

Gestão de Resíduos Sólidos



Editora Poisson

Volume 1

Editora Poisson

Gestão de Resíduos Sólidos Volume 1

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2020

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
Ms. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
Msc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
Ms. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T674

**Gestão de resíduos sólidos - Volume 1/
Organização Editora Poisson - Belo
Horizonte - MG: Poisson, 2020**

Formato: PDF

ISBN: 978-85-7042-219-4

DOI: 10.36229/978-85-7042-219-4

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Resíduos sólidos
2. Reciclagem.
3. Meio Ambiente I. Título

CDD-628

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

www.poisson.com.br

contato@poisson.com.br

Capítulo 3

Avaliação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Xangri-Lá

Pâmela de Medeiros Engelmann

Gustavo Henrique Araújo dos Santos

Pedro Rocha da Rocha

Rogério Vescia Lourega

Jeane Estela Ayres de Lima

Resumo: O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (RSUs) é um problema global em virtude da grande quantidade e heterogeneidade de resíduos que são produzidos em todo mundo. Afim de determinar a melhor maneira de gestão desses resíduos é de extrema importância que estudos sejam realizados para determinar suas características. Tanto a quantidade como a composição dos resíduos são parâmetros que auxiliam no planejamento, dimensionamento e escolha da tecnologia mais adequada de gestão. Assim esse trabalho visa determinar e avaliar a quantidade e as características gravimétricas dos resíduos sólidos urbanos produzidos na Cidade de Xangri-lá, Rio Grande do Sul. Um levantamento mensal da quantidade de resíduo produzido na cidade foi realizado ao longo do ano de 2018. Além disso, foram realizadas amostragem de resíduos para a determinação gravimétrica em duas estações do ano (inverno e verão). Os dados demonstram que há uma grande variação sazonal na quantidade de resíduos produzidos pela cidade, com um aumento significativo nos meses de janeiro e fevereiro. A análise da composição gravimétrica mostrou que os RSUs de Xangri-lá são compostos majoritariamente por resíduos orgânicos, principalmente em virtude da existência de coleta seletiva na cidade e também pelo fato desta fração ser mais pesada em relação as outras devido ao grande conteúdo de água presente.

Palavras-Chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Gerenciamento de resíduos, Composição Gravimétrica.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSUs) são gerados pelo homem durante suas atividades diárias de forma contínua. O volume de resíduos gerados vem aumentando ao longo do tempo em todo o mundo e a tendência é que essas taxas continuem a crescer pelas próximas décadas (CZAJCZYŃSKA et al., 2017; DENG et al., 2017). Em 2012, 1,3 bilhão de toneladas de resíduos foram gerados pela população mundial e a perspectiva é que em 2025 a geração anual seja de 2,2 bilhões de toneladas, o que significa um crescimento de 1,2 para 1,42 kg diários por habitante em um curto intervalo de tempo (HOORNWEG E BHADA-TATA, 2012). Esse crescimento pode ser atribuído ao aumento da população mundial, nas últimas décadas, e aos hábitos atuais de consumo, onde as pessoas estão consumindo mais produtos para satisfazerem suas necessidades (SUTHAR; RAYAL; AHADA, 2016).

Os RSUs são compostos principalmente por papel, resíduos de alimento, resíduos orgânicos, resíduos de poda, plástico, metais, têxteis, vidro e outros resíduos que são gerados em domicílios residenciais, estabelecimentos comerciais e pequenas empresas de um município (GUPTA; YADAV; KUMAR, 2015; SHARHOLY et al., 2008). Em escala global, observa-se que a fração orgânica constitui a maior parcela dos RSUs, seguida pelas frações de papel, plástico, vidro e metal. A composição desses resíduos apresenta uma ampla variação entre cidades, estados e países, pois as diferenças culturais, o padrão de vida da população local e a extensão dos programas de reciclagem e reuso contribuem para tal característica (CZAJCZYŃSKA et al., 2017; SHONHIWA, 2013; TAHERYMOOSAVI et al., 2017). Assim, de um modo geral, as características dos RSUs pode ser utilizado como um indicador socioeconômico, visto que normalmente em locais com renda elevada os resíduos são compostos principalmente por papel, plástico e outros materiais inorgânicos, enquanto que em locais de baixa renda os RSUs são majoritariamente compostos por resíduos orgânicos (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012; CAMPOS, 2012; LIMA et al., 2018; MAYA et al., 2016; SHONHIWA, 2013).

