



Locação de Centro de Triagem de Resíduos Sólidos Urbanos por Processo de Análise Hierárquica

Vanessa Guirra Almeida¹; Paulo Sérgio de Rezende Nascimento¹

✉ psrn.geologia@gmail.com

1. Universidade Federal de Sergipe

Histórico do Artigo: O autor detém os direitos autorais deste artigo.

Recebido em: 19 de abril de 2023

Aceito em: 24 de outubro de 2023

Publicado em: 31 de dezembro de 2023

Resumo: Os métodos de análise multicritério vêm sendo utilizados como ferramentas de auxílio na gestão dos resíduos sólidos. O Processo de Análise Hierárquica (AHP) consiste na ordenação de decisão por níveis hierárquicos, os quais permitem uma visão global das relações entre os níveis, possibilitando ao decisor o entendimento do sistema como um todo. O objetivo foi definir uma área para a implantação de um centro de triagem de resíduos sólidos urbanos (RSU) no município de Barra dos Coqueiros, no estado de Sergipe, empregando o método multicritério de Análise Hierárquica. O procedimento constou da análise de imagens orbitais, documentos relacionados à legislação municipal e seleção de três áreas testes. Os critérios adotados no AHP foram o tamanho da área, distância do adensamento urbano, titularidade do terreno e proximidade do sistema viário. Os resultados demonstraram que a melhor alternativa para instalação de um centro de triagem é a área C, com relação às áreas A e B. A área está situada na Rodovia Barra Atalaia Nova, afastada do adensamento urbano, possui acesso ao sistema viário, é domínio da prefeitura e possui a maior área, critério considerado de maior importância na análise hierárquica. Recomenda-se o emprego do método AHP como um instrumento tecnológico, para direcionar, de forma assertiva, a gestão dos RSU e subsidiar os órgãos competentes na tomada de decisão.

Palavras-chave: Análise multicritério, Gestão de resíduos, Usina de triagem, Coleta seletiva, Reciclagem, Cooperativas de catadores.

Leasing of Urban Solid Waste Screening Center by Analytic Hierarchy Process

Abstract: Multicriteria analysis methods have been used as tools to aid in the management of solid waste. The Analytic Hierarchy Process (AHP) consists of ordering decisions by hierarchical levels, which allow a global view of the relationships between levels, enabling the decision maker to understand the system as a whole. The objective was to define an area for the implementation of a solid waste sorting center in the municipality of Barra dos Coqueiros (SE), using the multicriteria method of Hierarchical Analysis. The procedure consisted of analyzing orbital images, documents related to municipal legislation and selecting three test areas. The criteria adopted in the AHP were the size of the area, distance from urban density, land ownership and proximity to the road system. The results showed that the best alternative for installing a triage center is area C, compared to areas A and B. The area is located on the Barra Atalaia Nova Highway, away from urban densification, has access to the road system, is domain city hall and has the largest area, a criterion considered of greater importance in the hierarchical analysis. It is recommended the use of the AHP method as a technical and managerial instrument, to direct, in an assertive way, the management of urban solid waste and to support the competent bodies in decision making.

Keywords: Multicriteria analysis, Waste management, Sorting plant, Selective collection, Recycling, Waste pickers' cooperatives.

Arrendamiento de un Centro de Tamizaje de Residuos Sólidos Urbanos por Proceso de Jerarquía Analítica

Resumen: Los métodos de análisis multicriterio se han utilizado como herramientas para ayudar en el manejo de los residuos sólidos. El proceso de análisis jerárquico (AHP) consiste en ordenar las decisiones por niveles jerárquicos, que permiten una visión global de las relaciones entre niveles, posibilitando al decisor comprender el sistema como un todo. El objetivo fue definir un área para la implantación de una central de clasificación de residuos sólidos (RSU) en el municipio de Barra dos Coqueiros, en el estado de Sergipe, utilizando el método multicriterio de Análisis Jerárquico. El procedimiento consistió en analizar imágenes orbitales, documentos relacionados con la legislación municipal y seleccionar tres áreas de prueba. Los criterios adoptados en el AHP fueron el tamaño del área, la distancia a la densidad urbana, la propiedad del suelo y la proximidad a la red vial. Los resultados mostraron que la mejor alternativa para la instalación de un centro de triaje es el área C, en comparación con las áreas A y B. El área está ubicada en la carretera Barra Atalaia Nova, lejos de la densificación urbana, tiene acceso a la red vial, es ciudad de dominio hall y tiene la mayor superficie, criterio considerado de mayor importancia en el análisis jerárquico. Se recomienda el uso del método AHP como instrumento técnico y gerencial, para orientar de manera asertiva la gestión de los residuos sólidos urbanos y para apoyar a los órganos competentes en la toma de decisiones.

Palabras clave: Análisis multicriterio, Gestión de residuos, Planta de selección, Recogida selectiva, Reciclaje, Cooperativas de recolectores.

INTRODUÇÃO

A crescente geração de resíduos associada diretamente às altas taxas de produção e consumo é, atualmente, um dos maiores problemas ambientais enfrentados pela sociedade contemporânea. A situação se agrava com a expansão e com o adensamento das áreas urbanas, pois a infraestrutura sanitária da maioria das cidades brasileiras não acompanha o ritmo acelerado do crescimento desses processos. A gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um grande desafio para os países em desenvolvimento como o Brasil (NASCIMENTO *et al.*, 2015; SAIKIA; NATH, 2015; OLIVEIRA; MEDEIROS, 2019; SANTOS *et al.*, 2022).

A diversidade regional e a diferença socioeconômica do Brasil, de dimensão continental, exigem estudos de acordo com a especificidade municipal para definir e aplicar as políticas públicas para a melhoria da qualidade de vida, visando diminuir a grande assimetria de gestão de resíduo sólido urbano entre seus diversos municípios e regiões (GRISA; CAPANEMA, 2018; SILVA; CAPANEMA, 2019). Os princípios legais associados aos culturais são barreiras para o processo de gestão, além do escasso investimento financeiro no gerenciamento dos resíduos (MAIELLO; BRITO; VALE, 2018; FEITOSA *et al.*, 2020; XIMENES *et al.*, 2020). É importante ressaltar que, enquanto a coleta seletiva de RSU no Brasil é um serviço público atribuído aos municípios, a reciclagem é uma atividade industrial pertencente ao setor privado, no entanto ambas são interdependentes e promovem a economia no uso de recursos naturais (BESEN *et al.*, 2014).

Nesse sentido, dada à necessidade de uma gestão integrada e de um gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos e rejeitos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, tem como objetivos a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental. A lei estabelece que as prefeituras devem inserir as cooperativas nos programas de coleta seletiva, como também desenvolver projetos que contribuam para a estruturação e desenvolvimento de tais cooperativas. No artigo 3º da referida lei, que trata da destinação e disposição final adequada de resíduos, os instrumentos destacados são a coleta seletiva, reutilização, logística reversa, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético (BRASIL, 2010).

