

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

**IMPACTOS AMBIENTAIS DO CICLO DE VIDA DO  
SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE  
PAULISTA/PE - BRASIL**

\* Amanda Rodrigues Santos Costa<sup>1</sup>  
José Fernando Thomé Jucá<sup>1</sup>

**ENVIRONMENTAL IMPACTS OF THE LIFE CYCLE OF  
MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM IN THE  
MUNICIPALITY OF PAULISTA/PE - BRAZIL**

Recibido el 31 de julio de 2021. Aceptado el 8 de noviembre de 2021

## Abstract

*The management of urban solid waste range from the collection activity to the final disposal of the tailings. Waste management is a complex issue around the world due to consumption habits and the intense urbanization process of communities. In developing countries such as Brazil, it is an even greater challenge due to the pressure on municipal budgets. The aim of this study is to analyze the environmental impacts of the life cycle of the urban solid waste management system in the city of Paulista, Pernambuco, Brazil, through the Life Cycle Assessment (LCA) method. The LCA methodology followed the guidelines of the ABNT 14.040 standard, the product system being the phases of waste management that occur in the study area, the functional unit is the amount of waste managed by the municipality in one month, the software used was the SimaPro 9.2 and the impact assessment method was ReCiPe 2016. The results of the analysis showed that the common waste collection stage is the most impactful in the system. The operation of the landfill also contributes to impacts characterized by the chosen categories, especially human toxicity. The consumption of fossil fuel and emissions from burning through transport is the main justification for the impacts from collection. In this sense, there was a need for new collection models and alternatives to reduce distances traveled and, consequently, reduce fuel consumption.*

**Keywords:** life cycle assessment, municipal management, waste.

---

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

\*Autor correspondente: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE - CEP: 50670-90; Email: [amandarsc@gmail.com](mailto:amandarsc@gmail.com)

## Resumo

O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos compreende desde a atividade de coleta até a disposição final dos rejeitos. O manejo dos resíduos é uma questão complexa em todo mundo devido aos hábitos de consumo e processo intenso de urbanização das comunidades e em países em desenvolvimento, como o Brasil, é um desafio ainda maior devido à pressão sobre os orçamentos municipais. O objetivo desse estudo é analisar os impactos ambientais do ciclo de vida do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município de Paulista, Pernambuco, Brasil, através do método de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). A metodologia da ACV seguiu as orientações da norma ABNT 14.040, sendo o sistema de produto as fases de gerenciamento de resíduos que ocorre na área de estudo, a unidade funcional é a quantidade de resíduos gerenciadas pelo município em um mês, o software utilizado foi o SimaPro 9.2 e o método de avaliação de impactos foi o ReCiPe 2016. Os resultados da análise mostraram que a etapa de coleta comum dos resíduos é a mais impactante do sistema. A operação do aterro sanitário também contribui para os impactos caracterizados pelas categorias escolhidas, especialmente a toxicidade humana. O consumo de combustível fóssil e as emissões provenientes da queima pelo transporte é a principal justificativa para os impactos provenientes da coleta. Nesse sentido, verificou-se a necessidade de novos modelos de coleta e alternativas para redução das distâncias percorridas e consequentemente redução no consumo do combustível.

**Palavras chave:** avaliação de ciclo de vida, gestão municipal, resíduos.

## Introdução

A gestão dos resíduos gerados no meio urbano é um dos grandes desafios da contemporaneidade, isso porque o intenso crescimento populacional e urbanização, bem como o consumo elevado de bens, são fatores que contribuem com o aumento do descarte dos materiais ao longo do tempo.

Em países em desenvolvimento, como o Brasil, a gestão desses resíduos é ainda mais complexa, por causa dos altos custos associados e a pressão sobre o orçamento municipal e pela falta de compreensão sobre uma diversidade de fatores que afetam as diferentes etapas de gerenciamento (Guerrero; Mass; Hogland, 2013). Segundo Marchi (2015), o poder público não consegue acompanhar com eficiência o aumento da geração de resíduos sólidos nos centros urbanos e sanar com agilidade os problemas técnicos e operacionais. Dessa forma, a gestão desses materiais tem ocorrido de maneira desarticulada, de forma setorial, o que impede uma visão sistêmica do problema e resulta em políticas públicas incompletas e ineficientes, em muitos casos (Grasi & Capanema, 2018).

Em número globais, no ano de 2016, foram gerados 2.01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, segundo relatório do Banco Mundial (Kaza *et al.*, 2018). A previsão nesse documento é de que até 2050 a geração de resíduos cresça para 3.04 bilhões de toneladas/ano, se não houver mudanças no padrão de consumo. No Brasil, a geração de resíduos urbanos no ano de 2019, segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2020), foi de 79 milhões de tonelada.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) reafirma a responsabilidade dos municípios sobre os RSU e estabelece objetivos, como eliminação total dos lixões, disposição apenas de rejeitos nos aterros, recuperação e aproveitamento energético e reciclagem, numa perspectiva de gestão integrada (Brasil, 2010). Tal contexto implica na adoção de diferentes alternativas de gerenciamento dos resíduos, como coleta diferenciada, transporte, triagem centralizada, reciclagem de materiais, tratamento biológico, tratamento térmico e aterro sanitário; e que resulte no sistema mais ambientalmente efetivo em termos de emissões gasosas, líquidas e de resíduo sólido final (Reichert & Mendes, 2014).

