



T03 – Recursos Hídricos, Saneamento e Gestão de Resíduos.

O GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM DELMIRO GOUVEIA-AL: PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE UM ATERRO SANITÁRIO

Bárbara Magalhães Simionatto¹, Damazio Alencar Siqueira de Farias², James Monteiro Dias³, Joana Fortes Silva⁴, Melyssa Sousa de Lavor⁵, Rafaela Faciola Coelho de Souza⁶.

RESUMO: *Diante do crescimento populacional que o Brasil se encontra, e conseqüentemente, o aumento na geração de resíduos sólidos, há uma necessidade de planejamento do gerenciamento desses resíduos a partir do cumprimento de leis e normas para efetivação de uma gestão integrada. No Nordeste, a situação da destinação final e tratamento dos resíduos sólidos urbanos é preocupante, visto que, a falta de incentivo financeiro do governo acarreta em um sistema deficitário, isento de investimentos tecnológicos para a construção de locais adequados que possam armazenar e tratar os resíduos gerados nos municípios distantes da capital. Neste sentido, este trabalho apresenta uma proposta de aterro sanitário dimensionado a partir das características locais, e levantamento das áreas disponíveis para sua implantação. O memorial de cálculo leva em consideração o crescimento populacional do município de Delmiro Gouveia para os próximos 30 anos, bem como, a geração de resíduos per capita. Os resultados permitiram concluir que o aterro sanitário necessita de uma área de 44.441m² para atender cerca de 267.112ton de resíduos sólidos urbanos, para a vida útil de projeto adotada. Por fim, vale ressaltar a importância de investigar o subsolo de áreas que apresentam potencial para a implantação do aterro sanitário, uma vez que, os impactos ambientais ocasionados pela má implantação da obra também podem causar sérios danos à saúde da população.*

PALAVRAS-CHAVE: *Resíduos Sólidos Urbanos, Gerenciamento de Resíduos, Gestão Integrada.*

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, sérios problemas têm sido causados pela inexistência de modelos de gestão para os resíduos sólidos urbanos nas prefeituras do interior do estado de Alagoas, mais precisamente na região do Sertão, os quais vêm comprometendo o meio ambiente, e conseqüentemente, a qualidade de vida da população sertaneja. Os municípios dessa região utilizam, em sua maioria, os lixões a céu aberto como forma de disposição final dos resíduos, sendo essa prática um reflexo da escassez de recursos humanos e econômicos no país.

Para tanto, existem técnicas eficazes como os aterros sanitários, que são obras construídas a partir de critérios de engenharia a fim de armazenar os resíduos sólidos urbanos. Esse tipo de obra requer

^{1,2,3,4,5} Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão

Email: ¹ barbarasdrago@gmail.com; ² damazioalencar@gmail.com; ³ diasjames.ufal@gmail.com; ⁴ j.fortes_@hotmail.com; ⁵ melyssalavor@hotmail.com

⁶ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Centro de Ciências Agrárias (CECA)

Email: rafaela_faciola@yahoo.com.br



uma configuração adequada para selar e isolar os resíduos de forma ordenada, não permitindo o contato do mesmo com as camadas de solo subjacentes e nem com a atmosfera (Souza, 2009).

Dessa forma, este trabalho apresenta uma proposta de aterro sanitário dimensionado a partir das características coletadas da região disponibilizadas em documentos do Estado e do município, que permitiram estimar a área necessária para atender o armazenamento do RSU por um período de 30 anos. Essa proposta não apresenta a configuração final das camadas do aterro em termos de impermeabilização, visto que, faz-se necessário uma investigação geotécnica do subsolo para conhecer as características quanto à permeabilidade e resistência.

2. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido na Microrregião Alagoana do Sertão do São Francisco, especificamente no município de Delmiro Gouveia – AL. Em conformidade com Embrapa (p. 01, 2002), o município que faz divisa com os estados da Bahia, Sergipe e Pernambuco, se caracteriza como uma frequente rota para o escoamento de pessoas e mercadorias. De acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizado em 2010, o município contava com uma população estimada de 48.096 mil habitantes, ocupando uma área territorial aproximada de 627 km². A última estimativa populacional, realizada, também, pelo Ibge em 2017, indicou uma população totalizada de 52.597 mil habitantes.

