

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE PEQUENOS GERADORES

Maria Aliny Souza Silva¹
Daniel Viana de Freitas²
Davi Wesley Moreira Alves³
Alisson Gadelha de Medeiros⁴
Maria Josicleide Felipe Guedes⁵

RESUMO

Um dos principais impactos causados a sociedade bem como ao meio ambiente está relacionado a disposição de forma inadequada dos resíduos da construção civil (RCC). Dentro deste contexto, por meio deste artigo objetivou-se contribuir com o desenvolvimento da gestão dos resíduos da construção civil através do uso de ferramentas de geoprocessamento e análise espacial, visando a definição de locais para instalação de pontos de entrega voluntária (PEVs) para pequenos geradores no município de Mossoró-RN. A metodologia foi realizada em duas etapas: i) mapeamento dos pontos de descarte inadequado de RCC na zona leste do município, bem como a classificação dos resíduos de acordo com sua reciclabilidade; e ii) aplicação de um método para indicar a quantidade necessária, assim como as áreas adequadas para instalação de PEVs, para pequenos geradores de resíduos. Por meio dos resultados obtidos, verificou-se que a análise espacial é um importante recurso para localizar áreas adequadas para a instalação de equipamentos urbanos, facilitando a gestão integrada de RCC, e que a implementação de PEVs é uma política pública que se mostra extremamente necessária diante do número expressivo de áreas de disposição inadequada de resíduos da construção civil identificadas nesta pesquisa, totalizando 387 pontos. Ao término desta análise, foram indicadas a instalação de 6 PEVs somente na zona leste do município.

Palavras-chave: Obras civis, Disposição inadequada de resíduos, Análise espacial, Gerenciamento, Pontos de entrega voluntária.

¹ Graduanda do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, maria.aliny18@gmail.com;

² Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, danielviana186@hotmail.com;

³ Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, daviwalves@hotmail.com;

⁴ Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo e Água, Docente do Magistério Superior da Universidade Federal Rural do Semi-Árido- UFERSA, alisson.gadelha@ufersa.edu.br;

⁵ Professora orientadora: doutora, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, mjosicleide@ufersa.edu.br.

Artigo resultado de estudos do projeto de pesquisa “Sistema de informações integradas para o gerenciamento de resíduos da construção civil (SIGERCC)” da UFERSA, campus Mossoró-RN.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade está diretamente ligado ao fornecimento à população das condições essenciais a uma vida digna, usufruindo de direitos como saneamento básico, habitação, estradas de boa qualidade, dentre tantos outros itens fundamentais a uma vivência com qualidade. Sendo uma das áreas mais solicitadas atualmente, e com um mercado consumidor bem consolidado, o ramo da construção civil tem uma considerável perspectiva de crescimento e, como a grande maioria das atividades humanas, tem contribuído de forma substancial para geração de resíduos.

No panorama atual, o ramo da construção civil brasileira movimentou cerca de 300 bilhões de reais, com um total de 126.316 empresas ativas (IBGE, 2017). Com a quantidade de empresas atuantes no ramo e com o crescimento populacional, os números referentes à geração de resíduos de construção e demolição chegaram a 45 milhões de toneladas, configurando uma diminuição de 0,1% comparada a 2016 (ABRELPE, 2017).

A geração de resíduos sólidos e sua incorreta disposição final criam uma série de impactos ao meio ambiente. Porém é preciso ter uma análise global de como o resíduo da construção civil abrange uma gama de processos, envolvendo projetos, construção, operação, desativação, demolição e disposição final desses resíduos. Logo, a geração de resíduos ocorre em todo o processo construtivo, desde a terraplanagem (limpeza do terreno) até a demolição (CIB, 2002).

Um dos principais impactos causados a sociedade, bem como ao meio ambiente, está relacionado à disposição de forma inadequada dos resíduos da construção civil (RCC). Segundo Laruccia (2014), a incorreta disposição dos resíduos causa comprometimento no sistema de drenagem, poluição visual, degradação de mananciais, dificulta a circulação de veículos e pessoas nas vias, além de promover a proliferação de uma série de vetores de doenças como baratas, ratos, escorpiões, moscas e outros.

No Brasil, a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, por meio da Lei nº. 12.305 (BRASIL, 2010), deu um novo viés para o cenário nacional, pois, como instrumento de regularização da gestão correta dos resíduos sólidos, a lei também abrange questões para o desenvolvimento econômico e social, bem como para a preservação ambiental. Dentre os objetivos da PNRS destaca-se a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambientalmente adequada.

