



UTILIZAÇÃO DO MÉTODO *FUZZY*TOPSIS PARA AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE RECICLAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

USE OF FUZZY TOPSIS METHOD FOR EVALUATION OF CIVIL CONSTRUCTION SOLID WASTE ALTERNATIVES

Deoclécio Júnior Cardoso da Silva 

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, RS, Brasil, deoclecionior2009@hotmail.com

Diogo Daniel Görden Kogler 

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santo Ângelo, RS, Brasil, diogokogler@hotmail.com

Julia Tontini 

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, RS, Brasil, ju-tontini@hotmail.com

Antonio Vanderlei dos Santos 

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI – Campus Santo Ângelo, RS, Brasil, vandao@san.uri.br

Julio Cezar Mairesse Siluk 

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, RS, Brasil, jsiluk@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.31512/gesto.v8i1.3429>

Recebido em: 28/07/2019

Aceito em: 28/12/2019

Resumo: Os resíduos gerados pela construção civil podem ser reutilizados na forma de agregado reciclado, sendo empregados em diversas situações. Dessa forma, existem diferentes opções de agregado reciclado que podem ser produzidas. Assim, o presente estudo objetivou utilizar a método *Fuzzy* TOPSIS para determinar a melhor alternativa para a reciclagem dos resíduos de classe “A”. Esta pesquisa foi delimitada como: qualitativa e quantitativa, estudo de caso, documental, exploratória e descritiva, sendo que os dados foram coletados através de entrevistas e observações. A pesquisa foi realizada na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Foram encontradas sete alternativas de agregado reciclado, sendo elas: terra industrial, pó de pedra, granelho, brita 0, brita 1, brita 2 e rachão. Partindo disso, definiu-se critérios para julgamento das alternativas. Através de entrevistas junto aos gestores das empresas que realizam a reciclagem dos resíduos, julgou-se as alternativas, segundo os critérios definidos. Com a utilização do método *Fuzzy* TOPSIS, obteve-se uma classificação das alternativas, onde a alternativa A4 (Brita 0) obteve a melhor classificação com um peso global de 0,541. Posteriormente realizou-se uma análise de sensibilidade. Os resultados demonstraram que o método foi um forte auxiliador no que tange a tomada de decisão, possibilitando que as partes interessadas possam elaborar diretrizes cada vez mais assertivas, para que venham a contribuir para o desenvolvimento sustentável desta Região.

Palavras-chave: Gestão. RCD. Agregado reciclado. Resíduo classe A.

Abstract: Waste generated by construction can be reused in the form of recycled aggregate, being used in various situations. Thus, there are different recycled aggregate options that can be produced. Thus, the present study aimed

to use the Fuzzy TOPSIS method to determine the best alternative for recycling class “A” waste. This research was delimited as: qualitative and quantitative, case study, documentary, exploratory and descriptive, and the data were collected through interviews and observations. The research was conducted in the Northwest Region of the State of Rio Grande do Sul. Seven alternatives of recycled aggregate were found: industrial earth, stone dust, granules, gravel 0, gravel 1, gravel 2 and rachão. Based on this, criteria were defined for judging the alternatives. Through interviews with the managers of companies that carry out the recycling of waste, the alternatives were judged according to the defined criteria. Using the Fuzzy TOPSIS method, a classification of the alternatives was obtained, where the alternative A4 (Brita 0) obtained the best classification with an overall weight of 0.541. Subsequently, a sensitivity analysis was performed. The results showed that the method was a strong aid in decision making, enabling stakeholders to develop increasingly assertive guidelines to contribute to the sustainable development of this Region.

Keywords: Management. RCD. Recycled aggregate. Waste class A.

1 Introdução

A construção civil sofreu nos últimos anos enorme crescimento, tendo como consequência grande produção de resíduos sólidos, devido a maior parte dos processos construtivos nacionais serem realizados de maneira manual nos canteiros de obra. Tais resíduos geram a degradação do meio ambiente, além de ocasionar problemas financeiros e prejuízos logísticos (NAGALLI, 2014).

Durante todas as etapas de uma obra da construção civil ocorrem desperdícios de materiais. Tal perda acontece por dois motivos principais: má concepção de projeto ou má execução da obra. Assim, no momento da concepção do projeto, são descritas as quantidades previstas a serem utilizadas, porém, após a execução do mesmo, é muito comum que os valores inicialmente previstos sejam extravasados (LIMA; LIMA, 2009).

A geração dos resíduos da construção civil (RCD) implica em diversos fatores, podendo ser de caráter ambiental, econômico e social. Assim, em 2002 o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) lançou sua resolução nº 307, a fim de buscar dar uma melhor destinação possível ao RCD gerado em nosso país (PINTO; GONZÁLES, 2005).

A resolução nº 307 de 2002 do CONAMA, classifica os resíduos produzidos nos canteiros de obras conforme as suas características. Assim, tais dejetos se dividem entre as classes A, B, C e D (CONAMA, 2002).

Segundo a resolução nº 307 do CONAMA, os resíduos de classe A são aqueles que podem ser reutilizados ou reciclados (CONAMA, 2002). Assim, os mesmos podem servir como matéria prima barata, evitar o consumo de novos materiais provindos da natureza, além disso, esses resíduos deixam de ocupar espaço em aterros ou áreas de bota fora, e deixando também de ser uma possível fonte de doenças e contaminações (KARPINSK, 2009).

Após passarem por um processo de triagem, os resíduos de classe A podem ser transformados em agregado reciclado. Tais agregados podem ter diversas utilidades, sendo que, por possuírem baixa resistência, os mesmos não podem exercer função estrutural (PINTO; GONZÁLES, 2005).

Tendo em vista a necessidade de se entender qual a melhor alternativa de reciclagem dos resíduos de classe A da Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul a presente pesquisa buscou inicialmente

conhecer quais as alternativas de destinação para esses dejetos no município. Tomando posse dos dados encontrados na cidade, determinou-se quais as melhores alternativas de reciclagem dos resíduos de classe A gerados no município em questão, através de um modelo multicritério difuso, sendo ele, *Fuzzy* TOPSIS.

Levando em consideração o total de resíduos sólidos produzidos atualmente, percebe-se que os mesmos são uma das maiores fontes geradoras de dejetos, podendo se tornar fonte de problemas e conseqüentemente afetando a sociedade de maneira econômica, ambiental e social. Diante ao volume de resíduos de classe A gerados nas cidades brasileiras torna-se de suma importância sua reciclagem. Esse processo garante a substituição da matéria prima natural por matéria prima reciclada, propiciando a diminuição dos custos e das áreas destinadas a esses resíduos, além de causar ganhos ambientais e deixar as cidades com uma aparência mais limpa e agradável.