No entanto, mesmo com a PNRS possuindo doze anos de vigência, as cooperativas ainda enfrentam dificuldades para se estabelecerem e até mesmo para obter o número mínimo de cooperados necessários à sua formação. A definição de cooperativa, conforme a Política Nacional de Cooperativismo (PNC), é:

“[...] sociedade de pessoas, com forma e natureza jurídica própria, de natureza civil, não sujeita à falência, constituída para prestar serviços aos associados e com número mínimo de 20 (vinte) pessoas físicas, sendo excepcionalmente permitida a admissão de pessoas jurídicas que tenham por objeto as mesmas ou correlatas atividades econômicas das pessoas físicas ou, ainda, aquelas sem fins lucrativos (BRASIL, 1971, p. 1).”

A participação dos catadores no processo de reciclagem, limpeza e conservação dos espaços públicos urbanos minimiza os impactos ambientais e gera renda. Ressalta-se o papel histórico dos catadores na coleta seletiva, iniciada após a Revolução Industrial no século XIX, em decorrência do aumento do desemprego e da produção de resíduos (BESEN, 2006). Caracteriza-se a coleta de recicláveis como trabalho informal e atividade laborativa por pessoas com oportunidades de estudo e trabalho limitadas.

A informalidade da atividade de catação no mercado de trabalho expõe os catadores a condições de trabalho insalubres e a insegurança financeira. Desta forma, é importante a criação de cooperativas e de centros de triagem para garantir os direitos dos catadores, com ênfase na segurança salutar e financeira, promovendo a inclusão social (PIMENTA *et al.*, 2020; TALGA; LOPES, 2021).

A PNRS, além do convênio, permite a remuneração pelos serviços prestados, dessa forma, o poder público tem autorização para contratar os catadores para a realização da coleta seletiva. É necessário possuir infraestrutura adequada, ou seja, serviços de coleta seletiva, destinação correta dos resíduos e prioridade de sua realização por associações e

Locação de Centro de Triagem de Resíduos Sólidos Urbanos por Processo de Análise Hierárquica

cooperativas de catadores, com dispensa de licitação. Esse modelo possibilita aos catadores outra renda além daquela advinda da comercialização do material reciclável, flutuante ao longo do ano (ARANTES; BORGES, 2013).

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) destaca que as cidades brasileiras geraram em 2022 cerca de 82 milhões de toneladas de RSU, com 25% gerados pelos estados do Nordeste. O estado de Sergipe gerou 814.564 toneladas de resíduos, e foram coletadas 813.066 toneladas, apresentando um índice de aproximadamente 99,82% de cobertura de coleta (ABRELPE, 2022). A Grande Aracaju, região composta pelos municípios de Aracaju, Barra dos Coqueiros, Nossa Senhora do Socorro e São Cristóvão, foi responsável, em 2019, pela geração de mais de 48% dos resíduos sólidos gerados no estado, e possui apenas 5 (cinco) cooperativas para atender toda a demanda.

No município de Barra dos Coqueiros, apenas 86,8% da população é atendida pelo serviço de coleta de resíduos sólidos. Uma parte dos resíduos recicláveis do município é encaminhada para a Cooperativa de Agentes no Trabalho de Reciclagem (CATRE). Os demais resíduos sólidos urbanos têm como disposição final o aterro sanitário da empresa de serviços ambientais. Este, localizado no município de Rosário do Catete, distante 40 km da Barra dos Coqueiros.

Nesse sentido, é fundamental os estudos para um melhor gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU), com destaque nesse trabalho, a definição de uma área para o centro de triagem. A locação de centrais de triagem é baseada na localização de facilidades e consiste em determinar locais, a partir de um conjunto de locais candidatos, para a instalação de facilidades que atendam às demandas de clientes e otimização do custo (COELHO; TOCCHETTO; MEINHARDT JÚNIOR, 2014; FERRI *et al.*, 2015; BEZERRA *et al.*, 2018; CURTIS *et al.*, 2021).

Os métodos de análise multicriterial para tomada de decisão vêm sendo, frequentemente, utilizados como ferramentas de auxílio na definição de políticas públicas socioambientais e sanitárias (SENKHO *et al.*, 2019; ALVES *et al.*, 2020). Destaca-se o método Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchy Process* - AHP), como o mais empregado (65%) nos artigos científicos publicados sobre tomada de decisão na área de gestão de resíduos sólidos urbanos (MULLER *et al.*, 2021).

O método AHP consiste na ordenação de decisão composta por níveis hierárquicos, os quais permitem uma visão global das relações inerentes ao processo (SAATY, 2008). A ordenação hierárquica possibilita ao decisor o entendimento do sistema como um todo e as interações entre os componentes do sistema. Baseia-se na decomposição do problema em



fatores, esses podem ser decompostos em novos fatores até ao nível mais baixo, estabelecendo relações para depois sintetizar.

Assim, o objetivo desse trabalho foi identificar uma área para a instalação do centro de triagem de RSU para a cooperativa do município sergipano Barra dos Coqueiros, empregando o método AHP. A instalação de uma estação de triagem no município trará benefícios ambientais, econômicos e sociais, promovendo a sustentabilidade, a conscientização e o desenvolvimento local.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo compreende o município de Barra dos Coqueiros localizado no leste sergipano, apresentando as coordenadas geográficas $10^{\circ}54'23''$ de latitude Sul e $37^{\circ}12'02''$ de longitude Oeste (Figura 1). O município apresenta 64,5% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, possuindo um conjunto de instalações destinadas a coleta, transporte, afastamento, tratamento e disposição final das águas residuárias da comunidade (IBGE, 2010).