Assim, a gestão dos resíduos tem se mostrado uma tarefa de extrema importância, fazendo-se necessário aperfeiçoar os mecanismos de tomada de decisões. Com esse intuito, os sistemas de informação geográfica (SIG) vem sendo cada vez mais utilizados, por auxiliarem as escolhas relacionadas à disposição dos resíduos devido sua capacidade de processar grandes quantidades de dados, unindo imagens de satélite e com potencial para realizar uma diversidade de tarefas com baixo custo e em um curto intervalo de tempo (CALIJURI et al., 2007).

Bohnenberger et al. (2018) fez uso de SIG para analisar possíveis áreas para implantação de uma usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição no município de Viçosa-MG. Para isso, os autores fizeram uso de métodos de multicritério, que ganham cada vez mais respaldo científico. Com esse método é possível incorporar variáveis qualitativas e quantitativas, simulando e avaliando diversos cenários, em busca da melhor solução possível. Dessa forma é possível modelar espacialmente os critérios necessários que permitem a escolha da área apropriada para uma determinada finalidade (CASTRO et al., 2015).

Uma alternativa de gestão para os pequenos geradores é a instalação de pontos de entrega voluntária (PEVs) em determinadas regiões. Os PEVs são instalados em uma área pública adequada, projetada para receber RCC de pequenos geradores, sendo, geralmente, definido um limite de 1 m³ de resíduo por usuário (OLIVEIRA; PASCHOALIN FILHO, 2016). O ideal é que esses pontos sejam localizados em áreas públicas ou privadas, cedidas ao poder municipal, onde já existem disposições irregulares.

Dentro deste contexto, por meio deste artigo, objetivou-se contribuir com o desenvolvimento da gestão dos resíduos da construção civil através do uso de ferramentas de geoprocessamento e análise espacial, visando a definição de locais para instalação de PEVs para pequenos geradores, na zona leste do município de Mossoró - RN.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na zona leste de Mossoró - RN, composta por 8 bairros, dos 27 existentes neste município. Possui uma área territorial de 40,23 km², que corresponde a aproximadamente 37% da área urbanizada do município, e consta de uma população estimada de 64.452 habitantes, perfazendo 22% da população da área de estudo (IBGE, 2018).

Mossoró é o segundo município mais populoso do RN, e tem sido destaque nacional por conta do seu crescente processo de urbanização e desenvolvimento econômico, principalmente devido à exploração do petróleo, indústria salineira e construção civil. Com isso, há uma quantidade considerável na geração de resíduos, o que acarreta problemas referentes ao seu gerenciamento (SILVA; MORAIS, 2015).

Ressalta-se que o município, até o ano atual (2019), não consta de plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil (LEIS MUNICIPAIS, 2019). Segundo Silva e Morais (2015), a coleta, transporte e destinação final dos RCC proveniente de pequenos geradores no município de Mossoró é de responsabilidade da prefeitura municipal, que segue percurso solicitado pela população. O destino é uma área próxima ao lixão das Cajazeiras, que foi desativado em 2008, com a criação do aterro sanitário para os resíduos domiciliares.

Identificação dos locais de disposição inadequada de resíduos da construção civil

A identificação de pontos de disposição irregular de RCC, provenientes de pequenos geradores, foi realizada por meio de inspeções em campo na área de estudo. Para cada ponto foi definido um código e realizado registro fotográfico. As coordenadas geográficas foram obtidas por meio do aplicativo *Google Maps*, e os resíduos foram classificados visualmente, pela predominância de materiais constituintes, com base na Resolução CONAMA nº. 307 (BRASIL, 2002). Tal classificação é de acordo com as seguintes classes: classe A – recicláveis ou reutilizáveis como agregado na construção civil, classe B – recicláveis para outros fins, classe C – não recicláveis e classe D – resíduos perigosos.

Para análise dos dados coletados, foi criado um banco de dados em planilhas e, para a catalogação dos dados espaciais, utilizou-se o software QGIS 3.4 com o objetivo de construir um arquivo vetorial com a localização de todos os pontos de disposição inadequada, tendo como base *layers* do município fornecidos pela prefeitura e pelo IBGE (IBGE, 2019).

