



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA DE RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

LÍGIA BELIEIRO MALVEZZI

**INDICADORES DE DESEMPENHO PARA OPERAÇÃO DE ATERROS  
SANITÁRIOS: um estudo de caso em Londrina-PR**

CAMPINA GRANDE - PB

2021

**LÍGIA BELIEIRO MALVEZZI**

**INDICADORES DE DESEMPENHO PARA OPERAÇÃO DE ATERROS  
SANITÁRIOS: um estudo de caso em Londrina-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, pertencente à área de concentração em recursos hídricos e saneamento ambiental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Camargo de Melo  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco

CAMPINA GRANDE – PB

2021

M262i Malvezzi, Lígia Belieiro.

Indicadores de desempenho para operação de aterros sanitários: um estudo de caso em Londrina-PR / Lígia Belieiro Malvezzi. – Campina Grande, 2021.

70 f. : il. : color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.

"Orientação: Prof. Dr. Márcio Camargo de Melo; Coorientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tatiane Cristina Dal Bosco".

Referências.

1. Aterros Sanitários. 2. Gerenciamento de Processos de Negócio. 3. Indicadores de Desempenho. 4. Mapeamento de Processos. 5. Resíduos Sólidos Urbanos. I. Melo, Márcio Camargo de. II. Bosco, Tatiane Cristina Dal. III. Título.

CDU 624.135:628.4(043)

# INDICADORES DE DESEMPENHO PARA OPERAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS: Um estudo de caso em Londrina-PR

Lígia Belieiro Malvezzi

DISERTAÇÃO APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA  
GRANDE – UFCG, EM CUMPRIMENTO ÀS EXIGÊNCIAS PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

Examinada por:



---

Prof. Dr. Márcio Camargo de Melo  
(Orientador – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG)



---

Prof.ª Dr.ª Tatiane Cristina Dal Bosco  
(Coorientadora – Universidade Tecnológica Federal do Paraná)



---

Prof.ª Dr.ª Joyce Elanne Mateus Celestino  
(Examinadora Externa – Universidade Federal da Paraíba)



---

Prof.ª Dr.ª Libânia da Silva Ribeiro  
(Examinadora Interna – Universidade Federal de Campina Grande)

CAMPINA GRANDE – PB

27 de agosto de 2021

À minha mãe, Rosane, e ao meu  
pai Maximiliano (*in memoriam*).  
Pra vocês, todo meu amor.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus por ter me capacitado em graça e força, agradeço à Ele pelas pessoas que colocou no meu caminho, pelos dias de sol, pelos aprendizados. Agradeço à Deus por ter me iluminado e guiado minhas decisões.

Agradeço à minha mãe, Rosane, por ter sido minha fortaleza. Mãe, palavras jamais conseguirão representar o que você significou em todo esse processo. Seu apoio, incentivo, paciência, sempre incondicionais, foram o que me mantiveram seguindo e tentando. Agradeço ao meu irmão, Victor, pelas palavras de apoio e incentivo. Meu irmão, és minha maior fonte de inspiração.

Ao Franklin e D. Lourdes. Apesar de nossos caminhos seguirem por direções diferentes, vocês foram fundamentais no início de tudo, me apoiaram e me deram as condições necessárias para que esse sonho se concretizasse. A vocês, meu eterno agradecimento. As boas lembranças são as que ficam.

Agradeço à Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização de Londrina pela concessão da parceria que permitiu que esse trabalho pudesse ser realizado na CTR – Londrina. Meus sinceros agradecimentos a todos os funcionários da CTR que sempre foram muito solícitos comigo. À Marcela, Alexandre, obrigada!

Aos meus familiares, aqui em especial Camila e Fabricio, primos queridos que sempre estiveram à disposição para me escutar. A minha tia Silvia por ter me ajudado com os processos burocráticos ao longo do caminho, e pelas palavras que eu precisava ouvir. Obrigada!

Aos amigos da UFCG. Samanda, à parceria e sincronia desde o início. Obrigada pelos toques, pelos trabalhos desenvolvidos juntas, pela incrível ajuda nessa reta final. Você tem um caminho brilhante pela frente. Auriberto e Amanda, obrigada pelo conhecimento compartilhado, aprendi muito com vocês. Libânia, obrigada pela ajuda e por ser uma pessoa iluminada que sempre está disposta a ajudar ao próximo. Você tem uma alma linda e sou muito feliz por nossos caminhos terem se cruzado. Ao Jordan, Cláudio, Lucas, Marcus Vinícius, Jisla, Elisa, Tuilly, Naiara, amigos de laboratório, de visitas aos aterros sanitários, eu os tenho guardado com muito carinho.

Aos queridos amigos que fiz na LB2, em especial ao Euclides. Obrigada, Euclides, pela ajuda no desenvolvimento dessa pesquisa e por nunca ter me negado os dias de folga do trabalho para dar um gás na escrita! Giovanna, amiga novata, mas

que já ocupa um lugar mais que especial no meu coração, obrigada pela parceria no dia a dia. Lenize, Diogo, Júlia, Helo, Nivaldo, Leozinho, Gabriel, obrigada a todos vocês.

As minhas amigas de longa data Letícia e Caroline, apesar da distância física, obrigada por se fazerem presente nas menagens de apoio e suporte.

Um agradecimento especial aos meus orientadores. Professora Tati, meus sinceros agradecimentos pela parceria e contribuições para esta pesquisa. Sou admiradora do seu trabalho. Professor Márcio, obrigada pela orientação durante todo o processo. Meu agradecimento às professoras avaliadoras Libânia e Joyce, por ter aceitado participar da banca e contribuir com esta pesquisa.

Meus agradecimentos a todos que passaram pelo meu caminho nesses dois anos e meio. Como já dizia Charles Chaplin “a vontade de retribuir vem naturalmente e um pequeno gesto acaba se multiplicando. Quando se planta cuidado, colhe-se gratidão”.

MALVEZZI, L. B. **Indicadores de desempenho para operação de aterros sanitários: um estudo de caso em Londrina-PR.** 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2021.

## RESUMO

Com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) e o novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei 14.026/2020), empreendimentos como aterros sanitários estarão cada vez mais em evidência no cenário de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil. A partir desta perspectiva, é de grande importância que aterros sanitários busquem novas ferramentas de gestão que os auxiliem em seu controle e monitoramento. A presente pesquisa teve como objetivo aplicar o BPM (*Business Process Management*, gerenciamento de processos de negócios) à realidade de aterros sanitários, utilizando a Central de Tratamento de Resíduos (CTR) – Londrina como estudo de caso. Foi utilizada a notação padrão de mapeamento de processos, BPMN (*Business Process Model and Notation*), para mapear os processos operacionais do aterro sanitário. A partir dos mapeamentos, oportunidades de melhorias foram identificadas e indicadores foram atrelados aos processos. Os resultados compreenderam o mapeamento de quatro processos operacionais, sendo eles: controle de entrada, descarga de RSU, compostagem de RSU e espalhamento, compactação e cobertura de RSU. As melhorias identificadas abrangeram pontos legais, operacionais e gerenciais da operação da CTR – Londrina como um todo. Os indicadores atrelados aos processos foram: tempo de ciclo, tempo de descarga, quantidade de RSU compostado, produtividade, densidade e área exposta. A utilização do BPM se mostrou uma importante ferramenta para identificar as melhorias e desenvolvimento de indicadores. Essa pesquisa representa um passo inicial para construção do conhecimento na literatura científica a respeito da utilização do conhecimento em gerenciamento de processos de negócios, na linguagem padronizada BPMN, em empreendimentos como aterros sanitários.

**Palavras chave:** aterros sanitários; gerenciamento de processos de negócio; indicadores de desempenho; mapeamento de processos; resíduos sólidos urbanos

MALVEZZI, L. B. **Performance indicators for landfill operation: a case study in Londrina-PR.** 70f. Dissertation (Masters in Civil and Environmental Engineering) – Federal University of Campina Grande, Campina Grande-PB, 2021.

### **ABSTRACT**

With the National Solid Waste Policy (Law 12.305/2010) and the new Legal Framework for Basic Sanitation (Law 14.026/2020), projects such as landfills will be increasingly in evidence in the municipal solid waste management (MSW) in Brazil. From this perspective, it is of great importance that landfills seek new management tools that help them in their control and monitoring. This research aimed to apply BPM (Business Process Management) to the reality of landfills, using the Waste Treatment Center (CTR) – Londrina as a case study. The standard process mapping notation, BPMN (Business Process Model and Notation), was used to map the operational processes of the landfill. Based on the mappings, opportunities for improvement were identified and indicators were linked to the processes. The results comprised the mapping of four operational processes, namely: inlet control, MSW discharge, MSW composting and MSW spreading, compaction and coverage. The identified improvements covered legal, operational and managerial aspects of the CTR – Londrina operation as a whole. The indicators linked to the processes were: cycle time, discharge time, amount of composted MSW, productivity, density and exposed area. The use of BPM proved to be an important tool for identifying improvements and developing indicators. This research represents an initial step for building knowledge in the scientific literature regarding the use of knowledge in business process management, in the standardized language BPMN, in projects such as landfills.

**Keywords:** landfills; business process management; performance indicators; process mapping, municipal solid waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formas de disposição final de RSU no Brasil e países do mundo* .....	18
Figura 2 - Exemplo de modelagem de processos utilizando o padrão BPMN.....	25
Figura 3 - Variações mensais (dados de 2010 a 2021)) das temperaturas máximas, mínimas e precipitação de Londrina-PR. ....	29
Figura 4 – Localização da Central de Tratamento de Resíduos (CTR) de Londrina .	30
Figura 5 – CTR Londrina e indicação da célula em operação, célula em construção, barracões de compostagem e lagoas de lixiviado.....	31
Figura 6 – Construção na nova célula na CTR – Londrina.....	31
Figura 7 – (A) Lagoas de lixiviado; (B) Barracões de compostagem.....	31
Figura 8 - Queimadores dispostos na CTR - Londrina .....	32
Figura 9 - Etapas metodológicas da pesquisa.....	33
Figura 10 – Etapas do mapeamento dos processos .....	34
Figura 11 – Processos mapeados na CTR – Londrina.....	35
Figura 12 - Etapas para construção de indicadores .....	36
Figura 13 - Fluxograma das etapas de medição de crono análise de caminhões de RSU na CTR - Londrina .....	37
Figura 14 – Fluxograma dos macroprocessos envolvendo a operação da CTR – Londrina. ....	38
Figura 15 – Fluxo do processo de controle de entrada à CTR – Londrina. ....	40
Figura 16 – Fluxo do processo de compostagem de RSU na CTR – Londrina.....	46
Figura 17 - Etapas de compostagem: (A) disposição do resíduo na esteira; (B) Passagem pela peneira e separação de orgânicos e rejeitos; (C) Caminhões basculantes necessários para o processo .....	48
Figura 18 – Fluxo do processo de descarga de RSU na frente operacional da CTR – Londrina .....	51
Figura 19 - Horários de pico de entrada de caminhão compactador na CTR – Londrina .....	52
Figura 20 – Área de descarga de resíduos na CTR - Londrina.....	53
Figura 21 – Fluxo do processo de espalhar, compactar e cobrir resíduos.....	56
Figura 22 – Vazamento de lixiviado observado ao longo do mapeamento dos processos operacionais.....	58

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1 - Unidades de processamento classificadas no Brasil.....	16
Quadro 1 - Prazos para adequações dos municípios quanto à disposição final dos rejeitos, de acordo com o novo Marco do Saneamento. ....	17
Quadro 2 - Fatores importantes que devem ser considerados na operação de aterros sanitários.....	20
Quadro 3 - Elementos da notação BPMN .....	24
Quadro 4 – Indicadores identificados com referências à metodologia BSC.....	28
Quadro 5 - Descrição das visitas realizadas na CTR - Londrina.....	34
Quadro 6 – Pontos de melhorias identificados ao longo do acompanhamento da operação da CTR - Londrina.....	41
Tabela 2 - Medições de tempo de permanência dos caminhões dentro do aterro sanitário.....	43
Quadro 7 - Pontos de melhorias e propostas identificadas para o processo de Compostar RSU .....	47
Quadro 8 – Pontos de melhorias identificados para o processo de descarregar RSU .....	53
Tabela 3 – Crono análise de tempo de descarga de cada caminhão, nos dias amostrados, na CTR – Londrina .....	54
Quadro 9 – Propostas de melhorias levantadas ao longo do mapeamento do processo de espalhar, compactar e cobrir resíduos .....	57
Quadro 10 – Indicadores propostos para o processo de Espalhar, compactar e cobrir resíduos .....	60
Quadro 11 – Indicadores propostos para controle e monitoramento dos processos mapeados.....	61