Assim, o problema da presente pesquisa é: Qual a melhor alternativa de reciclagem dos resíduos de classe A da Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul? Para ser possível responder esse questionamento, o objetivo do presente estudo é utilizar a metodologia *Fuzzy* TOPSIS para determinar a melhor alternativa para a destinação dos resíduos de classe “A” da construção civil na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Dessa forma o presente estudo está dividido da seguinte maneira, o primeiro tópico apresenta-se a introdução, seguido pelo referencial teórico, metodologia, análise e discussão dos resultados e considerações finais.

2 Referencial teórico

2.1 Resíduos sólidos urbanos

Em 2010 entrou em vigor a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Ela define que a gestão dos Resíduos de construção e demolição (RCD) deve ocorrer de acordo com as regulamentações do SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente), no mesmo estão inclusas as resoluções do CONAMA. Assim, os resíduos da construção civil devem ter uma destinação específica diferente dos resíduos produzidos pela indústria em geral (SINDUSCON, 2015).

Embora não exista um estudo detalhado sobre a quantidade de dejetos provenientes da construção civil em nosso país, bem como que esse número varia de cidade para cidade, sabe-se que os mesmos constituem um significativo percentual em relação ao total de resíduos gerados nas áreas urbanas (CONAMA, 2002). Assim, levando em conta o grande volume de RCD produzido, torna-se de grande importância a correta destinação do mesmo.

No Brasil, devido ao grande crescimento das áreas urbanas e ao grande crescimento do setor da construção civil no século XXI, cerca de 70% dos resíduos produzidos nas obras nacionais tem origem de reformas e autoconstrução (SINDUSCON, 2015). Pensando na melhor destinação dos RCDs, foi instituída a resolução do CONAMA (conselho nacional de meio ambiente) nº 307/2002 (CONAMA, 2002), alterada pela resolução do CONAMA nº 348/2004 (BRASIL, 2004) que regulamenta as diretrizes para a destinação correta e adequada das sobras da construção civil no Brasil, instituindo assim, responsabilidades e deveres, e tornando obrigatória a criação de um plano integrado de gerenciamento dos resíduos da construção civil.

Dentro das responsabilidades atribuídas pelas normas vigentes pode-se afirmar que: cada município deve definir uma política municipal para o RCD, nessa política devem conter pontos de coleta. Para cada empreendimento realizado pelos construtores é necessário um plano de gerenciamento de RCD (SINDUSCON, 2015).

Segundo a resolução 307/2002 do CONAMA, a correta destinação do RCD deve ser de responsabilidade do gerador do mesmo (CONAMA, 2002). Assim, nas cidades brasileiras existem diversas empresas especializadas na correta destinação desses resíduos, as mesmas são contratadas pelos geradores a fim de darem o destino final de acordo com a legislação vigente no município em que atuam (TESSARO; DE SÁ; SCREMIN, 2012). Os geradores dos resíduos da construção civil podem ser pessoas físicas ou jurídicas, privadas ou públicas que trabalhem com atividades geradoras de RCD (CONAMA, 2002).

2.2 Reciclagem e reutilização

A resolução nº 307/2002 do CONAMA define reutilização como o processo de reaplicação do resíduo, sem que haja a transformação do mesmo. Ainda de acordo com essa resolução, o processo de reciclagem é feito através do reaproveitamento do material, após ter sofrido transformação. Assim, a reciclagem se diferencia de reutilização justamente pelo fato da primeira não transformar o material enquanto que na segunda o material precisa sofrer alterações para que possa ser utilizado.

A destinação a ser dada ao RCD deve priorizar a reciclagem e a reutilização, gerando renda ao responsável por esse processo, e deixando de ocupar matéria prima extraída da natureza. Em último caso, o material deve ser encaminhado a um aterro destinado ao recebimento dos restos da construção civil, indicado na resolução nº 307 do CONAMA (PINTO; GONZÁLES, 2005). A reciclagem proporciona a redução de volumes descartados, assim, quando se opta pela reciclagem, se faz a aquisição de matéria prima natural, isso gera ganhos econômicos, sociais e ambientais (DE OLIVEIRA NETO *et al.*, 2015; PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2015).

Ao levar em conta as normas e pesquisas já realizadas sobre a reciclagem do RCD, chega-se à conclusão de que a reciclagem do mesmo é uma alternativa muito interessante podendo garantir a aplicação desse processo de maneira confiável e de qualidade (MOTA, 2005). Segundo Amorim *et al.* (1999) o processo de reciclagem do RCD se inicia com a recepção e separação manual do mesmo, assim o material reciclável é separado dos rejeitos, posteriormente esses resíduos são encaminhados para a reciclagem, na sequência é verificada a composição do material e o seu grau de contaminação. Após isso é realizada uma triagem, sendo que o resíduo aceito é classificado como de classe A.

A triagem do RCD pode ocorrer previamente ao recebimento dos resíduos, na fonte geradora, em aterros de RCD e resíduos inertes, em áreas de transbordo e triagem, ou na própria área de reciclagem. Após a triagem o RCD pode ser encaminhado para a sua reciclagem, porém, só devem ser aceitos para reciclagem os resíduos de classe A (ABNT NBR 15113:2004).

Agregado reciclado segundo a resolução nº 307 do CONAMA de 2002 é o material de forma granular obtido através do beneficiamento de resíduos de construção cujas características técnicas são propícias para aplicação em obras de edificação, infraestrutura, aterros sanitários ou outras obras de engenharia.

Na área para reciclagem do RCD de classe “A” devem ocorrer os processos de trituração e peneiração dos resíduos de concreto, alvenaria, argamassas e outros, gerando-se a partir desses resíduos os agregados reciclados (PINTO; GONZÁLES, 2005). São diversos os materiais gerados pela reciclagem de resíduos classe A, assim, alguns desses agregados são: bica corrida, areia reciclada média, brita 0, brita 1, brita 2, rachão (FILHO, 2015).