O aspecto climático da região do semiárido que se instala na localidade é quente e seco. Além de ser caracterizado pela baixa pluviosidade, de acordo com publicações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Com base em dados fornecidos pela Semarh (2018) para o período compreendido entre 2013 a 2017, a temperatura média aproximada é de 27°C, já o Índice Efetivo de Umidade (Im), que é baseado em variáveis do balanço hídrico- como a evapotranspiração potencial, a deficiência e o excedente hídrico anual-, apresenta-se menor ou igual a -40 (EMBRAPA, p. 23, 2002).

Para seleção de método de aterro a ser implantado, analisou-se características do solo e hidrografia da área delimitada. Segundo estudos realizados pela Embrapa (2002), a área conta com algumas classes de solos, do tipo sedimentar, em geral pouco profundo, o que leva a concluir, de fato, que aterros do tipo superficial podem ser implantados na região.

No dimensionamento, considerou-se o aspecto populacional, ou seja, a projeção do crescimento populacional, e sobretudo, a geração de resíduos. E em consequência disso, fez-se a determinação do tempo de vida de útil da obra em anos, a fim de estimar a expansão necessária da obra para atender a geração dos RSU.

Além disso, devem ser levados em consideração os aspectos relacionados à topografia da área, tipo de solo e profundidade do lençol freático. Segundo Lima (2004), existem três formas gerais de preparar os aterros de superfície, que são os métodos da trincheira, da rampa e da área. Os procedimentos para a execução do aterro são quase os mesmos, independente do método escolhido, a diferença está nas características do terreno. Dessa forma, julgou-se coerente pelas características locais superficiais o método das áreas, visto que o solo da região onde os aterros serão implantados apresentam sedimentos em áreas planas.



A projeção do crescimento populacional do município de Delmiro Gouveia considerou um tempo de 30 anos para o período de projeto do aterro. Então, os cálculos foram realizados a partir do ano de 2018, considerando os subperíodos de 2028, 2038 e 2048. Para isso, utilizaram-se dados disponibilizados pelo Ibge dos censos de 1991 a 2010.

A estimativa de população foi baseada nos métodos matemáticos (geométrico), que considera o crescimento exponencial da população e produz resultados satisfatórios para períodos acima de cinco anos, como é o caso deste trabalho. Além disso, o Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PIGIRS-SERTÃO) faz considerações deste método nas projeções utilizadas no documento divulgado em janeiro de 2017, que trata do diagnóstico da região. O cálculo é realizado a partir das equações 01 e 02:

$$P_z = P_0 \cdot e^{K_g(t-t_0)} \quad \text{(Equação 01)}$$

$$K_g = \frac{\ln.P - \ln.P_0}{t - t_0} \quad \text{(Equação 02)}$$

Sendo:

- P_z → população estimada (habitantes);
- P_0 → população inicial (habitantes);
- t → tempo final (ano);
- t_0 → tempo inicial (ano);
- K_g → taxa de crescimento geométrico;

A taxa de geração *per capita* de resíduos sólidos para cidades com população entre 15 e 50 mil habitantes é de $0,65 \text{ kg. (hab. dia)}^{-1}$ (PNSB, 2000 *apud* SEMARH, 2017). Ressalta-se que essa faixa de população corresponde apenas à parcela urbana, a qual será atendida pelo aterro sanitário. Este valor foi adotado no cálculo da geração de resíduos estimado no Pigirs-Sertão, visto que não há coleta de resíduos sólidos rurais. A partir da taxa e população projetada, calcula-se o volume de resíduos gerado por ano e o acumulado para o horizonte de projeto pela equação 03:

$$GRSU = \frac{(P_{urb} \cdot t_{m,r}) \cdot 30.12}{1000} \quad \text{(Equação 03)}$$

Sendo:

- GRSU → geração de resíduos sólidos urbanos (ton. ano^{-1});
- P_{urb} → população urbana (hab.);
- $t_{m,r}$ → taxa média de resíduos per capita $\text{kg. (hab. dia)}^{-1}$;

Em seguida, a partir do peso específico (γ) e do grau de compactação (GC), calcula-se o volume de lixo domiciliar, que acrescido de 20% de recobrimento resulta no volume do aterro (ABES, 2003):

$$V_a = \frac{GRSU}{\gamma} \cdot GC \cdot 1,2 \quad \text{(Equação 04)}$$

Sendo:

- V_a → volume do aterro ($\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$);



γ → peso específico dos resíduos compactados ($ton \cdot m^{-3}$);
GC → grau de compactação;

Tendo em vista que o lixo deve ser considerado na condição compactada, inferiu-se o peso específico (γ) do mesmo, através do cálculo da densidade compactada (γ_{ap}). Inicialmente, elencou-se alguns índices de densidade aparente de lixo sem compactação para diferentes localidades, como visto na tabela 2, e em seguida, calculou-se a média entre os valores apresentados.