O gerenciamento, tratamento e a destinação final ambientalmente adequada dos RSUs são alguns dos maiores desafios do setor de saneamento básico da maioria das cidades ao redor do mundo, visto que uma má gestão pode provocar impactos na qualidade de vida da população e danos ao meio ambiente (contaminação do ar, da água e do solo) (CZAJCZYŃSKA et al., 2017). O custo muitas vezes elevado de gerenciamento desses resíduos faz com que muitas cidades mundiais, assim como brasileiras, descartem seus resíduos diretamente em aterros sanitários e lixões sem passarem por etapas de reciclagem, reuso e aproveitamento energético. A disposição de resíduos no solo em aterros sanitário, apesar de ser considerada ambientalmente correta, é vista como a última opção dentro a hierarquia dos resíduos, pois a gestão inadequada dessas áreas pode acarretar em impactos ambientais ao solo, aos recursos hídricos (vazamento de lixiviado) e ao ar (emissões de metano (CH₄) e outros gases de efeito estufa) (COUTO et al., 2017; GENUINO; DE LUNA; CAPAREDA, 2018; RAMOS et al., 2018). Outro problema comumente encontrado para aplicação dessa técnica é demanda por grandes áreas disponíveis para a eliminação dos resíduos em virtude da escassez de áreas para deposição, que é acentuada especialmente nos grandes centros urbanos (COUTO; SILVA; ROUBOA, 2016a, 2016b; ROKNI, 2017; YOU et al., 2016).

Assim, em virtude dos problemas encontrados na disposição de resíduos em aterros sanitários citados acima, da conscientização pública crescente sobre as questões ambientais e do aumento da demanda de energia proveniente de fontes renováveis observa-se gradativamente a expansão e o interesse por soluções modernas e eficientes para o gerenciamento dos RSUs (GENUINO; DE LUNA; CAPAREDA, 2018; SANLISOY; CARPINLIOGLU, 2017). Sistemas modernos e eficientes normalmente englobam etapas de redução da quantidade de resíduo gerado, reuso, reciclagem, tratamento para produção de energia e, por fim, a disposição em aterros sanitários.

Uma etapa importante desses sistemas de gestão ambientalmente adequado é a implantação de processos de tratamento de resíduo que visem a produção de energia, conhecidos como WTE (do inglês *waste-to-energy*). Essas tecnologias, quando empregadas em um sistema integrado de gerenciamento de RSUs, desempenham funções importantes, tais como: reduzir o volume de resíduos descartados em aterros sanitários, recuperar a energia existente nos resíduos, recuperar minerais e produtos químicos que podem ser reutilizados ou reciclados e ainda, destruir vários contaminantes (WHITICAR; RALPH, 2011). Além disso, essas tecnologias podem ser importantes no fornecimento de energia renovável ao planeta, principalmente considerando a crescente demanda global por energia e as perspectivas de esgotamento das fontes de combustíveis fósseis no mundo (OUDA; RAZA, 2014; SHEHZAD; BASHIR; SETHUPATHI, 2016; YOU et al., 2016).

O tratamento dos RSUs em plantas de WTE é realizado principalmente por processos termoquímicos (incineração, pirólise e gaseificação) e bioquímicos (digestão anaeróbia e aterro com captura de gás)

(BEYENE; WERKNEH; AMBAYE, 2018; ISLAM, 2018; KUMAR; SAMADDER, 2017). Os processos termoquímicos convertem resíduos em energia através de calor (temperatura elevada) e reações químicas, enquanto que os processos bioquímicos utilizam bactérias, outros micro-organismos e enzimas para decompor os resíduos em substâncias mais simples (BEYENE; WERKNEH; AMBAYE, 2018; DHAR; KUMAR; KUMAR, 2017). Entre os processos termoquímicos, a grande diferença entre as técnicas está na quantidade de oxigênio (O_2) utilizado na queima dos resíduos. No processo de incineração ocorre a oxidação completa dos resíduos, pois há O_2 em excesso no meio, já na gaseificação o O_2 no processo é limitado e a combustão completa não ocorre, e por outro lado, o processo de pirólise ocorre na ausência de O_2 (WILLIAMS, 2005). Nos processos bioquímicos de conversão de resíduos, as duas técnicas são semelhantes no que diz respeito ao processo de conversão e a diferença está que a digestão anaeróbia ocorre em um reator fechado com parâmetros de processo controlados e otimizados para a produção de biogás, enquanto que nos aterros sanitários, esse processo ocorre de forma natural e, conseqüentemente, em um tempo mais longo (TANIGAWA, 2017; WILLIAMS, 2005).