2.3 Lógica Fuzzy

A lógica *Fuzzy* foi inicialmente introduzida em 1930, utilizando-se inicialmente de termos linguísticos, para indicar determinados valores em números *Fuzzy*, assim, inicialmente se propunha a utilização de intervalos de $[0,1]$, isso indicaria a possibilidade de uma declaração ser verdadeira ou falsa. Em 1937 Max Black definiu o primeiro conjunto *Fuzzy* propondo a ideia de que continuidade descrevia graus. Posteriormente em 1965, Lofti Zadeh com a publicação do artigo *Fuzzy Sets* que ficou conhecido como a origem da lógica *Fuzzy* redescobriu a ideia de fuzzyficação. Por sua exploração e luta por esse conceito Zadeh é conhecido até hoje como o “mestre” da lógica *Fuzzy* (MARRO et al., 2010).

A lógica *Fuzzy* difere-se da lógica convencional, pois na lógica convencional um elemento pertence ou não a um determinado grupo, já na lógica *Fuzzy* o elemento possui graus de pertinência que são definidos por uma função de pertinência, esses graus variam de 0 a 1, assim, esses graus definem o pertencimento do elemento ao grupo (ZADEH, 1965). Na lógica *Fuzzy* um elemento pode pertencer parcialmente a uma classe e pertencer a mais de uma classe simultaneamente (LIMA JUNIOR, 2013). Contudo, para que isso possa acontecer é necessário que seja definido um de grau de pertinência, esse valor varia conforme a representatividade do elemento dentro do conjunto na qual está inserido (MARRO, 2010).

2.3.1 Fuzzy TOPSIS

O método *TOPSIS* foi inicialmente proposto por Hwang e Yoon (1981). A primeira combinação entre o método *TOPSIS* e a teoria dos conjuntos *FUZZY* foi proposta por Chen (2000), essa combinação que ficou conhecida como *Fuzzy TOPSIS* e visava adequar o método *TOPSIS* para tomada de decisão em cenários de incerteza, pois esse método era incapaz de lidar com decisões sob incerteza (LIMA JUNIOR, 2013).

O princípio *TOPSIS*, segundo Amaro e Lima (2015), consiste em escolher a alternativa que estiver o mais próximo possível da solução ideal positiva, e ao mesmo tempo o mais distante possível da solução ideal negativa. Assim, a solução ideal é a alternativa que alcançou os melhores valores após passar por avaliação em relação a cada um dos critérios de decisão adotados, enquanto isso, a solução ideal negativa é composta de forma similar, porém tomando-se os piores valores.

Segundo Amaro e Lima (2015) O método *Fuzzy TOPSIS* apresenta diversas vantagens de uso se comparado a outras técnicas existentes, uma de suas grandes qualidades é possibilitar a avaliação ilimitada de alternativas, com ilimitados critérios para a avaliação das mesmas. Segundo Bilişik et al. (2013), as respostas dadas pelo tomador de decisão são dadas em variáveis linguísticas, que posteriormente serão convertidas em números difusos, para que dessa maneira possam ser utilizadas no cálculo. Para realizar esta conversão são utilizadas escalas de conversão (AWASTHI et al., 2011).

3 Método

3.1 Delimitação da pesquisa

Utilizou-se de pesquisa documental, utilizando-se de documentos disponíveis atualmente na área da pesquisa, sendo pesquisado como os documentos do município tratam a reciclagem dos resíduos de classe A. Esses resíduos podem ser reutilizados ou reciclados na forma de agregado, como os tijolos e pisos cerâmicos, restos de concreto e argamassa e placas de revestimento.

Para saber qual a atual destinação dada ao RCD Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, foi realizada uma pesquisa exploratória. Segundo Gil (2008), a pesquisa exploratória desenvolve, esclarece e modifica conceitos e ideias, tendo o objetivo de proporcionar uma visão geral e aproximada do fato. Além disso, esta pesquisa é classificada como descritiva, pois visa descrever a atual destinação dos resíduos de classe A na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Devido aos métodos utilizados, a pesquisa possui abordagem qualitativa e quantitativa. A pesquisa classifica-se também como de estudo de caso pois se buscou-se conhecer como está a situação dos resíduos classe de A na Região e como os órgãos responsáveis lidam com essa situação.

3.2 Técnica de coleta de dados

Elaborou-se um questionário elencando as possíveis alternativas para a reciclagem dos resíduos de classe A. Esse questionário foi respondido por dois profissionais da área. Nesse questionário os profissionais definiram um peso para cada critério e posteriormente julgaram as alternativas para cada um dos critérios, esse julgamento foi através de variáveis linguísticas.

Realizou-se uma entrevista com o profissional responsável pelos resíduos sólidos da construção civil da SEMA (Secretaria Estadual do Meio Ambiente) na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, a fim de descobrir qual a atual situação dos resíduos classe A. Posteriormente, foi realizada a visita a essas empresas constatando se as mesmas realizam o processo de reciclagem dos resíduos de classe A, ou até mesmo se realizam apenas o processo de triagem dos resíduos e terceirizam a reciclagem dos resíduos de classe A para outra empresa especializada.

Para que a coleta de dados nos órgãos acima citados pudesse ocorrer com qualidade e de forma ordenada, foi desenvolvido um questionário específico para cada um dos órgãos pesquisados. Após estas etapas, os dados foram analisados.

3.3 Técnica de análise de dados

A técnica de análise de dados foi feita através do *Fuzzy TOPSIS* (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*). Segundo Awasthi et al. (2011) o *Fuzzy TOPSIS* é uma ferramenta de tomada de decisão com multicritérios, cujo processo de aplicação é basicamente o seguinte: se definem quais as alternativas que se deseja realizar a análise, posteriormente se traçam critérios para a avaliação

dessas alternativas, adotando-se pesos específicos para cada um desses critérios. Gera-se um formulário para coleta de dados, o formulário é respondido, e estas respostas são em valores linguísticos. As classificações linguísticas são combinadas através de *TOPSIS* distorcido para gerar uma pontuação total para cada alternativa, e finalmente a alternativa de maior valor é julga como a melhor. Todos os passos do processo *Fuzzy TOPSIS* com as respectivas fórmulas encontram-se descritos a seguir (CHEN, 2000; AWASTHI et al., 2011):

Os julgamentos dos K especialistas deverão ser agregados quanto ao peso de cada um dos critérios de decisão utilizando-se a equação a seguir:

Na primeira etapa, os critérios e alternativas recebem uma nota, é o que está representado na equação 1. Irão existir J possíveis alternativas que serão chamadas, $A = \{A_1, A_2, A_j\}$ as mesmas devem ser avaliadas em m critérios $C = \{C_1, C_2, C_m\}$. Cada critério tem um peso estipulado por w_i ($i = 1, 2, \dots, m$). Para cada uma das alternativas A_j ($j = 1, 2, \dots, m$) São classificados os desempenhos de cada decisão D_k ($k = 1, 2, \dots, K$) respeitando os critérios C_i ($i = 1, 2, \dots, m$) que serão calculados pela equação 6 e 7.