Dimensionamento dos pontos de entrega voluntária

Para estimar a quantidade mínima de PEVs necessários utilizou-se a metodologia de Paz et al. (2018), conforme representado na Equação 1. O cálculo é realizado de acordo com a área urbana analisada e o raio de cobertura, definido segundo a topografia local (terreno plano, $R = 1,5$ km; colinas, $R = 2,0$ km; e colinas íngremes, $R = 2,5$ km).

$$N_{PEV} = \frac{A_u}{(\pi R^2)} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

N_{PEV} é o número de PEVs;

A_u é a área urbana da cidade [km²];

R é o raio de cobertura [km].

Após a definição da quantidade necessária de PEVs, utilizou-se ferramentas do *software* QGIS 3.4, sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de informação geoespacial para determinar como seria a distribuição destes pontos.

Uma destas ferramentas é o interpolador de densidade de Kernel, função estatística de densidades de probabilidade, utilizada para analisar o comportamento de fenômenos pontuais, através da estimativa da intensidade de um procedimento que ocorre em uma determinada área de estudo. Seu objetivo é produzir superfícies mais representativas de fenômenos naturais e socioeconômicos (CÂMARA et. al., 2001).

Com utilização de metodologia adaptada de Ornelas (2011) foi composta uma superfície de densidade Kernel, no qual, para cada ponto de disposição inadequada de RCC, um *buffer* de 200 m foi delineado e assim foram verificadas as áreas com maiores concentrações de pontos. Essa concentração de pontos foi dividida em cinco classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Por meio dessas considerações, bem como um levantamento dos lotes aptos para instalação, identificados por meio do *software* Google Earth, foram propostos os locais dos PEVs.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

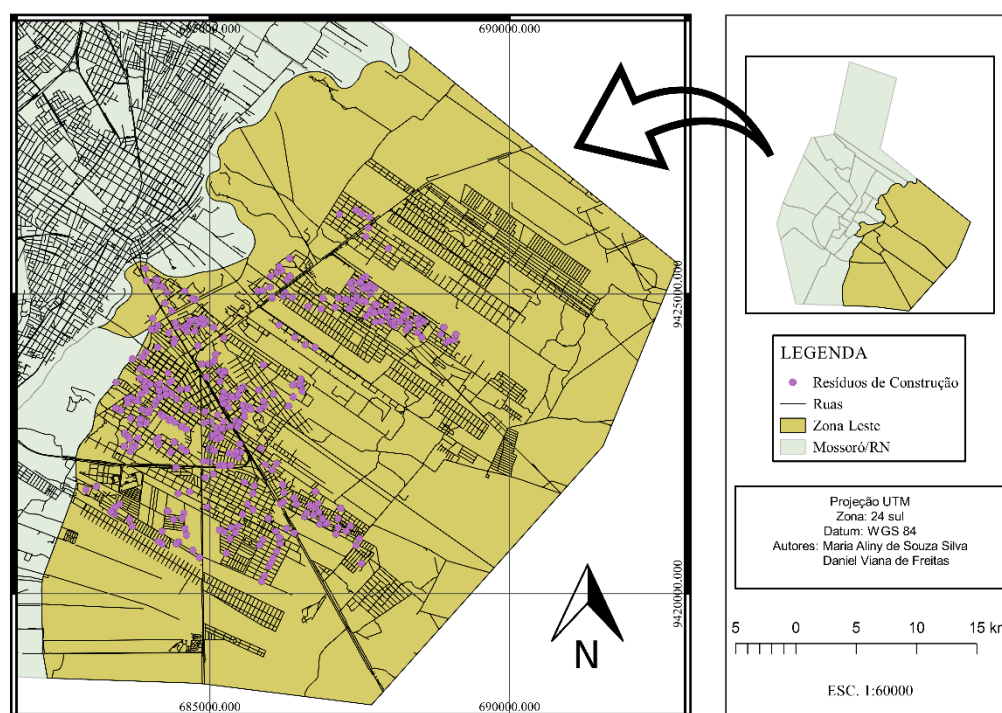
No total foram registrados 387 pontos de disposição inadequada de RCC ao longo dos 8 bairros que compõem a zona leste de Mossoró-RN. O resultado é apresentado na Tabela 1, e as respectivas localizações georreferenciadas dos pontos são ilustradas na Figura 1.