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>Cenário dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil</b> .....	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>Operação de aterros sanitários</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>Gerenciamento de Processos de Negócios (BPM)</b> .....	<b>22</b>
3.3.1	Notação de Modelagem de Processos de Negócios (BPMN) .....	23
<b>3.4</b>	<b>Indicadores de desempenho para gestão eficiente</b> .....	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo</b> .....	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>Plano de trabalho</b> .....	<b>32</b>
4.2.1	Coleta de dados .....	33
4.2.2	Mapeamento dos processos .....	34
4.2.3	Estabelecimento de indicadores .....	36
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>38</b>
<b>5.1</b>	<b>Controle de entrada</b> .....	<b>39</b>
5.1.1	Indicador para o processo Controle de Entrada.....	42
<b>5.2</b>	<b>Compostagem de RSU</b> .....	<b>44</b>
5.2.1	Indicador para o processo de Compostar RSU.....	50
<b>5.3</b>	<b>Descarga de RSU</b> .....	<b>51</b>
5.3.1	Indicador para o processo de descarregar RSU .....	54
<b>5.4</b>	<b>Espalhamento, compactação e cobertura de RSU</b> .....	<b>55</b>
5.4.1	Indicador para o processo de espalhar, compactar e cobrir RSU .....	58
<b>5.5</b>	<b>Descrição dos Indicadores Propostos</b> .....	<b>60</b>

<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional nos centros urbanos está diretamente relacionado com o aumento no consumo e conseqüente acréscimo na geração de resíduos sólidos. Os resíduos sólidos urbanos (RSU) coletados no Brasil têm majoritariamente três formas de disposição: aterros sanitários, aterros controlados e lixões. A destinação adequada de resíduos é estabelecida desde 1998 com a lei de Crimes Ambientais, Lei nº 9605 de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 1998). Depois, a partir de 2010, a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) foi regulamentada com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. Segundo o Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, ano 2019, o país apresentou 382 aterros sanitários, 515 aterros controlados e 1.047 lixões quando analisando as prefeituras municipais como os agentes operadores (MDR, 2019, p. 194). Dessa forma, e também considerando o novo Marco Legal do Saneamento Básico, estabelecido pela Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2020), os municípios brasileiros têm o desafio de eliminar os lixões (com prazos variando entre 2 de agosto de 2021 até 2024 de acordo com tamanho do município) e propor soluções ambientalmente adequadas para a destinação/disposição final dos RSU.

Embora os aterros sanitários não sejam a única alternativa aos lixões para a disposição final de rejeitos, no Brasil, é uma técnica muito utilizada, tendo em vista as dimensões do país e os custos envolvidos com outras alternativas. Assim, aterros sanitários exercem um papel importante no atual cenário de gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil. Sua operação está intimamente relacionada com a qualidade do serviço prestado, eficiência na disposição dos resíduos e menor impacto ao meio ambiente e à saúde da população. Um dos motivos pelos quais aterros sanitários se tornam lixões é a má operação de suas atividades (JUCÁ, 2003; ABLP, 2019). Um olhar apurado e refinado para operação de aterros sanitários possibilita, portanto, que esses empreendimentos se profissionalizem com vistas a evitar de se tornarem locais de disposição inadequada.

Para isso, a utilização do gerenciamento de processos de negócios, ou BPM (da tradução *Business Process Management*), surge como uma disciplina aliada nesse sentido. O mapeamento dos processos operacionais tem por finalidade elucidar as fases, controlar a utilização de recursos, padronizar atividades e possibilitar

flexibilidade e adequações a eventos adversos. Uma vez com os processos mapeados, pontos de melhorias são identificados ao longo das atividades executadas e indicadores de desempenho são implantados para seu monitoramento. Dos Santos *et al.*, (2013) abordam a aplicação do BPM no âmbito da sustentabilidade, onde o alto desempenho ambiental das organizações relaciona-se com a aplicação do BPM. Porém, existe uma lacuna na literatura científica ao retratar ferramentas de gestão com a performance ambiental, especialmente em empreendimentos como aterros sanitários.

Esta pesquisa, a partir de um estudo de caso na Central de Tratamento de Resíduos de Londrina/PR almejou utilizar os fundamentos do BPM, atrelado ao mapeamento de processos e aplicá-los na operação de aterros sanitários como uma forma de contribuir para o desenvolvimento de um banco de conhecimento na literatura científica acerca da temática. Ademais, identificar melhorias e propor indicadores que aprimorem e auxiliem os gestores de aterros sanitários nas tomadas de decisões e a manterem as operações monitoradas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a potencial aplicabilidade de indicadores de desempenho, baseados na gestão por processos (BPM), na operação de aterros sanitários, a partir do estudo de caso em Londrina-PR.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Mapear os processos envolvendo as atividades operacionais do aterro sanitário que compreende da entrada até a cobertura final do RSU;
- Identificar os desafios e oportunidades de melhorias referentes aos processos operacionais do aterro sanitário;
- Relacionar indicadores de desempenho às atividades operacionais do aterro sanitário.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica se inicia por uma breve discussão a respeito do cenário atual de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil, seguidos pela descrição da operação de aterros sanitários. O tópico seguinte evidencia a importância do mapeamento de processos para aprimoramento de operações, seguindo do estabelecimento de indicadores com vistas ao monitoramento de aterros sanitários e subsídio às tomadas de decisões de gestores.

#### 3.1 Cenário dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil

A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi um marco regulatório para o setor de resíduos sólidos no Brasil (ABES, 2013). A partir da PNRS estabeleceu-se a responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e sociedade pelo gerenciamento dos resíduos, desde sua geração até disposição final. Ou seja, atividades individualizadas fazem parte de uma cadeia em todo sistema produtivo, onde os cidadãos, setor privado, poder público, são igualmente responsáveis pelo correto manejo dos resíduos no país (BRASIL, 2010; ABES, 2013; COUTO e LANGE, 2017).

Em seu art. 9º, a PNRS (BRASIL, 2010) aborda que as etapas em ordem de prioridade ao correto gerenciamento e gestão de resíduos sólidos inicia-se a partir da não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamentos dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Apesar da prioridade ser de não geração e redução dos resíduos sólidos, tais práticas encontram-se limitadas no Brasil, com dificuldade de estabelecer indicadores e métricas que evidenciem o volume de material que deixou de ser descartado ou que foi reduzido (MMA, 2020a, p. 150). Com isso, o estabelecimento de uma gestão estratégica com análise de dados e ações voltadas a esse tocante ficam restritas.

No que diz respeito à reutilização, que de acordo com a PNRS é entendida como o “aproveitamento de resíduos sólidos sem que haja sua transformação física ou físico-química” (art. 3º, inciso XVIII), o Brasil não apresenta dados ou indicadores para mensuração desta etapa (MMA, 2020a, p. 26).

Para a reciclagem, quantidade coletada de resíduos recicláveis foi de 1,6 milhões de toneladas no ano de 2019 (MMA, 2020a; MDR, 2019, p. 23). Levando em consideração que a estimativa de coleta em 2019 foi de 65,11 milhões (MDR, 2020), o montante reciclado representa apenas 2,4% do total coletado no país. Outro fator importante é que os dados apresentados correspondem a 66,6% dos municípios brasileiros, extraídos do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (MDR, 2020).

Ao final da cadeia de gerenciamento de resíduos sólidos, as unidades de processamento compreendem os locais pelos quais os RSU passam por algum tipo de processamento, seja ele a simples disposição em solo ou algum tratamento sofisticado (MDR, 2020, p. 189). As unidades apresentadas pelo Diagnóstico (MDR, 2020) foram retiradas do Cadastro Nacional de Unidades de Processamento do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), evidenciadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Unidades de processamento classificadas no Brasil

Tipo de unidade de processamento	Total de unidades nas amostras
Lixão	1.114
Aterro controlado	580
Aterro sanitário	621
Unidades de triagem (galpão ou usina)	1.163
Unidades de compostagem (pátio ou usina)	73
Unidades de transbordo (RDO+RPU)*	176
Unidade de tratamento por incineração	17
Unidade de manejo de galhadas e podas	44
Vala específica de RSS	19
Unidade de tratamento por micro-ondas ou autoclave	19
Queima em forno de qualquer tipo	1
Área de transbordo e triagem de RCC e volumosos (ATT)	53
Área de reciclagem de RCC*	36
Aterro de RCC (aterros inertes)	79
Outro	267
<b>TOTAL</b>	<b>4.262</b>

Fonte: Adaptado de MDR (2020, p. 192). \*Resíduos Domiciliares (RDO) e Resíduos Públicos Urbanos (RPU), Resíduos da Construção Civil (RCC)

Na Tabela 1 observa-se predominância de disposição final em solo, em que os lixões, aterros controlados e aterros sanitários representam 54% do total de unidades de processamento de RSU cadastradas no Brasil. Considerando apenas aterros sanitários, esse percentual é de 14,5%. Ainda, segundo ABRELPE (2020), 60% dos resíduos coletados no Brasil são destinados a aterros sanitários, e 40% ainda segue para locais inadequados, afetando à saúde pública e poluindo o ar, solo e os

recursos hídricos. Sendo assim, o Brasil apresenta, em seu atual cenário de gerenciamento de RSU, pouco monitoramento de ações que visem a não geração e redução, baixo incentivo à reutilização e reciclagem e majoritariamente disposição final em solo, com 40% de forma inadequada.

O novo Marco do Saneamento Básico, Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), em seu Art. 54, estabelece que a disposição final ambientalmente adequada deveria ser implantada até 31 de dezembro de 2020 para os municípios que não apresentarem Plano Intermunicipal de Resíduos Sólidos (PIRS) ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos (PMGIRS). Para os municípios que elaboraram os PIRS ou PMGIRS, os prazos para erradicação dos lixões e adequação quanto à disposição final está evidenciada no Quadro 1.

Quadro 1 - Prazos para adequações dos municípios quanto à disposição final dos rejeitos, de acordo com o novo Marco do Saneamento.

Categoria dos municípios	Prazo para adequação
Capitais e Municípios integrantes da região metropolitana ou Região integrada de desenvolvimento	Até 2 de agosto de 2021
Municípios com população superior à 100 mil habitantes	Até 2 de agosto de 2022
Municípios com população entre 50 mil e 100 mil habitantes	Até 2 de agosto de 2023
Municípios com população inferior a 50 mil habitantes	Até 2 de agosto de 2024

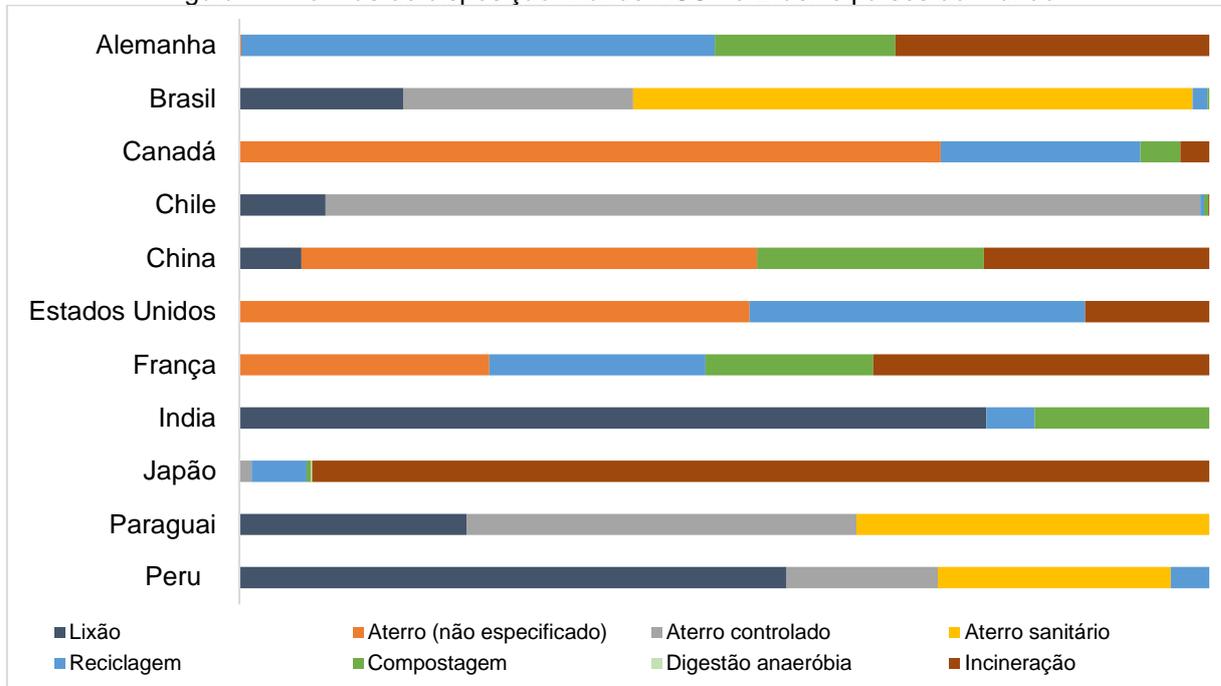
Fonte: da autora (BRASIL, 2020).