Na sequência deve-se calcular a matriz de decisão difusa, essa matriz para as alternativas \tilde{D} e os critérios \tilde{W} é calculado da forma a seguir:

$$\tilde{D} = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{31} & \tilde{x}_{32} & \dots & \tilde{x}_{3n} \end{bmatrix}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$\tilde{W} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n) \quad (2)$$

Na etapa 4 a matriz de decisão difusa é normalizada. Para normalizar os dados brutos é feita a transformação de escala linear para aumentar as escalas de critérios em uma escala. A matriz de decisão *fuzzy* normalizada \tilde{R} é dada por:

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Onde:

$$\tilde{R}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \tilde{R}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \text{ e } c_j^* = \max c_{ij} \quad (4)$$

$c_j^* = \max c_{ij}$ (critério de benefício)

$$\tilde{R}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{b_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{a_{ij}^-} \right) \tilde{R}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{b_{ij}^-}, \frac{a_j^-}{a_{ij}^-} \right) \text{ e } c_j^- = \min a_{ij} \quad (5)$$

$c_j^- = \min a_{ij}$ (critério de custo)

A quinta etapa é calcular a matriz ponderada normalizada. Os critérios \tilde{V} da matriz normalizada ponderada são calculados multiplicando os pesos \tilde{W}_j dos critérios de avaliação com a matriz de decisão fuzzy normalizada \tilde{R}_{ij} .

$$\tilde{v} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (6)$$

$j = 1, 2, \dots, n$ $j = 1, 2, \dots, n$ Onde:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} (\cdot) \tilde{w}_j, \tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} (\cdot) \tilde{w}_j$$

Calcule a solução ideal fuzzy (FPIS) e difusa solução ideal negativa (FNIS) O FPIS e o FNIS das alternativas são calculados da maneira a seguir:

$$A^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*) A^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*) \text{ Onde} \quad (7)$$

$$\tilde{v}_j^* = \max \{v_{ij}\} \tilde{v}_j^* = \max \{v_{ij}\},$$

$$i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \text{ Onde} \quad (8)$$

$$\tilde{v}_j^- = \min \{v_{ij}\}$$

$$\tilde{v}_i^- = \min \{v_{ii}\},$$

$$i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Calcule a distância de cada alternativa do FPIS e FNIS. A distância $(d_i^*, d_i^-)(d_i^*, d_i^-)$ de cada alternativa ponderada $i = 1, 2, \dots, m$ do FPIS e do FNIS é obtida da seguinte maneira:

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

Onde: $d_v(\tilde{a}, \tilde{b}) d_v(\tilde{a}, \tilde{b})$ é a distância entre dois números difusos \tilde{a} e \tilde{b} e $(\tilde{a}, \tilde{b})(\tilde{a}, \tilde{b}) =$

$$\sqrt{\frac{1}{3} [(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (11)$$

Calcule o coeficiente de proximidade $(cc_i)(cc_i)$ de cada alternativa. Esse coeficiente representa as distâncias para o Solução ideal positiva difusa (A^*) e a solução ideal negativa difusa (A^-) simultaneamente. O calculo do coeficiente de proximidade para cada alternativa é feito da seguinte maneira:

$$(12)$$

$$\frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Após finalizado o processo de abordagem *Fuzzy TOPSIS* finalmente se chegará em um ranking, o valor do coeficiente de aproximação é definido entre 0 e 1. Assim, quanto mais próximo de 1 for o valor alcançado pela alternativa, melhor é o desempenho global da mesma, do mesmo modo, quanto mais próximo de 0 pior é o desempenho global da alternativa.

4 Análise e discussão dos resultados

Na presente etapa é evidenciado os resultados, demonstrando na prática o que fora defendido na fundamentação teórica. Utilizando as informações levantadas com a aplicação dos questionários, foi possível desenvolver informações relevantes para que o estudo fosse efetuado da maneira mais assertiva possível.

Diante a isso, os próximos tópicos elucidam os resultados levantados com as entrevistas, sendo evidenciado os órgãos competentes pela gestão de resíduos do município, bem como a legislação vigente, que trata do assunto abordado. Ainda, é demonstrado a quantidade de empresas que fazem o recolhimento e tratamento dos resíduos, bem como o volume de resíduos recolhidos pelas mesmas. Posteriormente, é informado as empresas encontradas na região, que realizam a reciclagem dos resíduos, visto que no município não foi encontrado. Concomitante a isso, são demonstrados os agregados reciclados gerados pelas empresas. Por fim, são analisados e demonstrados diante as diretrizes do método *Fuzzy TOPSIS*, a melhor alternativa para o município de acordo com as notas evidenciadas pelo tomador de decisão.

4.1 Alternativas de agregados reciclados

No presente tópico, são evidenciadas as empresas encontradas na região que efetuam a reciclagem e reutilização dos resíduos classe A, demonstrando informações que auxiliaram na avaliação da melhor alternativa na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Afirma-se, que foi a partir de seus produtos gerados, que se definiu as alternativas para serem analisadas, demonstrando o potencial existente na Região, para implementação de uma empresa que transforme os resíduos em agregados reciclados. Nesse ímpeto, o Quadro 1, evidencia as alternativas de agregado reciclado para região.

Quadro 1 – Opções de agregado reciclado encontradas na região

Agregado	Granulometria	Utilidades
Rachão	Acima de 48 mm	Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem.
Brita 2	19 mm a 38 mm	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens.
Brita 1	9,5 mm a 19 mm	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens.
Brita 0 (pedrisco)	4,6 mm a 9,3 mm	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto.
Granilho	Não determinada	Fundação da obra e reboco
Pó de pedra	<4,6 mm	Contra piso, calçadas e rebocos
Terra industrial	Não determinada	Aterro topográfico

Fonte: Dados da pesquisa.

4.2 Aplicação do método *Fuzzy TOPSIS*

Avaliou-se através do método *Fuzzy TOPSIS* qual alternativa é a mais indicada para se produzir na região. O tomador de decisão foi um engenheiro com experiência na área, e os resultados são descritos em seguida.