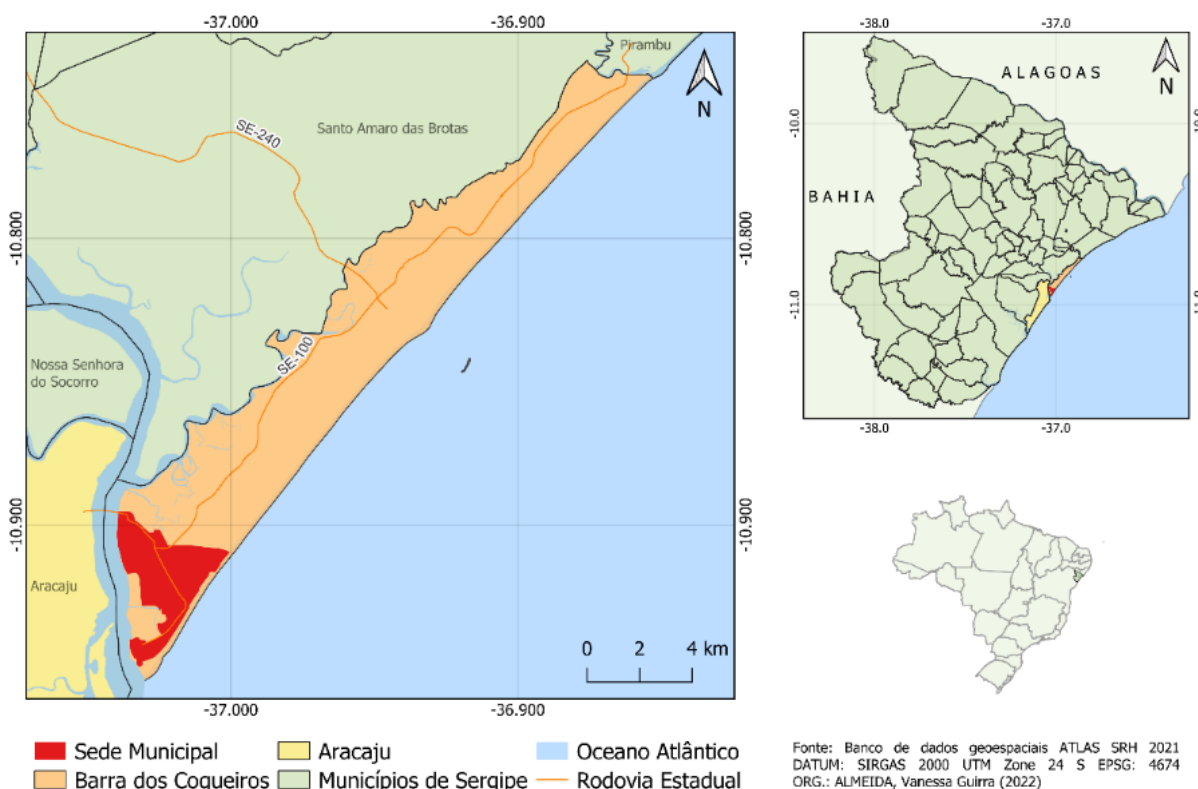


Figura 1. Mapa de localização da Barra dos Coqueiros-SE

Fonte: Os autores.

Locação de Centro de Triagem de Resíduos Sólidos Urbanos por Processo de Análise Hierárquica

Para realizar a gestão de resíduos sólidos, o município de Barra dos Coqueiros integra o consórcio da Grande Aracaju, que, em 2016, criou o Plano Intermunicipal de Resíduos Sólidos da Grande Aracaju. Este dispõe sobre os instrumentos, diretrizes e metas acerca da gestão dos resíduos sólidos das cidades participantes do consórcio. O plano apresenta os planejamentos e metas para os municípios, destacando a construção de Ecopontos/Pontos de Entrega Voluntária (PEV).

Para os municípios como a Barra dos Coqueiros, com aproximadamente 31.500 habitantes, é indicado a implementação do PEV Central, que além das atividades do PEV convencional, realiza triagem de resíduos, compostagem dos resíduos orgânicos e transbordo de resíduos ou rejeitos para o sistema de disposição final. Recomenda-se a localização do PEV Central fora do perímetro urbano de modo a evitar impactos adversos, como proliferação de doenças, maus odores e ruídos.

Além do plano, o município possui a Lei Municipal nº 895/2017, que dispõe sobre a criação do programa de coleta seletiva com inclusão social e econômica dos catadores de material reciclável e o sistema de logística reversa, e a Lei Municipal nº 762/2013, que autoriza o poder executivo a dispor sobre a proibição de descartar resíduos sólidos em área não destinada a depósito ou na coleta.

Procedimento de análise multicriterial

A Análise de Decisão Multicritérios (*Multi-Criteria Decision Analysis* - MCDA) é uma modelagem matemática multicriterial de padronização e decisão para resolver problemas complexos de apoio à tomada de decisão. Destaca-se o método AHP advindo da Teoria da Utilidade Multiatributo (*Multiple Attribute Utility Theory* - MAUT). Teoria fundamentada na agregação multicriterial a partir da síntese de sistema de relações de preferência relativa de um atributo em relação ao outro (SANTOS; NASCIMENTO; BARROS, 2020). A ideia central do método é a redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares, visando minimizar falhas e associar ao processo de tomada de decisões (MARCHEZETTI *et al.*, 2011). A tomada de decisão se dá pelos componentes importantes de um problema em uma estrutura hierárquica.

O estabelecimento da importância relativa de cada fator da hierarquia pode ser realizado por matrizes de comparação para cada nível hierárquico, cujas matrizes são ponderadas entre si (SAATY; SHANG, 2011). A ponderação para cada critério é realizada por meio de comparações de pares, usando a escala de Saaty de números absolutos, em que se atribui

valores numéricos tanto quantitativos como qualitativos aos julgamentos (DIAS *et al.*, 2014). Dessa forma, a tomada de decisão é um processo de análise e escolha não tratáveis por métodos empíricos e/ou monocriteriais.

É de competência do julgador, a escolha do fator que receberá o maior ou menor peso com relação à sua importância na tomada de decisão (RAFFO, 2012, REIS; LÖBLER, 2012). As propriedades de maior importância transmitem a sua maior influência para as propriedades menos importantes, nos níveis hierárquicos inferiores, contribuindo também com a funcionalidade e coerência nos níveis superiores. Esse relacionamento hierárquico indica a dependência entre os diferentes níveis, facilitando a análise par a par na atribuição dos pesos (BEZERRA NETO *et al.*, 2022; SANTOS; NASCIMENTO, 2020). Dessa forma, a precisão dos pesos não é uma condição obrigatória, mas um valor estimado, pois pela teoria de autovalores, a decisão do julgador pode causar uma pequena perturbação em torno de um autovalor simples, mas o autovalor principal ainda é recíproco (SAATY, 1994).

O método AHP tem sido amplamente utilizado quando a temática é gestão de resíduo sólido devido à estrutura sistemática que permite organizar e analisar os dados de forma mais assertiva para a tomada de uma decisão e à disponibilidade de *softwares* que possibilitam o uso do método de forma fácil (ARAÚJO; GONZALVES; ESQUERE, 2020). Nessa seara, destaca-se o trabalho de Direitinho, Marques Neto e Córdoba (2020), que empregaram o método AHP como ferramenta central ao desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão (SAD) para gestão dos resíduos sólidos de construção civil (RCC). Feliconi *et al.* (2016) aplicaram o método AHP para identificar áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e centros de triagem.

O procedimento empregado para definir uma área para a instalação de um centro de triagem de RSU, aplicando o método AHP foi adaptado de Gonzalves *et al.* (2020), que empregaram uma análise qualitativa e quantitativa para a caracterização do gerenciamento, destinação e disposição final dos resíduos sólidos e das áreas disponíveis para a implantação de um centro de triagem no município de São Gonçalo do Rio Abaixo (MG).