Como mostrado acima existem algumas opções para a produção de energia a partir de resíduos, então a escolha da tecnologia mais adequada dependerá de fatores como: a composição dos resíduos, o custo do processo, localização geográfica das plantas e também da eficiência requerida (NIZAMIA et al., 2015). Ou seja, todas as opções apresentam algumas vantagens e desvantagens e a escolha da tecnologia mais adequada para cada realidade está vinculada à critérios ambientais, econômicos, políticos, sociais e técnicos (ANTONOPOULOS et al., 2014). Dentre os critérios técnicos, o conhecimento das características quantitativas (taxa de geração por habitante, kg/habitante.dia) e qualitativas (propriedades físicas, químicas e microbiológicas) são de fundamental importância para auxiliar nessa escolha (ABDEL-SHAFY; MANSOUR, 2018). Como exemplo pode ser citado a determinação da taxa de geração por habitante (kg/habitante.dia) que é essencial no planejamento de todo o sistema de gerenciamento do lixo, principalmente no dimensionamento de instalações e equipamentos (CEMPRE, 2018). Outro exemplo, é a obtenção de dados precisos e confiáveis sobre a composição dos resíduos (porcentagem de cada fração dos RSUs), pois essas informações normalmente são o ponto de partida para o planejamento da gestão de resíduos e para a aplicação de processos de produção de energia (ABDEL-SHAFY; MANSOUR, 2018). Desta forma, esse trabalho tem por objetivo determinar e avaliar a quantidade e as características gravimétricas dos resíduos sólidos urbanos produzidos na Cidade de Xangri-lá, Rio Grande do Sul.