Tabela 1 – Quantidade de pontos de disposição inadequada de resíduos da construção civil por bairro na zona leste de Mossoró-RN

Bairro	Área (km ²)	População	Pontos	Ponto.km ²
Alto de São Manoel	2,35	18.336	57	24,3
Dom Jaime Câmara	3,79	11.209	45	11,9
Planalto 13 de Maio	2,61	8.697	100	38,3
Presidente Costa e Silva	10	4.737	36	3,6
Pintos	2,1	2.469	9	4,3
Rincão	8,9	9.631	70	7,9
Santa Luzia	1,33	2.890	16	12,0
Alto do Sumaré	9,15	6.483	54	5,9
Total	40,23	64.452	387	-

Fonte: Acervo da pesquisa (2019).

Figura 1 – Pontos de disposição inadequada de resíduos da construção civil na zona leste de Mossoró-RN



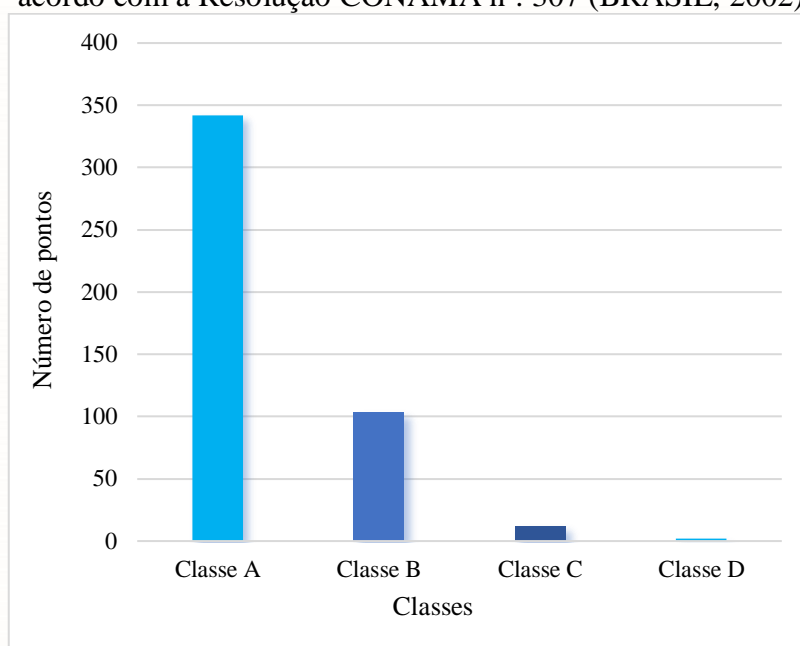
Fonte: Acervo da pesquisa (2019).

Todos os bairros são caracterizados como residenciais. No bairro Rincão foram observadas diversas casas de médio e alto padrão e a ocorrência de várias reformas, e os resíduos estavam dispostos nas vias, próximo as residências. No bairro Dom Jaime foi observado que as casas são de padrão baixo e haviam muitas construções recentes; em muitos locais foram encontrados RCC aplicados com função de aterro improvisado, nas ruas que não

possuem pavimentação convencional. Já no bairro Pintos, por ter uma área reduzida e com grande ausência de residências habitacionais, foi onde se encontrou a menor quantidade de pontos. Por sua vez, o bairro Ilha de Santa Luzia tem uma área menor que o bairro Pintos, mas a densidade de pontos por km² foi quase o triplo, isso por ser bem mais antigo e urbanizado.

Em relação à classificação dos resíduos identificado em cada ponto, de acordo com a Resolução CONAMA n.º. 307 (BRASIL, 2002), o resultado é ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Classificação dos resíduos da construção civil identificados na área de estudo, de acordo com a Resolução CONAMA n.º. 307 (BRASIL, 2002)



Fonte: Acervo da pesquisa (2019).

Foi verificado que em 88% dos pontos se encontrava resíduos da classe A, como materiais cerâmicos, concreto e argamassa, que podem ser reciclados como agregados e reutilizados na construção. Resíduos da classe B foram identificados em 27% dos pontos, sendo constituído de materiais como gesso, madeira, sacos de papelão ou cimento, considerados recicláveis para fins não construtivos. Resíduos da classe C, que não possuem métodos para reciclagem, foram observados em 3% dos pontos. Já os resíduos da classe D, considerados perigosos, como tintas e solventes, apenas em 1% dos pontos.

