

Projeções de cenários de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em um município do semiárido do Nordeste do Brasil

Antonio Batista de Queiroz Júnior¹ , Joel Medeiros Bezerra² , Talita Tássia da Costa¹ , Francisco Soares Roque² , Samilly Brito Nobre² , Helves Clerverton Guerra Costa² 

1 Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN, Rua Sinhazinha Wanderley, 871 - Centro, Açu - RN, 59650-000.

2 Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Rua Francisco Mota Bairro, 572 - Pres. Costa e Silva, Mossoró - RN, 59625-900.

Recebido em 16 de novembro de 2020.

Aceito em 12 de março de 2021.

Publicado em 15 de abril de 2021.

Resumo – Os resíduos sólidos tem configurado uma das grandes problemáticas ambientais, isso pois, a gestão ineficiente quanto aos sistemas de coleta até destinação e disposição final em municípios brasileiros tem intensificado os danos ambientais, e portanto, foco de diversas pautas que visam solucionar esse problema. Este trabalho objetivou projetar potenciais cenários voltados à otimização do gerenciamento municipal de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em Ereré-CE, semiárido no Nordeste do Brasil. Para tanto, inicialmente foi diagnosticado o atual sistema de manejo de RSU, por meio de estudos de campo, sendo posteriormente feito o emprego de modelos matemáticos para projeções temporais, a fim de identificar o prognóstico de cenários voltados a otimização do gerenciamento dos RSU. Quanto aos cenários propostos de gerenciamento de RSU: o 1º indica a destinação para coleta seletiva e aterro sanitário, o 2º com compostagem e aterro sanitário, o cenário 3º a destinação para coleta seletiva, compostagem e aterro sanitário e, no 4º somente a disposição para o aterro sanitário. Diante dos cenários, averiguou-se que o 3º foi o que indicou a maior redução de RSU no aterro, potencializando a inserção e valoração econômica dos resíduos, otimizando a vida útil do aterro e favorecendo o aproveitamento de parte dos resíduos orgânicos para beneficiamento e geração de subprodutos.

Palavras-chave: Manejo de Resíduos. Gestão Integrada. Responsabilidade Compartilhada. Valoração.

Projections of urban solid waste management scenarios in a municipality in the Brazilian Northeast semiarid region

Abstract - Solid waste has been considered as one of the biggest environmental problems, because the inefficiency of management of collection systems concerning destination and final disposal in Brazilian municipalities has intensified environmental damage, and therefore became the focus of several guidelines aimed at solving this problem. This work aims to design potential scenarios aimed at optimizing municipal management of Solid Urban Waste (SUW) in Ereré-CE, in the Brazilian Northeast Semi-arid region. For this purpose, the current SUW management system was diagnosed by means of field studies, after which the use of mathematical models for temporal projections was made, in order to identify the prognosis of scenarios aimed at optimizing the management of SUW.

As for the proposed SUW management scenarios: the 1st indicates the destination for selective collection and sanitary landfill, the 2nd with composting and sanitary landfill, the 3rd scenario the destination for selective collection, composting and sanitary landfill, and in the 4th, merely the disposal on the landfill. Given the scenarios, it was found that the 3rd was the one that indicated the greatest reduction of SUW in landfills, enhancing the insertion and economic valuation of waste, optimizing the service life of the landfill and favoring the use of part of organic waste for processing and generating by-products.

Keywords: Waste Management. Integrated management. Shared Responsibility. Valuation.

Proyecciones de escenarios para la gestión de residuos sólidos urbanos en un municipio en la región semiárida del Noreste de Brasil

Resumen - Los residuos sólidos han configurado uno de los mayores problemas ambientales, porque la gestión ineficiente de los sistemas de recolección hasta su destinación y disposición final en los municipios brasileños ha intensificado el daño ambiental, y por lo tanto, se ha vuelto en el foco de varias directrices destinadas a resolver este problema. Este trabajo tuvo como objetivo diseñar escenarios potenciales orientados a la optimización de la gestión municipal de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en Ereré-CE, en la región semiárida del Nordeste de Brasil. Para ello, se diagnosticó inicialmente el sistema de gestión de RSU actual mediante estudios de campo, y posteriormente el uso de modelos matemáticos para proyecciones temporales, con el fin de identificar el pronóstico de escenarios encaminados a optimizar la gestión de RSU. En cuanto a los escenarios de gestión de RSU propuestos: el 1er indica la destinación para la recogida selectiva y vertido, el 2do con compostaje y vertido, el 3er escenario, destinación para la recogida selectiva, compostaje y vertido y, en el 4to, solamente disposición al vertedero. Dados los escenarios, se encontró que el 3er fue el que indicó la mayor reducción de RSU en el relleno sanitario, potenciando la inserción y valoración económica de los residuos, optimizando la vida útil del vertedero sanitario y favoreciendo el uso de parte de los residuos orgánicos para procesamiento y generación de subproductos.

Palabras clave: Gestión de residuos. Administración integrada. Responsabilidad compartida. Valuación.

Introdução

A geração de resíduos sólidos é inerente à vida humana. No Brasil, essa geração foi intensificada a partir do crescimento demográfico impulsionado por aspectos como a industrialização expressiva desde a segunda metade da década de 1950, e a mecanização agrícola (Silva et al. 2020). De acordo com Garcia et al. (2016), os serviços correspondentes à coleta, reaproveitamento e destinação final não acompanharam o crescimento excessivo da produção de resíduos após a industrialização.

A gestão ineficiente de resíduos sólidos se configura como um sério problema ao meio ambiente, vindo a acarretar a degradação ambiental e danos à saúde pública. Essa realidade, comum em muitas cidades, está diretamente relacionada às atividades humanas, onde os resíduos são gerados pelas indústrias, residências, comércios, agricultura (Andrade e Ferreira 2011; Castro et al. 2017).

No Brasil, a sanção da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, a qual instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi um marco importante no cumprimento efetivo da gestão integrada

dos resíduos sólidos no país, definindo-a como um “conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável”. Tendo em vista reger o processo final de disposição final dos resíduos, a PNRS estabelece princípios de responsabilidade compartilhada, além de metas para a destinação ambientalmente correta para os resíduos sólidos (Brasil 2010).

Ainda, a PNRS estabeleceu ferramentas de planejamento em nível nacional, estadual e regional a fim de contribuir para a eliminação dos vazadouros à céu aberto, também conhecidos como “lixões”, os quais contribuem para o agravamento de problemas socioambientais (Martins *et al.* 2017).

Países em desenvolvimento despertam preocupação quando à degradação ambiental causada pela disposição dos RSU gerados. No Brasil, de acordo com dados publicados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2018 cerca de 29,5 milhões de toneladas de RSU acabaram indo para lixões ou aterros controlados, no qual são formas de disposição que não dispõem de sistemas de monitoramento que visem a proteção do meio ambiente e o controle de degradações. Desse resultado, a região Nordeste apresentou menor índice de coleta de RSU e disposição adequada, onde 6 em cada 10 toneladas vão para aterros controlados e lixões, representando um valor diário de mais de 28 mil toneladas (Abrelpe 2019).

Nesse sentido, este estudo teve o objetivo de apresentar projeções de potenciais cenários voltados à otimização do gerenciamento municipal de Resíduos Sólidos Urbanos em Ereré-CE, sendo avaliada a viabilidade técnica e econômica dos dispositivos a serem implementados por cenário proposto.

Metodologia

Esta pesquisa foi de caráter qualitativa e quantitativa configurada pela adoção de métodos de quantificação por extrapolação de cenários futuros mediante intervenção de medidas técnicas e administrativas. Consiste em um estudo de caso que visa descrever, compreender e interpretar um objeto definido relacionado ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Ereré-CE (Crêspo 2015; Yin 2010).