2.METODOLOGIA

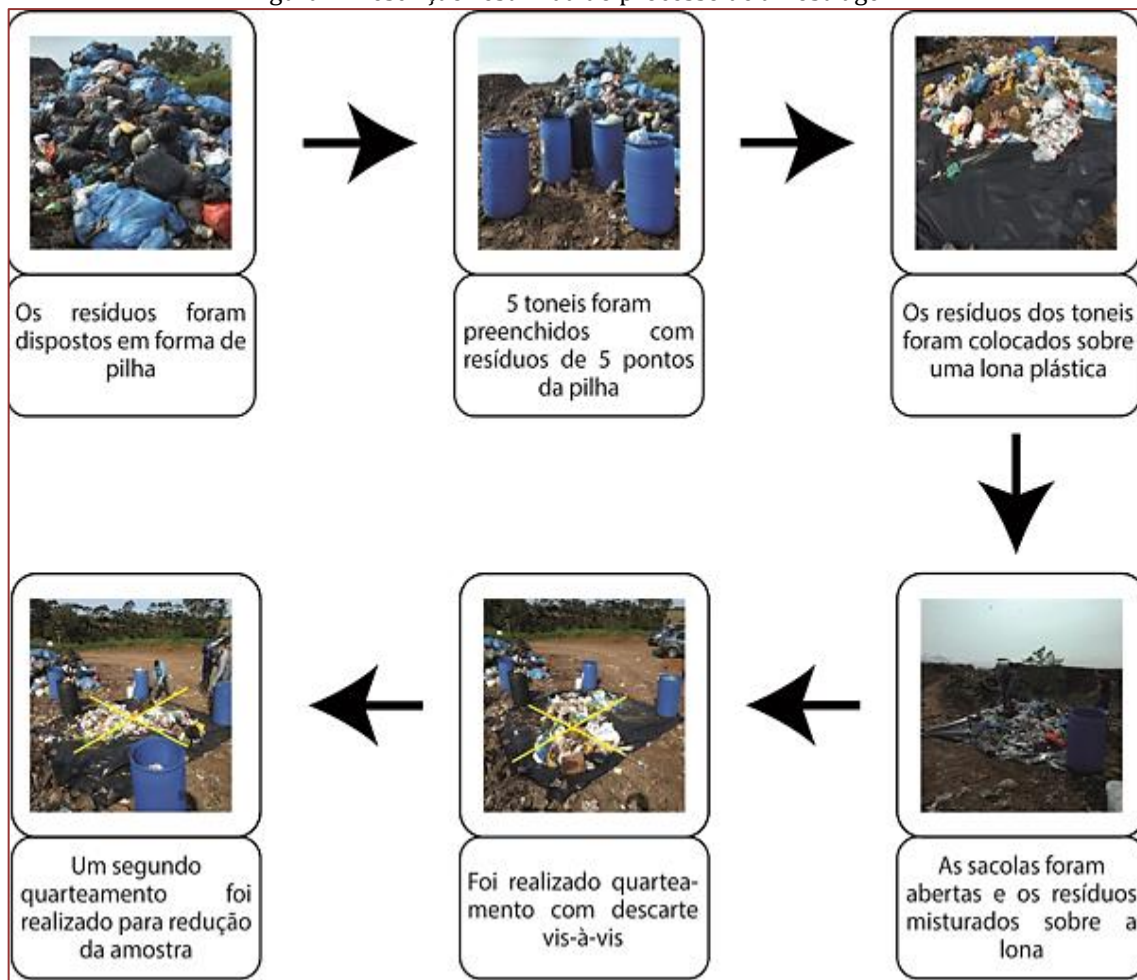
A cidade de Xangri-lá é um município do estado do Rio Grande do Sul que está localizada no litoral norte. Os resíduos sólidos urbanos produzidos na cidade são coletados por caminhões da prefeitura e tem como destino final o aterro sanitário da cidade de Capão da Canoa, cidade vizinha a Xangri-lá. Além da coleta convencional, o município realiza a coleta dos resíduos recicláveis através da coleta seletiva. Esses resíduos são transportados até a Associação dos Agentes Econômicos Ecológicos de Capão da Canoa, localizada na mesma área do aterro sanitário da cidade de Capão da Canoa. A Associação é a responsável pela triagem, separação e venda desses resíduos recicláveis.

Por estar localizada em uma região litorânea, a cidade de Xangri-lá recebe uma grande quantidade de turistas nos meses de alta temporada (dezembro, janeiro, fevereiro e março). Estima-se que a população da cidade nesses meses chegue a 100.000 mil habitantes, o que significa um aumento de aproximadamente 6,5 vezes no número de habitantes em relação aos outros meses do ano, que de acordo com a última estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é de 16.025 mil habitantes (IBGE, 2019). Como consequência, há também um aumento considerável na quantidade de resíduos sólidos urbano gerados. Então, afim de avaliar essa variação entre os meses de alta e baixa temporada foi realizado um levantamento da quantidade mensal de resíduos produzidos pela cidade ao longo do ano de 2018. Para tal, os dados dispostos nos relatórios elaborados mensalmente pela prefeitura municipal de Capão da Canoa, responsável pelo aterro onde os resíduos de Xangri-lá são dispostos, foram compilados e analisados.

Além da variação na quantidade de resíduos gerados no decorrer do ano, esse trabalho buscou verificar se a flutuação na densidade populacional exerce alguma influência na composição desses resíduos. Desta forma, a amostragem dos resíduos da cidade de Xangri-lá foi realizada em duas estações do ano: inverno e verão. Nos dias de coleta, os resíduos foram dispostos na forma de monte, em cima de uma lona plástica a fim de evitar contaminação dos mesmos. Em seguida, 5 toneis de 200 litros foram preenchidos com amostras provenientes de cinco pontos (topo e as quatro laterais) da pilha de resíduos. Na sequência, o conteúdo dos 5 tonéis foi despejado sobre outra lona plástica, onde os sacos foram abertos e os resíduos

misturados com o auxílio de pás e enxadas. Por fim, foram realizados dois quarteamento (com descarte vis-à-vis), com a finalidade de reduzir o tamanho da amostra. A Figura 1 apresenta de forma resumida o procedimento detalhado acima que foi baseado na Norma Brasileira (ABNT) 10007/2004.