4.2.1 Critérios para julgamento das alternativas

Após o estudo sobre agregados reciclados e de possíveis alternativas que poderiam fazer diferença na escolha da melhor opção a se produzir, foram escolhidos os critérios mais relevantes para a seleção da melhor opção de agregado reciclado a se produzir. Os critérios foram elaborados com base em Awasthi, Chauhan e Goyal (2010).

Os critérios escolhidos foram os seguintes: custo de produção, armazenagem, qualidade, tempo de produção, diversidade de utilização, transporte e preço de venda, a seguir temos uma descrição de cada um deles e porque cada um foi escolhido. Sendo evidenciados no Quadro 2.

Quadro 2 – Critérios para avaliação das alternativas

Critério	Definição	Autor
CR1 - Custo de produção	Uma correta gestão dos custos de produção é essencial para melhorar o desempenho (rentabilidade) e a competitividade da organização.	HAROUN, 2015
CR2 - Armazenagem	Um correto armazenamento do material pode trazer inúmeros benefícios, como maior custo benefício e maior rapidez no trabalho. Desta forma, saber as facilidades e dificuldades encontradas no armazenamento de cada agregado é de grande importância na hora de definir qual a melhor opção de agregado a se produzir.	SIDORKO; LEE 2014
CR3 - Qualidade	O próprio cliente elege a qualidade do produto por ele utilizado, contudo, a qualidade dos serviços é de suma importância para que esse produto seja confeccionado de maneira que agrade ao cliente, para que isso aconteça são necessários regras, procedimentos, manuais, avisos e eventos de treinamento.	TOWN; HALL; WILSON 2015
CR4 – Tempo de produção	O tempo de produção influencia diretamente no custo de produção. Assim, agregados com tempo de produção menor além de diminuir o tempo gasto podem oferecer também custos reduzidos, aumentando os lucros da empresa.	DURGUN; ERTAN, 2014
CR5 - Diversidade de utilização	A diversidade de uso de um bem contribui para melhorar a sua visibilidade de mercado.	GUERRA et al., 2018
CR6 - Transporte	O tempo gasto com o transporte do material tem grande importância, assim, quanto maior o tempo de transporte, maiores os custos com o mesmo, quanto menor o peso do material a ser transportado, menor é o custo com o transporte do mesmo	FEDELI et al., 2013
CR7 – Preço de venda	O preço de venda é grandemente influenciado pela demanda, além disso, muitos clientes não dispõem de muito dinheiro para investir ou desejam pagar um valor baixo pelo produto, o que obriga as empresas a trabalharem com o menor preço de venda possível.	KONUUK, 2015

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2.2 Procedimento de cálculo

Empregaram-se escalas linguísticas para avaliar as alternativas de agregados reciclados e o peso dos critérios. Após isso, utilizou-se números Fuzzy triangulares. A tabela 1 mostra a escala linguística utilizada no julgamento de cada critério:

Tabela 1 – Escalas linguística para avaliação dos critérios e alternativas

Valores linguísticos para critérios		Números Fuzzy			Valores linguísticos para alternativas		Números Fuzzy		
Abreviação	Termo Linguístico	L	M	H	Abreviação	Termo Linguístico	L	M	H
SI	Sem importância	1	1	3	MR	Muito Ruim	1	1	3
PI	Pouca importância	1	3	5	R	Ruim	1	3	5
MI	Média importância	3	5	7	B	Bom	3	5	7
I	Importante	5	7	9	MB	Muito Bom	5	7	9
AI	Alta importância	7	9	9	O	Ótimo	7	9	9

Fonte: Elaborado pelos autores.

A tabela 2 evidencia os pesos dados pelo tomador de decisão a cada um dos critérios.

Tabela 2 – Avaliação dos critérios pelo tomador de decisão

CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7
AI	I	MI	I	AI	I	MI

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 3 mostra a avaliação linguística do tomador de decisão, analisando cada alternativa em relação a cada um dos critérios.

Tabela 3 – Matriz de avaliação linguística dos agregados em relação aos critérios

Avaliação Escala Linguística							
	Custo de produção	Preço de venda	Tempo de produção	Diversidade de utilização	Qualidade	Armazenagem	Transporte
Terra industrial	R	R	B	B	B	MB	MB
Pó de pedra	R	B	B	MB	MB	MB	MB
Granilho	R	B	B	MB	B	MB	MB
Brita 0	R	O	B	O	MB	MB	MB
Brita 1	R	B	B	O	B	MB	MB
Brita 2	R	MB	B	MB	MB	MB	MB
Rachão	R	B	B	B	B	MB	MB

Fonte: Dados da pesquisa.

Os valores da Tabela 3 foram transformados em números *Fuzzy* triangulares, conforme evidenciado na Tabela 4, onde as variáveis linguísticas passaram a assumir os valores correspondentes as mesmas. A seguir temos a matriz de decisão com os números *Fuzzy*:

Tabela 4 – Matriz de decisão números *Fuzzy*

	Custo de produção	Preço de venda	Tempo de produção	Diversidade de utilização	Qualidade	Armazenagem	Transporte
Terra industrial	(1,3,5)	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)
Pó de pedra	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
Granilho	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(3,5,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
Brita 0	(1,3,5)	(7,9,9)	(3,5,7)	(7,9,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
Brita 1	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)	(7,9,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)
Brita 2	(1,3,5)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)	(5,7,9)
Rachão	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(3,5,7)	(5,7,9)	(5,7,9)

Fonte: Dados da pesquisa.

Através dos procedimentos de cálculo obteve-se os dados da Tabela 4, para assim mostrar o desempenho dos agregados reciclados. Através das equações 8, 9 (critério de benefício) e 10 (critério de custo) chegou-se à matriz normalizada demonstrada na Tabela 5.

Pensando que os critérios de custo de produção e preço de venda são considerados melhores quando oferecem valores menores os mesmos foram normalizados como critério de custo, enquanto os outros critérios foram normalizados como critério de benefício.