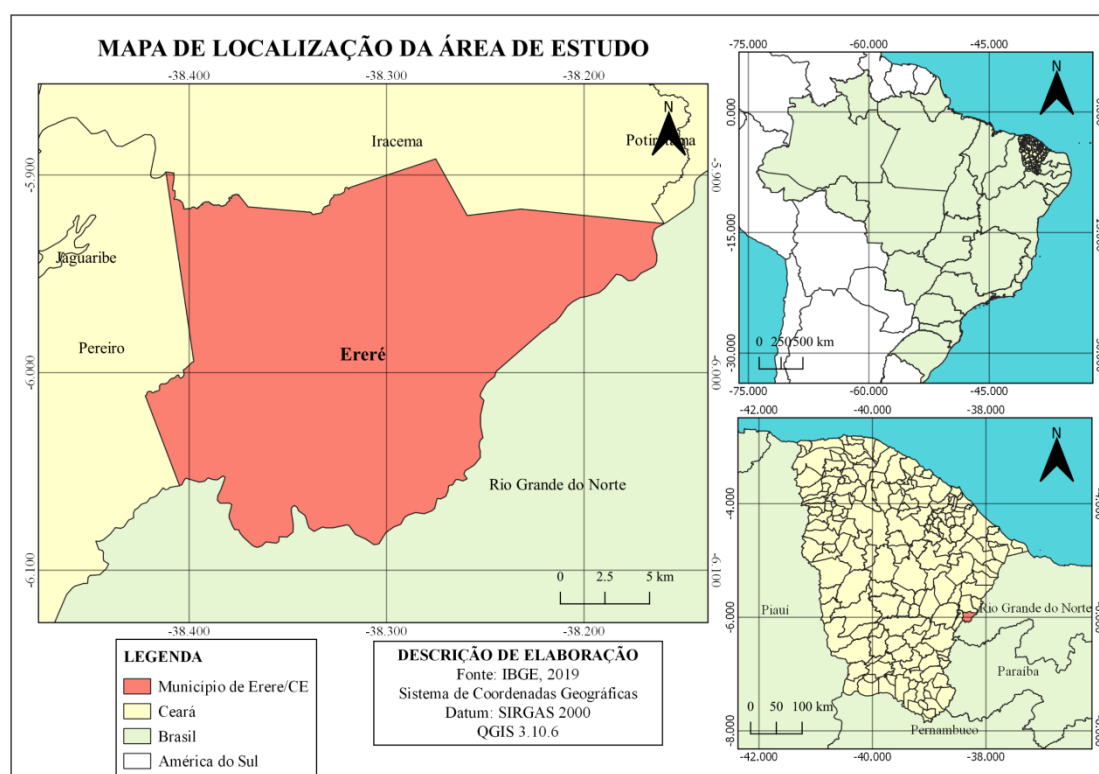
Ainda, apresenta cunho exploratório por objetivar fornecer uma visão panorâmica com levantamentos de campo para realização da determinação gravimétrica da tipologia dos RSUs, com dados primários. Para dados secundários, foram obtidos em fontes nacionais e municipais, para realização de modelagem matemática com a projeção temporal de 20 anos com 4 cenários distintos de gerenciamento municipal de RSU.

Contudo, o estudo é voltado a otimização e ordenamento racional dos materiais a serem descartados, levando em consideração aspectos técnicos de tempo de vida útil dos dispositivos, condições de salubridade ambiental, tal como aspectos econômicos de viabilidade (Menezes *et al.* 2019).

Caracterização da área de estudo

O presente estudo se desenvolveu no município de Ereré, pertencente à mesorregião Jaguaribe e microrregião de Serra do Pereiro, no estado do Ceará, nos dias 12/11/2019 (terça-feira) e 14/11/2019 (quinta-feira). Ereré possui extensão territorial de 362,9 km² e conta com população estimada para o ano de 2020 em 7.225 habitantes de acordo com o IBGE (2020). É extremante com Potiretama e Iracema ao norte, pelo Estado do Rio Grande do Norte ao sul, pelo Estado do Rio Grande do Norte e Potiterama ao leste e Iracema e Pereiro ao oeste (Figura 1). Conforme o IBGE (2010), seu Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) foi estimado em 0,610.

Figura 1. Localização do município de Ereré-CE.



As atividades econômicas no município baseiam-se no setor de serviços, agropecuária e comércio. Em 2010, 52,27 % dos habitantes com alguma ocupação e idade maior ou igual a 18 anos trabalhavam no setor agropecuário, 32,92 % no setor de serviços e 5,27 % no comércio (Atlas Brasil 2013). Segundo Queiroz Júnior (2021), a geração *per capita* de RSU é de 0,800 kg/hab.dia e a disposição final dos resíduos sólidos no município é realizado em um vazadouro a céu aberto localizado próximo ao perímetro urbano, as margens da BR 226.

Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da área de estudo é do tipo As, isto é, tropical, com chuvas de inverno e verão seco (Alvares et al. 2013). Ainda, as características ambientais indicam a formação geológica do local, apresentando solos de classe Latossolos e Neossolos, além de vegetação do tipo floresta caducifólia espinhosa e caatinga arbustiva densa (IPECE 2017).

A análise geológica e pluviométrica é de suma importância para se determinar a probabilidade de infiltração e, conseqüentemente, contaminação do solo e da água subterrânea, bem como

da percolação do chorume nos períodos chuvosos. Segundo dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2019), a precipitação anual na cidade de Ereré-CE foi de 678mm. Logo, pode-se perceber que, uma vez que município estar inserido na região semiárida nordestina, indica baixa pluviometria no ano analisado, o que propicia para a baixa formação do chorume, tal como geração de lixiviado. Porém, para análise da infiltração do contaminante no solo, se faz necessário um estudo geológico na área do vazadouro a céu aberto, a fim de determinar a tipologia do solo e seu padrão de qualidade ambiental neste local.

Cálculo da Estimativa Populacional

Para o cálculo da estimativa populacional (Equação 1) foi utilizado o método da projeção geométrica. Este método calcula o crescimento populacional em função da população existente a cada instante, e ainda, considera a mesma porcentagem de aumento da população para períodos iguais (Tsutya 2006). Para este trabalho considerou-se uma projeção do período de 2019 a 2039. O período resulta em 20 anos de projeção, pois se considerou o tempo médio de vida útil para o funcionamento de um aterro sanitário, em condições plenas de operação. Ressalta-se que o estudo contabilizou somente a população da área urbana para fins de geração *per capita* de RSU.

$$P = P_2 * e^{Kg(t_2-t_1)} \quad (1)$$

Sendo:

P = população estimada no ano t (hab);

P2 = população do ano inicial (hab);

t1 = ano inicial;

t2= ano final;

Kg = taxa de crescimento geométrico.

A taxa de crescimento geométrico é descrita por Tsutva (2006) pela Equação 2:

$$Kg = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Sendo:

P1, P2 = populações nos anos t1, t2;

t1, t2 = ano inicial; ano final.

Cálculo da Estimativa de produção de RSU

O cálculo para estimar o quantitativo anual de resíduos sólidos gerados no município de Ereré-CE é dado pela Equação 3:

$$\text{Volume de RSU} = \text{população} \times \text{geração per capita} \times 365 \text{ dias} \quad (3)$$

Através dos dados quantitativos da geração *per capita* de resíduos sólidos no município de Ereré, foi possível estimar o volume de RSU gerado anualmente.