Com o estabelecimento de novos prazos para o fim dos lixões, os municípios precisarão se adequar e existe a tendência de aumento no número de aterros sanitários no país, tendo em vista que esses empreendimentos são basicamente a única técnica de disposição final aplicada no Brasil (ALFAIA, COSTA e CAMPOS, 2017). Um exemplo, no estado do Paraná, é o estudo conduzido por Franco, Steiner e Assef (2021) que propõe a utilização de modelos matemáticos para otimização de locais para instalação de aterros sanitários a partir de consórcios intermunicipais. Os resultados mostram que, considerando o cenário existente, em que o Estado possui 171 aterros sanitários, seriam necessários mais 25 aterros sanitários para suprir a demanda do Estado.

Apesar de a PNRS determinar tratamento dos RSU e disposição final em aterros sanitários apenas aos rejeitos (BRASIL, 2010), a falta de integração na gestão é apontada como um dos motivos para sua ineficiência (IPEA, 2020). Ao comparar a disposição final de RSU com outros países do mundo (Figura 1), observa-se a utilização de formas alternativas para a destinação final dos RSU, como incineração,

biodigestão anaeróbia, e incentivos à reciclagem e compostagem, como o caso da Alemanha (AZEVEDO *et al.*, 2021). No Brasil, as formas de disposição final de RSU é majoritariamente em solo (KAZA *et al.*, 2018).

Figura 1 – Formas de disposição final de RSU no Brasil e países do mundo\*



Fonte: da autora (KAZA *et al.*, 2018)

\*A referência citada utilizou de variadas fontes de informação que vão de 2007 até 2015.

Países emergentes como o Brasil enfrentam dificuldades no gerenciamento adequado de resíduos sólidos. Uma pesquisa desenvolvida por Guerrero, Maas e Hogland, (2013) avaliou os envolvidos na cadeia de gerenciamento de resíduos em cidades de países em desenvolvimento, bem como os fatores que influenciam o desempenho desses sistemas. Os autores discorrem que, para que se estabeleça um sistema municipal eficiente para o gerenciamento de resíduos sólidos nos municípios, é preciso que haja um detalhamento dos envolvidos e suas responsabilidades na cadeia, com comunicação efetiva entre eles. Os autores pontuam que um sistema eficiente não se baseia apenas em avanços tecnológicos, mas em soluções ambientais, socio culturais, legais, institucionais e econômicas.

O cenário atual de gerenciamento de RSU no Brasil requer atenção. Além da grande porcentagem de RSU destinada de forma inadequada, conforme evidenciado pelos dados da ABRELPE (2020), existe ainda a possibilidade de que os aterros sanitários existentes possam vir a se tornar lixões devido à insuficiência em

suas operações (MUNAWAR *et al.*, 2018). Diante do exposto, torna-se imprescindível a busca por metodologias de gestão que venham a auxiliar na operação de aterros, tornando esses empreendimentos mais profissionalizados e agregando valor nas suas atividades. Tais ações resultam em impactos positivos à sociedade e diminuem os impactos ambientais da disposição inadequada.

### **3.2 Operação de aterros sanitários**

Os aterros sanitários são considerados empreendimento de engenharia cujo objetivo é “confinar os resíduos à menor área possível, e reduzi-los ao menor volume permissível” (ABNT, 1992). Seguindo as premissas da PNRS, os empreendimentos de aterros sanitários deveriam ser utilizados para o aterramento apenas de resíduos classificados como rejeitos (BRASIL, 2010). Os rejeitos são aqueles que, “esgotadas as alternativas de tratamento, não apresentam mais tecnologia economicamente viável para seu reaproveitamento” (BRASIL, 2010, art. 3º, inciso XV). Ademais, os resíduos orgânicos deveriam seguir para a compostagem e os recicláveis, retornar à cadeia produtiva para o reaproveitamento e reciclagem (BRASIL, 2010). Contudo, é amplamente conhecido que, nas configurações atuais de gerenciamento de resíduos no âmbito nacional, os aterros sanitários recebem resíduos das mais diversas categorias.

Em Campina Grande-PB, a composição gravimétrica identificada por Araújo Neto (2016) constatou 46,5% de material putrescível, 16,7% de plástico, 11% de papel e papelão, 7,9% de têxteis sanitários, 2,5% de vidro, 2,4 de compósitos, 0,6% de metal, e 12,4% classificado como “outros”. Em Goiânia, Ribeiro, Pinheiro e Melo (2012) verificaram uma composição gravimétrica de RSU encaminhados ao aterro sanitário de 63% de matéria orgânica, 20% de materiais recicláveis e 17% classificado como “outros”. No Estado de São Paulo, Lima *et al.*, (2018) mostraram que 72,94% dos resíduos depositados no aterro sanitário apresentava algum potencial de reaproveitamento.

Um dos problemas associados à disposição final de outros resíduos, que não rejeitos é a diminuição da vida útil dos aterros sanitários, uma vez que o volume recebido (esse, em grande parte, ocasionado pelos resíduos recicláveis) é maior do que o projetado (MMA, 2020a, p. 21). Conforme a população urbana cresce e as cidades se desenvolvem, a disponibilidade de áreas adequadas a receberem

empreendimento como aterros sanitários tornam-se cada vez mais escassas (CARRILHO, CANDIDO e SOUZA, 2018). Por isso, ações entre sociedade, órgãos públicos e setor privado, a partir da responsabilidade compartilhada, devem ser pensadas em conjunto visando o correto gerenciamento dos resíduos respeitando suas categorias e os objetivos da PNRS (BRASIL, 2010).

Para que uma operação de aterro sanitário seja considerada satisfatória, algumas variáveis devem ser levadas em consideração. Munawar *et al.* (2018), em um estudo analisando a operação de aterros sanitários, verificaram que os principais motivos pelos quais aterros sanitários não são operados adequadamente são a insuficiência de recursos financeiros destinados à sua operação e atividades de catadores de materiais recicláveis na área. De fato, ABRELPE (2020) reporta que no Brasil, a carência de recursos destinados à operação do setor afeta diretamente à execução, ampliação e modernização dos serviços de gerenciamento de RSU.

Alguns fatores importantes devem ser levados em consideração para a operação de aterros sanitários, conforme Quadro 2 (TCHOBANOGLIOUS e KREITH, 2002). Disponibilidade de equipamentos adequados, métodos bem estabelecidos de sequenciamento de descarga de RSU, compactação e cobertura diária também englobam fatores importantes na operação de aterros sanitários (BERGE *et al.*, 2018).

Quadro 2 - Fatores importantes que devem ser considerados na operação de aterros sanitários

<b>Fatores importantes</b>	<b>Descrição</b>
Comunicação	Telefones para emergência.
Dias e horas de operação	Prática usual de 5 a 6 dias/semana e 8 a 10 horas/dia.
Instalações para os funcionários	Locais para descanso e água potável.
Manutenção dos equipamentos	Local coberto para manutenção dos equipamentos.
Controle de resíduos espalhados	Utilizar cercas removíveis na área de descarga de RSU; destinar equipe para coletar resíduos espalhados ao menos uma vez ao mês.
Plano de operação	Planos para tratamento do lixiviado e recuperação de gás.
Registros operacionais	Toneladas, transações e cobrança (se aplicado).
Recuperação de resíduos	Ausência de catadores de materiais recicláveis na área de descarga de RSU. A coleta deve ocorrer longe do aterro sanitário.
Balança	Essencial para controle de quantidade de resíduos que entram. Capacidade de 45t.
Segurança	Providenciar portões e iluminação adequada.
Espalhamento e compactação	Espalhar e compactar resíduos em camadas de 60cm.
Área de descarga de RSU	Manter pequena, com 30m de comprimento. Utilizar local separado para descarga de veículos e caminhões comerciais.

Fonte: Adaptado de Tchobanoglous e Kreith (2002, p. 735)

Ao analisar a operação de um aterro sanitário a partir da perspectiva do caminho do RSU dentro das suas instalações, ela pode ser contemplada nas

seguintes etapas: entrada (controle de acessos ao aterro sanitário), descarga dos RSU na frente operacional/célula/vala, espalhamento, compactação e cobertura dos RSU.

De acordo com a NBR 8419 (ABNT, 1992), o controle de acessos nos aterros sanitários deve acontecer de modo a monitorar a qualidade e a quantidade de resíduos recebidos, bem como seu horário de funcionamento. Existem, no geral, três tipos de aterros sanitários, sendo eles diferenciados pelo tipo de resíduos que recebem: resíduos inertes, resíduos sólidos urbanos (municipal) e resíduos perigosos (BERGE *et al.*, 2018). A tipologia dos resíduos recebidos irá direcionar suas características de projeto e operacionais.

A descarga de RSU é uma parte importante na operação dos aterros sanitários, visto que é uma atividade perigosa que requer atenção para sua execução. Além disso, seguir um método de descarga de RSU otimiza as próximas etapas, de espalhamento e compactação. A NBR 8419 (ABNT, 1992) preconiza que deve ser apresentado no projeto de aterros sanitários a maneira como os resíduos são transportados e dispostos na área de operação, além de informar os procedimentos para horários de pico.

Para o espalhamento e compactação, indicadores de produtividade (peso por hora) e densidade (peso por m<sup>3</sup>) são de especial interesse para monitorar a operação dos aterros sanitários. Segundo Cerminara e Cossu (2018), a densidade fornece a quantidade de resíduos sólidos que podem ser aterrados até o atingimento de uma determinada altura. O espalhamento deve ser realizado em camadas de até 60 centímetros e, após essa etapa, os resíduos devem ser compactados até atingirem uma densidade mínima de 600kg/m<sup>3</sup>. Camadas são realizadas até atingirem de 2 a 4 metros de altura (CERMINARA E COSSU, 2018)

As coberturas com solo em aterros sanitários podem ser diárias, intermediárias ou final (BERGE *et al.*, 2018). Para a NBR 8419 (ABNT, 1992) a cobertura dos resíduos sólidos compactados deve ser realizada ao final de cada jornada de trabalho. Os aterros sanitários brasileiros apresentam, em sua grande maioria, camadas de coberturas de solo compactado com baixa permeabilidade, e são classificadas em três tipos: convencional, camadas intercaladas com solo natural argiloso e geossintéticos, e camadas alternativas (com adição de composto orgânico ao solo) (SANTOS, 2019).

### 3.3 Gerenciamento de Processos de Negócios (BPM)

O Gerenciamento de Processos de Negócio (BPM, tradução de “*Business Processes Management*”) é uma disciplina gerencial que busca conectar os objetivos de uma empresa com as expectativas e necessidades do cliente, garantir/fornecer aos negócios maior visão e conhecimento dos processos executados nas empresas que resultam na entrega do produto ou serviço ao cliente final. Para isso, o BPM abrange “estratégias, objetivos, cultura, estruturas organizacionais, papéis, políticas, métodos e tecnologias para analisar, desenhar, implementar, gerenciar desempenho, transformar e estabelecer governança de processos” (ABPMP, 2013, p. 40). O objetivo do BPM é melhorar os processos de negócios (CHANGIZI *et al.*, 2021).

Van Der Aalst, (2013) afirma que a modelagem de processo auxilia as organizações em diversos aspectos, seja ele a partir da documentação dos processos, fornecendo instruções precisas e direcionadas entre as áreas/departamentos ou no suporte ao fluxo de informação para resolução de questões mais complexas. Portanto, no âmbito principal de aplicação, o escopo do BPM é vasto: varia desde automação de processo até gerenciamento de operações e organização do trabalho.

O BPM CBOK define processo como “uma agregação de atividades e comportamentos executados por humanos ou máquinas para alcançar um ou mais resultados”, sendo eles divididos em três categorias (ABPMP, 2013, p. 35-37):

- Processos primários: são os processos que agregam valor diretamente ao cliente, representando as operações essenciais que uma empresa executa para desempenhar sua função.
- Processos de suporte: compreendem os processos que dão suporte aos primários. Não estão diretamente relacionados com o cliente, mas cumprem a função de aumentar a efetividade dos processos primários.
- Processos de gerenciamento: são os processos focados em monitorar, medir e gerenciar a empresa como um todo e garantir a operação de acordo com seus objetivos e metas.

A modelagem dos processos atuais de uma organização (seja ela do setor público ou privado, independente do segmento em que se encontra) promove um entendimento comum de como as atividades operacionais são executadas (ABPMP, 2013, p. 107-108). A partir desse entendimento, torna-se possível identificar onde os problemas ocorrem e sua interdependência entre as áreas, propor pontos de

melhorias ao longo do processo e utilizar métricas de desempenho (indicadores) para melhorar e monitorar o processo (ABPMP, 2013, p. 107-108).