Figura 1. Descrição resumida do processo de amostragem.

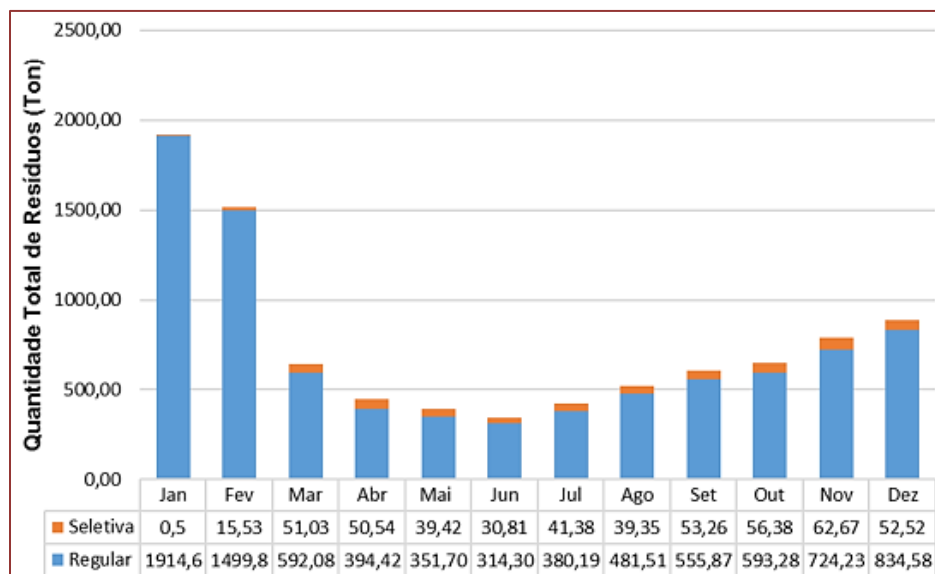


Os resíduos resultantes do processo de quarteamento foram separados manualmente nos seguintes componentes: matéria orgânica, plástico, vidro, papel e papelão, alumínio, metais, eletrônicos, pano, trapo, couro e borracha, madeira e isopor. Após o processo de separação as frações foram pesadas separadamente com o auxílio de uma balança portátil, para posterior determinação da porcentagem de cada componente na fração total.

3.RESULTADOS

Através dos dados coletados nos relatórios mensais elaborados pela administração do aterro sanitário de Capão da Canoa foi possível construir o gráfico apresentado na Figura 2. O gráfico apresenta a quantidade de resíduo gerado pela cidade de Xangri-lá no decorrer do ano de 2018, recolhido na coleta regular e seletiva. Os dados demonstram que há uma grande variação sazonal na quantidade de resíduos produzidos pela cidade, com um aumento significativo nos meses de janeiro e fevereiro. Observa-se também uma baixa significativa nos meses de maio, junho e julho com uma tendência de crescimento a partir do mês de agosto.

Figura 2. Gráfico da quantidade mensal de resíduos produzidos na cidade de Xangri-lá.



Fonte: Autor do Trabalho.

Analisando os dados acima mencionados também é possível notar que uma quantidade pequena da fração total é destinada para a coleta seletiva, resultando com que a maioria dos resíduos seja descartado no aterro sanitário. Assim, nota-se a necessidade de realizar um processo de conscientização da população da cidade sobre a importância de realizar a separação dos resíduos e de esclarecimentos sobre os tipos de resíduos que devem ser encaminhados para cada coleta (convencional e seletiva). Essas medidas poderão auxiliar na redução da quantidade de resíduo que é descartado no aterro sanitário, reduzir os impactos ambientais da prática de aterramento e diminuir os custos da cidade com o gerenciamento dos resíduos.