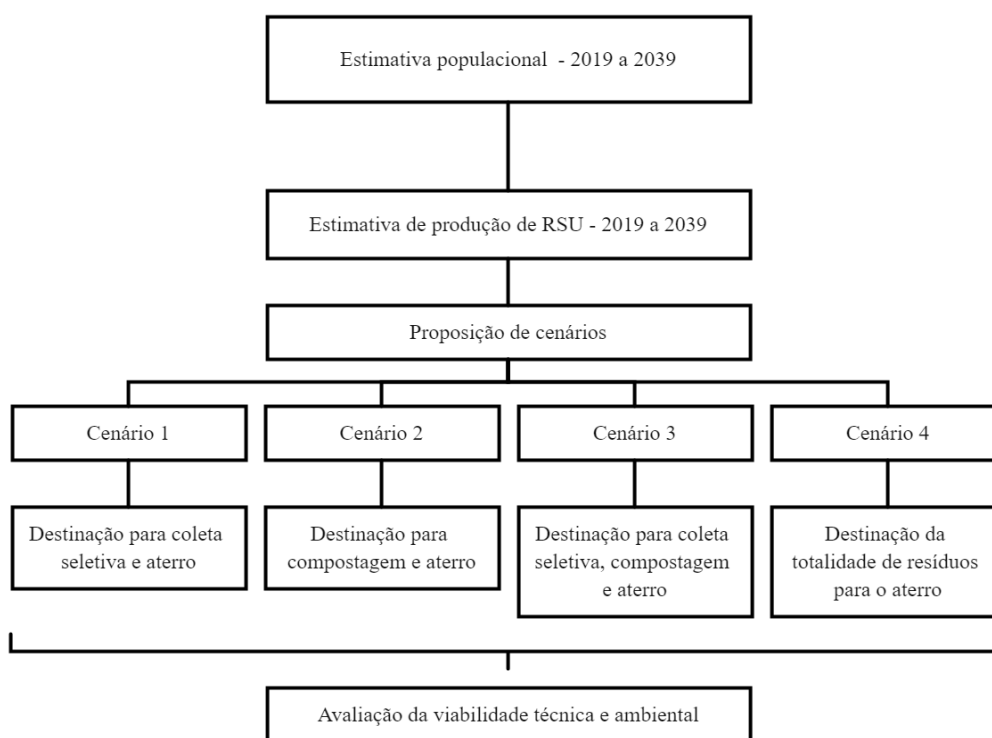
Análise da viabilidade técnica e ambiental dos resíduos sólidos

Para análise da viabilidade técnica e ambiental dos resíduos sólidos foram propostos quatro cenários:

- Cenário 1: destinação para coleta seletiva e aterro sanitário;
- Cenário 2: destinação para compostagem e aterro sanitário;
- Cenário 3: destinação dos resíduos sólidos para compostagem, coleta seletiva e aterro sanitário;
- Cenário 4: destinação da totalidade de resíduos sólidos para o aterro sanitário.

O fluxograma da Figura 2 mostra o processo logístico para análise destes cenários.

Figura 2. Fluxograma do processo metodológico.



Com relação ao primeiro cenário, foi considerado que os resíduos gerados no município de Ereré- CE terão uma coleta diferenciada (coleta seletiva), sendo que os recicláveis serão destinados a usinas de reciclagem (Central de Tratamento de Resíduos) e o restante será encaminhado ao aterro sanitário (rejeitos e orgânicos). No segundo cenário, considerou-se que toda a fração orgânica é destinada para a compostagem e o restante para o aterro sanitário. Para o terceiro cenário, os resíduos passam por coleta seletiva, os resíduos úmidos terão como destino a compostagem, e o

rejeitos serão destinados ao aterro sanitário. No quarto cenário, considerou-se que todo o resíduo será encaminhado para o aterro sanitário sem nenhum tipo de tratamento ou coleta seletiva.

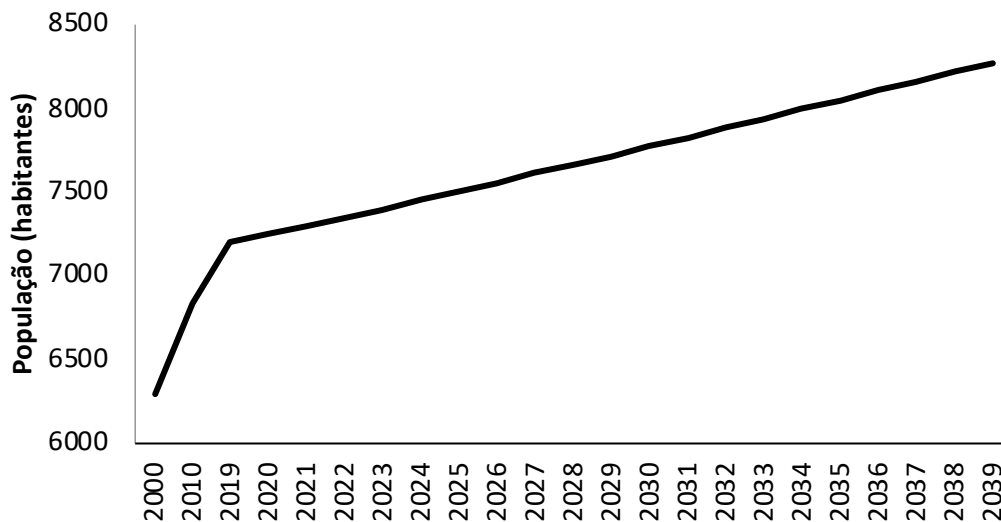
Por fim, as informações de composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do Município de Ererê utilizadas para a projeção dos cenários 1, 2 e 3, foram baseadas no estudo realizado por Queiroz Júnior *et al.* (2021), onde estabeleceu-se que os resíduos se distribuem em rejeitos (28,23 %), matéria orgânica (20,75 %), plástico (19,04 %) dentre outros tipos.

Resultados e Discussão

Estimativa populacional

Para realizar a proposição dos três cenários, foi necessário inicialmente estimar a projeção populacional de 2019 a 2039 do município de Ererê-CE (Figura 3).

Figura 3. Estimativa populacional pelo método geométrico de Ererê-CE entre 2019 a 2039.

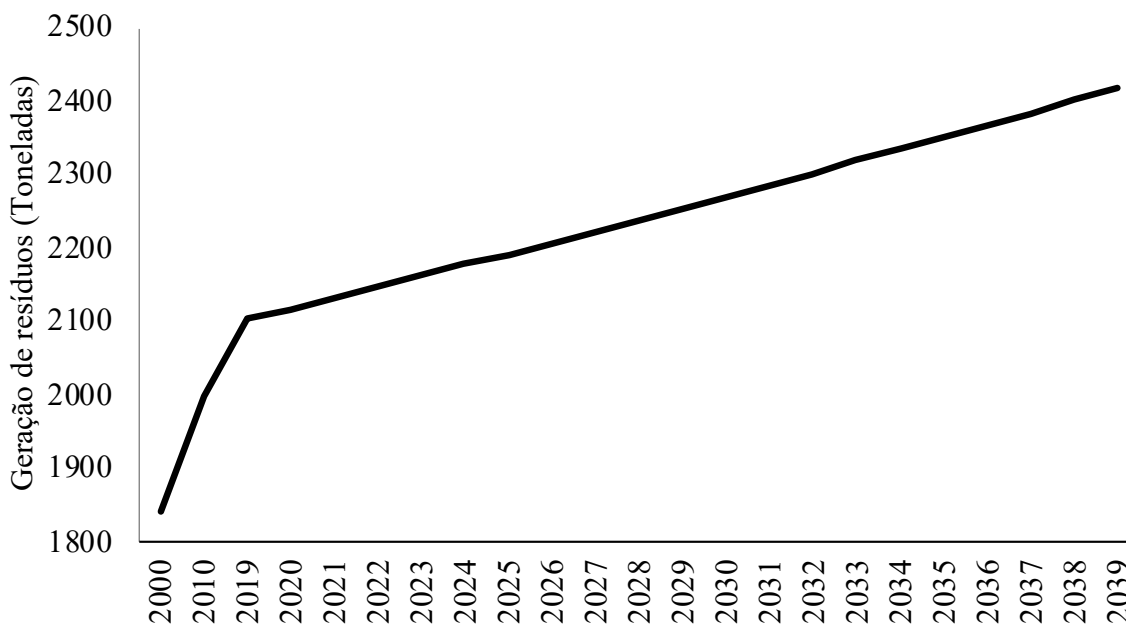


A população estimada para o ano de 2019, de acordo com IBGE (2020), era de 7198 habitantes. Ao aplicar estimativa populacional pelo método geométrico (Tsutiya 2006), foi possível identificar que no decorrer dos 20 anos, há uma estimativa de aumento da população até o ano de 2039, com 8279 habitantes. Esse valor representa o acréscimo de 1.081 habitantes ao longo dos 20 anos de funcionamento do aterro sanitário.