Neste trabalho, as principais diferenças foram com relação à escolha e atribuição de peso aos atributos ou fatores para a aplicação do método AHP. Dessa forma, a presença de vegetação e a proximidade com os cursos d'água, empregados por esses autores na matriz de comparação, foram substituídas pela titularidade do terreno e pelo adensamento urbano. Apesar de não terem sido considerados na análise quantitativa, o distanciamento dos cursos fluviais e a presença/ausência de vegetação foram analisados qualitativamente.

Locação de Centro de Triagem de Resíduos Sólidos Urbanos por Processo de Análise Hierárquica

Posto isso, o procedimento metodológico, definido nesse trabalho, foi dividido em quatro etapas: estruturação do problema, pesquisa de campo, análise hierárquica e análise da prioridade. A estruturação do problema foi subdividida em duas partes, a primeira parte consistiu em determinar as alternativas de áreas candidatas para a implantação de um centro de triagem de resíduos sólidos, a partir da interpretação de imagens de satélite disponibilizadas no *site* do *Google Earth*. Foram definidas três áreas possíveis: (i) área A; (ii) área B; (iii) área C.

A segunda parte foi a determinação dos critérios para o julgamento das alternativas, e como não existe uma metodologia consagrada para a definição dos critérios de áreas para centro de triagem, essa pesquisa baseou-se em estudos de definição de áreas propícias para aterros sanitários. No Plano Intermunicipal de Resíduos Sólidos da Grande Aracaju estão previstos alguns critérios para instalação de galpões de Ecopontos nos municípios consorciados. A partir dos critérios para aterros sanitários e do plano, foram definidos quatro critérios, a saber: tamanho da área; distância do sistema viário; distância do adensamento urbano; titularidade da propriedade.

Após a estruturação do problema, foram realizadas as campanhas de campo no município de Barra dos Coqueiros para análise *in situ* da viabilidade das áreas para o centro de triagem. Etapa fundamental, pois a especulação imobiliária é alta no município, e algumas áreas previamente escolhidas, nas imagens de satélite, poderiam ser de propriedade de construtoras privadas, impedindo o prosseguimento da pesquisa. Nessa etapa, visitou-se também a Secretaria do Meio Ambiente para obter informações específicas da gestão dos RSU no município.

A próxima etapa foi a análise hierárquica, tendo como objeto da decisão, os critérios escolhidos supracitados e as alternativas para aplicação do estudo. A avaliação de um problema que utiliza o método da AHP pode ser dividida em três etapas: determinação da importância relativa dos critérios; determinação do nível de preferência das alternativas e valorização global das alternativas (GRANEMANN; GARTNER, 1998). Assim, definiu-se a estrutura hierárquica em níveis, na forma de uma árvore invertida, cujos critérios exprimem as alternativas que envolvem a decisão.

Após a hierarquização e definição dos critérios, foram definidas as prioridades e atribuição de pesos a partir da escala fundamental de SAATY (2008). A prioridade 1 significa o mesmo grau de importância de um critério em relação ao outro, enquanto, o critério 9 significa maior importância de um critério sobre o outro, havendo estágios intermediários de

importância (Quadrol). Com os pesos definidos para cada parâmetro, aplicou-se na matriz de comparação.

Quadro 1. Escala fundamental de Saaty para atribuição de pesos

Intensidade de Importância	Definição	Descrição
1	Mesma importância	Importância igual. As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
2	Fraco ou irrelevante	
3	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
4	Moderada intermediária	
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
6	Grande intermediária	
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
8	Muito, muito grande	
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.

Fonte: Adaptado de Saaty (2008).

Na aplicação do método AHP deve-se verificar a inconsistência dos dados, observada quando os valores da matriz de comparação se contradizem. Para isso, dentre os passos recomendados por SAATY (1990) para aplicação do método, está o de calcular o índice de consistência (IC) e o índice randômico (IR). Dessa forma, cada linha da matriz de comparação deve ser representada pela soma ponderada, calculada a partir da soma do produto de cada valor pela prioridade da alternativa correspondente. Os resultados obtidos deverão ser divididos pelos vetores da respectiva matriz. A partir da média dos resultados de cada linha é obtido o λ_{max} , que corresponde ao maior autovalor da matriz de julgamentos.

O valor da Razão de Consistência que considera o IC e IR permite avaliar a inconsistência em função da matriz de julgamentos. Essa é a variância do erro de estimativa da matriz de comparação, permitindo a análise desejada. Esses parâmetros foram obtidos por meio das equações 1 e 2, em que n representa a dimensão da matriz.

$$IC = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

$$RC = IC / (\text{Índice Randômico (IR) para } n) \quad (2)$$

Os valores do IR são estimados a partir do número de variáveis (n) (SAATY, 1980; 2008), como exige a Tabela 1. Se a Razão de Consistência (RC) apresentar valor maior que 0,1 é necessário que seja feita uma nova rodada de comparação, baseando-se em novos julgamentos, se $RC \leq 0,1$, o grau de coerência é satisfatório.

Tabela 1. Valores de Índice Randômico

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,14	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1980).

Com o resultado dos cálculos, foi fornecida uma escala hierárquica das áreas quanto aos critérios já definidos, constatando assim a melhor área possível para implantação do centro de triagem dentro dos padrões estabelecidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a localização das 3 (três) áreas que foram escolhidas para a implantação do centro de triagem. Sendo 2 (duas) áreas do domínio da Companhia de Saneamento de Sergipe e 1 (uma) de domínio da prefeitura. Essas áreas foram escolhidas a partir de estudos da área nas imagens de satélite do *Google Earth* e após a entrevista com o secretário do meio ambiente. Dentre as alternativas apresentadas, a área A e a área B estão localizadas na estrada para o Estaleiro. Já a área C, está localizada às margens da Rodovia Barra Atalaia Nova.

Para a utilização do método AHP foi elaborada uma matriz de avaliação de alternativas em relação aos seguintes critérios: (i) análise do tamanho da área, avaliando se as alternativas teriam dimensão adequada para a construção do centro de triagem; (ii) a proximidade com relação ao sistema viário, considerando o acesso adequado e a proximidade da área urbana para redução dos custos de transporte, e avaliando os impactos nas vias principais do município, decorrentes de movimentações dos veículos de coleta; (iii) proximidade do centro urbano, tendo em conta que quanto mais próximo, pior a alternativa; (iv) titularidade do terreno, priorizando áreas públicas(Figura 3).