Para a definição dos PEVs, primeiramente estimou-se a quantidade necessária em função da área urbanizada e do raio de cobertura. A área urbanizada foi medida com o auxílio do *software* Google Earth Pro, e considerou-se o raio de 1,5 km para superfícies planas. O resultado é mostrado na Tabela 2.

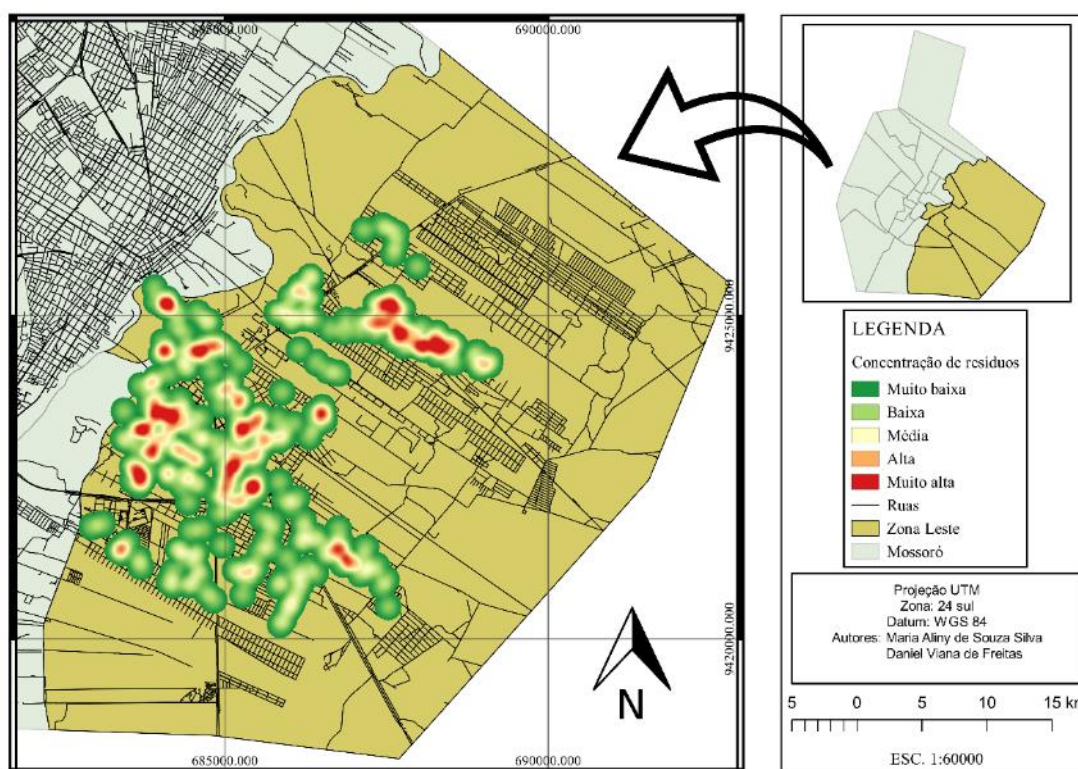
Tabela 2- Quantidade de pontos de entrega voluntária propostos (PEVs)

Área urbanizada	Raio de cobertura	Número de PEVs propostos
40,23 km ²	1,5 km ²	6

Fonte: Acervo da pesquisa (2019).

O município de Mossoró não contém nenhum ponto de entrega voluntária de resíduos da construção civil, e por meio deste estudo ressalta-se a necessidade de instalação de 6 PEVs apenas na zona leste. Com os resultados obtidos pelo mapeamento dos pontos de disposição inadequada, utilizou-se a ferramenta de estimativa de densidade Kernel do *software* QGIS 3.4 para que fosse possível analisar as áreas com maiores concentrações de pontos, conforme ilustrado na Figura 3.