Estimativa de RSU

De acordo com Queiroz Junior e colaboradores (2021), em estudo gravimétrico realizado para quantificação da geração de resíduos sólidos da cidade de Ererê/CE, com projeções calculadas para os anos de 2019 a 2039 através da Equação 3 e o valor de geração per capita de 0,800 kg/hab.dia foi estabelecido através desta estimativa desta equivalente como é ilustrado na Figura 4 frente o crescimento populacional da localidade.

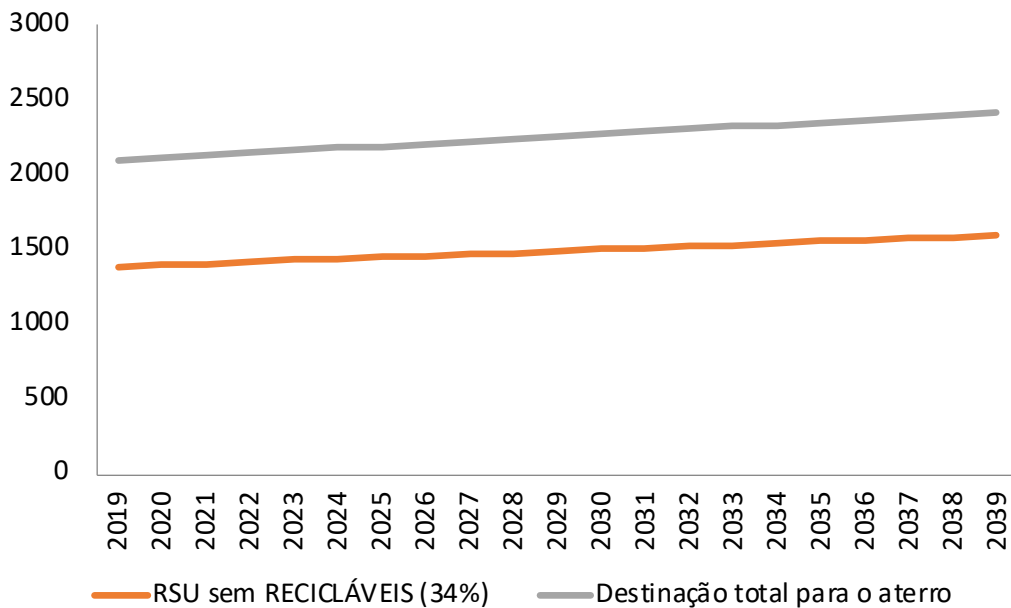
Figura 4. Estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos de Ereré - 2019 a 2039



Identifica-se um aumento da geração de resíduos sólidos em Ereré/CE. Em 2019 a geração será 2.101,82 toneladas por ano. Esse aumento se apresenta até o ano de 2039 com 2.417,50 toneladas, tendo o incremento de 15,784 toneladas por ano. Morais (2018), ao realizar a estimativa de geração de RSU para a cidade de Pau dos Ferros- RN, observou um incremento de 68,2 toneladas ao ano, que representa 4 vezes o valor encontrado nesta pesquisa, porém justificada pelo número de habitantes, estimado em 30.394 (IBGE 2020) e geração per capita de 2,48 kg/ hab.dia (Lunes 2017) serem superiores. Rodrigues et al. (2018) também observaram incrementos significativos na geração de resíduos sólidos na cidade de Curaçá-BA, cuja a população é de aproximadamente 35 mil habitantes.

Proposição de cenários

O primeiro cenário considera que, através da coleta seletiva, os resíduos sólidos urbanos são destinados a uma CTR, onde, os recicláveis são recuperados para se reinserirem na cadeia produtiva. Os recicláveis desse estudo contribuem com 34 % de todo o resíduo disposto no vazadouro a céu aberto do município de Ereré/CE. Formam esse percentual a somatório de plásticos (incluindo PVC), papel e papelão, metal e vidro. Assim, a destinação para a coleta seletiva visando à reciclagem reduzirá o quantitativo de resíduos a serem aterrados em 34 %, restando 66 % a ser destinado para o aterro comum. A Figura 5 mostra como se comporta a projeção do RSU neste cenário.

Figura 5. Projeção da geração de RSU destinados ao aterro sanitário com coleta seletiva de recicláveis

É perceptível que há uma discrepância acentuada quando se compara a tonelada anual de resíduos disposto com os recicláveis e sem estes. No primeiro ano, 714,61 toneladas de recicláveis são gerados, o que, se destinado para a CTR, contribuirá para o aumento da vida útil do aterro sanitário, bem como para a geração de lucro obtido pela venda deste material.

Melo *et al.* (2009) ao reproduzirem um cenário em que não seriam destinados para o aterro 20 % dos recicláveis coletados na cidade de Curitiba- PR, observou que, ao comparar com o modelo “do nothing”, no qual o resíduo seria destinado em sua totalidade, as diferenças seriam de: 534.890 toneladas geradas, 891.483 m³ de volume no aterro e R\$ 2.410.560,00 para o gerenciamento desses resíduos.

Neste sentido, iniciativas de coleta seletiva no município de Ereré são de suma importância para a destinação deste tipo de resíduos para a reciclagem. Granja (2011) afirma que a coleta seletiva é parte complementar e essencial de um projeto de reciclagem e, quando bem gerenciada, contribuirá decisivamente para aumentar sua eficácia. Os benefícios da reciclagem são elucidados pela CEMPRE (2010) ao afirmar que, 1 tonelada de papel reciclado evita o corte de 15 a 20 árvores, economiza 50 % de energia elétrica e 10 mil m³ de água.

A implantação de ações conjuntas entre poder público e população constituem em caminhos imprescindíveis para garantir a gestão de resíduos eficiente como pode-se evidenciar em Piedade – SP que com o uso do Programa Municipal de Coleta Seletiva Solidária, através de parcerias com a cooperativa local conseguiu-se entre 2012- 2016 o crescimento na disponibilidade de 33 t/mês de resíduos encaminhados para o aterro sanitário (Seabra, Gallego e Gonçalves 2016).

De fato, a implantação da coleta seletiva nos municípios é um grande obstáculo, principalmente para os de pequeno porte. Na região nordeste, no ano de 2018, 816 municípios não apresentaram iniciativas de coleta seletiva (Abrelpe 2019). Para que a coleta seletiva proporcione resultados satisfatórios, é necessário estimular a população através da educação ambiental, esclarecendo questões quanto à implantação e manutenção da coleta seletiva minimizando assim a geração, descarte de resíduos e impactos ambientais (Alkimin e Ribeiro Junior 2017).