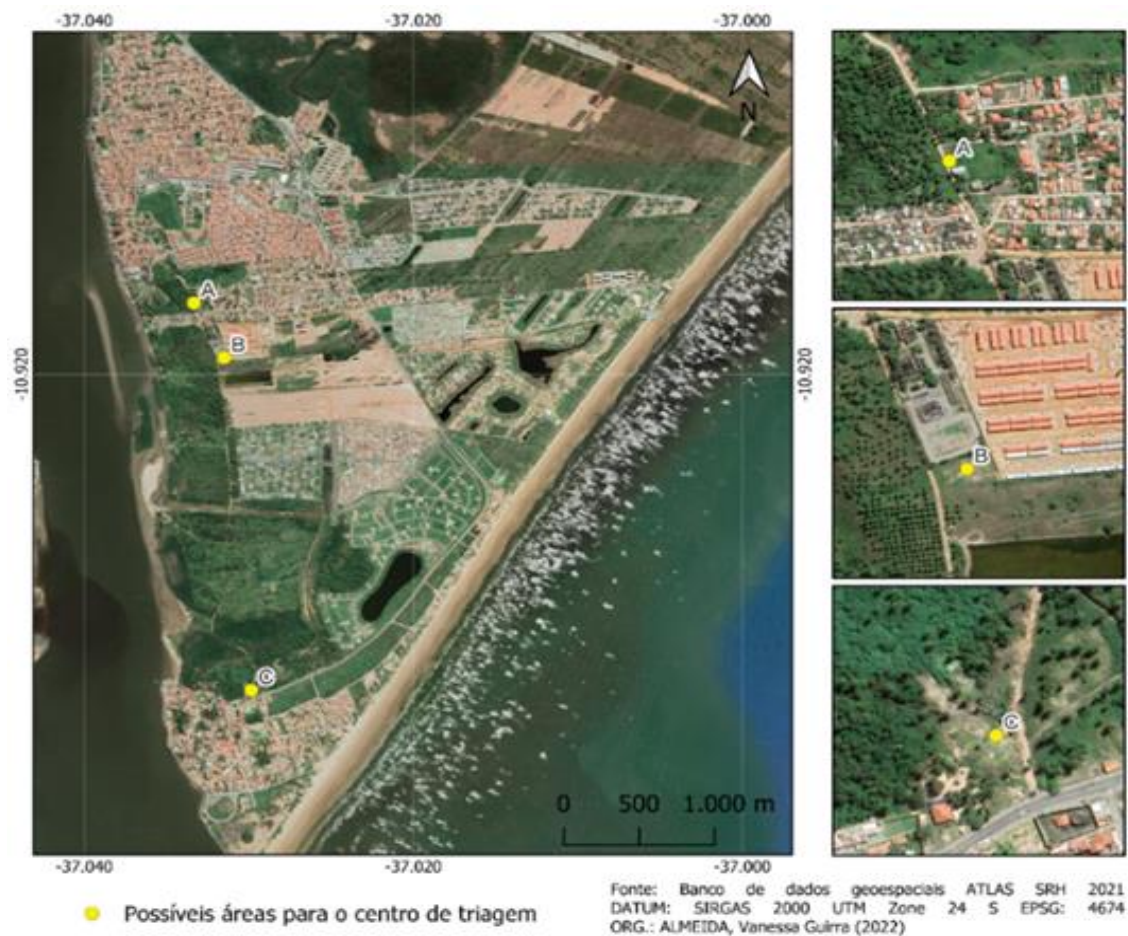


Figura 2. Localização das possíveis áreas para implantação do centro de triagem de resíduos sólidos, no município de Barra dos Coqueiros.
 Fonte: Google (2022).

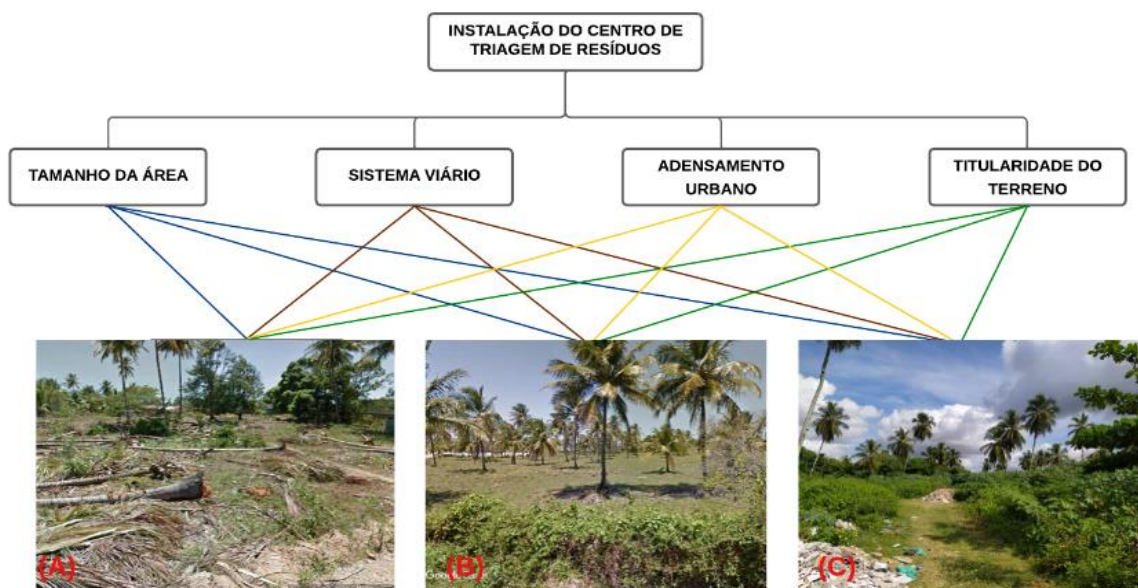


Figura 3. Árvore de critérios do método AHP utilizada nesta pesquisa e alternativas locais para a construção do centro de triagem: (A) Área A, (B) Área B e (C) Área C
 Fonte: Os autores.

Locação de Centro de Triagem de Resíduos Sólidos Urbanos por Processo de Análise Hierárquica

Dentre as alternativas apresentadas no Quadro 2, destaca-se que a área C, além da ausência de vegetação nativa, apresenta as características mais relevantes para a implantação do centro de triagem.

Quadro 2. Comparações das alternativas A, B e C com os critérios relacionados ao tamanho da área, sistema viário, titularidade do terreno e adensamento urbano

Critérios	Área A	Área B	Área C
Tamanho da área	3405 m ²	3550m ²	7000m ²
Distância do sistema viário	300m	160m	167m
Proximidade do centro urbano	Inserida no centro urbano	Inserida no centro urbano	Afastada do centro urbano
Titularidade do terreno	DESO	DESO	Prefeitura

Fonte: Os autores.

A Tabela 2 apresenta as análises paritárias que permitiram a hierarquização das alternativas disponíveis para a construção do centro de triagem em função da importância dos critérios. Foram definidos como os mais importantes o tamanho da área e o adensamento urbano, e menos importantes, o sistema viário e a titularidade do terreno. A ordem de importância dos critérios foi definida considerando os seguintes pontos: (1) necessidade da área possuir tamanho suficiente para a instalação do galpão; (2) não implantar o centro de triagem próximo ao centro urbano do município; (3) proximidade com o sistema viário, facilitando a logística e diminuindo os custos de transporte; (4) titularidade do terreno, prezando por áreas da prefeitura para que não seja necessário gasto com a aquisição do terreno.