No entanto, a gestão integrada ainda não é realidade no Brasil e a legislação nacional também não está completamente atendida. Na região Nordeste, entre os resíduos coletados, ao menos 6 em cada 10 toneladas foram encaminhadas para aterros controlados ou lixões (ABRELPE, 2020). Em Pernambuco, entre seus 184 municípios, apenas 79 destinam seus resíduos em aterros sanitários; as outras 105 cidades ainda não se adequaram a lei, sendo 103 depositando a céu aberto e 2 em aterros controlados – os quais não cumprem todas as exigências legais e ambientais necessárias (Pernambuco, 2019).

A complexidade para alcançar a sustentabilidade desses sistemas está relacionada às diversas considerações econômicas, sociais e ambientais envolvidas nos processos. Nesse contexto, dados e informações sobre o gerenciamento de resíduos municipais são essenciais para o planejamento de políticas locais, alocação do orçamento, análise de tecnologias adequadas e seleção de parceiros estratégicos para a gestão (Kaza *et al.*, 2018).

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma das ferramentas mais desenvolvidas e utilizadas para análises ambientais, inclusive para estudo de impactos ambientais, avaliação de desempenho e até mesmo suporte a tomada de decisão em sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (Brogaard & Christensen, 2016; Paes, 2018). Andrade Júnior *et al.* (2017) afirmam que a ACV tem sido utilizada por governos em todo o mundo, pois se tornou um elemento central nas políticas ambientais. É uma técnica que avalia aspectos ambientais e impactos potenciais ao longo do ciclo de vida de um produto através da compilação de entradas e saídas de um sistema definido, da análise de impactos e da interpretação dos resultados (ABNT, 2009).

Nesse sentido, o presente estudo tem o objetivo de analisar os impactos ambientais do ciclo de vida do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município de Paulista, Pernambuco, Brasil.

## Metodologia

### Área de estudo

Paulista é um município da Região Metropolitana de Recife e está distante 15.5 km da capital do Estado de Pernambuco (Figura 1). O município está situado a 13 metros de altitude e posicionado nas coordenadas geográficas de 7°56'24" Sul e 34°52'20" Oeste. Com área de 96.846 km<sup>2</sup>, está dividida em 24 bairros. Possui população estimada para o ano de 2018 de 329117 habitantes, densidade demográfica de 3087.66 hab.km<sup>-2</sup>, Produto Interno Bruto (PIB) per capita de R\$ 11720.31 e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) de 0.732 (IBGE, 2019).



**Figura 1.** Localização da área de estudo.

### Caracterização do sistema de gerenciamento de resíduos de Paulista/PE

A coleta de resíduos em Paulista é dividida por setores de coleta, constituindo um total de 34 setores. O município gerou e gerenciou diariamente, em média, 246.7 toneladas de resíduos domiciliares, o que representa 7400 toneladas por mês, sendo estes os considerados para a análise. A coleta urbana é feita do tipo porta-a-porta, mecanizada e manual ensacada - nos locais

de difícil acesso - e não há separação na fonte, ou seja, a coleta é indiferenciada ou, também chamada, convencional. Também há coleta de resíduos em caçambas estacionárias. O transporte dos resíduos é realizado por meio de caminhões coletores compactadores de capacidade de carga de 15m<sup>3</sup> e uma equipe de trabalho composta por um motorista e três agentes de limpeza, por veículo. Assim, para cada setor de coleta é utilizado um caminhão coletor-compactador para coleta do RSU de toda a área, ainda que signifique mais de uma viagem para finalização do serviço. Os resíduos coletados são transportados até a unidade de transbordo do município. A distância média individual percorrida pelos veículos por viagem, entre trechos produtivos e improdutivos, é de 34 km.

Há poucas iniciativas de coleta seletiva, sendo estas exclusivamente realizadas por catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis fora do sistema de gerenciamento municipal. Dessa forma, as etapas de triagem e reciclagem dos materiais não ocorrem no sistema base (ano de 2019) de gerenciamento de RSU do município. Por parte do município, os resíduos coletados, após a unidade de transbordo, são transportados em caminhões maiores para o aterro sanitário privado, localizado na cidade de Igarassu/PE, distante cerca de 37 km da Estação de Transbordo.

#### Avaliação de Ciclo de Vida

O elemento norteador para o procedimento metodológico foi a Norma ABNT ISO 14.040 (ABNT, 2009), a qual prevê as seguintes etapas de estudo – definição do objetivo e escopo, inventário de ciclo de vida, análise do impacto e interpretação dos resultados. Também para construção metodológica foram utilizadas as diretrizes processuais propostas pelo grupo de pesquisa *Life Cycle Initiative*, da Organização das Nações Unidas – ONU Meio Ambiente (UNEP/SETAC, 2011), e também as experiências coletivas.