Tabela 5 – Matriz normalizada

	Custo de produção	Preço de venda	Tempo de produção	Diversidade de utilização	Qualidade	Armazenagem	Transporte
Terra industrial	(0,2;0,33;1)	(0,11;0,33;0,56)	(0,43;0,6;1)	(0,33;0,56;0,78)	(0,33;0,56;0,78)	(0,56;0,78;1)	(0,56;0,78;1)
Pó de pedra	(0,2;0,33;1)	(0,33;0,56;0,78)	(0,43;0,6;1)	(0,78;1;0,56)	(0,56;0,78;1)	(0,56;0,78;1)	(0,56;0,78;1)
Granilho	(0,2;0,33;1)	(0,33;0,56;0,78)	(0,43;0,6;1)	(0,78;1;0,33)	(0,33;0,56;0,78)	(0,56;0,78;1)	(0,56;0,78;1)
Brita 0	(0,2;0,33;1)	(0,78;1;1)	(0,43;0,6;1)	(1;1;0,56)	(0,56;0,78;1)	(0,56;0,78;1)	(0,56;0,78;1)
Brita 1	(0,2;0,33;1)	(0,33;0,56;0,78)	(0,43;0,6;1)	(1;0,33;0,56)	(0,33;0,56;0,78)	(0,56;0,78;1)	(0,56;0,78;1)
Brita 2	(0,2;0,33;1)	(0,56;0,58;1)	(0,43;0,6;1)	(1;0,56;0,78)	(0,56;0,78;1)	(0,56;0,78;1)	(0,56;0,78;1)
Rachão	(0,2;0,33;1)	(0,33;0,56;0,78)	(0,43;0,6;1)	(0,78;0,33;0,56)	(0,33;0,56;0,78)	(0,56;0,78;1)	(0,56;0,78;1)

Fonte: Dados da pesquisa.

Utilizando-se da equação 11 elaborou-se a matriz ponderada, sendo que os valores obtidos se encontram evidenciados na Tabela 6.

Tabela 6 – Matriz ponderada

	Custo de produção	Preço de venda	Tempo de produção	Diversidade de utilização	Qualidade	Armazenagem	Transporte
Terra industrial	(1,4;3,9)	(0,56;2,33;5)	(1,29;3;7)	(1,67;3,89;7)	(2,33;5;7)	(2,78;5,44;9)	(1,67;3,89;7)
Pó de pedra	(1,4;3,9)	(1,67;3,89;7)	(1,29;3;7)	(2,78;5,44;9)	(3,89;7;9)	(2,78;5,44;9)	(1,67;3,89;7)
Granilho	(1,4;3,9)	(1,67;3,89;7)	(1,29;3;7)	(2,78;5,44;9)	(2,33;5;7)	(2,78;5,44;9)	(1,67;3,89;7)
Brita 0	(1,4;3,9)	(3,89;7;9)	(1,29;3;7)	(1,29;3;7)	(3,89;7;9)	(2,78;5,44;9)	(1,67;3,89;7)
Brita 1	(1,4;3,9)	(1,67;3,89;7)	(1,29;3;7)	(1,29;3;7)	(2,33;5;7)	(2,78;5,44;9)	(1,67;3,89;7)
Brita 2	(1,4;3,9)	(2,78;5,44;9)	(1,29;3;7)	(2,78;5,44;9)	(3,89;7;9)	(2,78;5,44;9)	(1,67;3,89;7)
Rachão	(1,4;3,9)	(1,67;3,89;7)	(1,29;3;7)	(1,67;3,89;7)	(2,33;5;7)	(2,78;5,44;9)	(1,67;3,89;7)

Fonte: Dados da pesquisa.

Foram utilizadas as equações 12 e 13 para definir as soluções ideais positiva e negativa respectivamente. Contudo, através das equações 14 e 15 obteve-se os dados das Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 – Distância entre o desempenho dos agregados e a solução ideal positiva

	Desempenho positivo (D+)							
	Custo de produção	Preço de venda	Tempo de produção	Diversidade de utilização	Qualidade	Armazenagem	Transporte	D+
Terra industrial	5,59	6,627	5,759	5,288	4,635	4,137	5,288	37,324
Pó de pedra	5,59	5,288	5,759	4,137	3,169	4,137	5,288	33,369
Granilho	5,59	5,288	5,759	4,137	4,635	4,137	5,288	34,835
Brita 0	5,59	3,169	5,759	3,169	3,169	4,137	5,288	30,281
Brita 1	5,59	5,288	5,759	3,169	4,635	4,137	5,288	33,866
Brita 2	5,59	4,137	5,759	4,137	3,169	4,137	5,288	32,218
Rachão	5,59	5,288	5,759	5,288	4,635	4,137	5,288	35,986

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 8 – Distância entre o desempenho dos agregados e a solução ideal negativa

	Desempenho negativo (D-)							
	Custo de produção	Preço de venda	Tempo de produção	Diversidade de utilização	Qualidade	Armazenagem	Transporte	D-
Terra industrial	4,766	2,448	3,655	3,864	4,234	5,382	3,864	28,212
Pó de pedra	4,766	3,864	3,655	5,382	6,009	5,382	3,864	32,923
Granilho	4,766	3,864	3,655	5,382	4,234	5,382	3,864	31,147
Brita 0	4,766	6,009	3,655	6,009	6,009	5,382	3,864	35,695
Brita 1	4,766	3,864	3,655	6,009	4,234	5,382	3,864	31,774
Brita 2	4,766	5,382	3,655	5,382	6,009	5,382	3,864	34,441
Rachão	4,766	3,864	3,655	3,864	4,234	5,382	3,864	29,628

Fonte: Dados da pesquisa.

Usando os valores das Tabelas 7 e 8, e aplicando a equação 17, pode-se calcular o coeficiente de aproximação (CCi) para cada agregado reciclado.

A Tabela 9 mostra o ranking das alternativas com os coeficientes de proximidade após terminado o processo de cálculo:

Tabela 9 – Classificação dos agregados

Agregado	Desempenho global (Cci)	Classificação
Terra industrial	0,430	7º
Pó de pedra	0,497	3º
Granilho	0,472	5º
Brita 0	0,541	1º
Brita 1	0,484	4º
Brita 2	0,517	2º
Rachão	0,452	6º

Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se na Tabela 9, que a brita 2 teve o maior desempenho global, isso demonstra que a mesma é a que melhor atende aos critérios utilizados, aproximando-se assim da solução ideal positiva e ao mesmo tempo sendo a mais distante da solução ideal negativa. Fazendo uma avaliação mais precisa, tal alternativa obteve um desempenho de no mínimo bom em 6 dos 7 critérios, só ficando com nota “Ruim” no critério de custo de produção, porém, todos os agregados foram mal avaliados nesse critério. Na sequência de classificação dos agregados ficaram: brita 2, pó de pedra; brita 1; granilho; rachão e terra industrial.

Observa-se também a baixa avaliação do granilho, rachão e terra industrial em relação aos quesitos avaliados, o que indica que a produção dos mesmos não é tão indicada como a dos agregados melhor classificados.