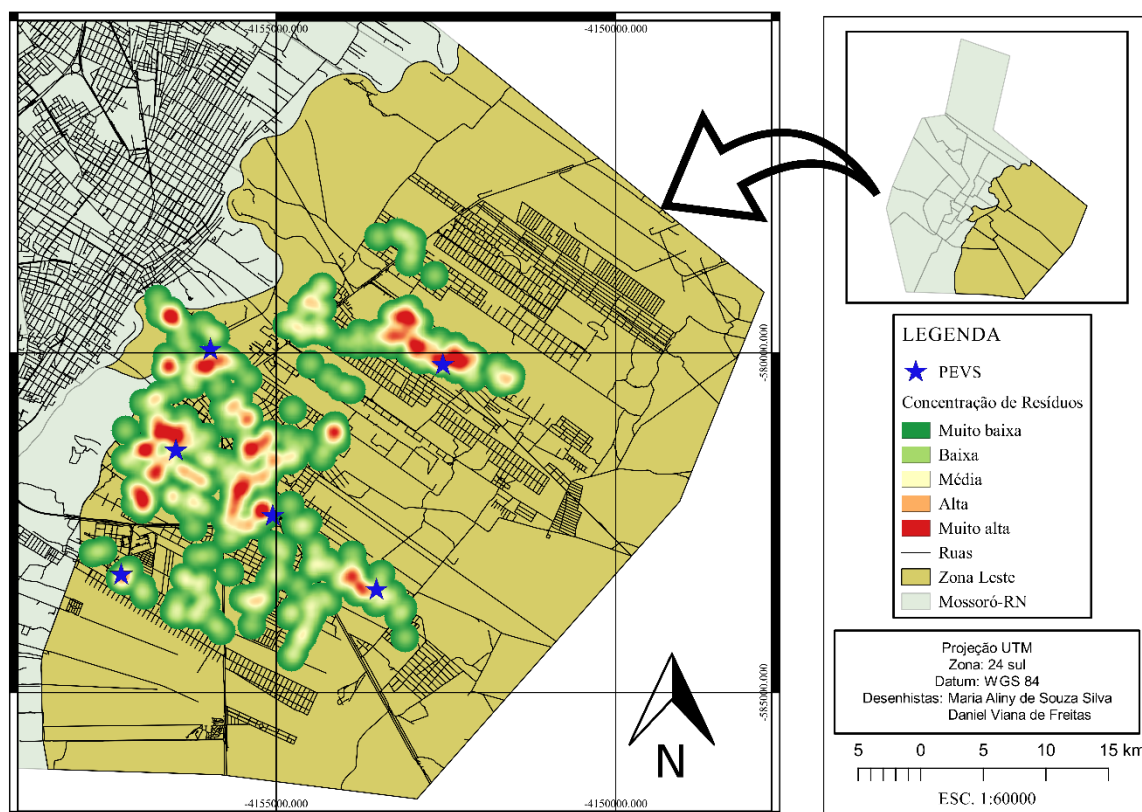
Figura 3 – Concentração de pontos de disposição inadequada de resíduos da construção civil na zona leste de Mossoró-RN



Fonte: Acervo da pesquisa (2019).

Com esses dados foi feita uma análise para se escolher os locais para instalação dos pontos de entrega voluntária. Os lotes desabitados mais próximos das áreas de concentração muito alta de pontos, foram definidos como propícios para a instalação dos PEVs. O resultado é mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Distribuição de pontos de entrega voluntária propostos para Mossoró-RN.



Fonte: Acervo de pesquisa, 2019.

Na Figura 5 é exibido um lote escolhido para instalação de um ponto de entrega voluntária no bairro Alto de São Manoel, que já possui disposição de resíduos.

Figura 5 - Lote proposto para instalação de ponto de entrega voluntária no bairro Alto de São Manoel, Mossoró-RN



Fonte: Google Earth Pro, 2019.

Os PEVs são locais de condicionamento temporários que permitem a concentração de resíduos de mesma natureza, com a transformação de pequenos volumes em grandes, para que possam ser destinados para a reciclagem ou enviados ao aterro. Como foi verificado, a maior parte dos resíduos provenientes dos pequenos geradores são de Classe A (88%), logo os PEVs seriam de suma importância para auxiliar numa destinação sustentável para os resíduos através de reciclagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo fez uso de um sistema de informação geográfica (SIG) para contribuir com o planejamento da gestão de resíduos da construção civil (RCC) no meio urbano. A análise espacial mostrou-se como um importante recurso para localizar áreas adequadas para a instalação de pontos de entrega voluntária (PEVs) que facilitam a gestão integrada de RCC.

É importante mapear e monitorar os locais de disposições inadequadas de RCC nos municípios, uma vez que toda a programação da gestão integrada deve basear-se no diagnóstico atual dos geradores de resíduos.