#### **Objetivo e escopo**

O objetivo do uso da ACV na presente pesquisa é analisar os impactos ambientais do ciclo de vida do sistema corrente de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no município de Paulista, Pernambuco. A unidade funcional desse estudo é a quantidade de resíduos domiciliares coletados e gerenciados mensalmente no município de Paulista, em tonelada por mês (t/mês), que corresponde a 7400 t/mês, com base em valores do ano de 2019.

Como o estudo é sobre sistemas de gerenciamento de resíduos, a fronteira de análise consiste no momento em que o produto passou a ser resíduo até sua disposição final. Dessa forma, o sistema de produto desse estudo compreende as operações envolvidas no gerenciamento de RSU no município, o que significa as etapas de coleta, transporte, transbordo e disposição final (Figura 2).

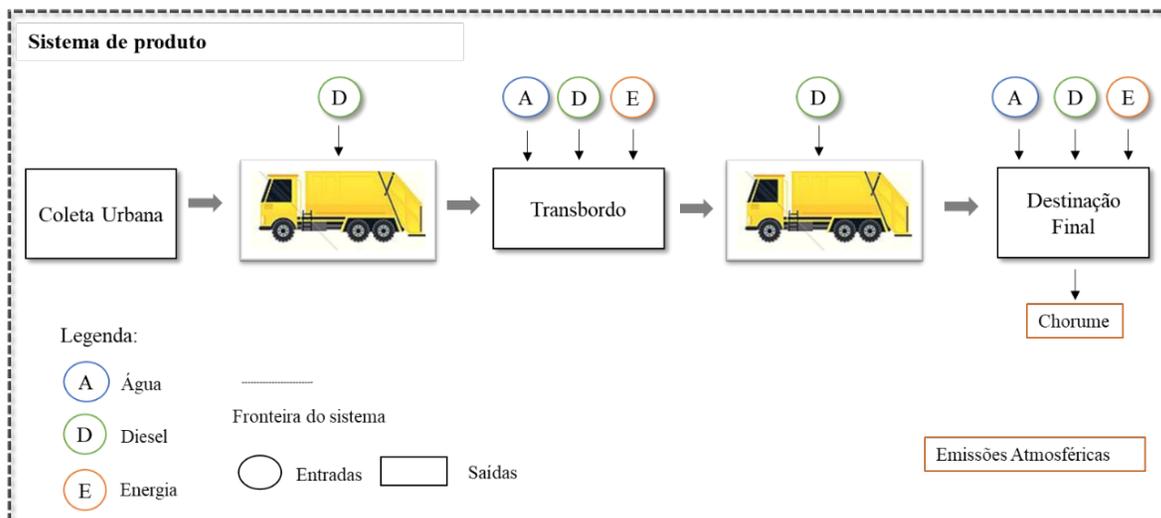


Figura 2. Fronteiras do sistema de produto

Segundo orientações de Laurent *et al.* (2014) e Paes (2018), no sistema de produto também devem ser considerados as cargas ambientais (como consumo de água e eletricidade e emissões) associados a manutenção e operação dos bens de capital, como a infraestrutura e veículos, bem como o consumo de diesel para operação dos veículos de transporte. Também será considerada a operação e manutenção do aterro, especificamente, o consumo de diesel, água e energia elétrica na operação, além da geração de metano e o tratamento do chorume.

Quanto a exclusão de dados, uma carga zero foi assumida, o que significa que todos os impactos ambientais gerados a partir da produção de um produto antes de se tornar um resíduo foram negligenciados (Ayodele *et al.*, 2017). Não foi considerada na contabilização ambiental a construção do aterro sanitário privado. Destaca-se que, segundo Chi *et al.* (2015), as emissões durante a construção da infraestrutura não serão consideradas porque são muito baixas em comparação com a sua operação.

### Inventário do Ciclo de Vida

Para elaboração do Inventário de Ciclo de Vida é preciso compilar todas as entradas e saídas ao longo de todo o fluxo dos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos. Dessa forma, estruturase os processos do sistema de produto analisado para levantar a entrada de materiais, energia e recursos naturais; e saída de materiais, resíduos e poluentes para o ar, a água e o solo, de cada processo. Dessa forma, foi necessário coletar os dados quantitativos e qualitativos referentes às unidades elementares incluídas no sistema de produto, quais sejam:

- Quanto à coleta e transporte dos resíduos: quantificou-se o consumo de diesel e a quilometragem total percorrida pelos caminhões nos roteiros de coleta até a estação de transbordo/unidades de tratamento a partir de dados primários obtidos pelo controle de rota do setor responsável no município. Também foi obtida a quilometragem de rodagem até o aterro e o consumo de diesel. As saídas do inventário são emissões atmosféricas. Os consumos e emissões provenientes das atividades de transporte (manutenção das vias e produção do combustível) foram coletadas da base de dados da Ecoinvent, através do conjunto de processos: *Diesel, low-sulfur {BR}* e *Municipal waste collection service by 21 metric ton lorry*.
- Quanto à etapa de transbordo dos resíduos: foram obtidos os consumos de eletricidade (em KWh) da unidade de transbordo e de diesel de maquinário. Foi selecionado para o consumo de eletricidade o processo *Electricity, low voltage {BR-North-eastern grid}*.
- Quanto à disposição final: serão considerados os consumos de água, energia e diesel referentes à operação do aterro sanitário privado, dados coletados por relatório técnico da empresa, e saídas para o meio ambiente, quais sejam emissões atmosféricas e o chorume, o qual é tratado antes da disposição final no corpo receptor. Também são consideradas saídas as emissões provenientes do sistema de tratamento de gás. Esses dados foram secundários obtidos junto a base de dados Ecoinvent a partir do processo *Municipal Solid Waste {RoW}, treatment, sanitary landfill*.

### **Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida**

Essa fase do estudo da ACV estabelece uma conexão entre os dados recolhidos no inventário e os impactos ambientais. É nessa etapa em que é possível estudar a significância e magnitude dos impactos ambientais potenciais de cenários de gerenciamento (Reichert, 2013). Para avaliação do ACV foi utilizado o software SimaPro 9.2 e o método selecionado foi o ReCiPe 2016 Mindpoint (H). As categorias de impacto consideradas para análise foram segundo o método escolhido e de acordo com a representatividade para o estudo: Aquecimento Global, expresso em kg de CO<sub>2</sub> eq. – dióxido de carbono equivalente; Acidificação, expresso em kg de SO<sub>2</sub> eq. – dióxido de enxofre equivalente; Eutrofização, expresso em kg de PO<sub>4</sub> eq. – fosfato equivalente; Material Particulado, expresso em kg de MP2.5 equivalente; e Toxicidade Humana, expresso em kg de DB eq. – diclorobenzeno equivalente. Essas categorias são, segundo Laurent *et al.* (2014), as mais utilizadas em estudos de ACV aplicado a resíduos.

### **Interpretação dos resultados**

A interpretação dos resultados consiste na combinação entre as conclusões do inventário de ciclo de vida e avaliação dos impactos, bem como o objetivo e escopo, segundo as orientações da norma ABNT ISO 14.040.

## Resultados e discussões

Nesse estudo, foi necessário coletar as variáveis de entrada consideradas do sistema de produto, tais como a quantidade de resíduos coletados diariamente, as distâncias percorridas na coleta, a quantidade de combustível utilizado por tonelada de resíduo, bem como operação da unidade de transferência, contabilizada através da utilização de energia (kwh/t) e diesel (L/t), valores obtidos junto à empresa que realiza os serviços no município. Destaca-se que na unidade de transbordo funciona o complexo administrativo e de pessoal da gestão de resíduos municipal, por isso, não será contabilizado o consumo de água, pois a utilização da água é nas áreas administrativas do transbordo e não na operação de transferência dos resíduos.

Também como variável de entrada, há o consumo de combustível (L/t) no transporte dos resíduos da unidade de transbordo até a disposição final (aterro sanitário). Na operação do aterro sanitário, há o consumo de água, diesel e eletricidade, valores obtidos junto ao aterro sanitário privado. As variáveis de saída são as emissões gasosas para a atmosfera e o chorume no aterro sanitário. A Tabela 1 apresenta o inventário completo do sistema em análise.

**Tabela 1.** Inventário do fluxo de matéria e energia do sistema de produto

Entradas		Saídas
Coleta Comum		
Total RSD (mês)	7400 t	Emissões Atmosféricas
Distância Percorrida (mês)	47360 km	
Diesel (mês)	57876 L	
Transbordo		
Eletricidade	4617 kwh	Emissões Atmosféricas
Diesel (escavadeira hidráulica)	4500 L	
Transporte – até disposição final		
Total (mês)	7400 t	Emissões Atmosféricas
Distância Percorrida (mês)	22200 km	
Diesel	13500 L	
Operação do Aterro Sanitário		
Total RSD (mês)	7400 t	Chorume Emissões Atmosféricas
Água	415.14 m <sup>3</sup>	
Diesel	8563 L	
Eletricidade	9990 kWh	

Dessa forma, a coleta comum e transporte dos resíduos representa a distância média percorrida de 6.4 km/t e um consumo médio de diesel de 7.8 L/t. No transbordo, o consumo de energia

elétrica é, em média, 4617 kWh mensal e representa a iluminação do galpão de transferência e do bloco administrativo e recepção dos veículos, e a contabilização da energia é geral para toda a estação de transbordo; também há utilização de uma escavadeira hidráulica, que consome em média 4500 L de diesel mensal. Para a disposição final há o transporte dos resíduos da unidade de transbordo até o aterro sanitário, em que se utilizam caminhões carretas de capacidade entre 29 e 35 m<sup>3</sup> e a distância média percorrida é de 22200 km e o consumo de combustível é de 1.8 L/t.