A utilização de modelagem de processos de negócios auxiliam os gestores a melhor entender os processos organizacionais, seus fluxos de comunicações e, dessa maneira, reduzirem custos e melhorar o níveis de serviços (PIAIA *et al.*, 2020; VAN DER AALST, 2013). O gerenciamento de processos de negócios (BPM) promove a governança do negócio e melhora da performance operacional (CHINOSI e TROMBETTA, 2012)

Apesar dos benefícios relacionados à introdução da cultura BPM nas organizações, ainda existe um distanciamento entre o gerenciamento de processos de negócio (administrativos, por exemplo) com as atividades operacionais de uma organização. De fato, a pesquisa desenvolvida por Erasmus *et al.*, (2020) buscou diminuir esse distanciamento por meio do desenvolvimento de um catálogo de fragmentos de processos operacionais que podem ser utilizados como padrão para modelagem de atividades operacionais e aplicou em 10 fábricas de diferentes segmentos. Os autores verificaram que esses modelos auxiliam na integração entre as atividades de gerenciamento e operação do negócio como um todo.

Ter um conhecimento a respeito dos processos é premissa para o BPM. Existem diversas opções para modelagem de processos organizacionais, como Petri nets, *Business Process Model and Notation* (BPMN), *Unified Modeling Language* (UML) e *Event Process Chain* (EPCs). Em termos gerais, esses modelos representam de forma gráfica as atividades executadas e suas interdependências. Além disso, outros elementos constituem os modelos de processos, como as propriedades temporais, especificações de tomadas de decisões e interações de recursos com o processo (VAN DER AALST, 2013).

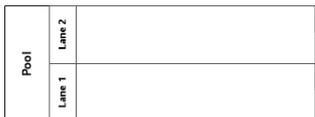
### 3.3.1 Notação de Modelagem de Processos de Negócios (BPMN)

A Notação de Modelagem de Processos de Negócios (BPMN) é uma linguagem de modelagem de processos estabelecida pela ISO/IEC 19510/2013, cujo objetivo é fornecer uma notação padronizada e de fácil entendimento aos usuários, desde o profissional que desenvolve o esboço dos processos até o responsável pela sua implementação (ISO/IEC, 2013). A notação é composta por um conjunto de símbolos e conexões que descrevem a relação e o sequenciamento do fluxo de

atividades e a ordem de procedência (ABPMP, 2003, p. 79). Dessa forma, o BPMN é uma importante ferramenta que possibilita a compreensão dos procedimentos internos numa notação gráfica padronizada a todos da organização (ISO/IEC, 2013).

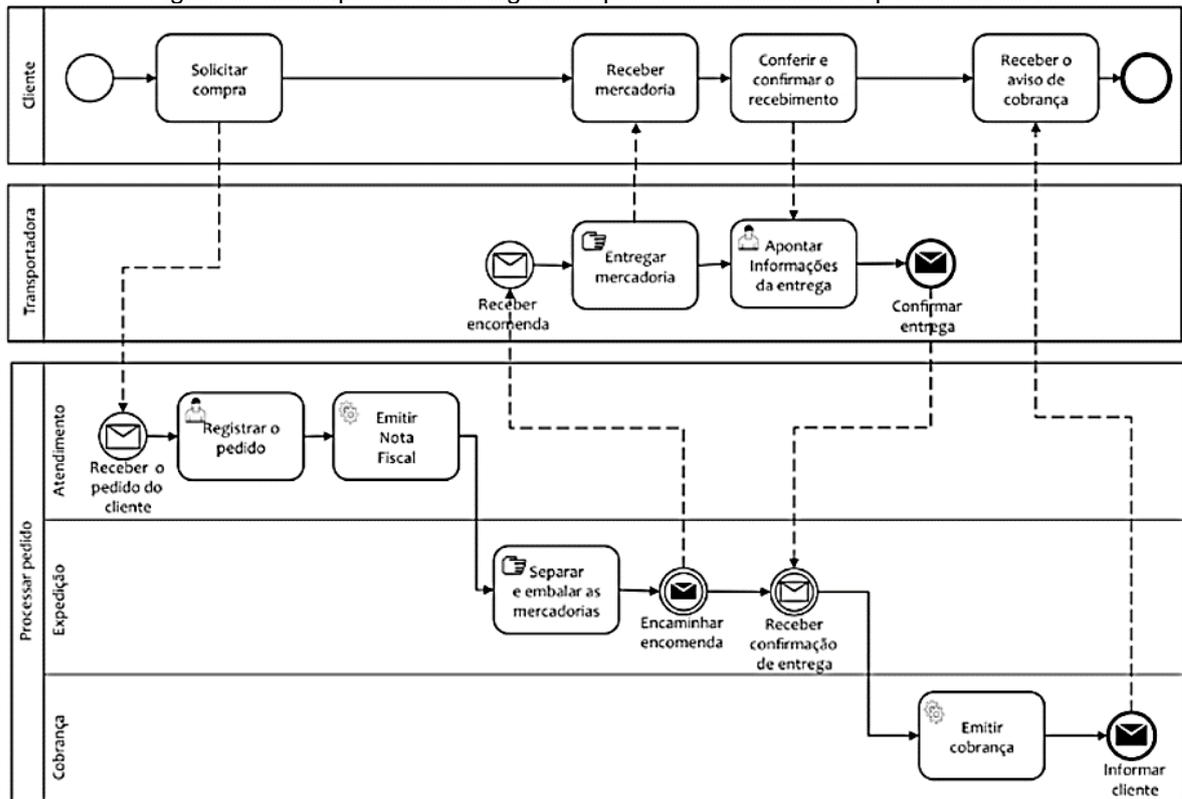
Por ser uma linguagem padrão, os símbolos utilizados para a representação dos processos seguem classificação, de acordo com ISO/IEC 19510 (2013), evidenciados no Quadro 3. Um exemplo de fluxo de processos utilizando a linguagem BPMN é ilustrado na Figura 2.

Quadro 3 - Elementos da notação BPMN

Elementos	Descrição	Notação
Evento	Evento de início: indica onde o processo começará. Pode ter variações a depender do que inicia o processo	
	Evento intermediário: indica algo que acontece ao longo do processo	
	Evento de fim: indica o final do processo.	
Atividade	As atividades representam os pontos do processo em que o trabalho é executado.	
Subprocesso	Representa uma Atividade e que os detalhes internos foram modelados com outras atividades, eventos e gateways. Ele pode ser expandido para mostrar níveis menores de detalhamento.	
Gateway	Os gateways são utilizados para controlar divergências e convergências no fluxo.	
Flecha de sequência	É utilizada para indicar o sentido do fluxo	
Flecha de mensagem	É utilizada para mostrar um fluxo de mensagens entre dois participantes que são preparados para enviar e recebe-las.	
Pool	É a representação gráfica do processo, podendo ou não conter detalhes internos	
Lanes	É utilizada para organizar e categorizar as atividades dentro de um "pool". Geralmente são utilizadas para especificar os departamentos, cargos ou funções no processo.	
Objeto de dados	Fornecem a informação sobre qual atividade requer input e o resultado dela.	
Anotação de texto	Elementos utilizados para fornecer informações adicionais	

Fonte: Adaptado de ISO/IEC (2013)

Figura 2 - Exemplo de modelagem de processos utilizando o padrão BPMN



Fonte: ABPM (2013, p. 81)

De acordo com Chinosi e Trombetta, (2012), a maior usabilidade de BPMN está em documentação de processos e execução de processos de negócios, na sua grande maioria de processos administrativos. Além disso, existe também, porém em menor representatividade, a usabilidade de BPMN em modelagem de processos genéricos, modelos de cadeia de suprimentos, procedimentos médicos e de lojas online e, também, processos de ambiente (com apenas 2% dos resultados).

A utilização de BPMN e todo o conceito de gerenciamento de processos pode ser aplicada a muitos negócios de diferentes segmentos. Um exemplo é o estudo desenvolvido por Piaia *et al.*, (2020). Os autores realizaram um mapeamento do processo de desligamento de uma unidade geradora da usina Itaipu. A partir do mapeamento, foi possível identificar pontos de melhorias na operação das atividades e propor indicadores para gestores controlarem o processo. Por fim, os autores levantaram um plano de ação para implementar as melhorias propostas.

A linguagem BPMN é utilizada também como um modelo de comunicação visual e padronizado dentro das organizações. Polančič e Orban, (2019) abordam a importância de uma comunicação eficaz nas organizações, enfatizando a padronização de linguagem como uma maneira de atingir a efetividade no fluxo de

informação. Baseado então no BPMN, os autores desenvolveram um modelo visual de linguagem para representar a comunicação corporativa.

Aliado ao gerenciamento de processos de negócios e linguagem BPMN, os indicadores de processos de negócios são primordiais em vistas ao aprimoramento da gestão e alinhamento com a estratégia organizacional, em que o desempenho organizacional está intimamente ligado ao desempenho dos processos de negócio (VAN LOOY e SHAFAGATOVA, 2016).

### **3.4 Indicadores de desempenho para gestão eficiente**

Os indicadores de desempenho são importantes ferramentas que auxiliam no desenvolvimento e suporte de ações estratégicas para corrigir ou melhorar o cenário atual. Desse modo, a finalidade dos indicadores é resumir uma grande quantidade de informações em algo fácil de interpretar, auxiliando nas tomadas de decisões e promoção de políticas públicas (PEREIRA, CURI e CURI, 2018).

No âmbito da sustentabilidade e do gerenciamento de resíduos sólidos, uma série de pesquisas envolvendo a aplicabilidade de indicadores têm sido desenvolvidas (DA CUNHA, RITTER e FERREIRA, 2020; DEUS *et al.*, 2020; DEUS, BEZERRA e BATTISTELLE, 2019; FEIZ *et al.*, 2020; PEREIRA, CURI e CURI, 2018; SALAZAR-ACUÑA, 2020).

É importante ressaltar que a proposta de indicadores de sustentabilidade deve ser condizente com a realidade local, pois o objetivo é buscar melhorias no sistema de gestão ambiental. Na esfera da gestão de RSU, Pereira, Curi e Curi (2018) propuseram uma série de indicadores para fins de comparabilidade de sustentabilidade, desempenho, eficiência e eficácia em municípios paraibanos que fazem parte da Região Metropolitana de Campina Grande. Os indicadores contemplam dois critérios importantes: objetivos e possíveis de serem medidos/mensuráveis ou observáveis.

Deus *et al.*, (2020) desenvolveram um indicador para verificar os impactos do gerenciamento de RSU em pequenos municípios de São Paulo. O indicador compreende uma média geométrica de dados e informações a respeito de geração de resíduos per capita, emissões de CO<sub>2</sub> e, consumo de energia e qualidade da disposição final de resíduos. Os autores observaram que, das dez cidades com os melhores indicadores, seis delas apresentaram destinação final de resíduos em

aterros sanitários municipais. Além disso, os autores evidenciaram pontos que correspondem às boas práticas para o gerenciamento de RSU, entre eles, estão: frequência de coleta residencial, presença ou ausência de coleta seletiva, tipo de aterro sanitário (privado ou público), sistema de compostagem e programas de educação ambiental (DEUS *et al.*, 2020)

No estudo de Salazar-acuña, (2020), o objetivo foi propor, por meio de indicadores, uma visão holística de viabilidade econômica para programas municipais de reciclagem, analisando a eficiência da gestão de resíduos em municípios de países em desenvolvimento.

Na avaliação de aterros sanitários do Estado do Rio de Janeiro, Da Cunha, Ritter e Ferreira, (2020) aplicaram a metodologia definida pela Norma Operacional do Instituto Estadual do Ambiente (NOP-INEA-031), que corresponde a indicadores representando os aspectos técnicos, legais, normativos, sociais e ambientais da atividade. Os autores verificaram que os melhores aterros sanitários eram privados, com concessão ou não, enquanto que os que se destacaram negativamente eram operados pelas prefeituras. Os autores verificaram, por meio dos indicadores analisados, que 11.656 t.dia<sup>-1</sup> foram dispostas em condições adequadas em 2015, correspondendo a 70% dos resíduos gerados diariamente no Estado.

No que diz respeito especificamente à aterros sanitários, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) possui o um Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR), utilizado para averiguar a situação ambiental desses empreendimentos. O IQR é calculado a partir do preenchimento de questionários quanto às suas características locais, estruturais e operacionais. As notas variam de 0 a 10, sendo 0,0 a 7,0 empreendimento enquadrado como inadequado e 7,1 a 10,0 enquadrado como adequado (CETESB, 2021). Apesar de ser um índice amplamente conhecido, o IQR apresenta algumas fragilidades quanto à subjetivação da classificação dos requisitos analisados (CUNHA e SILVA, 2007).