Tabela 2. Matriz comparativa entre os critérios analisados

	Tamanho da área	Sistema viário	Adensamento urbano	Titularidade do terreno
Tamanho da área	1	3	2	4
Sistema viário	1/3	1	1/2	2
Adensamento urbano	1/2	2	1	2
Titularidade do terreno	1/4	1/2	1/3	1
Σ	2,08	6,50	3,83	10

Fonte: Os autores.

A partir do somatório de cada linha de comparação e determinação da média considerando os 4 critérios, definiu-se o tamanho da área como o maior peso, seguido do adensamento urbano, o sistema viário teve um peso mediano e a alternativa com o menor peso foi a titularidade do terreno. Para obtenção da comparação normalizada da matriz, utilizou-se os seguintes passos: 1) calculou a soma de cada coluna da matriz; 2) dividiu cada fator de importância inserido na matriz pela soma da coluna à qual pertence, com o objetivo de achar seu valor relativo dentro da coluna; 3) calculou a média aritmética de cada linha da matriz normalizada, obtendo o peso de cada critério. Esse peso é a pontuação normalizada daquele critério e indica a preferência relativa das alternativas para o tomador de decisão em relação a um critério específico (Tabela 3).

Tabela 3. Matriz comparativa entre os critérios analisados

	Tamanho da área	Sistema viário	Adensamento urbano	Titularidade do terreno
Tamanho da área	0,48	0,46	0,52	0,40
Sistema viário	0,16	0,15	0,13	0,20
Adensamento urbano	0,24	0,30	0,26	0,30
Titularidade do terreno	0,12	0,08	0,08	0,10

Fonte: Os autores.

Nas tabelas 4, 5, 6 e 7 podem ser vistas as análises das alternativas propostas comparadas duas a duas com os critérios estabelecidos. Salientando a importância de cada critério e normalizando a matriz para encontrar o grau de prioridade de cada área nos determinados critérios.

Tabela 4. Prioridades das alternativas considerando o peso do critério: tamanho da área

Tamanho da área	A	B	C		
A	1	1/2	1/7		
B	2	1	1/6		
C	7	6	1		
Σ	10	8,14	1,66		
Tamanho da área	A	B	C	Σ	Prioridade
A	0,10	0,14	0,30	0,54	0,18
B	0,70	0,12	0,09	0,92	0,31
C	0,20	0,74	0,60	1,54	0,51

Fonte: Os autores.

Avaliando a prioridade das alternativas e, principalmente, considerando o tamanho da área, a área C foi a única que apresentou área maior que 6.000m² para alocação do galpão.

Tabela 5. Prioridades das alternativas considerando o peso do critério: sistema viário

Sistema Viário	A	B	C		
A	1	1/5	1/5		
B	5	1	2		
C	5	1/2	1		
Σ	11	1,7	3,2		

Sistema Viário	A	B	C	Σ	Prioridade
A	0,09	0,12	0,06	0,27	0,09
B	0,45	0,59	0,62	1,67	0,55
C	0,45	0,29	0,31	1,06	0,35

Fonte: Os autores.

Considerando o sistema viário, tem-se a área A com a menor prioridade e as áreas B e C com pesos semelhantes, concluindo que a primeira alternativa é a mais distante do sistema viário.

Tabela 6. Prioridades das alternativas considerando o peso do critério: adensamento urbano

Adensamento urbano	A	B	C		
A	1	1	1/5		
B	1	1	1/5		
C	5	5	1		
Σ	7	7	1,4		

Adensamento Urbano	A	B	C	Σ	Prioridade
A	0,14	0,14	0,14	0,43	0,14
B	0,14	0,14	0,14	0,43	0,14
C	0,71	0,71	0,71	2,14	0,71

Fonte: Os autores.

Para o adensamento urbano, considerou-se a maior importância para alternativas que estivessem mais distantes da concentração do centro urbano. As áreas A e B têm proximidades equivalentes para o centro urbano, destacando-se a área C com o maior afastamento.

Tabela 7. Prioridades das alternativas considerando o peso do critério: titularidade do terreno

Titularidade do terreno	A	B	C		
A	1	1	$\frac{1}{4}$		
B	1	1	$\frac{1}{4}$		
C	4	4	1		
Σ	6	6	1,5		
Titularidade do terreno	A	B	C	Σ	Prioridade
A	0,17	0,17	0,17	0,50	0,17
B	0,17	0,17	0,17	0,50	0,17
C	0,67	0,67	0,67	2,00	0,67

Fonte: Os autores.

As áreas A e B são de propriedade da DESO e a área C de propriedade da prefeitura, dando assim prioridade para a última alternativa por não ter necessidade de gastos com a aquisição da área.

A comparação duas a duas das alternativas considerando cada um dos critérios permitiu a obtenção da Tabela 8, que possibilitou identificar que a melhor alternativa é a área C, além de possuir a maior área, pertence à prefeitura, não precisando, assim, de gastos com a aquisição da área. Apresenta fácil acesso ao sistema viário e distância do adensamento urbano o suficiente para não gerar conflitos com a vizinhança.

Tabela 8. Prioridades das alternativas considerando o peso dos critérios

	Tamanho da área	Sistema Viário	Adensamento urbano	Titularidade do terreno	Σ
Prioridades dos critérios	0,47	0,15	0,22	0,16	
A	0,0846	0,0135	0,0308	0,0272	0,1561
B	0,1457	0,0825	0,0308	0,0272	0,2862
C	0,2397	0,0525	0,1562	0,1072	0,5556

Fonte: Os autores.

As 3 áreas, apesar de possuírem vegetação, essas não são nativas e se apresentam em diferentes estágios de degradação, com regiões de solo exposto. O relevo plano e a inexistência de corpos d'água próximo, principalmente cursos fluviais, são características favoráveis à implantação do centro de triagem. Esses aspectos justificam a presença ou ausência de vegetação nativa e de corpos d'água não terem sido considerados na análise por AHP.

Locação de Centro de Triagem de Resíduos Sólidos Urbanos por Processo de Análise Hierárquica

Para calcular a relação de consistência multiplicou-se cada peso da matriz normalizada pelos respectivos valores da tabela de comparação feita inicialmente, apresentados na Tabela 3. Os resultados dessas multiplicações foram somados e divididos pelo peso normalizado de cada critério. Com a verificação da consistência dos resultados, ou seja, se os pesos calculados são aceitáveis ou não, foi feita a análise de consistência, obtendo o índice de consistência igual a 0,01, e razão de consistência igual a 0,012. Para o método AHP é indicado que o RC tenha um valor menor que 0,10, assim os cálculos das matrizes foram consistentes.