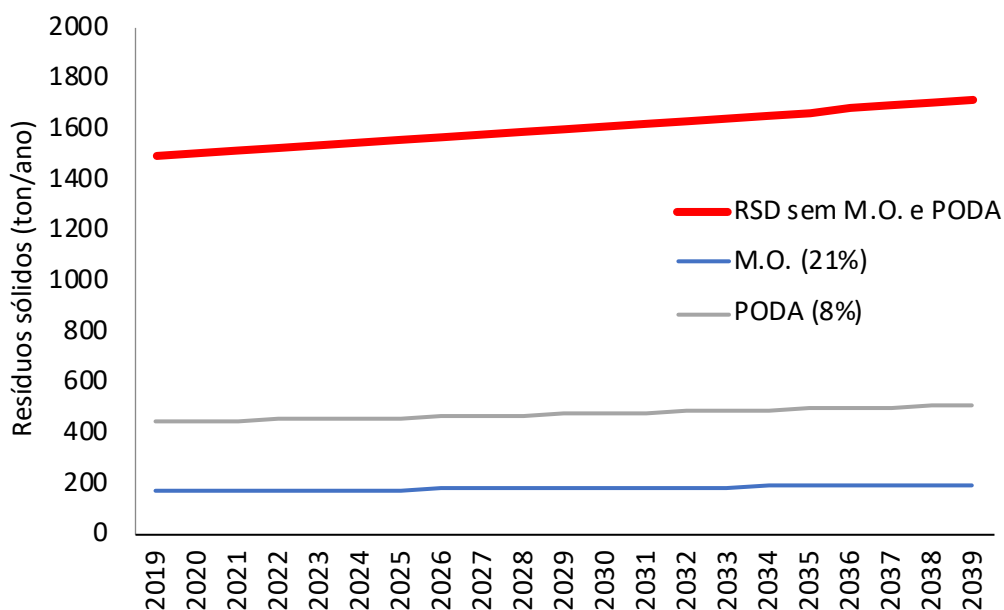
Segundo Amaral e Lopez (2016) existe a soma de fatores que dificultam a efetivação do que é estabelecido no Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos como a presença da figura do atravessador que proporciona a diminuição do lucro efetivo da atividade além da inerente ausência de ações efetivas que possibilitem valorização, organização e segurança dos catadores de materiais, ou seja, esse panorama influencia no âmbito social, econômico e nas condições sanitárias.

Dessa forma, analisando o aumento retilíneo dos materiais recicláveis ao longo de vinte anos em Ereré, tem-se que o fomento para a geração de renda e para a minimização de impactos ambientais poderão ser alcançados, caso estes recicláveis sejam destinados para a reciclagem. Para tanto, a administração municipal deverá inserir no sistema de manejo a coleta seletiva e uma via de tratamento, como a usina de reciclagem, que, embora possua custos associados para sua implantação e operação, acarretará na geração de emprego, economia nos custos de disposição final e redução do volume de inservíveis a serem aterrados nas células, aumentando a vida útil do aterro sanitário.

O segundo cenário considera que os resíduos orgânicos alimentares produzidos na cidade de Ereré-CE perpassem por uma CTR que segregam o material e o destina para a compostagem juntamente ao resíduo de poda. Assim, aumentará a vida útil do aterro, uma vez que, haverá a redução dos resíduos a serem aterrados. Além disso, essa prática de fácil aplicação não requer condições operacionais sofisticadas, tendo ainda como resultado final do processo um composto orgânico adequado para a utilização na agricultura, assim reduzindo também o uso de fertilizantes e condicionadores de solo (Sena et al. 2019).

Neste sentido, aproximadamente 29 % da totalidade de resíduos serão destinados para essa finalidade, restando 71 % de RSU a serem destinados para o aterro sanitário. Através da Figura 6 é possível observar como ocorre o crescimento de geração de resíduos sólidos urbanos para este cenário.

Figura 6. Projeção da geração de RSU destinados ao aterro sanitário com destino da matéria orgânica para compostagem



A redução na geração de resíduos sólidos é bastante expressiva quando comparado com os resultados obtidos para o cenário 02 (Figura 6). Ainda assim, ao observar os valores do cenário 01, esta projeção mostra-se superior, pois ainda serão destinados para o aterro os resíduos secos.

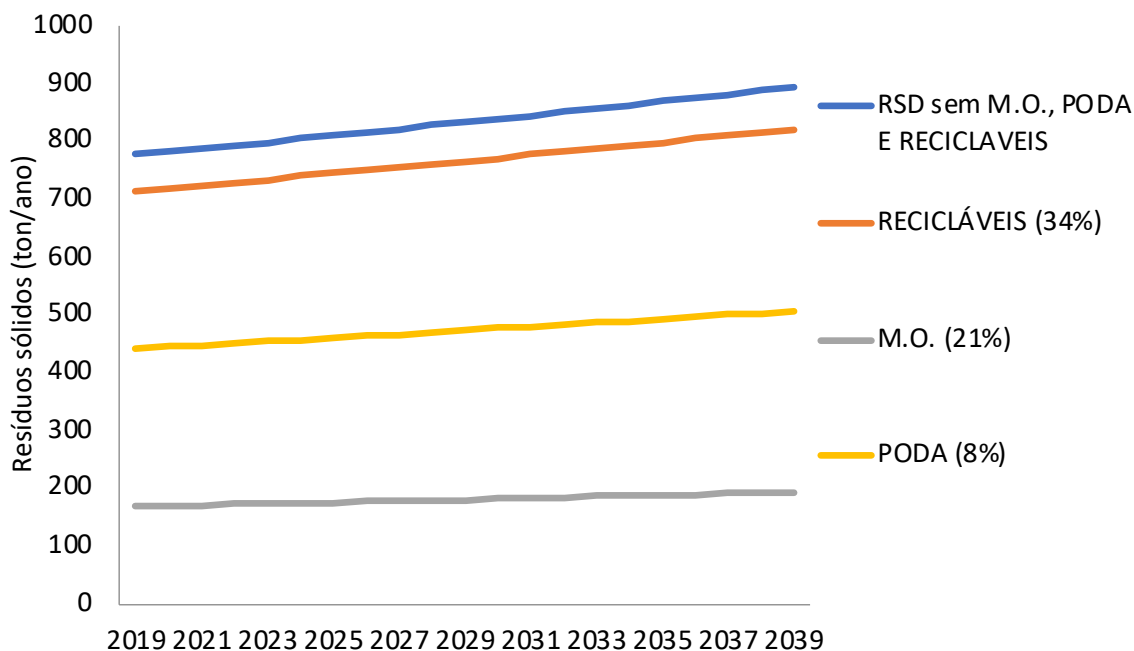
Nesta perspectiva, se considerarmos, por exemplo, a possível existência de um sistema de compostagem em Ereré, com o qual poderia haver uma redução de 29 % na quantidade de resíduos orgânicos enviadas ao aterro, até 2039 haveria uma redução de 701,08 toneladas geradas. Melo *et al.* (2009), ao propor cenário semelhante a esse para Curitiba/PR, cidade com aproximadamente 2 milhões de habitantes, encontrou reduções significativas no quantitativo de resíduos orgânicos quando este era destinado 10 % para a compostagem. A diferença entre os dados se dá principalmente pelo porte da cidade, bem como, nesta pesquisa considera-se que 100% do resíduo orgânico é destinado a compostagem, e não 10%, porém ambos apresentam reduções importantes, contribuindo para o gerenciamento eficiente dos resíduos sólidos

Quanto à formação de subprodutos, a destinação da fração orgânica para a compostagem contribuirá significativamente para a redução da geração biogás e do chorume, isso correlaciona-se com fato encontrado em estudo de Moraes (2018), que ao realizar uma estimativa de produção destes para o município de Pau dos Ferros- RN, percebeu uma menor produção neste cenário. Vale destacar que segundo Granja (2011) seria viável quanto parâmetros produtivos e econômicos a implantação de um sistema de compostagem.

O terceiro cenário considerou que os RSUs possuem uma coleta diferenciada, na qual, a segregação prévia nas residências colabora para a execução de ações de tratamento dos resíduos recicláveis e resíduos orgânicos que serão destinados para as CTRs. Considerou-se como resíduos orgânicos os resíduos de restos alimentares e podas. Assim, visto que as atividades no aterro iniciarão no ano de 2019 e os resíduos serão contabilizados em 2020, através do cálculo da estimativa de geração do RSU proposto para esse cenário foi possível contabilizar 796,91 t/ano já no primeiro ano (Figura 7). Esse valor representa uma redução de 36 % no quantitativo de disposição de resíduos sólidos no aterro, contribuindo para um aumento da vida útil deste.