Apesar da quantidade de indicadores existentes, eles não apresentam enfoque de gerenciamento de negócio, por isso, existe a necessidade de destacar as ferramentas negociais para o estabelecimento de indicadores. A metodologia BSC de indicadores de performance de desempenho (*Balanced Scorecard*, KAPLAN e NORTON, 1996, 2001), apresenta quatro pilares de informações para o desenvolvimento de indicadores para uma organização: (1) perspectiva financeira; (2) perspectiva do cliente; (3) perspectiva de processos internos e (4) perspectiva de

aprendizado e crescimento. Em conjunto com a metodologia BSC, Van Looy e Shafagatova (2016) identificaram quais são os indicadores, medições e métricas mais utilizadas na literatura relacionada a performance de processos de negócios. O resultado obtido corresponde a uma lista de 11 indicadores identificados pelos autores, relacionados à metodologia BSC, (KAPLAN e NORTON, 1996, 2001) conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Indicadores identificados com referências à metodologia BSC

<b>Indicadores baseado na metodologia BSC (Kaplan e Norton, 1996, 2001)</b>	<b>Indicadores levantados por Van Looy e Shafagatova (2016)</b>	<b>Escopo dos indicadores</b>
1. Financeira	1.1 Performance financeira para os acionistas e alta direção	Dados financeiros estratégicos
2. Clientes	2.1 Performance de cliente	Resultado de atendimento da expectativa/necessidade do cliente.
	2.2 Performance de fornecedores	Colaboração externa
	2.3 Performance da sociedade	Resultados para outras partes interessadas e o ambiente durante o trabalho do processo
3. Processos internos	3.1 Performance de processos gerais	Dados descritivos do processo de trabalho, sem relacionar com tempo, custo, qualidade ou flexibilidade
	3.2 Performance de processos temporais	Dados temporais do processo de trabalho
	3.3 Performance de processos de custo	Dados financeiros operacionais
	3.4 Performance de processos relacionados com qualidade interna	Capacidade de atender às necessidades do cliente interno e externo
	3.5 Performance de processos relacionados com flexibilidade de operação	Dados de mudanças ou variações no processo de trabalho
4. Aprendizado e Crescimento	4.1 Performance de inovação digital	Inovações nos projetos e processos
	4.2 Performance dos colaboradores	Contribuição da equipe no processo de trabalho e desenvolvimento pessoal

Fonte: Van Looy e Shafagatova (2016).

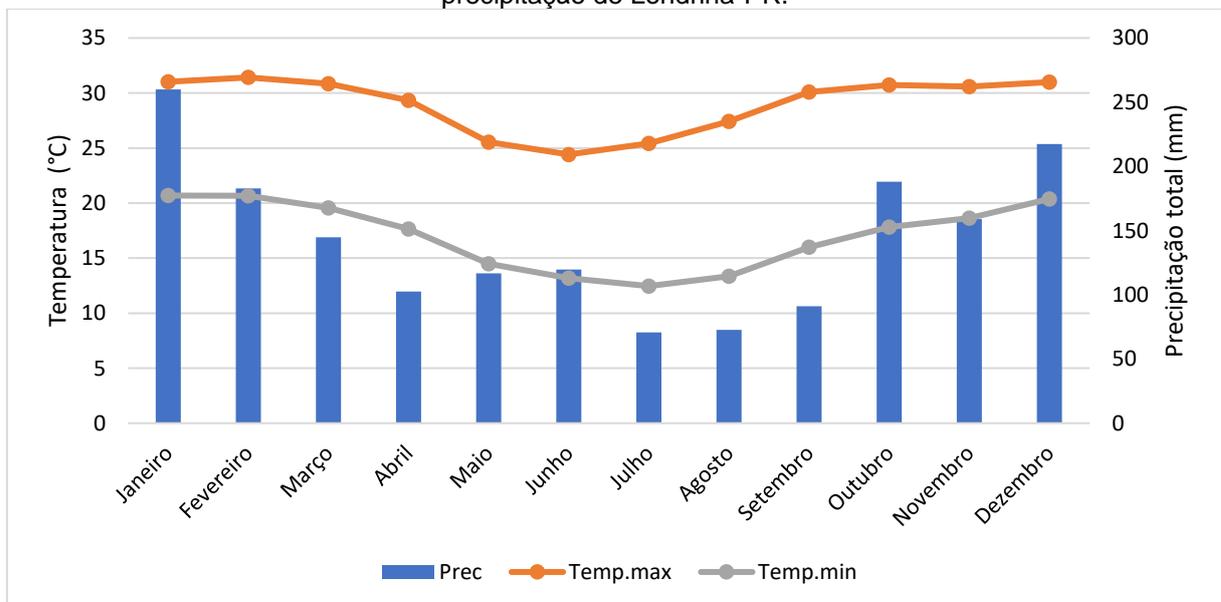
## 4 METODOLOGIA

A realização desta pesquisa está associada ao Termo de Cooperação 001/2021 entre a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) com a Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização de Londrina (CMTU-LD), responsável pela Central de Tratamento de Resíduos do município de Londrina. O Termo de Cooperação permitiu o desenvolvimento da pesquisa a partir do acesso à CTR, coleta de dados e informações pertinentes à proposta.

### 4.1 Caracterização da área de estudo

O município de Londrina está localizado ao norte do Paraná e conta com 569.377 habitantes (IBGE, 2020). O clima da região é classificado como temperado, com temperaturas variando aproximadamente de 30°C nos meses de verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março) e 12°C nos meses de inverno (junho, julho, agosto e setembro). Na Figura 3 está evidenciado o climograma de Londrina, com dados de médias mensais de janeiro de 2010 a dezembro de 2020 (INMET, 2021).

Figura 3 - Variações mensais (dados de 2010 a 2021)) das temperaturas máximas, mínimas e precipitação de Londrina-PR.



Fonte: da autora (INMET, 2021)

Londrina possui 54 bairros com coleta porta-a-porta de RSU, abrangendo 100% do seu território. Além disso, desde 2011 a cidade conta com coleta seletiva de materiais recicláveis, que também contempla 230.095 domicílios (CMTU, 2021c) Atualmente, existem sete cooperativas de materiais recicláveis em Londrina: Cooper Região, Cooperoeste, Coopernorth, Cooper Refum, Ecorecin, Coocepeve, Coopermudança (CMTU, 2021a). Adicionalmente, também desde 2011, Londrina conta com uma coleta diferenciada no quadrilátero central (região central da cidade), onde os resíduos orgânicos são recolhidos às segundas, quartas e sextas-feiras, os rejeitos às terças, quintas e sábados, e os recicláveis uma vez por semana (CMTU, 2021b)

A Central de Tratamento de Resíduos de Londrina (CTR – Londrina) está localizada na rodovia João Alves da Rocha Loures - PR 218 km 176, distrito de Maravilha, em Londrina – PR a 30 km da região central da cidade (Figura 4).

Figura 4 – Localização da Central de Tratamento de Resíduos (CTR) de Londrina



Fonte: da autora (Google Earth, 2021)

A CTR – Londrina possui uma área total de 72 hectares com 4 células finalizadas, 1 célula em operação e 1 célula em construção (Figura 5 e Figura 6) até o momento de publicação desta pesquisa. O local conta também com 5 lagoas de acumulação de lixiviado, com capacidade para 15.000m<sup>3</sup> e (Figura 7A), 4 barracões de compostagem (Figura 7B) e 82 *flares* dispostos nas células desativadas e em operação (Figura 8).

Figura 5 – CTR Londrina e indicação da célula em operação, célula em construção, barracões de compostagem e lagoas de lixiviado



Fonte: Google Earth, 2021.

Figura 6 – Construção na nova célula na CTR – Londrina



Fonte: da autora (2021)

Figura 7 – (A) Lagoas de lixiviado; (B) Barracões de compostagem



Fonte: da autora (2021)

Figura 8 - Queimadores dispostos na CTR - Londrina



Fonte: da autora (2021)

A CTR – Londrina é operada por uma empresa privada, conforme estabelecido pelo Processo Administrativo nº 803/2018 e contrato 013/2018, a contratação de empresa para execução dos serviços de: a) operação, manutenção e monitoramento; b) prestação de serviço do galpão de compostagem; c) prestação de serviço de operação e manutenção das lagoas de armazenamento de chorume (JORNAL OFICIAL..., 2018).

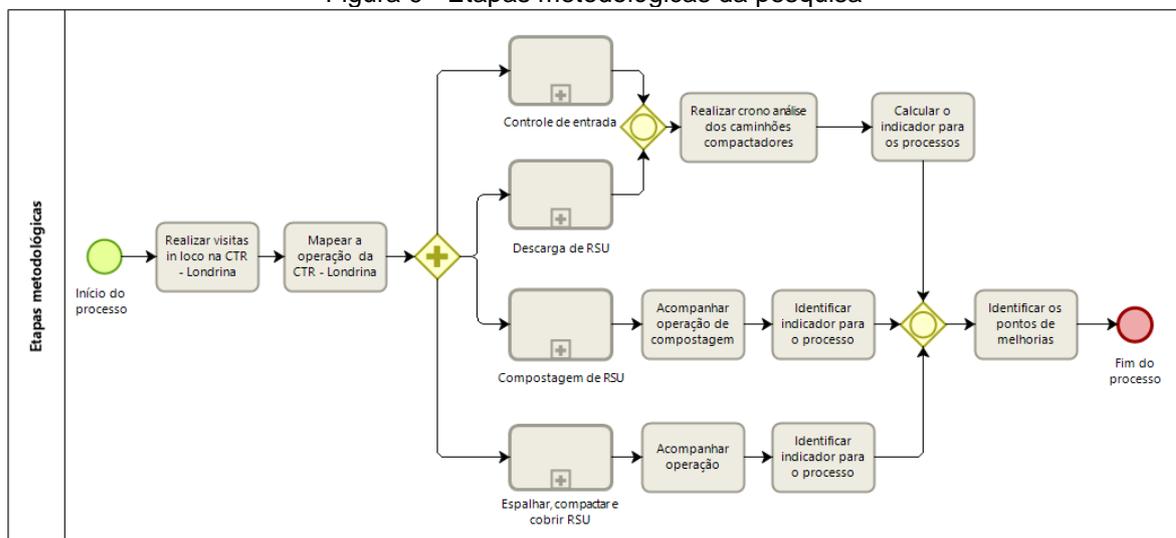
A CTR – Londrina está licenciada para receber resíduos de Classe IIA do município de Londrina e os distritos (Espírito Santo, Irerê, Guaravera, Lerroville, Maravilha, São Luiz, Paiquerê e Warta). Diariamente recebe, em média, 411 toneladas de RSU, com variações no fluxo de recebimento de RSU ao longo da semana. A CTR – Londrina também opera no período noturno. A coleta de RSU no município de Londrina conta com 16 caminhões para coleta domiciliar e 1 caminhão de coleta de rejeito das cooperativas de materiais recicláveis.

#### 4.2 Plano de trabalho

As etapas da pesquisa estão evidenciadas na Figura 9. A pesquisa iniciou-se com a coleta de dados e informações por meio de visitas *in loco* na CTR – Londrina, para o acompanhamento da operação do aterro sanitário. A partir da coleta de informações, iniciou-se o mapeamento dos processos operacionais da CTR –

Londrina. O mapeamento dos processos aconteceu paralelamente, conforme a operação da CTR – Londrina acontecia. O mapeamento dos processos foi realizado utilizando o software Bizagi (CHINOSI e TROMBETTA, 2012) e seguindo a padronização BPMN (ISO/IEC, 2013). Após os processos mapeados, iniciou-se a realização da crono análise para o desenvolvimento dos indicadores para os processos de controle de entrada e descarga de RSU. Depois, as melhorias foram identificadas, contemplando aspectos de infraestrutura, equipamento, alocação de mão de obra, atendimento com legislação vigente, entre outros.

Figura 9 - Etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: da autora (Bizagi, 2020)

#### 4.2.1 Coleta de dados

As visitas na CTR – Londrina para coleta de dados foram iniciadas em fevereiro de 2021, e terminaram em maio de 2021, totalizando 8 visitas, conforme evidenciado no Quadro 5. As visitas tiveram como objetivo principal acompanhar a operação do aterro sanitário, conversar com a equipe e coletar informações a respeito dos processos operacionais lá desenvolvidos. No Quadro 5 estão descritas as atividades desenvolvidas em cada dia de visita à CTR – Londrina.