4.2.3 Análise de sensibilidade

Para investigar a influência dos pesos dos critérios na determinação de qual a melhor opção de agregado reciclado a se produzir foi realizada a análise de sensibilidade. Assim, foram feitos 14 experimentos, os mesmos são mostrados na Tabela 10.

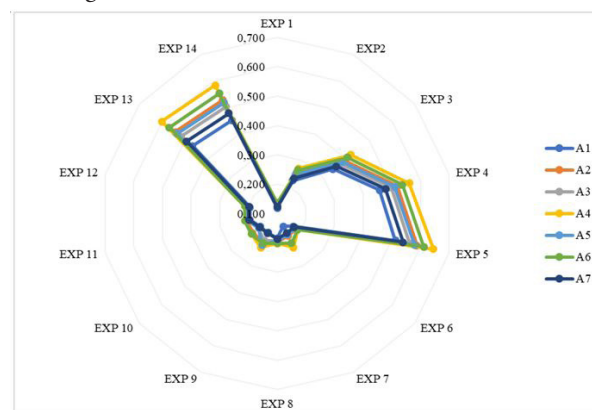
Tabela 10 – Resultados numéricos de experiências de análise de sensibilidade

	DEFINIÇÃO	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	RANKING
EXP 1	WC1-C7=(1, 1, 3)	0,119	0,131	0,126	0,136	0,126	0,136	0,122	A4>A6>A2>A5>A3>A7>A1
EXP 2	WC1-C7=(1, 3, 5)	0,224	0,254	0,244	0,27	0,247	0,264	0,233	A4>A6>A2>A5>A3>A7>A1
EXP 3	WC1-C7=(3, 5, 7)	0,343	0,39	0,374	0,421	0,382	0,406	0,358	A4>A6>A2>A5>A3>A7>A1
EXP 4	WC1-C7=(5, 7, 9)	0,458	0,518	0,498	0,561	0,51	0,537	0,478	A4>A6>A2>A5>A3>A7>A1
EXP 5	WC1-C7=(7, 9, 9)	0,513	0,588	0,563	0,645	0,58	0,612	0,539	A4>A6>A2>A5>A3>A7>A1
EXP 6	WC1=(7, 9, 9), WC2-C7=(1, 1, 3)	0,171	0,183	0,179	0,188	0,179	0,188	0,174	A4>A6>A2>A3>A5>A7>A1
EXP 7	WC2=(7, 9, 9), WC1, C3-C7=(1, 1, 3)	0,149	0,185	0,18	0,229	0,18	0,212	0,175	A4>A6>A2>>A3>A5>A7>A1
EXP 8	WC3=(7, 9, 9), WC1-C2, C4-C7=(1, 1, 3)	0,184	0,197	0,192	0,202	0,192	0,201	0,187	A4>A6>A2>>A3>A5>A7>A1
EXP 9	WC4=(7, 9, 9), WC1-C3, WC5-WC7=(1, 1, 3)	0,172	0,207	0,202	0,229	0,219	0,212	0,175	A4>A6>A2>A3>A5>A7>A1
EXP 10	WC5=(7, 9, 9), WC1-C4, C6-C7=(1, 1, 3)	0,172	0,207	0,18	0,212	0,18	0,212	0,175	A4>A6>A2>A5>A3>A7>A1
EXP 11	WC6=(7, 9, 9), WC1-WC5, WC7=(1, 1, 3)	0,195	0,207	0,202	0,212	0,203	0,212	0,198	A4>A6>A2>A5>A3>A7>A1
EXP 12	WC7=(7, 9, 9), WC1-WC6=(1, 1, 3)	0,195	0,207	0,202	0,212	0,203	0,212	0,198	A4>A6>A2>A5>A3>A7>A1
EXP 13	WC1=(1, 1, 3), WC2 - WC7=(7, 9, 9)	0,468	0,544	0,519	0,602	0,536	0,569	0,494	A4>A6>A2>A5>A3>A7>A1
EXP 14	WC3=(1, 1, 3), WC1-WC2, WC4-WC7=(7, 9, 9)	0,452	0,528	0,503	0,585	0,519	0,553	0,478	A4>A6>A2>A5>A3>A7>A1

Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 1, podem ser visualizados graficamente os resultados da análise de sensibilidade.

Figura 1 – Resultado da análise de sensibilidade



Fonte: Dados da pesquisa.

Na maioria dos experimentos a brita 0 foi considerada a melhor alternativa, porém nos experimentos 6, 10, 11 e 12 ela ficou empatada com a brita 2, ou seja, após a análise de sensibilidade conclui-se que a brita 0 é a melhor alternativa, porém nas hipóteses acima citadas, ela pode estar empatada com a brita 2 como sendo a melhor alternativa. Desse modo, afirma-se que o processo decisório é insensível aos critérios, sendo que em nenhum dos experimentos houve inversão de ranking, o máximo que ocorreu foi a alternativa “A4” se igualar a outra alternativa

5 Conclusão

Este estudo objetivou utilizar a metodologia Fuzzy TOPSIS para determinar a melhor alternativa para a destinação dos resíduos de classe “A” da construção civil na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Afirma-se que buscou-se trabalhar com os resíduos da construção civil devido a ser um tema emergente que vem crescendo em importância nos últimos anos, assim, a reciclagem dos resíduos de classe A podem oferecer grandes ganhos econômicos, sociais e ambientais a nossa sociedade.

Existem diferentes alternativas de agregados reciclados passíveis de serem produzidos, afirmando-se a existência de poucos estudos com o intuito de determinar a melhor alternativa a se produzir, desta forma, demonstra-se a relevância existente na presente pesquisa. Esta determinação levou em conta os critérios que de uma maneira global melhor elucidavam as vantagens esperadas por uma empresa na hora de determinar qual agregado lhe oferece maior vantagem em sua produção.

Após realizada pesquisa na Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, observou-se que os resíduos gerados no município não passam pelo processo de reciclagem, uma vez que não existe nenhuma empresa especializada nesse serviço. Desse modo, os resultados demonstram que há um grande potencial de negócio, pois, segundo Al-Gahtani et al. (2017) os resíduos da construção civil podem se tornar agregados reciclados, tendo várias utilidades como por exemplo no concreto sem função estrutural. Como vantagens na produção do agregado reciclado temos o fato de ser um material barato além de ir de encontro a sustentabilidade e a questão ambiental. O SINDUSCON (2015) vê a reciclagem do RCD como sendo um potencial negócio, pois o resíduo deixa de ser inutilizado para retornar ao mercado na forma de agregado reciclado, possibilitando a geração de receita tanto pelo recebimento dos resíduos quanto pela venda dos agregados. Diante a esse potencial de mercado, verificou-se que na região muitas são as alternativas geradas com os resíduos, evitando que as mesmas sejam descartadas de maneira que venham atingir de maneira negativa o meio ambiente, contribuindo para sustentabilidade do município e Região.