Melo *et al.* (2009) ilustraram uma possível situação em que, através de estratégias de intensificação da reciclagem e compostagem, seria possível reduzir as quantidades de resíduos orgânicos e de materiais recicláveis enviadas ao aterro sanitário em Curitiba/PR. Concluíram que, comparado ao cenário em que todo o resíduo seria disposto no aterro sanitário, em um período que corresponde a 12 anos de projeção, isto representaria uma redução de: 863.087 toneladas geradas, 1.438.478,61 m³ de volume no aterro, R\$ 3.889.679,00 para o gerenciamento na cidade de Curitiba-PR. A Figura 7 representa como essa redução é atribuída e baseado em quais tipos de resíduos.

Figura 7. Projeção da geração de RSU destinados ao aterro sanitário com compostagem e coleta seletiva.



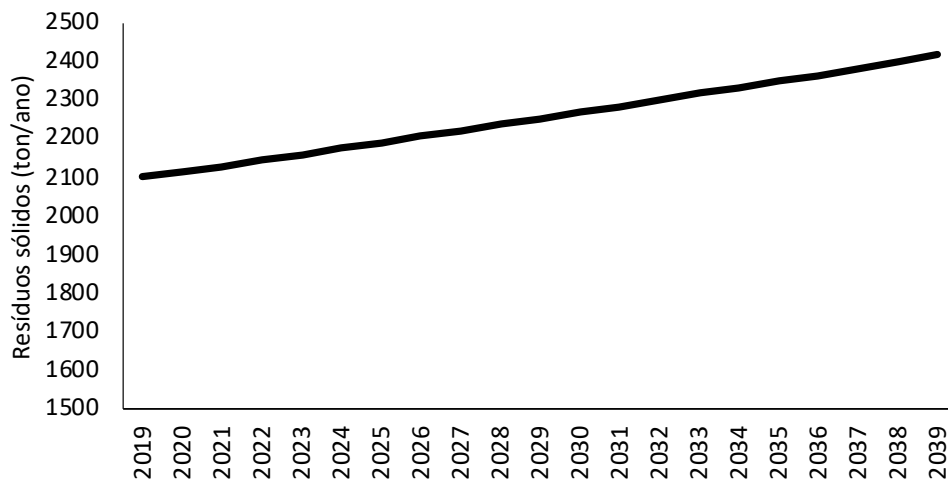
Os resíduos destinados para a compostagem poderão ser utilizados como fertilizantes para a agricultura. Segundo Peixoto et.al. (2014), o composto gerado neste processo apresenta vantagem nutricional para as culturas já que auxilia no enriquecimento do solo.

Além disso, os materiais recicláveis são resíduos sólidos secos que podem ser aproveitados como matéria prima para produção de novo material e até mesmo de outros materiais que voltam para a mão do consumidor como produto, onde é necessário que esse tipo de resíduo sólido não esteja contaminado ou sujo para ser aproveitado (Granja 2011).

Em termos econômicos, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética- EPE (2008), a reciclagem do conjunto dos materiais, além de contribuir para a extensão da vida útil do aterro, evita a geração de energia elétrica consumida na produção do material reciclável. O potencial de conservação de energia elétrica estimado a partir da reciclagem de embalagens é bastante expressivo, podendo situar-se entre 0,66 kWh/kg e 2,97 kWh/kg de RSU (EPE 2008).

Considerando que a prefeitura municipal participa do Consórcio de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Vale do Jaguaribe e pagará pelo quilograma de resíduos sólidos aterrado no aterro (ainda em construção), a coleta seletiva dos resíduos com destinação a centrais de tratamentos contribuirão para uma redução no valor a ser pago o que representa a diminuição importante nos gastos, caso todo o resíduo produzido fosse aterrado sem destinação ambientalmente correta. Além disso, é válido ressaltar que, em questões orçamentárias, a implantação de um aterro próprio no município de Ereré-CE seria uma possibilidade muito distante, uma vez que demanda custos de instalação e funcionamento, os quais a gestão administrativa não teria condições de arcar.

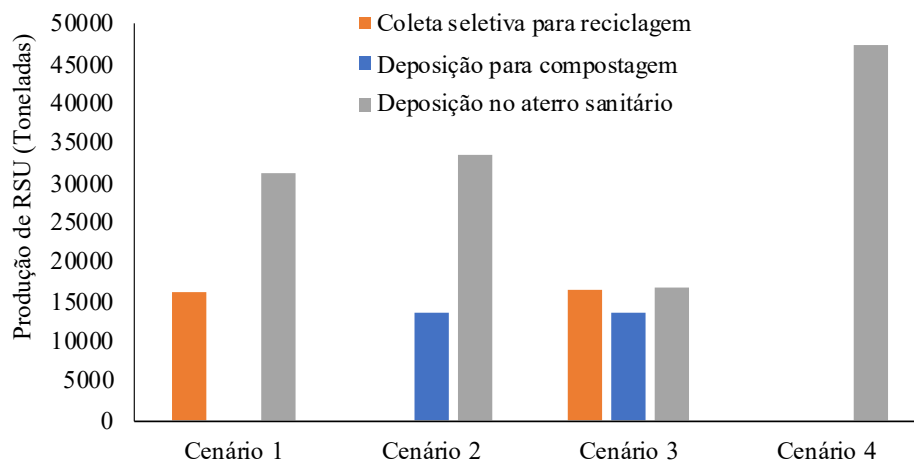
O último cenário considera que os RSU são coletados regularmente, sem nenhum tipo de segregação e tratamento, e são destinados para aterro sanitário em toda a sua totalidade. É possível identificar como se comporta o crescimento da geração de RSU na cidade de Ereré-CE, para este caso, observando a Figura 8.

Figura 8. Projeção da geração de RSU destinado ao aterro sanitário.

Há um crescimento retilíneo de geração de resíduos sólidos urbanos muito superior ao proposto nos cenários anteriores (Figura 8). A produção, que no primeiro ano é de 2116,57 toneladas de resíduos, cresce durante a vida útil do aterro, tendo a sua produção máxima no último ano de funcionamento com 2417,50 toneladas de resíduos sólidos. É um aumento que representa o acréscimo de 300 toneladas de RSU em 20 anos a serem despejadas no aterro sanitário.

Morais (2018) identificou que, em Pau dos Ferros/ RN, este cenário apresenta um maior potencial energético, isso pois, como os resíduos seriam destinados em sua totalidade ao aterro, devido à alta carga orgânica presente nos resíduos a serem aterrados, haveria uma maior produção e gás metano e um maior potencial energético. Porém, um fator negativo, é a demanda de maior área útil para o projeto, uma vez que, o volume ocuparia rapidamente as células de descarte.

Ao realizar uma interação entre os cenários propostos, é possível identificar de que maneira estes se diferenciam (Figura 9). Observa-se que, no cenário 01 cuja a destinação do RSU é para a coleta seletiva e aterro sanitário que o quantitativo de resíduos recicláveis é muito expressivo. Este cenário impacta economicamente, uma vez que os materiais recicláveis possuem valor agregado e, portanto, é uma fonte de geração de renda.

Figura 9. Estimativa de produção acumulada de RSU em Ereré-CE - 2019 a 2039.

No cenário 04 é possível identificar a elevada produção de resíduos, o que ocasionará aumento nos custos operacionais da administração municipal com a disposição final, além de reduzir o tempo de vida da célula. Já o cenário 03 mostra uma redução significativa na produção de RSU a ser aterrado, pois, os orgânicos e recicláveis serão destinados por meio da coleta seletiva para Centrais de Tratamento de Resíduos, sendo otimizado o descarte apenas para os rejeitos e materiais que não estejam passíveis de serem tratados. Embora seja oneroso tratar os resíduos, esta é uma alternativa que, em longo prazo, trará benefícios econômicos, sociais e ambientais.

Viabilidade técnica e econômica

Para que a reciclagem seja viabilizada, é necessário que o município tenha um efetivo sistema de coleta seletiva implementado, de forma que os resíduos gerados nos domicílios e comércios, principalmente, possam ser reaproveitados. O aterro sanitário, o qual o município de Ereré-CE é consorciado, dispõe de uma projeção quanto a capacidade de cada célula. De acordo com o plano estão projetadas três trincheiras para atender a uma vida útil de 20 anos, sendo a primeira capaz de receber rejeitos por 10 anos (CGIRS-VJ 2018). A Tabela 1 mostra a capacidade por volume de cada trincheira.