Tabela 2: Densidade aparente do lixo (não compactado) por localidade (γ_{ap}).

Local	Alguns Autores	γ_{ap} (Kg. m ⁻³)
Belo horizonte	Mercedes (1997)	150
Pará	Carneiro et al (2000)	239
Rio de Janeiro	Lima e Surlinga (2000)	198
IBAM	IBAM (2001)	230
Portugal	Russo (2003)	250
Paraná	Ranuci (2008)	173
$\rho_{ap,média}$		207

Fonte: modificado de Silva e Santos, 2010.

O grau de compactação ou redução de volume que uma massa de lixo pode sofrer é chamado de compressividade. Quando submetido a uma pressão de $4 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$, o volume do lixo pode sofrer uma redução de 1/3 a 1/4 do seu volume inicial (IBAM, 2001). Sabendo que o grau de compactação (GC) é dado pela razão entre a densidade específica aparente e a densidade específica compactada, podemos obtê-lo através da equação 05:

$$GC = \frac{\gamma_{ap,médio}}{\gamma_{compactado}} \quad (\text{Equação 05})$$

Sendo:

GC → grau de compactação;

$\gamma_{ap,médio}$ → peso específico aparente médio ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

$\gamma_{compactado}$ → peso específico compactado ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

Desta forma, é possível encontrar o peso específico do lixo, equivalente à densidade compactada, através da equação e dados supracitados, obtido através da equação 06:

$$\gamma_{compactado} = \frac{\gamma_{ap,médio}}{GC} \quad (\text{Equação 06})$$

No dimensionamento das células, foi considerado o critério de uma a cada ano. As células são iniciadas com uma configuração troncopirâmide, que servirá de base para justaposição das camadas de resíduos, as quais recebem uma cobertura diária com solo de aproximadamente 15cm. Ao fim, as células são concluídas com o mesmo formato inicial e recebem uma cobertura final de solo de 60cm. Para o talude, adotou-se uma inclinação de 1:1, concordando com Lima (2004), onde comenta que proporções entre 1:1, 1:2 ou 1:3 propiciam resultados positivos na compactação, pois aumentam a eficiência do trator.



3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das projeções realizadas e da taxa de geração de resíduos sólidos urbanos *per capita* (Tabela 3), calculou-se a massa diária e o volume anual gerados, conforme mostrados na tabela 3. Em seguida, foi aplicada a média aritmética entre os subperíodos em estudo, que multiplicada ao horizonte de projeto, resultou na massa e volume totais, e através da equação 04, obteve-se o volume do aterro, considerando um grau de compactação de 0,3. Os resultados são demonstrados na tabela 5.

Tabela 3: Projeção da geração de resíduos sólidos urbanos (GRSU).

ANO	POPULAÇÃO	GRSU per capita (kg.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	GRSU diária (ton.dia ⁻¹)	GRSU anual (ton.ano ⁻¹)	Vol. anual de RSU (m ³ .ano ⁻¹)
2018	35.922	0,65	23,35	8.406,00	12.008,60
2028	37.304	0,65	24,25	8.730,00	12.471,43
2038	38.739	0,65	25,18	9.064,93	12.949,90
2048	40.229	0,65	26,15	9.414,00	13.448,57

Fonte: Autores

Tabela 4: Características do aterro adotadas em cálculo.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO	VALORES	UNIDADE
GC	Grau de compactação	0,3	adimensional
$\gamma_{compactado}$	Peso espec. compactado	0,7	ton.m ⁻³
I_a	Índice de atendimento à população urbana.	100	%

Fonte: Autores

Diante dos dados encontrados, foi possível realizar o dimensionamento do aterro. Os valores estão expostos na tabela 5:

Tabela 5: dimensionamento do aterro e respectivas células

	DESCRIÇÃO	VALORES	UNIDADE
M_t	Massa total da GRSU	267.112	toneladas
V_t	Volume total de GRSU	381.588,75	m ³
V_a	Volume do aterro	137.371,88	m ³