Com os dados da Tabela 1 e, em sequência, aplicação no programa de ACV foi possível realizar a avaliação dos impactos ambientais do ciclo de vida do sistema de gerenciamento de resíduos do município de Paulista/PE.

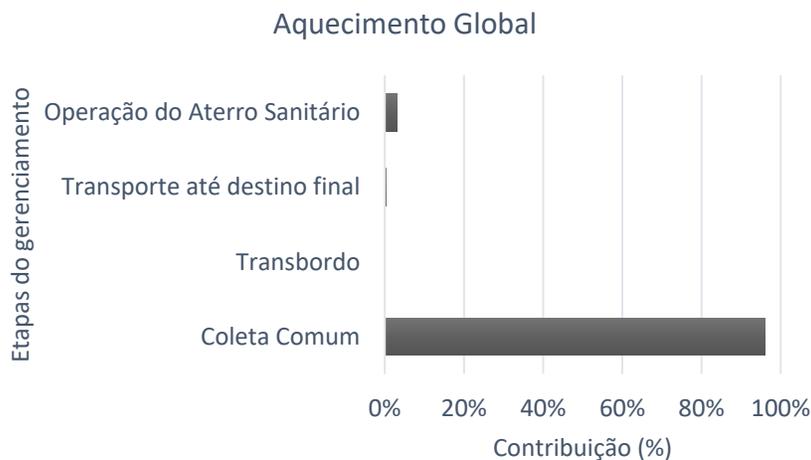
#### Caracterização dos impactos ambientais

A análise das contribuições de cada atividade do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em termos dos impactos ambientais considerados no estudo está apresentada de maneira relativizada nas Figuras de 3 a 7.

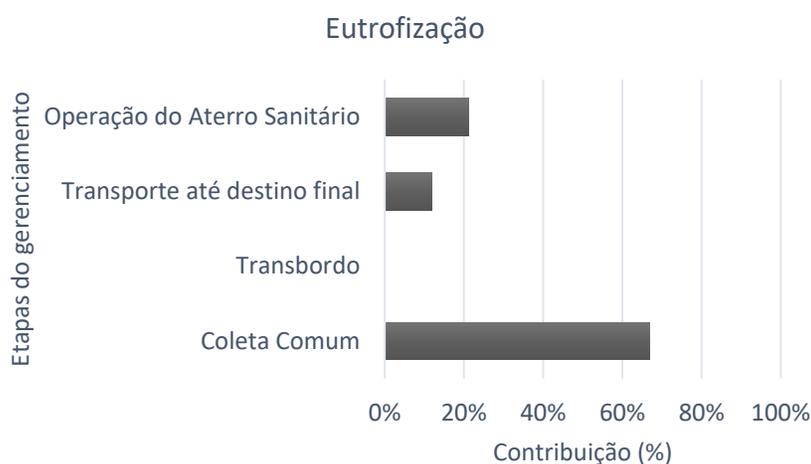
O potencial de Aquecimento Global é um fator de caracterização baseado nos dados do modelo proposto pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC, portanto, uma categoria de aplicação global. Observa-se que a atividade de coleta contribui com 96 % do total de impactos para a categoria, com a operação do aterro sanitário contribuindo também com cerca de 3% (Figura 3). Os caminhões de coleta de resíduos param e iniciam com muito mais frequência do que outros veículos, portanto espera-se menor eficiência do combustível (Jaunich *et al.*, 2016).

A Eutrofização considera os nutrientes que afetam a passagem da biomassa aquática, principalmente o nitrogênio e o fósforo (Reichert, 2013). Para a eutrofização, a coleta comum também se destaca, no entanto, aqui se observa uma parcela maior de contribuição, em relação as demais categorias, da operação do aterro sanitário, com 21% (Figura 4). Oliveira (2019) observou que o lixiviado é o principal responsável pelo impacto do aterro sanitário nessa categoria.

Lins *et al.* (2020) observaram, na análise de ciclo de vida do programa de coleta seletiva de João Pessoa (PB), que as etapas de coleta regular e aterro sanitário foram as mais impactantes para a eutrofização. As autoras alertam para o fato do lixiviado ser um fator que pode favorecer a eutrofização. Santiago (2019) também verificou que a coleta de resíduos e o consumo e produção do diesel favorecem ao impacto da eutrofização.



