CALLEFI, M. H. B. M.; MIOTTO, J. L.; SILVA, R. V. B. Avaliação de lotes residenciais sob a perspectiva da sustentabilidade ambiental: um estudo aplicado à cidade de Maringá-PR, Brasil. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 57, 2020.
- CHANG, D. Y. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. **European Journal of Operational Research**, v. 95, n. 3, p. 649-655, 1996.
- FINKBEINER, M. et al. Towards life cycle sustainability assessment. **Sustainability**, v. 17, n. 8, p. 1068–1079, 2010.
- JUNG, I. S.; LEE, C. S. Fuzzy inference and AHP-based alternative evaluation tool in the development of sustainable residential land. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 16, n. 3, p. 273-282, 2012.
- KANNAN, D. et al. Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 355-367, 2013.
- KOSANOVIĆ, S.; FIKFAK, A. Development of criteria for ecological evaluation of private residential lots in urban areas. **Energy and Buildings**, v. 115, p. 69-77, 2016.

MATTONI, B., et al. Critical review and methodological approach to evaluate the differences among international green building rating tools. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 950-960, 2018.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **Int. J. Services Sciences**, v. 1, n. 1, pp. 83-98, 2008.

SAATY, T. L.; KEARNS, K. P. **Analytical planning**: the organization of systems. Oxford: Pergamon, 1985.

TIAN, G. et al. Operation patterns analysis of automotive components remanufacturing industry development in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 1363-1375, 2017.

VAN LAARHOVEN, P. J. M.; PEDRYCZ, W. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 11, n. 1-3, p. 229-241, 1983.

YANG, Y. et al. Multi-objective low-carbon disassembly line balancing for agricultural machinery using MDFOA and Fuzzy AHP. **Journal of Cleaner Production**, 2019.

YANG, Y.; LI, B.; YAO, R. A method of identifying and weighting indicators of energy efficiency assessment in Chinese residential buildings. **Energy Policy**, v. 38, n. 12, p. 7687-7697, 2010.

YU, Z.; XUDONG, C. A Study on the Choices of Construction Land Suitability Evaluation of Ecological Index. **Procedia Computer Science**, v. 91, p. 180-183, 2016.