Fonte: Autores

3.1 Memorial de Cálculo – Dimensionamento das células do aterro

- Adotando-se uma célula por ano, de dimensões iguais, tem-se um volume de aproximadamente 4.579 m³ para cada célula.
- Utilizando o critério de uma célula por ano, ao final do plano o aterro contará com 30 células. Sugere-se, portanto, a execução de 30 células de 5m de altura, 50m de comprimento e 18,5 m de largura.
- Deverão estar inclusas na área total disponível: a área das células (considerando 6m de espaçamento entre elas) e a área de implantação dos acessos, administração, refeitório,



balanças, vestiários, centro ambiental, usina de reciclagem e compostagem, pátios de manobra/carga/descarga, depósito de composto, guarita e estacionamentos. Sendo assim, determina-se:

- Área total de cada célula sem faixa lateral:

$$A_c = 50 \cdot 18,5 = 925 \text{ m}^2$$

- Área total de 30 células: 27.750m²
- Área lateral a cada célula: Admitiu-se 5% sobre o valor da largura total, sendo acrescidos cerca de 3m a mais em cada célula. Assim, cada célula terá dimensões de 53m de comprimento e 21,5m de largura. Sendo assim:

$$A_{C+FL} = A_{\text{célula}} + \text{faixa lat.} = 53 \times 21,5 = 1.139,5\text{m}^2$$

- Área total de 30 células incluindo faixa lateral: 34.185m²

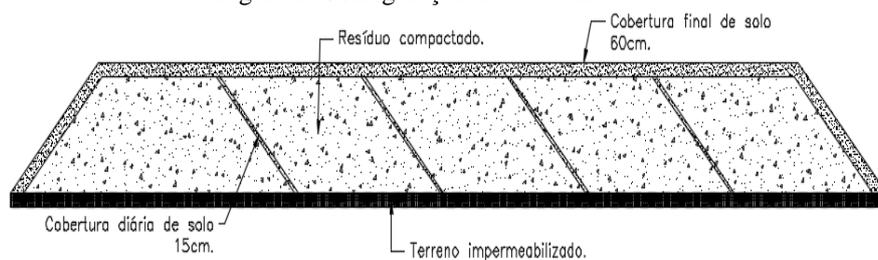
A área total de implantação do aterro é acrescida ainda de 30%, referente às instalações e espaçamentos de acesso, resultando em:

$$A_T = 44.440,5 \text{ m}^2$$

3.2 Configuração Final da Célula

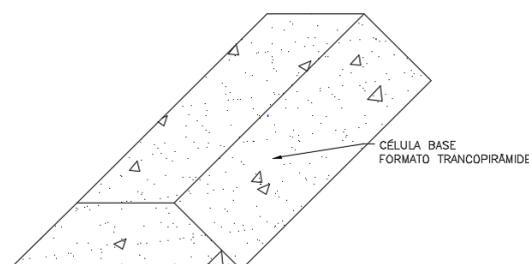
As Figura 1 e 2 apresentam a configuração final da célula de armazenamento do aterro, bem como a célula inicial para a construção das demais células.

Figura 1: Configuração final de uma célula.



Fonte: Autores.

Figura 2: Célula base inicial para construção das demais.



Fonte: Autores.



3.3 Considerações Gerais para a Implantação do Aterro Sanitário

A seleção da área para execução do projeto do aterro sanitário deve considerar, essencialmente, zonas que representam menor impacto ambiental, e estejam de acordo com o zoneamento da região. Além disso, devem possibilitar espaço suficiente para atender futuras demandas, minimizando a quantidade de futuras obras para o atendimento do gerenciamento de resíduos sólidos do município. Os seguintes aspectos técnicos - segundo a NBR 13896/1997 - devem ser respeitados durante a escolha da área do aterro:

- a) Deve ser localizado a uma distância mínima de 200m de quaisquer corpos hídricos;
- b) Obedecer a uma distância superior a 500m de núcleos populacionais, contudo preferencialmente próximo às vias rodoviárias de acesso, por questões logísticas;
- c) Não deve ser construído em áreas sujeitas a inundações;
- d) Quanto à topografia; recomendam-se locais com declividade de 1 a 30%.
- e) Construído em áreas onde haja predominantemente material de subsolo que apresente coeficiente de permeabilidade inferior a $5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$.