Tabela 1. Capacidade volumétrica de cada célula do aterro sanitário

PROJETADO		
TRINCHEIRA 1	Cap: 2.155.207 m ³	1ª Etapa
TRINCHEIRA 2	Cap: 2.526.923 m ³	2ª Etapa
TRINCHEIRA 3	Cap: 2.811.361 m ³	3ª Etapa
Total		7.493.491 m ³

Fonte: Adaptado de CGIRS-VJ (2018).

A viabilidade técnica quanto a capacidade de armazenamento pode ser definida no intuito de identificar o espaço ocupado durante a vida útil do aterro pelos RSU do município de Ereré-CE. Sabendo que a caçamba de 6 m³ coleta até 3 toneladas ao dia na cidade de Ereré, sendo esse total a soma de três rotas, então, é possível estimar o espaço ocupado na célula. A Tabela 2 mostra o volume ocupado por cada cenário até o último ano estimado.

Tabela 2. Viabilidade técnica de capacidade do aterro sanitário frente à disposição de Ereré-CE

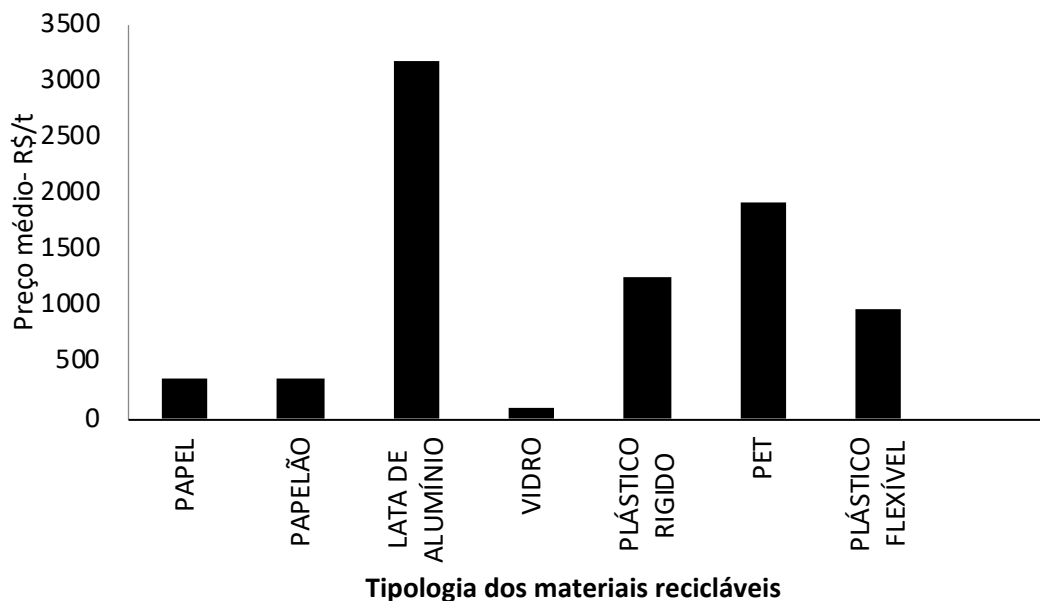
CENÁRIOS	Volume gerado de 2019 a 2039 (m ³)	Capacidade do Aterro Sanitário (m ³)	Percentual do volume ocupado no aterro sanitário (%)
CENÁRIO 01	61.593,24	7.491.493,00	0,82
CENÁRIO 02	67.278,76	7.491.493,00	0,89
CENÁRIO 03	32.372,56	7.491.493,00	0,43
CENÁRIO 04	94.758,83	7.491.493,00	1,26

Nota-se que o volume de resíduos varia de acordo com o cenário, onde é perceptível uma redução expressiva no cenário 03, uma vez que, apenas 32.372,56 m³ serão ocupados pelos inservíveis gerados no município de Ereré, correspondente a somente 0,43% de toda a capacidade do aterro sanitário, logo é o que mais contribui para o aumento da vida útil do dispositivo, sendo descartados apenas os rejeitos.

Vale ressaltar que o percentual de ocupação do volume do aterro contempla a projeção apenas do município de Ereré, sendo que o aterro do consórcio deve contemplar 13 municípios, o que poderá implicar, no caso de ações simultâneas de não segregação dos recicláveis, na redução da vida útil do dispositivo, tal como potenciais problemas econômicos quanto a manutenção de tal dispositivo.

Outro aspecto importante no que diz respeito aos resíduos sólidos é o valor agregado aos recicláveis no mercado, pois, a ação de catadores através de associações ou cooperativas constituem, além de um mecanismo de redução de disposição de RSU, uma fonte de renda para estes, além da possibilidade de inserção socioeconômica. A Figura 10 mostra o preço médio da tonelada dos recicláveis em 10 municípios brasileiros, segundo dados do CEMPRE (2019), em que a lata de alumínio é o material reciclável com maior atribuição de valor econômico, sendo este 3190 R\$/t.

Figura 10. Preço médio da tonelada dos recicláveis em 10 municípios do Brasil (R\$)



Fonte: Adaptado de CEMPRE (2019).

Dessa forma, determina-se o ganho total anual com a reciclagem de cada material coletado em Ereré-CE, multiplicando-se a quantidade de lixo gerada com o valor de mercado de cada material, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Valoração e quantidade média anual de lixo produzido em Ereré-CE.

TIPO DE RESÍDUO	QUANTIDADE (T/ANO)	VALOR DA TONELADA EM REAIS (CEMPRE, 2019)	VALOR TOTAL R\$
PAPEL E PAPELÃO	1168,00	355,50	415.224,00
PLASTICO	2044,18	1391,66	2.844.553,04
VIDRO	0,18	106,00	19,40
ALUMÍNIO	0,07	3190,00	232,87
	TOTAL		3.260.029,31

O lucro total com a reciclagem dos resíduos em Ereré-CE seria de R\$ 3.260.029,31 por ano, R\$ 267.947,614 por mês, com um total de R\$ 8.931,58 por dia (Tabela 5). Paz et al. (2011) ao realizarem um estudo da valoração econômica dos resíduos sólidos domiciliares no município de Recife/PE identificaram um ganho de R\$ 86.888.250 por ano com os recicláveis. Já Rodrigues et al. (2008) apontam em seu estudo, realizado na cidade de Maringá-PR, que a reciclagem de alumínio proporciona uma economia de, aproximadamente, 1.400 t de bauxita por ano, com a reciclagem de papéis, cerca de 147.000 árvores serão poupadas, e que, cerca de 2.200 barris seriam poupados com a reciclagem do plástico.

Neste sentido, a coleta seletiva contribui significativamente para o processo de reciclagem, pois, embora os custos da coleta seletiva são maiores que os da coleta convencional, os benefícios ambientais e sociais, inclusive pela oferta maior de emprego, tornam a reciclagem bastante viável (Paz et al. 2011).

Conclusão

Na proposição de cenários foi possível analisar que o cenário 01 se mostrou muito favorável em uma perspectiva socioeconômica e ambiental. Isso pois, a coleta seletiva do material reciclável com destino a reciclagem viabiliza a geração de renda, o aumento da vida útil do aterro sanitário e a minimização da geração de subprodutos que contribuem para a tríplice poluição.

Já o cenário 2 que propôs compostagem e aterro apresentou reduções consideráveis ao destinar os orgânicos e podas para a compostagem. Uma vantagem desse tipo de tratamento é a possibilidade de formar um composto para auxiliar na nutrição do solo e contribuir para o desenvolvimento de culturas. É importante salientar a necessidade de realizar tais tratamentos dos RSU, visto que, atua de forma benéfica prevenindo a poluição do ar, da água e do solo.