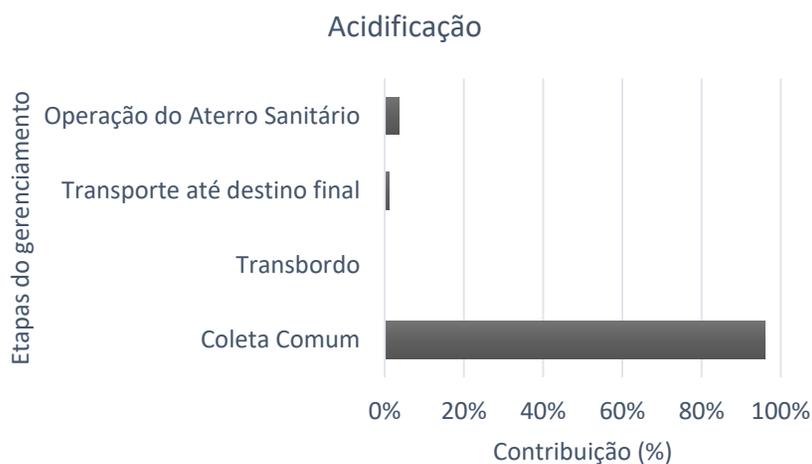
**Figura 3.** Atividades do sistema e contribuições na categoria Aquecimento Global



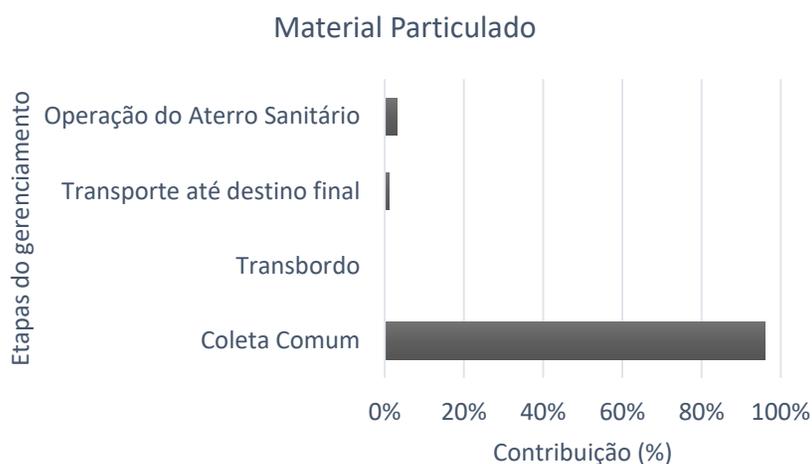
**Figura 4.** Atividades do sistema e contribuições na categoria Eutrofização

A Acidificação Terrestre é a deposição de substâncias inorgânicas (como  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  e  $\text{SO}_2$ ) que causam mudanças na acidez do solo e para a maioria das espécies de plantas existe uma acidez ótima. No caso de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, as principais emissões são referentes aos óxidos de nitrogênio e a amônia e o próprio óxido de enxofre (Coelho, 2018). No presente estudo, a Acidificação e formação de Material Particulado apresentaram configurações parecidas e tem a coleta comum como atividade em evidência (Figura 5). O Material Particulado considerado para análise ambiental é o gerado por atividades antrópicas e o indicador de formação potencial de materiais particulados é a ingestão/entrada de partículas com diâmetro inferior a  $2.5 \mu\text{m}$ ,

segundo o método ReCiPe 2016. Lins *et al.* (2020) também verificaram que a etapa de coleta, tanto comum quanto seletiva, foram as que mais contribuíram para a categoria de impacto da Acidificação.



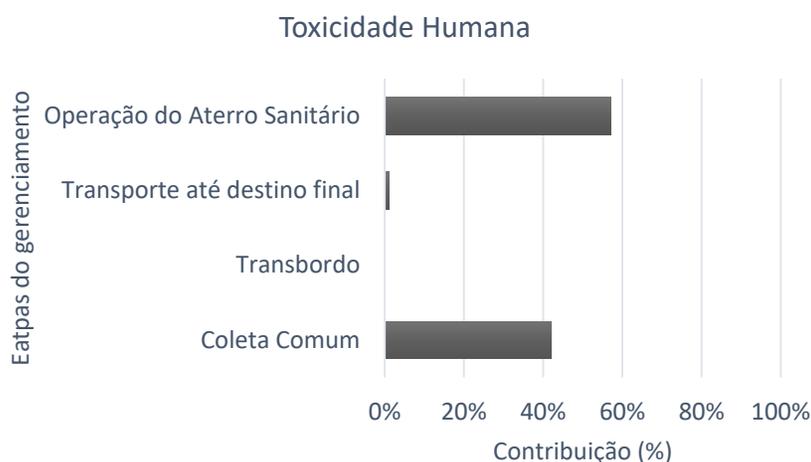
**Figura 5.** Atividades do sistema e contribuições na categoria Acidificação



**Figura 6.** Atividades do sistema e contribuições na categoria Material Particulado

Pode-se notar que a coleta comum dos resíduos é a etapa, de maneira geral, que mais contribui para os impactos ambientais do sistema em análise. Paes (2018) também observou a grande contribuição da coleta comum para os impactos ambientais do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. O autor considerou que o consumo de combustíveis fósseis (diesel) e as emissões atmosféricas inerentes a atividade é a principal justificativa para essa situação. Santiago (2019) verificou ao analisar diferentes cenários de gerenciamento de resíduos que a etapa de coleta é a que mais contribui para a geração dos impactos ambientais, em quase todos os cenários.