Quadro 5 - Descrição das visitas realizadas na CTR - Londrina

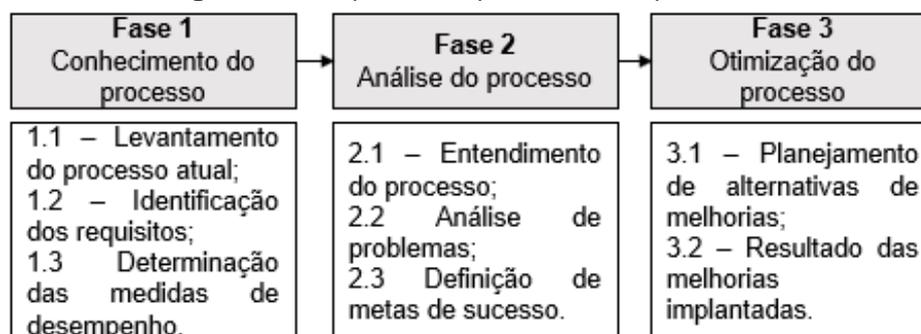
<b>Dia da visita</b>	<b>Temperatura diária média e precipitação (INMET, 2021)</b>	<b>Atividades desenvolvidas</b>
26/02/2021	24,2°C, 2,2 mm	Coleta de informações gerais e acompanhamento da operação
05/03/2021	21,88 °C, 17,1mm	Coleta de informações gerais e acompanhamento da operação
12/03/2021	26,36 °C, 0mm	Mapeamento dos processos de Controle de Acesso, início da crono análise de descarga e acompanhamento da chegada de mudas de árvores
26/03/2021	26,68 °C, 0mm	Validação do mapeamento do processo de "Controle de Acessos" na CTR, coleta de dados de crono análise de descarga
09/04/2021	24,24 °C, 0mm	Conversa com colaborador para relatar o histórico do aterro; Mapeamento da compostagem e outros processos
16/04/2021	21,68 °C, 0mm	Coleta de informações sobre compactação; apresentação de resultados preliminares ao responsável; acompanhamento de um vazamento de lixiviado
03/05/2021	22,72°C, 0mm	Coleta de dados para crono análise, acompanhamento da operação
04/05/2021	22,44 °C, 0mm	Coleta de dados para crono análise, acompanhamento da operação

Fonte: da autora (2021)

#### 4.2.2 Mapeamento dos processos

O mapeamento dos processos de operação de aterros sanitários seguiu a metodologia proposta por Pereira Jr (2010). A metodologia de Pereira Jr (2010) buscou identificar um método de otimização de processos de micro e pequenas empresas que não tinham familiaridade com a gestão por processos. O autor propõe, então, o método de gerenciamento por processos de três fases com oito etapas, conforme evidenciado na Figura 10 (PEREIRA JR, 2010).

Figura 10 – Etapas do mapeamento dos processos



Fonte: Adaptado de Pereira Jr (2010)

Nesta pesquisa foram realizadas as Fases 1 e 2 (Conhecimento e Análise dos Processos, respectivamente). A Fase 3 foi realizada até a etapa 3.1, onde foram identificadas oportunidades de melhorias ao longo do mapeamento dos processos da CTR - Londrina. A última etapa (3.2 resultado das melhorias implantadas) não foi realizada, pois as melhorias propostas não foram implementadas no tempo de desenvolvimento desta pesquisa. Porém, as sugestões de pontos de melhorias e sua implantação ficam como oportunidades para desenvolvimento de trabalhos futuros na CTR – Londrina.

- **Fase 1:** Conhecimento do processo

Etapa 1.1: Levantamento do processo atual: especificar início, fim, missão do processo em estudo.

Etapa 1.2: Identificação dos requisitos do processo: determinar os requisitos, necessidades e recursos necessários para atender ao processo.

Etapa 1.3: Determinação das medidas de desempenho: determinar indicadores de desempenho para monitorar o processo mapeado.

- **Fase 2:** Análise do processo

Etapa 2.1: Entendimento do processo: entender como o processo é executado na prática e os problemas identificados.

Etapa 2.2: Análise de problemas: determinar a causa-raiz do problema

Etapa 2.3: Definição de metas de sucesso

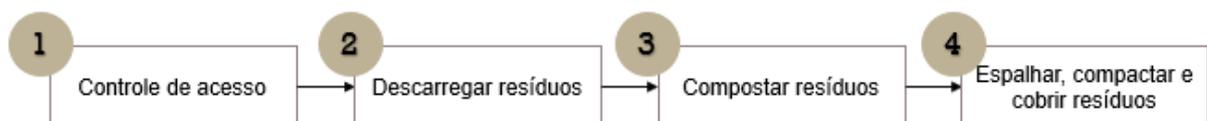
- **Fase 3:** Otimização do processo

Etapa 3.1: Planejamento de alternativas de melhorias: identificar pontos de melhorias ao longo dos processos, sejam eles melhorias operacionais, administrativos ou legais.

Etapa 3.2: Resultado das melhorias implantadas.

O mapeamento dos processos operacionais da CTR – Londrina compreenderam os processos identificados na Figura 11. Os pontos de melhorias foram identificados a partir da execução da Fase 2: Análise do Processo.

Figura 11 – Processos mapeados na CTR – Londrina.

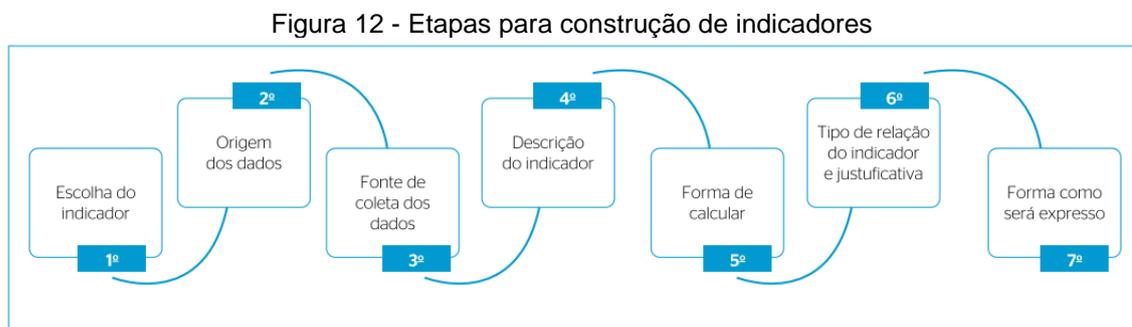


Fonte: da autora (2021)

### 4.2.3 Estabelecimento de indicadores

O estabelecimento de indicadores é uma importante etapa para garantir a eficiência do gerenciamento por processos. Para cada processo mapeado a partir do acompanhamento da operação do aterro sanitário, foi estabelecido um indicador com o objeto de monitorar a performance do processo. Os indicadores sugeridos fornecem uma estrutura para o acompanhamento do fluxo do processo (ABPMP, 2013, P. 213).

A proposta metodológica de elucidar a relação dos indicadores com os processos mapeados é baseada na metodologia de Pereira, Curi e Curi, (2018), conforme evidenciado na Figura 12.



Fonte: Pereira, Curi e Curi, (2018)

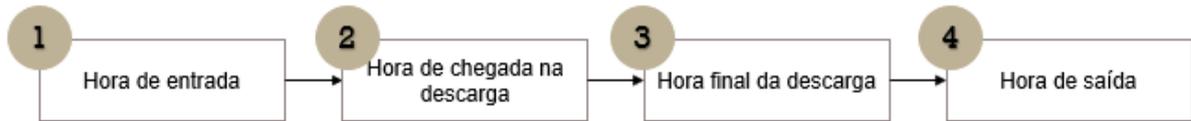
#### 4.2.3.1 *Estudo de Crono análise dos caminhões*

Foi realizada uma crono análise dos tempos de entrada, descarregamento e saída dos caminhões compactadores de descarga da coleta municipal de Londrina. O estudo foi conduzido no período da manhã (entre 9h e 11h30) e em dias da semana alternados (segunda, terça e sextas-feiras). Nas segundas e terças feiras são os dias da semana em que se observa maior tráfego de caminhões para descarga na CTR – Londrina.

Para realização da crono análise, estabeleceu-se quatro cenários de medição do tempo (Figura 13): (1) chegada do caminhão à CTR – Londrina (horário de entrada), (2) Hora de chegada na descarga; (3) Hora de finalização da descarga (até caminhão travado); (4) Hora de saída. A partir dessas medições, foi possível extrair dois indicadores: *tempo de ciclo*, correspondente ao tempo total de cada caminhão na CTR – Londrina, calculado a partir do cenário (4) menos cenário (1); e

*tempo de descarregamento*, calculado a partir do cenário (3) menos cenário (2), seguindo a metodologia proposta por Owusu-Nimo *et al.* (2019).

Figura 13 - Fluxograma das etapas de medição de crono análise de caminhões de RSU na CTR - Londrina



Fonte: da autora (2021)

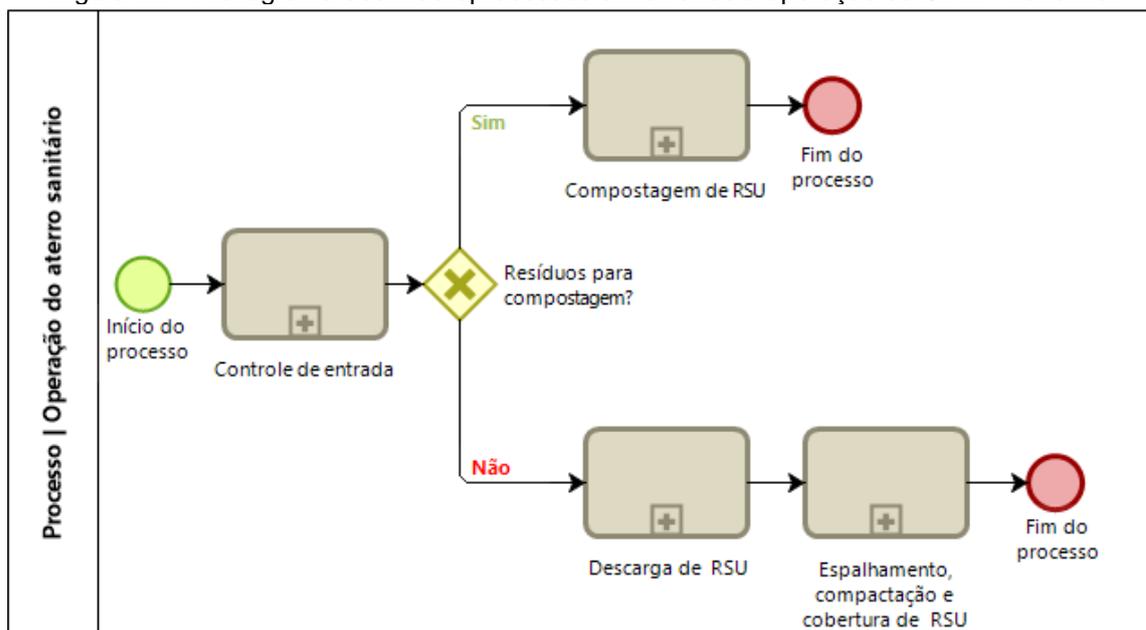
Desse modo, o tempo de ciclo refere-se ao tempo total em que o caminhão permanece na CTR – Londrina, e o tempo de descarregamento refere-se ao momento em que o caminhão chega à frente de operação e até o momento em que ele deixa a frente de operação. Foi verificado também os horários de pico de entrada de caminhões.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados obtidos a partir do mapeamento dos processos operacionais realizados na CTR – Londrina.

A gestão de uma organização por processos apresenta como foco principal a melhoria contínua (PEREIRA JR, 2010) e inicia-se a partir do mapeamento dos macroprocessos. Para a CTR – Londrina, os macroprocessos identificados ao longo da operação são (Figura 14): Acessos: correspondente ao controle de acessos ao aterro sanitários. Depois, os resíduos podem ser encaminhados para duas finalidades: descarga na célula em operação ou barracões de compostagem, correspondendo aos processos descarregar RSU e compostar RSU, respectivamente. Após a descarga na célula, os resíduos são espalhados, compactados e cobertos, seguindo ao final do processo.

Figura 14 – Fluxograma dos macroprocessos envolvendo a operação da CTR – Londrina.



Fonte: da autora. Bizagi (2020)

Nos próximos tópicos serão apresentados os fluxos de processos mapeados em detalhe para cada macroprocesso identificado, bem como os indicadores para cada cenário e propostas de melhorias para gestão eficiente de aterros sanitários.