O cenário 3 com adoção de coleta seletiva, compostagem e aterro sanitário foi o que apresentou maior redução de RSU, devido destinar somente os rejeitos para o aterro sanitário, o que gera um menor volume de resíduos a ocupar as trincheiras. Além disso, contribui para aumentar a vida útil do aterro, já que por meio da coleta seletiva os recicláveis e orgânicos serão destinados para centrais de tratamento e incorporados no meio, seja na cadeia produtiva, ou na agricultura.

Quanto ao cenário 4, com disposição total para aterro sanitário, o volume ocupado e a geração de resíduos são bastante expressivos. Tal fato, foi devido considerar que todos os resíduos serão destinados ao aterro em toda sua totalidade. Esse cenário de disposição tem como desvantagem

maior área a ser utilizada e menor tempo de vida útil do aterro. Além disso, contribuirá para maior geração de subprodutos como o biogás e o chorume.

A viabilidade técnica do aterro mostrou que o cenário 3 é o que mais contribuirá para aumentar a vida útil do aterro, bem como reduzir a área a ser utilizada. Este cenário ainda fomenta a geração de renda, já que, em termos econômicos, enterra-se cerca de R\$ 8.931,58 por dia se considerarmos os cenários 02 e 04, por exemplo. Portanto, é possível planejar a longo prazo a gestão de resíduos sólidos em Ereré/CE, definindo-se metas e as melhores formas de alcançá-las por meio da minimização na geração, coleta seletiva, reciclagem e compostagem.

Participação dos autores: **ABQJ, FSR** - Levantamento Bibliográfico; Coleta de dados primários; Coleta de dados secundários e Elaboração do manuscrito; **JMB** - Proposta do estudo; Revisão conceitual; Revisão e aprovação da versão final do manuscrito; **TTC** - Coleta de dados primários; Coleta de dados secundários; Elaboração do manuscrito e Conformação das normas do periódico; **SBN, HCGC** - Coleta de dados secundários; Elaboração do manuscrito; Confecção de materiais gráficos.

Aprovação ética e outras licenças: não se aplica.

Disponibilidade dos dados: os dados coletados não estão depositados em nenhum banco de dados ou repositório.

Fomento: não houve financiamento.

Conflito de Interesses: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2019. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/> >. Acesso em: 07 setembro 2020.

Alkmin DV, Uberto Junior L. 2017. Determinação da composição gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) do Lixão do Município de Maria da Fé, Estado de Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, 18(61):65-82. <https://doi.org/10.14393/RCG186105>.

Amaral CP, Lopez DAR. 2016. A inserção dos catadores como empecilho para aquisição de metas no Plano de Gestão dos Resíduos Sólidos municipais. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, 11(4):78-89.

Alvares CA, Stape JL, Sentelha SPC, Gonçalves JLM, Sparovek G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6):711-728.

Andrade RMD, Ferreira JA. 2011. A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. **Rede: Revista Eletrônica do Prodema**, 6:7-22.

Atlas Brasil. **Ereré**, 2013. Disponível: <http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/erere_ce>. Acesso em: 9 out 2019.

Brasil. Lei Federal nº 12.305, Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010. **Diário Oficial da União**, 03 de agosto.

Castro JM, Souza EA, Espirito Santo JGV, Pereira GCA, Alves RN, Patrocíni EG. 2017. Implicações dos Resíduos Sólidos a Saúde Humana: Explorando Publicações de Enfermagem. **UNICIÊNCIAS**, 21(1)45-49: <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2017v21n1p45-49>

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. 2010. **Pesquisa Ciclossoft**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/>>. Acesso em: 21 jan. 2020.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. 2019. **Review 2019**. São Paulo.

CGIRS-VJ - Consórcio de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Vale do Jaguaribe. 2018. **Plano Regionalizado de Coleta Seletiva Múltiplas do CGIRS-VJ**. Vale do Jaguaribe. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1ldlxuUHiAMn_ZXcKkAEIf5O5zV4tqt4n/view>. Acesso em: 10 out. 2019.

Crêspo PM. 2015. Fácil, Extremamente Fácil: o uso de estudo de caso na área de marketing. **Revista Administração em Diálogo**, 16(2):70-86. <http://dx.doi.org/10.20946/rad.v16i2.13685>.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. 2008. **Nota Técnica DEN 06/08: Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS**. Ministério das Minas e Energia (MME)/Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro.

FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia E Recursos Hídricos. 2019. **Calendário das chuvas no Estado do Ceará**. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/municipios/chuvas-diarias>. Acesso em: 21 jan. 2020.

Garcia MB, Lanzellotti Neto J, Mendes JG, Xerfan FMF, Vasconcellos CAB, Friede RR. 2016. Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada. **Semioses**, 9(2):77-91. <https://doi.org/10.15202/1981996X.2015v9n2p77>

Granja V. 2011. **Proposta de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos com enfoque em Educação Ambiental para o Município de Tio Hugo RS**. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ererê**. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/erer/panorama>>. Acesso em 25 set 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama Ererê**. 2010.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em Números 2016**. Fortaleza, 2017.

Lunes ARS. 2017. **Proposta de técnicas de recuperação de área degradada para o lixão de Pau dos Ferros/RN**. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros.

Martins LOS, Silva LT, Carneiro RAF. 2017. Análise da viabilidade econômica e financeira da implantação de usina de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos no município de Santo Antônio de Jesus - BA. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, 2(2):142-166.

Melo LA, Sautter KD, Janissek PR. 2009. Estudo de cenários para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de Curitiba. **Engenharia Sanitária Ambiental**, 14(4):551-558. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000400015>

Menezes AHN, Duarte FR, Carvalho LOR, Souza TES. 2019. **Metodologia científica: teoria e aplicação na educação a distância**. Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina-PE.

Morais LNL. 2018. **Estimativa de Produção de Biogás e Potencial Energético dos Resíduos Sólidos em Pau dos Ferros-RN**. Trabalho de Conclusão de Curso; (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Paz DHE, Oliveira BMC, Araújo GRV, Silva RCP, El-Deir SG. 2011. **Estudo da Valoração Econômica dos Resíduos Sólidos Domiciliares no Município de Recife/PE**. In: II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2011, Londrina-PR.

Peixoto RTG, Inácio CT, Macedo JR, Capeche CL. 2014. Compostagem. In: Batista, MA.; Paiva, DW.; Marcolino, A. (Org.). **Solos para todos: perguntas e respostas**. Rio de Janeiro: Embrapa, p. 89.

Queiroz Júnior AB, Bezerra JM, Costa TT, Roque FS, Rego ATA, Costa HCG, Nobre SB. 2021. Caracterização Gravimétrica de Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Ererê/CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 4(1).

Rodrigues HS, Gonçalves E, Ferreira IJS, Amorim MCC. 2018. Caracterização gravimétrica e projeção de geração dos resíduos sólidos no município de Curaçá/BA. **Natural Resources**, 8(1):41-51. <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2018.001.0005>

Rodrigues RB, Garutti S, D'Oliveira PS. 2008. Estudo da viabilidade econômica da reciclagem de resíduos sólidos urbanos em Maringá, PR. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, 1(3):367-379.

Seabra LH, Gallep R, Gonçalves DB. 2016. Alternativas para coleta e disposição final de resíduos sólidos em municípios de pequeno e médio porte. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, 14(20):614-626. <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v14i2.2750>

Sena LM, Arruda JF, Costa FRS, Almeida FBB, Brito POB, Gondim FA. 2019. Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e de destinação de resíduos orgânicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 14(2):266-272.

Silva MMN, Carvalho CCA, Lima DF, Alves LDSE. 2020. Análise da gestão de resíduos sólidos na região Nordeste do Brasil. **Research, Society and Development**, 9(1). <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1796>

TSUTIYA MT. 2006. **Abastecimento de Água**. 3 ed. São Paulo. Escola Politécnica da USP.

Yin RK. 2010. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman.



Esta obra está licenciada com uma *Licença Creative Commons Atribuição Não-Comercial 4.0 Internacional*.