A categoria de Toxicidade Humana considera a persistência, acumulação e toxicidade de uma substância química. Esse fator, por sua vez, foi o que apresentou a operação do aterro sanitário como a principal atividade de contribuição para os impactos ambientais, com 57% (Figura 7). A coleta comum ainda se destaca com 42% do total de impactos considerando essa caracterização. Oliveira (2019) em estudo de cenário de gerenciamento de resíduos no Distrito Federal observou que a etapa de coleta foi a que mais contribuiu para a toxicidade humana, com 56%. A emissão de metais pesados pela atividade de coleta é a maior preocupação para a toxicidade humana. Na disposição final em aterro sanitário, as emissões de bário, cromo, chumbo e níquel são as principais contribuintes para essa categoria (Zappe, 2016).



**Figura 7.** Atividades do sistema e contribuições na categoria Material Particulado

Nota-se na análise das atividades que o transporte de resíduos até a disposição final e o transbordo foram atividades que menos colaboraram de maneira relativa para os impactos ambientais do sistema. Santiago (2019) e Zappe (2016) também observaram a insignificante contribuição da etapa de transporte em todas as categorias de impacto analisadas. O transporte

até o aterro representa uma menor distância percorrida e viagens sem paradas, ao contrário da etapa de coleta, e isso causa efeitos na análise das categorias. O transbordo é uma unidade de transferência onde as emissões são provenientes do consumo de combustível apenas para uso em uma escavadeira hidráulica e demanda de energia elétrica.

Com os resultados da Avaliação do Ciclo de Vida do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos de Paulista/PE foi possível observar as interações entre as atividades do sistema e o ambiente natural. Dessa forma, para esse estudo, observou-se a importância de se considerar os impactos provenientes da atividade de coleta urbana comum dos resíduos no planejamento público de uma gestão sustentável dos RSU. A coleta comum dos resíduos representa uma fase de grande consumo de combustível e emissão de gases para a atmosfera devido à queima do combustível. A quilometragem rodada e o consumo de combustível na etapa de coleta dos resíduos estão relacionados com as rotas de coleta e área do município e a quantidade de resíduo coletado diariamente, mas também está diretamente associado à frota disponível, a idade dessa frota, cronogramas de manutenção, topografia, malha viária e pavimentação e calçamento das ruas (Pinheiro & Ferreira, 2017).

Nesse sentido, tais resultados demonstram a necessidade de implementação de alternativas, que visem a adoção de novos modelos de coleta e transporte de resíduos, bem como o uso de combustíveis alternativos e mais limpo em comparação com os combustíveis fósseis, tal como diesel, e estudos de otimização de rotas de coleta. No caso do município de Paulista, as rotas de coleta não são atualizadas há alguns anos, observando-se que as diferentes empresas que foram contratadas para executar os serviços utilizaram os traçados já existentes, sem considerar o aumento da população e até mesmo a dinamização urbana do município, que tem se acentuado. Ainda, a manutenção da frota e a direção defensiva também constituem elementos que podem ser adotados para redução do fluxo de matéria na saída desse sistema.

### **Conclusão**

Analisando o sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município de Paulista/PE através do método de Avaliação de Ciclo de Vida foi possível observar as relações entre as atividades e os seus impactos no meio ambiente. Verificou-se pelo inventário de ciclo de vida que o consumo de combustível na etapa de coleta se destaca no fluxo de matéria do sistema.

Observou-se que a etapa de coleta urbana comum dos resíduos, em que os materiais são coletados de forma indiferenciada, é a mais significativa em contribuições para os impactos ambientais, considerando as cinco categorias de impacto analisadas, quais sejam Aquecimento Global, Eutrofização, Acidificação, Material Particulado e Toxicidade Humana. O consumo de combustível fóssil (diesel) e os impactos inerentes dessa atividade foi a principal justificativa para

os resultados observados para a coleta urbana. A operação do aterro sanitário, considerando que este com tratamento dos gases e do chorume, foi a atividade que mais colaborou com a categoria de toxicidade humana. As atividades de transporte dos resíduos até o aterro sanitário e de transbordo pouco apresentaram contribuições para a caracterização dos impactos considerando a análise relativa.

Assim, considerando a análise do sistema corrente de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município de Paulista/PE quanto aos impactos ambientais por Avaliação de Ciclo de Vida deve-se estudar e considerar a importância da etapa de coleta de resíduos, buscando novos modelos e técnicas de recolha dos materiais, combustíveis alternativos e otimização das rotas para redução das distâncias percorridas e, conseqüentemente, redução do consumo de combustíveis.