O município de Mossoró não possui plano integrado para o gerenciamento de resíduos da construção civil, nem leis municipais que conduzam a implementação de PEVs, e essa é uma política pública que se mostra extremamente necessária diante do número de 387 locais com disposição inadequada de RCC somente na zona leste deste município.

Recomenda-se a criação de uma lei municipal com base na norma NBR 15.112 (ABNT, 2004), que estabelece diretrizes de como compor a estrutura dos locais de triagem de resíduos, e realizar o mapeamento de pontos de disposição inadequada em toda a zona urbana do município. Diante disso, poderá se desenvolver uma rede de pontos de entrega voluntária assim como um programa de incentivo para a utilização dos mesmos, para reduzir essa prática de descarte ilegal de RCC em centros urbanos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15112**: Diretrizes para projeto, implantação e operação de áreas de triagem e transbordo. Rio de Janeiro, 2004. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

BOHNENBERGER, J. C.; PIMENTA, J. F. P.; ABREU, M. V. S.; COMINI, M. L.; MORAES, A. P.; PEREIRA, I. S. Identificação de áreas para implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição com uso de análise multicritério. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, p.18-32, 15 mar. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010: institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 de agosto de 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. In: BRASIL. MMA. CONAMA. Resoluções do CONAMA. Brasília: MMA-Secretaria Executiva-CONAMA, 2002.

CALIJURI, M. L.; LOURES, S. S. P.; SANTIAGO, A. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; LUGÃO, W. G.; ALVES, J. E. M. Identificação de Áreas Alternativas Para Disposição de Resíduos Sólidos na Região do Baixo Ribeira do Iguape - SP. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12. n. 3, p. 247-251, 2007.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, M. A. V.; MEDEIROS, S. J. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 344p. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2019.

CASTRO, J. S.; COSTA, L. S.; BARBOSA, G. R.; ASSEMANY, P. P.; CALIJURI, M. L.. Utilização de SIG e Análise Multicritério para seleção de áreas com potencial para a construção de universidades e loteamentos universitários. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v. 21, n. 3, p. 652-657, jul./set. 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Manual de projeto: o futuro da minha cidade**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2018/05/Futuro-da-minha-cidade-segunda-Edicao.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

CONSELHO INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÃO - CIB. **Agenda 21 sobre construção sustentável**. São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.gecorpa.pt/Upload/Revistas/Ver07_Pag22.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Brasil em síntese**. 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/mossoro/panorama>>. Acesso em: 25 de junho de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Downloads - Geociência**. 2019. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 25 de junho de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Nacional do Saneamento Básico. Rio de Janeiro**. 2017. Disponível em: <[http://https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=destaques](https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=destaques)>. Acesso em 05 jul. 2019.

LARUCCIA, M. M. Sustentabilidade e Impactos da Construção Civil. **Revista Eniac Pesquisa**, Perdizes, v. 3, n. 1, p.69-84, 26 mar. 2014. Disponível em: <https://ojs.eniac.com.br/index.php/EniacPesquisa/article/view/124/pdf_21>. Acesso em: 11 jul. 2019.

LEIS MUNICIPAIS. **Legislação de Mossoró-RN**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/legislacao-municipal/3724/leis-de-mossoro/>>. Acesso em: 05 de julho de 2019.

OLIVEIRA, R. B.; PASCHOALIN FILHO, J. A. Mapa interativo para a localização de pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis na cidade de São Paulo. **Sistema de Informação Científica Redalyc**, México, v. 14, n. 2, p.61-72. 2016. Disponível em: <www.redalyc.org/articulo.oa?id=81046356001>. Acesso em: 11 jul. 2019.

ORNELAS, A. R. **Aplicação de métodos de análise Espacial na gestão dos resíduos sólidos Urbanos**. 2001, 101 p.. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

PAZ, D. H. F.; LAFAYETTE, K. P. V.; SOBRAL, M. C. GIS-based planning system for managing the flow of construction and demolition waste (CDW) in Brazil. **Waste Management & Research**, vol. 36, n. 6: p. 541-549, mai. 2018.

SILVA, A. L. B.; MORAIS, P. A. R. Análise do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no município de Mossoró-RN. In: VI congresso Brasileiro de Gestão Ambiental – IBEAS. **Anais - Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Porto Alegre: 2015. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/III-004.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2019.