## 5.1 Controle de entrada

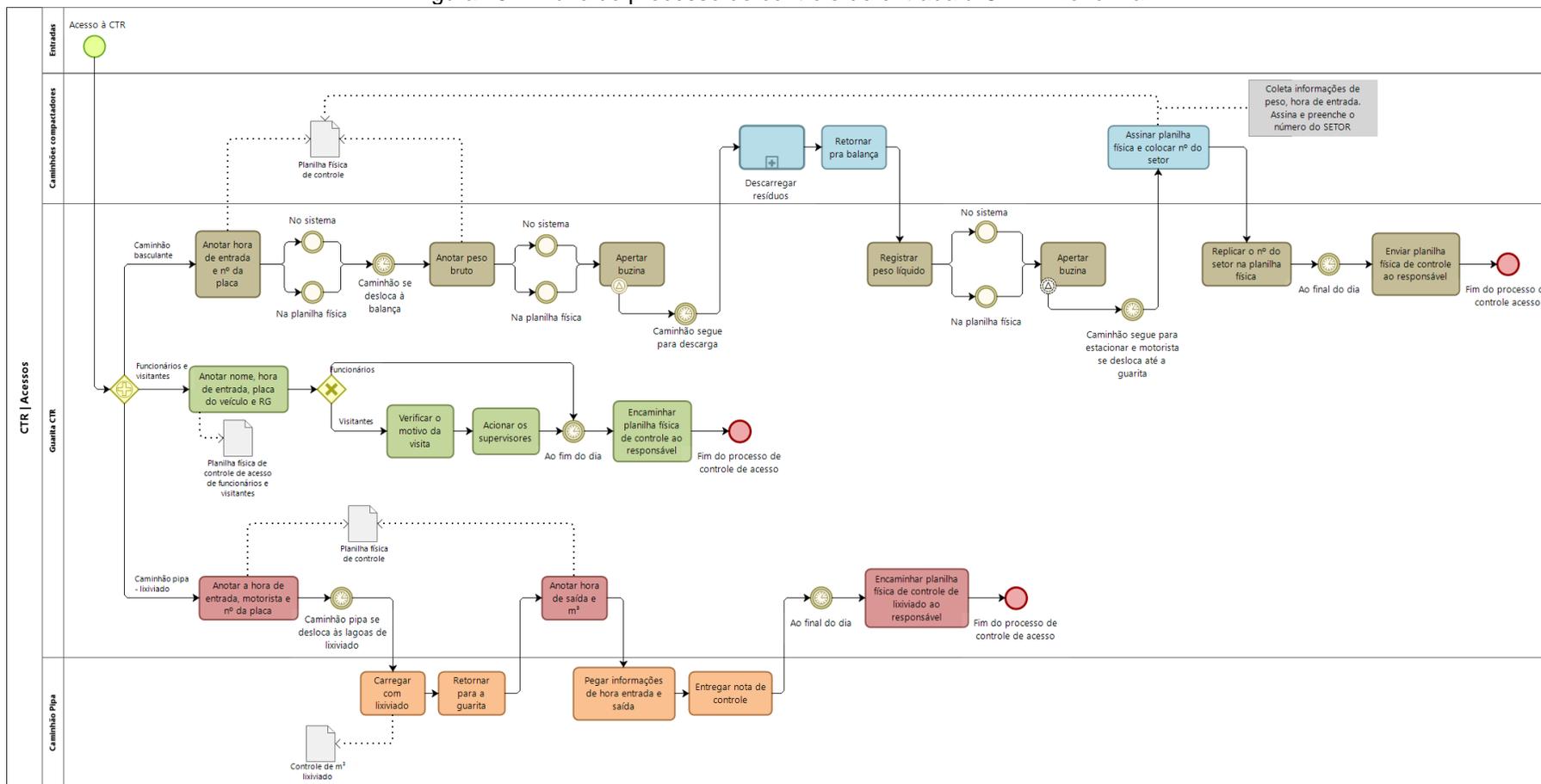
O controle de acesso à CTR – Londrina está demonstrado na Figura 15. A entrada na CTR – Londrina ocorre majoritariamente em três maneiras: caminhão compactador de descarga proveniente da coleta municipal, funcionários e visitantes, e caminhão pipa para recolher o lixiviado e encaminhá-lo para tratamento. O fluxo mapeado e evidenciado na Figura 15 mostra as atividades executadas em cada uma dessas opções de entrada.

Para a entrada do caminhão compactador, o colaborador da guarita faz a anotação em planilha física (papel) de informações de controle de acesso e o sistema de balança rodoviária registra a hora de entrada e o peso bruto. A guarita então emite um sinal sonoro (buzina) que indica que o caminhão compactador está liberado para seguir até o local de descarga. Em seguida, o caminhão descarrega os resíduos (subprocesso identificado no fluxo e explicado em maiores detalhes na subseção 5.3) e retorna para a balança, sendo registrado a hora de saída e peso da tara (caminhão vazio). Após o registro do peso líquido, o caminhão compactador é, então, estacionado e o motorista se desloca até a guarita para preenchimento de controle.

No que diz respeito às atividades executadas para entrada de visitantes, o controle é realizado por meio de coleta de informações e preenchimento em planilhas físicas. Para o caminhão pipa de coleta de lixiviado, o controle segue o mesmo, porém com anotações e emissão de recibos informando o volume de lixiviado retirado.

O controle de entrada em aterros sanitários é um processo que deve ser realizado cuidadosamente com o objetivo de garantir que os resíduos recebidos de fato correspondam àqueles que foram estabelecidos no projeto no aterro sanitário. De acordo com Berge *et al.*, (2018), os tipos de resíduos permitidos devem estar contidos em uma lista e disponibilizados no local do aterro sanitário como parte do manual de operação. De modo a evitar problemas de operação devido às diferentes tipologias de resíduos, aconselha-se uma checagem na entrada e no local de descarga para detectar possíveis componentes escondidos que podem vir a ocasionar acidentes ou dificultar a operação (BERGE *et al.*, 2018).

Figura 15 – Fluxo do processo de controle de entrada à CTR – Londrina.



Fonte: da autora (Bizagi, 2020)

Tchobanoglous e Kreith (2002, p. 741), afirmam que a sofisticação dos locais de entrada de aterros sanitários vai depender da quantidade de caminhões recebidos por hora e o tamanho da sua operação. Tendo em vista que a CTR – Londrina recebe RSU proveniente da coleta municipal de Londrina e distritos, os resíduos recebidos, em teoria, não apresentam periculosidade. Contudo, a falta de estudos científicos tanto da composição gravimétrica dos resíduos aterrados em Londrina em diferentes idades dificulta atestar se os resíduos recebidos de fato correspondem somente à Classe IIA, como projetado.

Pensando no controle de acessos em aterros sanitários que recebem resíduos sólidos de outras classificações, a partir de 2021 tornou-se obrigatório, por meio da Portaria do Ministério do Meio Ambiente, nº 280, de 29 de junho de 2020 (MMA, 2020b), a emissão do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR). O MTR tem por objetivo fornecer maior controle e rastreabilidade da massa de resíduos, desde sua geração até destinação final em território nacional. O MTR constitui uma forma de controlar e certificar as entradas de resíduos sólidos nos locais de disposição final.

De modo geral, o controle da entrada e acessos da CTR – Londrina funciona de maneira satisfatória, com alguns pontos de melhorias identificados, conforme evidenciado no Quadro 6.

Quadro 6 – Pontos de melhorias identificados ao longo do acompanhamento da operação da CTR - Londrina

<b>Pontos de melhorias</b>	<b>Proposta</b>
Coleta de informações pessoais para liberação de acesso	Adequar a coleta, armazenagem e exclusão das informações pessoais de acordo com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD, Lei nº 13.709/2018)
Coletas de informações dos visitantes para acesso à CTR	Ter um banco de dados no sistema com as informações pertinentes para liberação de acesso ao visitante recorrente
Preenchimento e controle manual dos motoristas de informações a respeito da descarga de RSU	Implantação de sistema de biometria com impressão automática de ficha de controle de descarga de RSU, contendo hora de entrada e saída, peso bruto e líquido e setor ao qual corresponde o caminhão/veículo)
Implantação de relatório gerenciais	Desenvolver relatórios extraídos do sistema para verificar temporadas de picos e sazonalidades, alocação de mão de obra, variação da quantidade de resíduos recebido para gestão da equipe interna
Indicadores de desempenho do processo	Estabelecer indicador de tempo/ciclo para controlar o tempo total em que os caminhões permanecem no aterro sanitário

Fonte: da autora (2021)

A Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD, Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018) aplica-se para qualquer pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, e visa garantir a segurança dos dados pessoais e privacidade do titular dos dados. Conforme identificado no período de mapeamento das atividades operacionais na CTR – Londrina, foi verificada a coleta de informações dos pessoais dos visitantes ao aterro sanitários. Desse modo, para que a CTR – Londrina esteja de acordo com a legislação vigente, é proposto a adequação à LGPD como um ponto de melhoria. Os cuidados adotados envolvem informar ao titular dos dados o contexto da coleta e o tratamento das informações (BRASIL, 2018).

Ademais, as propostas identificadas visam adequar a CTR – Londrina quanto à legislação atual, diminuir retrabalhos, como por exemplo no preenchimento de planilhas físicas de controle e sistema, e deslocamento dos motoristas da coleta, além de controlar o processo por meio do indicador.

#### 5.1.1 Indicador para o processo Controle de Entrada

Pensando em escalabilidade e eficiência no recebimento de resíduos, o indicador proposto para acompanhamento do processo de Controle de Acessos é o tempo de ciclo (*lead time*) dos caminhões compactadores dentro do aterro sanitário (Tabela 2). O controle de tempo de ciclo é um indicador abordado por Van Looy e Shafagatova (2016) que apresenta relevância na literatura científica e é aplicado nos processos produtivos de diversos segmentos a fim de averiguar o tempo gasto para execução de determinada atividade, tempo de resposta e tempo de espera.

No exemplo prático na CTR – Londrina, conforme dados da Tabela 2, o tempo de ciclo dos caminhões de descarga de RSU é, em média, 10 minutos. A quantidade de RSU descarregados é de 8.817kg, em média, por caminhão. Os resultados obtidos por Owusu-Nimo *et al.*, (2019) para diferentes categorias de veículos que descarregam no aterro sanitário estudado estão entre 6 e 8 minutos, aproximadamente.

De fato, o tempo destinado à descarga de resíduos é maior, entretanto melhorias estão sendo propostas para otimizar o tempo gasto do caminhão compactador no aterro sanitário. Um exemplo é a utilização de tecnologias que visam diminuir o número de atividades do motorista (verificado na Figura 15), poupando tempo na descarga e otimizando o trabalho. A adoção de um sistema mais automático

de validação de informações de descarga, por exemplo, em que não necessita estacionar e deslocar o caminhão até a guarita, são ações que podem otimizar o tempo de ciclo.

Tabela 2 - Medições de tempo de permanência dos caminhões dentro do aterro sanitário

Data	Caminhão	Entrada (hora)	Saída (hora)	Tempo total no aterro	Peso entrada	Peso saída	Peso descarregado (kg)
26/03/2021	Caminhão 1	09:50	09:59	0:09:00	17.700	12.540	5.160
	Caminhão 2	09:51	10:03	0:12:00	16.310	11.480	4.830
	Caminhão 3	10:02	10:12	0:10:00	22.500	12.980	9.520
	Caminhão 4	10:15	10:24	0:09:00	17.430	11.540	5.890
	Caminhão 5	10:24	10:31	0:07:00	22.210	13.200	9.010
	Caminhão 6	10:55	11:05	0:10:00	25.100	12.940	12.160
	Caminhão 7	11:07	11:17	0:10:00	24.710	14.180	10.530
09/04/2021	Caminhão 8	10:01	10:10	0:09:00	22.240	13.160	9.080
	Caminhão 9	10:22	10:32	0:10:00	18.430	11.720	6.710
03/05/2021	Caminhão 10	09:22	09:31	0:09:00	21.510	14.370	7.140
	Caminhão 11	09:25	09:37	0:12:00	19.530	13.140	6.390
	Caminhão 12	09:34	09:44	0:10:00	22.310	14.280	8.030
	Caminhão 13	09:39	09:47	0:08:00	20.480	11.750	8.730
	Caminhão 14	09:51	10:00	0:09:00	21.140	13.880	7.260
	Caminhão 15	09:59	10:09	0:10:00	24.190	14.150	10.040
	Caminhão 16	10:03	10:15	0:12:00	20.610	11.620	8.990
	Caminhão 17	10:05	10:17	0:12:00	25.260	13.200	12.060
	Caminhão 18	10:14	10:26	0:12:00	19.330	13.210	6.120
	Caminhão 19	10:20	10:30	0:10:00	18.770	11.520	7.250
	Caminhão 20	10:35	10:43	0:08:00	22.720	13.120	9.600
	Caminhão 21	10:49	10:56	0:07:00	21.820	13.420	8.400
	Caminhão 22	11:06	11:15	0:09:00	24.510	13.890	10.620
	04/05/2021	Caminhão 23	09:36	09:44	0:08:00	22.200	11.780
Caminhão 24		09:46	09:54	0:08:00	19.600	11.620	7.980
Caminhão 25		10:03	10:12	0:09:00	23.950	14.410	9.540
Caminhão 26		10:07	10:16	0:09:00	23.610	13.180	10.430
Caminhão 27		10:09	10:20	0:11:00	20.840	11.810	9.030
Caminhão 28		10:11	10:24	0:13:00	23.310	13.150	10.160
Caminhão 29		10:17	10:28	0:11:00	24.760	13.240	11.520
Caminhão 30		10:26	10:36	0:10:00	23.630	14.370	9.260
Caminhão 31		10:26	10:40	0:14:00	25.070	14.060	11.010
Caminhão 32		10:27	10:43	0:16:00	22.780	12.700	10.080
Caminhão 33		10:45	10:53	0:08:00	22.160	13.420	8.740
Caminhão 34		11:02	11:11	0:09:00	19.460	11.370	8.090
Média				00:10:00			8.817,06
Des. P.				00:01:59			1.884,84

Fonte: da autora (2021)

O cenário da coleta de RSU compreende duas fases, segundo Son e Louati (2016): 1. Coleta de RSU nas ruas com disposição em montes; 2. Caminhão de coleta passa recolhendo os RSU amontoados e encaminha para descarga de RSU no aterro sanitário. Os autores elaboraram uma otimização de rota generalizada para diminuir as distâncias percorridas e o tempo de operação pelos caminhões de coleta. O tempo de ciclo de caminhões de descarga de RSU dentro dos aterros sanitários tem sua

relevância quando se considera a otimização de rotas de coleta de resíduos como um todo.