4. CONCLUSÕES

Reconhecendo as deficiências no gerenciamento integrado de resíduos sólidos em Delmiro Gouveia, buscou-se desenvolver uma proposta de dimensionamento de aterro sanitário capaz de receber a produção urbana de lixo por um período de 30 anos. No memorial de cálculo, foram considerados o crescimento populacional e a geração de resíduos per capita da cidade durante o período determinado. Além disso, o método adotado para construção do aterro também obedeceu às características ambientais da região.

A área do aterro calculada a partir do dimensionamento foi de 44.440,5 m². Esse valor está em conformidade com a realidade territorial do município, que ainda é prioritariamente rural. Isto significa dizer que há grande possibilidade de que existam espaços distantes do perímetro urbano que são passíveis de implantação de um aterro sanitário, já que este não pode ser localizado nas proximidades de núcleos populacionais.

No entanto, é preciso atentar para a necessidade de estudos mais profundos sobre essas áreas disponíveis, pois as análises para seleção de espaços para disposição de resíduos deve abranger uma equipe multidisciplinar para que sejam considerados parâmetros relacionados ao meio físico e biológico, além dos aspectos sociais, econômicos e imobiliários.

O respeito às realidades locais proposto por este trabalho só será efetivo se, no processo de construção do aterro, não forem dispensados os estudos do subsolo e as questões de degradação ambiental. Por outro lado, não se pode negar que a problemática dos resíduos sólidos urbanos não tem sua solução pautada somente na concepção de um aterro sanitário, ainda que corretamente dimensionado e licenciado ambientalmente. É preciso compreender que o processo de produção do lixo deve ser percebido em sua totalidade, que vai desde a geração (fontes), até a disposição final.

Para tanto, o poder público deve encarar a questão dos resíduos sólidos como uma das prioridades municipais. É preciso incentivar a viabilidade não somente de construção de uma Usina de Triagem e Compostagem e de um aterro sanitário, mas também o fortalecimento das cooperativas de



catadores de resíduos comercializáveis e a coleta seletiva na cidade, na intenção de, sobretudo, conscientizar a população para a redução no lixo produzido diariamente.

Neste aspecto, é importante destacar o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos que vem sendo desenvolvido em pesquisa científica na Ufal – Campus do Sertão, com o intuito de fornecer ao município de Delmiro Gouveia um arcabouço técnico e de gestão que auxilie no alcance de um melhor gerenciamento de RSUs. Sendo assim, espera-se que este trabalho possa contribuir metodologicamente para o amadurecimento da gestão de resíduos sólidos em Delmiro Gouveia e de maneira concreta para a construção de um aterro sanitário, dispondo de um memorial de cálculo rico em referências legais e adaptado às particularidades da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Seção de Alagoas. “*Resíduos Sólidos Urbanos: Coleta e Destino Final*”. Alagoas. p.79. 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. “*Aterros de resíduos não perigosos – critérios de projeto, implantação e operação*” – Procedimento: NBR-13896. Rio de Janeiro, p. 12. 1997.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. “*Diagnóstico Ambiental do Município de Delmiro Gouveia – Estado de Alagoas*”. Rio de Janeiro. p. 1-6. 2002. _____ . “*Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento: Climatologia do Estado de Alagoas*”. p. 23. 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo demográfico*. IBGE, 2010.

IBAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. “*Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*”. Rio de Janeiro. 2001.

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. BRASÍLIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=desvioChuvaAnual>> Acesso em: 03 de Janeiro de 2018.

LIMA, L.M.Q. “*LIXO: tratamento e biorremediação*”. Hemus. 3.ed. p.63. 2004.

SEMARH – SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS. Alagoas. “*Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos- Volume I. Diagnóstico da Gestão Intermunicipal de Resíduos Sólidos- Região do Sertão Alagoano.*” Alagoas: FLORAM, p.147. 2017.

_____. Disponível em: <<http://meteorologia.semarh.al.gov.br/consultas/>> Acesso em: 14 de Fevereiro de 2018.

SILVA, M. C.; SANTOS, G. O. “*Densidade aparente de resíduos sólidos recém coletados*”. In: V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, Maceió – AL. 2010.

SOUZA, R. F. C. “*Migração de poluentes inorgânicos em liners compostos*”. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 100p. 2009.