Definida a área e sabendo que os resíduos podem ser provenientes de fontes domésticas, comerciais ou industriais (plásticos, papel, vidro, metal e resíduos orgânicos), é recomendável que a usina de triagem apresente as seguintes características: (i) área de descarga capaz de acomodar a quantidade recebida os resíduos; (ii) esteiras transportadoras para transportar os resíduos brutos até as áreas de separação e também para levar os materiais recicláveis separados para o processamento posterior; (iii) separadores manuais (trabalhadores manuais) para realizar a coleta e separação de materiais recicláveis específicos e a remoção de itens indesejáveis; (iv) armazenamento temporário em silos ou contêineres durante o processo de triagem, permitindo que os resíduos sejam coletados em grandes quantidades e depois enviados para as indústrias de reciclagem; (v) tratamento de resíduos não recicláveis que serão enviados para aterros sanitários ou submetidos a outros métodos de tratamento; (vi) controle de odores e poluição gerados durante o processamento dos resíduos como sistemas de exaustão, filtros de ar e outros dispositivos de controle de poluição para minimizar os impactos ambientais.

Para melhorar o índice de reciclagem no Brasil, é necessário investir em infraestrutura adequada, promover campanhas de conscientização e educação ambiental, implementar políticas públicas efetivas, incentivar a participação da população, estimular o desenvolvimento de tecnologias de reciclagem mais eficientes e instalação de centros de triagem.

Vale ressaltar que para atingir níveis adequados para a instalação de centros de triagem é necessária a simulação dos processos visando retratar a triagem dos resíduos para analisar o processo e avaliar a possibilidade de atribuir melhorias e otimização dos recursos (SILVA; ALMEIDA; COSTA JÚNIOR, 2022). Segundo os autores, é importante o desenvolvimento de estudos que abranjam essas cooperativas no Brasil, visando uma melhor organização e uma maior produtividade nestas instalações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da aplicação do método AHP, constatou-se que a melhor alternativa para a implantação do centro de triagem, no município de Barra dos Coqueiros, é a área C. Situada na rodovia Barra Atalaia Nova, possui a maior área, fácil acesso ao sistema viário, distância do adensamento urbano adequada para evitar conflitos com a vizinhança e proliferação de doenças, maus odores e ruídos, e o terreno pertence à prefeitura. A vegetação presente não é nativa e apresenta diferentes níveis de degradação com porções de solo exposto, não possuindo cursos fluviais.

A instalação de uma estação de triagem no município de Barra dos Coqueiros reduzirá o impacto ambiental pela diminuição de resíduos são destinados a aterros sanitários, e impulsionará a economia local pela geração de empregos diretos e indiretos. Haverá a possibilidade de parcerias e cooperação regional para melhorar a gestão de resíduos em uma escala maior e fortalecimento da consciência ambiental através das mudanças de comportamento em relação aos resíduos.

Recomenda-se o emprego do método AHP como um instrumento tecno-gerencial, para direcionar, de forma assertiva, a gestão dos RSU e subsidiar os órgãos competentes na tomada de decisão. É importante ressaltar a utilização das (geo)tecnologias na gestão socioambiental dos resíduos perigosos, não inertes e inertes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABELPRE, 2022.

ALVES, N. F.; SILVA, C. R.; ALMEIDA, M. R. R. Uso de geotecnologias e AHP na identificação de áreas propícias à implantação de aterro sanitário. **Anuário do Instituto de Geociências**, v.43, n.1, p.218-227, 2020.

ARANTES, B. O.; BORGES, L. O. Catadores de materiais recicláveis: cadeia produtiva precariedade. **Revista Brasileira de Psicologia**, v.65, n.3, p.319-337, 2013.

ARAÚJO, W. C.; GONZALVES, I. F.; ESQUERRE, K. P. O. Avaliação do método AHP para auxílio à tomada de decisão do melhor tratamento para a borra oleosa gerada na indústria petroquímica. **Revista Gestão Industrial**, v. 16, n. 4, p. 29-56, 2020.

BESEN, G. R.; RIBEIRO, H.; GÜNTHER, W. M.; JACOB, P. R. Coleta seletiva na região metropolitana de São Paulo: impactos da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Ambiente & Sociedade**, v.17, n.3, p. 1-20, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/Znmt43xbcJ8jN6yLDj6mgtv/?format=pdf&lang=pt>. Acessado em: 15 dez. 2022.

Locação de Centro de Triagem de Resíduos Sólidos Urbanos por Processo de Análise Hierárquica

BESEN, G. R. **Programas municipais de coleta seletiva em parceria com organizações de catadores na Região Metropolitana de São Paulo: desafios e perspectivas**. 2006. 138f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2006.

BEZERRA, V. R.; SOUSA, R. B. A.; MONTERO, L. R. R.; LEITE, V. D.; MELO, V. S. Proposta de implantação de uma central de triagem de resíduos sólidos em Campina Grande-PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, 6. João Pessoa. Anais... João Pessoa, 2018. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2018/trabalhos/pdf/congestas2018-et-02-010.pdf>. Acessado em: 27 mar. 2023.

BEZERRA NETO, J. A.; NASCIMENTO, P. S. R.; G. V. P. BARROS. Análise hierárquica aplicada à erosão do solo na bacia hidrográfica do Rio Sergipe (SE). **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v.10, n. 2, p.82-106, 2022.

BRASIL. **Lei nº 5.764, de 16 de dezembro de 1971**. Diário Oficial da União, Brasília, 1971. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L5764.htm. Acessado em 4 jan 2023.

BRASIL. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos**. Brasília: MMA, 2010. Disponível em: http://www.residuossolidos.al.gov.br/vgmidia/arquivos/312_ext_arquivo.pdf. Acessado em 4 jan 2023.

COELHO, J. P.; TOCCHETTO, M. R. L.; MEINHARDT JÚNIOR, E. L. Centrais de triagem de resíduos (CTR): uma solução para o gerenciamento em municípios de pequeno porte. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas**, v. 14, n. 2, p. 3019 – 3025, 2014.

CURTIS, M. O.; GIMENEZ, D. E. S.; MORAES, E. L.; PEREIRA, C. U. R. O tripé da sustentabilidade aplicado a uma central de triagem de resíduos sólidos: estudo de caso de Santa Terezinha de Itaipu. **Engenharia Urbana em Debate**, v.2, n.2, p.87-100, 2021.

DIAS, V. S. B.; SILVA, A. B. AHP na modelagem da vulnerabilidade ambiental do Mini Corredor Ecológico Serra das Onças (BA). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 6, p.1363-1377, 2014.

DIREITINHO, R. M. L.; MARQUES NETO, T. C.; CÓRDOBA, R. E. Estudo do método AHP para desenvolvimento de estrutura de sistema de apoio à decisão (SAD) no gerenciamento de resíduos da construção civil em canteiros de obras verticais. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 5435-5460, 2020.

FEITOSA, A. K.; BARDEN, J. E.; KONRAD, O.; ARLINDO, M. Avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos em um município do Nordeste brasileiro. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 9, n. 1, p. 293-315, 2020. Disponível em: <http://periodicos.unievangelica.edu.br/index.php/fronteiras/issue/view/260>. Acessado em 11 de jan. 2023.