O SINDUSCON (2015) comenta sobre o grande aumento nas usinas de reciclagem de RCD principalmente de 2007 para os anos atuais, o mesmo também comenta a respeito da pequena porcentagem de RCD que se torna agregado reciclado. Assim como em outros estudos (MOSTAFAZADEH et al., 2017; MAGHSOODI; KHALILZADEH, 2017), o método multicritério empregado foi de grande auxílio para determinar a alternativa mais viável a ser adotada para reciclagem dos resíduos gerados, demonstrando assim mais uma vez a eficácia dos modelos multicritérios para a tomada de decisão, auxiliando na definição de diretrizes estratégicas tanto para organizações quanto para o poder público, alcançando com mais assertividade os objetivos determinado para as mesmas.

Pode-se constatar que o método *Fuzzy TOPSIS* se mostrou eficaz no auxílio a tomada de decisão, sendo que seus resultados finais são de fácil entendimento, contudo, sabendo das incertezas encontradas na escolha da melhor opção de agregado a se produzir, é de total importância que os profissionais da área tenham conhecimento do assunto na hora de definir quais agregados reciclados irão produzir. O agregado melhor avaliado foi a brita 0, principalmente por sua boa avaliação nos critérios preço de venda, diversidade de utilização e qualidade, critérios esses que possuíam pesos altos para a escolha final.

Como limitação para o estudo, elucida-se o escasso número de empresas que realizam a reciclagem bem como, a distância dos pesquisadores com as empresas. Assim sugere-se, para estudos futuros, uma pesquisa sobre a viabilidade de implantação de uma central de britagem de RCD na Região estudada, bem como a utilização de diferentes métodos para a avaliação das alternativas.

Referências

- AL-GAHTANI, K. et al. Production of green concrete using recycled waste aggregate and byproducts. *Built Environment Project and Asset Management*, v. 7, n. 4, p. 413-425, 2017.
- AMARO, G. D. & LIMA JUNIOR, F. R. *Aplicação do método fuzzy-TOPSIS no apoio à seleção de fornecedores “verdes”*. XVII ENGEMA–Encontro internacional sobre gestão empresarial e meio ambiente, São Paulo, 2015.
- AMORIM, L. V. et al. Reciclagem de rejeitos da construção civil para uso em argamassas de baixo custo. *Revista Brasileira de engenharia agrícola ambiental*, v. 3, n. 2, p. 222-228, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro, 2004.
- AWASTHI, A. et al. A hybrid approach based on SERVQUAL and fuzzy TOPSIS for evaluating transportation service quality. *Computers & Industrial Engineering*, v. 61, n. 3, p. 637-646, 2011.
- AWASTHI, Anjali; CHAUHAN, Satyaveer S.; GOYAL, Surseh K. A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. *International Journal of Production Economics*, v. 126, n. 2, p. 370-378, 2010.
- BILIŞIK, Ö. N. et al. A hybrid fuzzy methodology to evaluate customer satisfaction in a public transportation system for Istanbul. *Total Quality Management & Business Excellence*, v. 24, n. 9-10, p. 1141-1159, 2013.
- BRASIL. Resolução Conama. 307 de 05 de julho de 2002. *Dispõe sobre Gestão dos Resíduos da Construção Civil*, 2002.
- CHEN, C. T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy sets and systems*, v. 114, n. 1, p. 1-9, 2000.

DE OLIVEIRA NETO, Geraldo Cardoso et al. Produção mais limpa: estudo da vantagem ambiental e econômica na reciclagem de plásticos. *Interciencia*, v. 40, n. 6, p. 364-373, 2015.

DURGUN, I.; ERTAN, R. Experimental investigation of FDM process for improvement of mechanical properties and production cost. *Rapid Prototyping Journal*, v. 20, n. 3, p. 228-235, 2014.

FEDELI, L. G. et al. Logística de coleta e transporte de material biológico e organização do laboratório central no ELSA-Brasil. *Revista de Saúde Pública*, v. 47, n. suppl 2, p. 63-71, 2013.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HAROUN, A. E. Maintenance cost estimation: application of activity-based costing as a fair estimate method. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 21, n. 3, p. 258-270, 2015.

HWANG, C. L. & YOON, K. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag: Berlin (Alemanha), 1981.

KARPINSKI, L. A. *Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental*. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.

LIMA JUNIOR, F. R. *Comparação entre os métodos Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2013.

LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. *Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil*. Série de Publicações Temáticas do Crea-PR. Curitiba: Crea, 2009.

MAGHSOODI, A. I. & KHALILZADEH, M. Identification and evaluation of construction projects' critical success factors employing Fuzzy-TOPSIS approach. *KSCE Journal of Civil Engineering*, p. 1-13, 2017.

MARRO, A. A. et al. *Lógica fuzzy: conceitos e aplicações*. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2010.

MOSTAFAZADEH, R. et al. *Scenario analysis of flood control structures using a multi-criteria decision-making technique in Northeast Iran*. *Natural Hazards*, p. 1-20, 2017.

MOTTA, Rosângela dos Santos. *Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego*. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NAGALLI, A. *Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

PASCHOALIN FILHO, João Alexandre et al. Gerenciamento dos resíduos de demolição gerados nas obras de um edifício localizado na Zona Leste da Cidade de São Paulo/SP. *Desenvolvimento em Questão*, v. 13, n. 30, p. 265-305, 2015.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. *Manejo e gestão de resíduos da construção civil*. Manual de orientação, Vol. 1, 2005.

SIDORKO, P.; LEE, L. JURA: a collaborative solution to Hong Kong academic libraries storage challenge. *Library Management*, v. 35, n. 1/2, p. 46-68, 2014.

SINDUSCON–SINDICATO, DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. CIVIL. *Gestão ambiental de resíduos da construção civil-avanços institucionais e melhorias técnicas*. São Paulo, 2015.

TESSARO, A. B.; DE SÁ, J. S. & SCREMIN, L. B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. *Ambiente Construído*, v. 12, n. 2, p. 121-130, 2012.

TOWN, S.; HALL, I. & WILSON, F. *The Quality Maturity Model: your roadmap to a culture of quality*. Library Management, 2015.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. *Information and control*, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