A composição gravimétrica dos resíduos da cidade de Xangri-lá pode ser visualizada Tabela 1. Os resultados mostram que em média 75% dos resíduos (em peso) destinados ao aterro sanitário são constituídos por matéria orgânica. O percentual elevado de matéria orgânica é consequência da presença da coleta seletiva na cidade, que retira uma parcela dos resíduos recicláveis da coleta convencional. Além disso, de um modo geral os resíduos orgânicos apresentam como principal característica uma grande quantidade de água na sua composição, o que torna essa fração dos RSUs mais pesada que resíduos como plásticos e papeis.

Tabela 1. Resultado da composição gravimétrica dos resíduos de Xangri-lá no Inverno.

Componente	Inverno (%)	Verão (%)
Matéria Orgânica	77,34	76,06
Plástico	9,36	10,64
Vidro	3,21	4,58
Papel e Papelão	6,00	4,70
Alumínio	0,55	0,58
Metais	0,76	0,68
Tecidos	2,36	1,54
Madeira	0,00	0,39
Isopor	0,41	0,86
Total	100,00	100,00

Apesar da análise gravimétrica mostra que a fração orgânica é o componente majoritário nos resíduos da cidade de Xangri-lá, visualmente observa-se a presença de muitos materiais recicláveis, como latinhas de alumínio e garrafas pets, que são materiais muito leves, mas que ocupam um grande volume. No entanto, tendo em vista que a cidade dispõe de coleta seletiva, esses materiais deveriam ser separados pela população e serem destinados corretamente. Sendo assim, a análise visual dos resíduos vai de encontro com os dados apresentados no item anterior, pois a cidade destina uma quantidade muito pequena do montante total dos seus resíduos para a coleta seletiva. Essa análise comprova a necessidade de

conscientização da população, citada anteriormente, para evitar que esse tipo de material que pode ser reciclado seja descartado em aterros sanitários.

4. CONCLUSÕES

Observa-se que apesar da cidade possuir coleta seletiva, uma grande quantidade de resíduos recicláveis é destinada ao aterro sanitário. Assim verifica-se a necessidade de um processo de conscientização da população para evitar que esse tipo de material que pode ser reciclado acabe sendo disposto no aterro sanitário. Além das questões ambientais, a separação correta dos resíduos recicláveis apresenta um papel social, visto que várias pessoas dependem da venda destes materiais para sobreviver. Então, quanto mais resíduos forem destinados à coleta seletiva, maior será a renda desta parcela da população da cidade e consequentemente melhor será a qualidade de vida dessas pessoas.

REFERÊNCIAS

- [1] Abdel-Shafy, H. I.; Mansour, M. S. M. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, v. 27, n. 4, p. 1275–1290, 2018.
- [2] Abnt. Amostragem de resíduos sólidos. p. 25, 2004.
- [3] Antonopoulos, I. S. et al. Ranking municipal solid waste treatment alternatives considering sustainability criteria using the analytical hierarchical process tool. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 86, p. 149–159, 2014.
- [4] Beyene, H. D.; Werkneh, A. A.; Ambaye, T. G. Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review. *Renewable Energy Focus*, v. 24, p. 1–11, 2018.
- [5] Campos, H. K. T. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. *Engenharia Sanitaria E Ambiental*, v. 17, n. 2, p. 171–180, 2012.
- [6] Cempre. Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado. São Paulo: CEMPRE.
- [7] Couto, N. et al. 2nd law analysis of Portuguese municipal solid waste gasification using CO₂/air mixtures. *Journal of CO₂ Utilization*, v. 20, p. 347–356, 2017.
- [8] Couto, N. D.; Silva, V. B.; Rouboa, A. Thermodynamic Evaluation of Portuguese municipal solid waste gasification. *Journal of Cleaner Production*, v. 139, p. 622–635, 2016a.
- [9] Couto, N. D.; Silva, V. B.; Rouboa, A. Assessment on steam gasification of municipal solid waste against biomass substrates. *Energy Conversion and Management*, v. 124, p. 92–103, 2016b.
- [10] Czajczyńska, D. et al. Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. *Thermal Science and Engineering Progress*, v. 3, p. 171–197, 2017.
- [11] Deng, N. et al. Simulation analysis and ternary diagram of municipal solid waste pyrolysis and gasification based on the equilibrium model. *Bioresource Technology*, v. 235, p. 371–379, 2017.
- [12] Dhar, H.; Kumar, S.; Kumar, R. A review on organic waste to energy systems in India. *Bioresource Technology*, v. 245, p. 1229–1237, 2017.
- [13] Genuino, D. A. D.; de Luna, M. D. G.; Capareda, S. C. Improving the surface properties of municipal solid waste-derived pyrolysis biochar by chemical and thermal activation: Optimization of process parameters and environmental application. *Waste Management*, v. 72, p. 255–264, 2018.
- [14] Gupta, N.; Yadav, K. K.; Kumar, V. Review on scenario of municipal solid waste management in India. *Journal of Environmental Sciences*, v. 37, n. 3, p. 561–565, 2015.
- [15] Hoornweg, D.; Bhada-Tata, P. *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Washington: World Bank, 2012.
- [16] Ibge. *Panorâma: Xangri-lá*. Instituto Brasileiro de Geografia e Geoestatística., 2019.
- [17] Islam, K. M. N. Municipal solid waste to energy generation: An approach for enhancing climate co-benefits in the urban areas of Bangladesh. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 81, p. 2472–2486, 2018.
- [18] Kumar, A.; Samadder, S. R. A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. *Waste Management*, v. 69, p. 407–422, 2017.
- [19] Lima, J. Z. et al. Assessment of the use of organic composts derived from municipal solid waste for the adsorption of Pb, Zn and Cd. *Journal of Environmental Management*, v. 226, n. July, p. 386–399, 2018.