### Referencias bibliográficas

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) *NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro. 21 pp.
- ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2020) *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2019*. São Paulo, 68 p. Acesso em 16 de junho de 2020, disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2019-2020>
- Andrade Junior, M. A. U., Zanghelini, G. M., Soares, S. R. (2017) Using life cycle assessment to address stakeholders' potential for improving municipal solid waste management. *Waste Management & Research*, **35**(5), 541-550. <https://doi.org/10.1177/0734242X17697817>
- Ayodele, T.R., Ogunjuyigbe, A.S.O., Alao, M.A. (2017) Life cycle assessment of waste-to-energy (WtE) technologies for electricity generation using municipal solid waste in Nigeria. *Appl. Energy*, **201**, 200–218. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.097>
- Brogaard, L. K., Christensen, T. H. (2016) Life cycle assessment of capital goods in waste management systems. *Waste management*, **56**, 561-574. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.07.037>
- Brasil (2021) *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010* (2010) Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF. Acesso em 16 de junho de 2021, disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm)
- Chi, Y., Dong, J., Tang, Y., Huang, Q., Ni, M. (2015) Life cycle assessment of municipal solid waste source-separated collection and integrated waste management systems in Hangzhou, China. *J Mater Cycles Waste Manag.*, **17**, 695–706. <https://doi.org/10.1007/s10163-014-0300-8>
- Coelho, L. M. G. (2018) *Desenvolvimento de modelos de decisão multicritério para avaliação de sustentabilidade em sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos industriais e urbanos*. 370 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 370 pp.
- Guerrero, L.A., Maas, G., Hogland, W. (2013) Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, **33**, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>
- Grasi, D. C., Capanema, L. (2018) *Agendas setoriais para o desenvolvimento: Resíduos Sólidos Urbanos*. Visão 2035: Brasil, um país desenvolvido. Rio de Janeiro: BNDES.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019) *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio Contínua 2018*. Acesso em 15 de novembro de 2019, disponível em: [www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/17270-pnad-continua.html?edicao=24437&t=publicacoes](http://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/17270-pnad-continua.html?edicao=24437&t=publicacoes)

- Jaunich, M. K., Levis, J. W., DeCarolis, J. F., Gaston, E. V., Barlaz, M. A., Bartelt-Hunt, S. L., Jones, E. G., Hauser, L., Jaikumar, R. (2016) Characterization of Municipal solid waste collection operations. *Resources, Conservation and Recycling*, **114**, 92-112. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.07.012>
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F. (2018) *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban Development. Washington, DC: World Bank. 272 pp.
- Laurent, A.; Clavreul, J.; Bernstad, A.; Bakas, I.; Niero, M.; Gentil, E.; Christensen, T.H.; Hauschild, M.Z. (2014) Review of LCA studies of solid waste management systems—Part II: methodological guidance for a better practice. *Waste Management*, **34**, 589–606. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.12.004>
- Lins, R. B., Nóbrega, C. C., Garcia, H. R. M., Ibáñez-Fores, V., Araújo, E. S. (2020) Análise do Ciclo de Vida do Programa de Coleta Seletiva do Plástico no Município de João Pessoa/PB, Brasil. *Revista AIDIS*, **13**(3), 868-884. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.3.69289>
- Marchi, C. M. D. F. (2015) Novas perspectivas na gestão do saneamento: apresentação de um modelo de destinação final de resíduos sólidos urbanos. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, **7**(1), 91-105. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.007.001.AO06> ISSN 2175-3369
- Oliveira, A. L. A. R. (2019) *Avaliação do Ciclo de Vida aplicada na gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de caso do Distrito Federal*. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas), Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 96 pp.
- Paes, M. X. (2018) *Gestão de resíduos sólidos urbanos: integração de indicadores ambientais e econômicos por meio da avaliação do ciclo de vida*. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais), Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Júnior', Sorocaba, 183 pp.
- Pernambuco (2019) *Diagnóstico: destinação de resíduos sólidos em Pernambuco—2018/2019*. Tribunal de Contas do Estado, Recife. Acesso em 28 de outubro de 2019, disponível em: <https://www.tce.pe.gov.br/internet/index.php/mais-noticias-invisivel/216-2019/marco/4544-estudo-do-tce-mostra-melhoria-na-correta-destinacao-do-lixo-em-pernambuco>
- Pinheiro, I. S., Ferreira, J. A. (2017) *Economicidade dos serviços de coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos*. Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro. Escola de Contas e Gestão do TCE-RJ. 104 pp.
- Reichert, G. A. (2013) Apoio à tomada de decisão por meio da Avaliação do Ciclo de Vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisa Hidráulica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 276 pp.
- Reichert, G. A., Mendes, C. A. B. (2014) Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **19** (3), 301-313. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001145>
- Santiago, M. R. (2019) *Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida de diferentes cenários de gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares com enfoque na compostagem*. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 149 pp.
- UNEP-SETAC, United Nations Environmental Programme/Society of Environmental Toxicology and Chemistry (2011) *Towards a Life Cycle Sustainability Assessment: making informed choices on products*. UNEP/SETAC, Life Cycle Initiative, Paris: UNEP, 86 pp.
- Zappe, A. L. (2016) *Avaliação do Ciclo de Vida do Sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos de um consórcio intermunicipal no Rio Grande do Sul, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental), Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 117 pp.