FELICONI, T. C.; MARQUES, E. A. G.; SILVA, T. Q.; PORTO, B. B.; BRAVIN, T. C.; SANTOS, K. M. C. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. **Engenharia Ambiental Sanitária**, v. 21, n. 3., p. 547-560, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/trSJKN7NNBqYXXdVs9H49Lv/?format=html&lang=pt>. Acessado em 13 dez. 2022.

FERRI, G. L.; CHAVEZ, G. L. D.; RIBEIRO, G. M. D. Análise e localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos sólidos urbanos para a rede de logística reversa: um estudo de caso no município de São Mateus, ES. **Production**, v.25, n.1, p.27-42, 2015.

GONZALVES, A. C. G.; CORDEIRO, J. C. L.; SANTOS, T. A. F. G., CORDEIRO, J.; LAGE, M. A. Aplicação da análise hierárquica na seleção de terrenos para a implantação de um centro de triagem de resíduos sólidos em São Gonzalo do Rio Abaixo (Minas Gerais). **Research, Society and Development**, v.9, n.6, p.1-21, 2020.

GOOGLE. **Google Earth website**. Disponível em: <https://earth.google.com/web>. Acessado em nov 2022.

GRANEMANN, S. R.; GARTNER, I. R. Seleção de financiamento para aquisição de aeronaves: uma aplicação do método de análise hierárquica (AHP). **Transportes**, v.6, n.1, p.18-40, 1998.



GRISA, D. C.; CAPANEMA, L. X. L. Resíduos sólidos urbanos. In: PUGA, F. P.; CASTRO, L. B. (org.). **Visão 2035**: Brasil, país desenvolvido: agendas setoriais para alcance da meta. 1. ed. Rio de Janeiro: BNDES, 2018. p. 415-438. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/16284>. Acesso em: 15 jun. 2023.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. P.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública**, n. 1, v. 52, p. 24- 51, 2018.

MARCHEZETTI, A.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. **Ambiente Construído**, v.11, n.2, p.173-187, 2011.

MULLER, L. N. P.; ALMEIDA, J. B. F.; ALCÂNTARA, R. L. C.; PEREIRA, R. L. Uma análise multicritério de alternativas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos de Juazeiro do Norte no Ceará. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.26, n.1, p.159-170, 2021.

NASCIMENTO, V. F.; SOBRAL, A. C.; ANDRADE, P. R.; HENRY, J. P.; OMETTO, B. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v.10, n.4, p.889-902, 2015.

OLIVEIRA, B. O.; MEDEIROS, G. A. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos nos estados da região Norte, Brasil. **Revista Valore**, v.4, n.1, p.749-761, 2019.

PIMENTA, S. S.; COSTA, D. S.; CAVALCANTI-SILVA, E. R. A.; AROUCHE-LIMA, I. M. Análise da gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em Alcântara (Maranhão - Brasil). **Meio Ambiente**, v.2, n.1, p. 25-33, 2020.

PINTO, T. P.; GONZALES, J. L. R.; SILVA, D. M.; TAKAHASHI, M. R. F.; LIMA, J. A. R.; CARDOSO, F. L. MUSOLINO, A.; TEIXEIRA, B. A.; SILVA, R. S. **Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto dos galpões de triagem**. Brasília: MMA-MC, 2008. <https://www.conder.ba.gov.br/biblioteca/elementos-para-organizacao-da-coleta-seletiva-e-projeto-dos-galpoes-de-triagem>. Acessado em: 23 jan. 2023.

RAFFO, J. G. G. O processo analítico hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. **Revista do Departamento de Geografia**, v. Especial, p.26-37, 2012.

REIS, E.; LÖBLER, M. L. O processo decisório descrito pelo indivíduo e representado nos Sistemas de Apoio à Decisão. **RAC**, v.16, n.3, p.397-417., 2012.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v.48, p.9-26, 1990.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierachy process. **Interfaces**, v.24, n.6, p.19-43, 1994.

SAATY, T. L. Tomada de decisão com o processo de hierarquia analítica. **Revista Internacional de Ciências dos Serviços**, v.1, n.1, p.83-98, 2008.

SAATY, T. L.; SHANG, J. An innovative orders of magnitude approach to AHP based Multicriteria Decision Making: prioritizing divergent intangible humane acts. **European Journal of Operational Research**, v.214, n. 3, p.703-715, 2011.

SAIKIA, D.; NATH, M. J. Integrated solid waste management model for developing country with special reference to Tezpur municipal area, India. **International Journal of Innovative Research & Development**, v.4, n. 2, p. 241-249, 2015.

SANTOS, L. A. N.; NASCIMENTO, P. S. R; BARROS, G. V. P. Processamento analítico hierárquico no mapeamento da fragilidade ambiental à erosão. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 8, n. 4, p. 275-298, 2020.

SANTOS, M. D. N.; ANDRADE, R. C.; VERNIN, N. S.; TORRES NETTO, A. Análise do ciclo de vida na gestão de resíduo sólidos urbanos: uma revisão bibliográfica. **Revista Internacional de Ciências**, v. 12, n. 2, p. 126 - 140, 2022.

SANTOS, M. S.; NASCIMENTO, P. S. R. Análise da suscetibilidade e vulnerabilidade à erosão hídrica pelo Processo Analítico Hierárquico (AHP). **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 9, n. 1, p. 1-19, 2020.

Locação de Centro de Triagem de Resíduos Sólidos Urbanos por Processo de Análise Hierárquica

SENKHO, C. S.; MENDES, T. S. G.; RAMOS, A. P. M. Identificação de áreas potenciais para a implantação de aterro sanitário na região metropolitana de São José dos Campos/SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19. Santos, **Anais...** Santos, 2019.

SILVA, K. F. N.; ALMEIDA, T. S.; COSTA JÚNIOR, N. D. Modelo de simulação para balanceamento de processos: pesquisa experimental em uma cooperativa de triagem de resíduos sólidos na cidade de Goiânia (GO). **Revista Produção Online**, v. 22, n. 3, p. 3099-3126, 2022. Disponível em: <https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/4616/2216>. Acessado 23 jun. 2023.

SILVA, P. M.; CAPANEMA, L. X. L. Políticas públicas na gestão de resíduos sólidos: experiências comparadas e desafios para o Brasil. **BNDES**, v. 25, n. 50, p. 153-200, 2019. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/19062>. Acessado em mar. 2023.

TALGA, J. B.; LOPES, T. C. A economia solidária de Paul Singer: teoria e prática em uma cooperativa de catadores na cidade de Goiás. **Revista de Economia**, v. 17, n. 2, p. 9-30, 2021.

XIMENDES, J. C. R.; SILVA, M. F. S.; LEÃO, A. R. S.; RAMALHO, S. C.; SOUZA, F. J. F. Gestão de resíduos sólidos urbanos: entraves para implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Município de Itinga do Maranhão – MA. **Acta Ambiental Catarinense**, v.17, n.1, p.158-171, 2020.