- [20] Maya, D. M. Y. et al. Gasification of Municipal Solid Waste for Power Generation in Brazil, a Review of Available Technologies and Their Environmental Benefits. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, v. 10, p. 249–255, 2016.
- [21] Nizamia, A.-S. et al. An Argument for Developing Waste-to-Energy Technologies in Saudi Arabia. *Chemical Engineering Transactions*, v. 45, p. 337–342, 2015.
- [22] Ouda, O. K. M.; Raza, S. A. Waste-to-Energy: Solution for Municipal Solid Waste Challenges - Global Perspective. *International Symposium on Technology Management and Emerging. Anais...Bandung: 2014*
- [23] Ramos, A. et al. Co-gasification and recent developments on waste-to-energy conversion: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 81, p. 380–398, 2018.
- [24] Rokni, M. Design and analysis of a waste gasification energy system with solid oxide fuel cells and absorption chillers. *International Journal of Hydrogen Energy*, p. 1–17, 2017.
- [25] Sanlisoy, A.; Carpinlioglu, M. O. A review on plasma gasification for solid waste disposal. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 42, p. 1361–1365, 2017.
- [26] Sharholly, M. et al. Municipal solid waste management in Indian cities - A review. *Waste Management*, v. 28, p. 459–467, 2008.
- [27] Shehzad, A.; Bashir, M. J. K.; Sethupathi, S. System analysis for synthesis gas (syngas) production in Pakistan from municipal solid waste gasification using a circulating fluidized bed gasifier. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 60, p. 1302–1311, 2016.
- [28] Shonhiwa, C. An assessment of biomass residue sustainably available for thermochemical conversion to energy in Zimbabwe. *Biomass and Bioenergy*, v. 52, p. 131–138, 2013.
- [29] Suthar, S.; Rayal, P.; Ahada, C. P. S. Role of different stakeholders in trading of reusable/recyclable urban solid waste materials: A case study. *Sustainable Cities and Society*, v. 22, p. 104–115, 2016.
- [30] Taherymoosavi, S. et al. Characterization of organic compounds in biochars derived from municipal solid waste. *Waste Management*, v. 67, p. 131–142, 2017.
- [31] Tanigawa, S. Biogas: Converting Waste to Energy. Disponível em: <<http://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-biogasconverting-waste-to-energy>>. Acesso em: 9 maio. 2018.
- [32] Whiticar, D. M.; Ralph, J. Waste to Energy: A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices - Final Report. Burnaby: Stantec Consulting Ltd, 2011.
- [33] Williams, P. T. *Waste Treatment and Disposal*. 2nd. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2005.
- [34] You, S. et al. Comparison of the co-gasification of sewage sludge and food wastes and cost-benefit analysis of gasification- and incineration-based waste treatment schemes. *Bioresource Technology*, v. 218, p. 595–605, 2016.