A avaliação de tempo de espera dos caminhões de descarga de RSU, filas, descarga, distância do aterro sanitário ao centro urbano, vai impactar diretamente a eficiência da coleta de RSU, tanto em termos logísticos quanto em impactos ambientais relacionados às emissões atmosféricas pela utilização de combustíveis fósseis. Como exemplo, Maimoun *et al.*, (2013) fizeram uma análise do ciclo de vida das emissões de gases do efeito estufa de veículos de coleta de resíduos e analisaram as emissões de diferentes tipos de combustíveis. Os autores sugerem a utilização de novos modelos de motores, designs avançados de transmissão e planejamento apropriado das rotas de coleta de RSU e calendários são importante fatores para eficiência do processo como um todo, desde a coleta de RSU até a disposição final.

A partir do processo de controle de entrada mapeado e do indicador identificado para monitorá-lo, torna-se mais fácil identificar em qual momento os caminhões levam mais tempo dentro do aterro sanitário, desde sua chegada até saída, e qual a causa mais provável para atrasos. Em posse dessas informações, os gestores são capazes de propor soluções diretamente ao problema identificado, resultando, assim, em maior eficiência das operações.

## **5.2 Compostagem de RSU**

O processo de compostagem de RSU na CTR – Londrina não tem um padrão de início bem estabelecido. Durante o período de coleta de dados não foi observado compostagem de RSU recém coletado, por isso, o processo mapeado é baseado nas informações repassadas pelos funcionários do aterro sanitário (Figura 16) e encontra-se em sua forma mais macro.

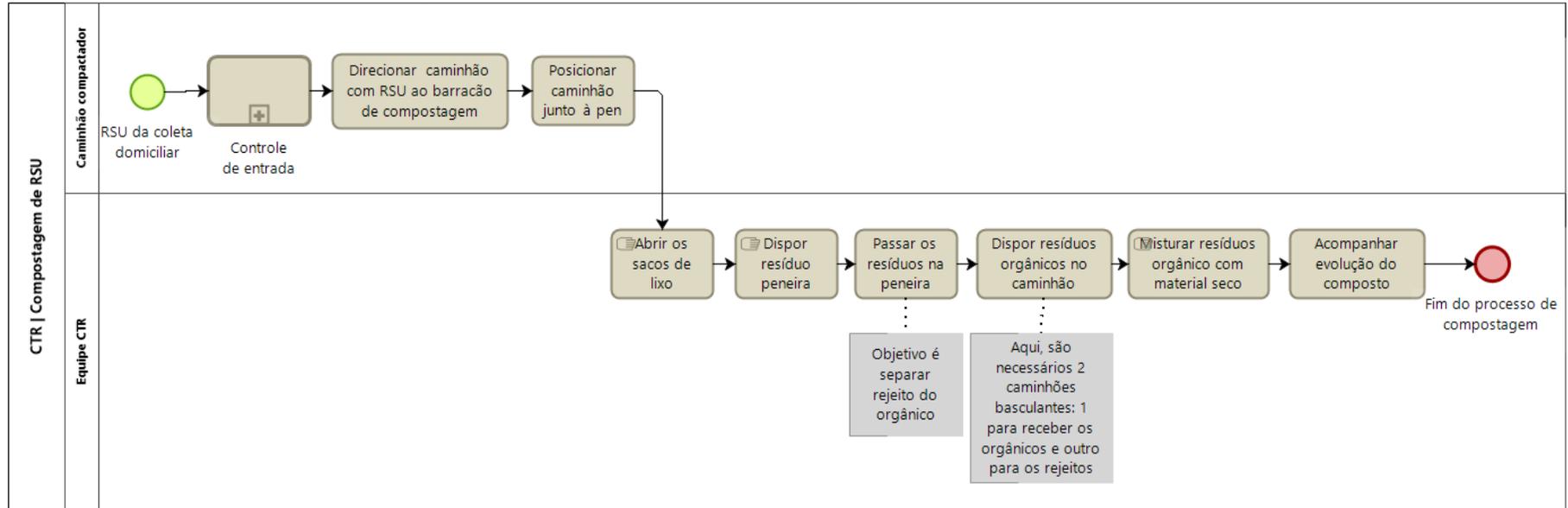
O processo evidenciado na Figura 16 corresponde ao cenário atual da CTR – Londrina. O processo se inicia com a chegada dos caminhões compactadores provenientes da coleta de RSU domiciliar e, após passar pelo processo de Controle de Acesso, o caminhão de coleta é direcionado ao barracão de compostagem. A decisão de iniciar a compostagem acontece quando a operação se encontra prejudicada pelas chuvas ou quando há diminuição da demanda, como baixo fluxo de caminhões para descarga de RSU. A próxima atividade ocorre quando o caminhão é

posicionado junto à peneira e, a partir de então, se iniciam as atividades manuais. Primeiramente, os sacos de lixo são abertos de forma manual, utilizando ferramentas como pás e enxadas, e o resíduo é disposto em uma esteira que o encaminha para a peneira. O objetivo em passar pela peneira é separar o rejeito do orgânico. Os resíduos orgânicos então são encaminhados para um caminhão basculante e os rejeitos para outro. Os rejeitos seguem para serem aterrados e os resíduos orgânicos são misturados com material seco (poda de árvores do município). Após essa etapa, a equipe acompanha a evolução do composto.

O processo de compostagem que ocorre atualmente na CTR – Londrina apresenta alguns pontos de melhorias, conforme descritos no Quadro 7. O primeiro ponto identificado corresponde à falta de segregação na fonte dos resíduos orgânicos, recicláveis e rejeitos. Em teoria, a compostagem deveria acontecer a partir dos resíduos coletados na região central do município de Londrina. Contudo, a falta de um programa de educação ambiental e incentivo à segregação na fonte do município para população dificulta todo o processo de compostagem que é realizado na CTR – Londrina. Verificou-se um alto desprendimento de tempo de operação para separar pouca quantidade de material para compostar, e que, muitas vezes, apresenta baixa qualidade devido ao potencial de estar contaminado.

Outro ponto importante é que o maquinário disponível (esteiras e peneira) não deve ser utilizado para separação dos resíduos recém coletados, mas sim para o composto em si, após sua maturação, para retirada apenas de resíduos/rejeitos que por acaso permaneceram no processo de compostagem (como cacos de vidro, tampas de caneta, etc) e para padronizar a granulometria do composto. A utilização das esteiras e peneiras para resíduos recém coletados pode danificá-las e diminuir a vida útil desses equipamentos. Outro fator importante que torna a compostagem dificultosa para CTR – Londrina é o desprendimento de dois caminhões basculantes para coleta dos orgânicos e rejeitos, além do fato dos orgânicos chegarem embalados em sacos/sacolas plásticas não compostáveis.

Figura 16 – Fluxo do processo de compostagem de RSU na CTR – Londrina



Fonte: da autora (Bizagi, 2020)

Quadro 7 - Pontos de melhorias e propostas identificadas para o processo de Compostar RSU

Pontos de melhoria	Proposta
Falta de segregação na fonte dos resíduos coletados no município	Definir, junto ao município, um programa de Educação Ambiental na região do quadrilátero central de Londrina, para que haja segregação na fonte dos orgânicos e rejeitos (recicláveis, encaminhados para as cooperativas)
	Incentivar a utilização de sacolas compostáveis para os resíduos orgânicos, facilitando assim o processo de compostagem (TAIATELE JR <i>et al.</i> , 2020)
Não há critérios padronizados e controle para a realização da compostagem	Definir critérios operacionais para realização da compostagem (vezes na semana, quantidade de resíduos recebidos, % de resíduos orgânicos domiciliares e poda de árvores). Definir um procedimento padrão para a realização da compostagem
Compartilhamento de maquinários da operação do aterro para a compostagem	Disponibilizar maquinários exclusivos para compostagem, uma vez que, caso haja escalabilidade na realização da compostagem, haverá a necessidade equipamentos específicos para tal
Ausência de um indicador para o processo de compostagem	Implementar indicador para monitoramento da efetividade da compostagem

Fonte: da autora (2021)

É mostrado na Figura 17 as etapas de compostagem. Nesse caso, foi feito um acompanhamento do peneiramento do composto que já se encontra na CTR – Londrina. Para RSU frescos, a infraestrutura utilizada é a mesma da mostrada na Figura 17.

A dificuldade operacional para abertura manual das sacolas plásticas e retirada do conteúdo orgânico em seu interior, e também identificada ao longo do mapeamento, foi evidenciada pelo autor Taiatele JR. (2014), onde buscou-se estudar a biodegradabilidade de sacolas plásticas e bandejas de isopor por meio da compostagem. Mais especificamente, Taiatele JR. *et al.*, (2020) avaliaram a eficiência de biodegradação de biopolímeros, comparando com material de controle (sucralose) e embalagens convencionais. Tais estudos demonstram a importância de utilização de materiais biodegradáveis e os impactos positivos acarretados na compostagem. A partir da utilização de sacolas compostáveis e programas de incentivo à segregação na fonte, o processo de compostagem na CTR – Londrina seria otimizado e mais eficiente.

Figura 17 - Etapas de compostagem: (A) disposição do resíduo na esteira; (B) Passagem pela peneira e separação de orgânicos e rejeitos; (C) Caminhões basculantes necessários para o processo



Fonte: da autora (2021)

Park e Chertow (2014) argumentam que a falta de consciência da sociedade em não reutilizar certos materiais – ou não os disponibilizarem para reciclagem ou compostagem - ocorre justamente da falta de conhecimento a respeito das possibilidades e tecnologias disponíveis que permitem sua reutilização. O padrão de comportamento da sociedade mudará a partir do momento em que o “lixo” deixar de ser visto como algo que causa danos à saúde ou ao meio ambiente e que deve ser descartado e passa a ser visto como possível fonte de reutilização, sendo classificado como material secundário de potencial reuso (PARK e CHERTOW, 2014). Neste sentido, a PNRS (BRASIL, 2010) traz como objetivo a valoração econômica e social dos RSU (PNRS, art. 6º, inciso VIII) a partir do reconhecimento dos materiais como reutilizável. Aprofundando o olhar para a compostagem, no âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a PNRS (PNRS, Art. 36, inciso V), aborda sobre a implantação de sistemas de compostagem dos RS orgânicos, articulando formas de reutilização do composto gerado.

O estudo de Guerrero, Maas e Hogland (2013) buscou compreender os fatores que impactam na segregação de resíduos sólidos em residências. Os autores verificaram que o conhecimento limitado de tecnologias e boas práticas para o

gerenciamento de resíduos, além da falta de equipamentos para coleta de materiais e o desinteresse dos envolvidos dificulta a aplicação de programas para o desenvolvimento da gestão de resíduos sólidos. A análise dos componentes principais do estudo revelaram três principais fatores que impactam na separação dos resíduos (GUERRERO, MAAS e HOGLAND, 2013): *consciência*: a eficiência da separação dos resíduos depende da consciência dos envolvidos; *conhecimento*: os envolvidos com poder de tomadas de decisão são mais propensos a desenvolverem programas de separação de resíduos quando conhecem das tecnologias e boas práticas de gerenciamento de resíduos; *equipamento*: a disponibilidade de maquinários apropriados para tal influenciam na separação dos resíduos.

De acordo com os dados do SNIS - 2019 (MDR, 2020), verifica-se que o Brasil apresenta 73 unidades (pátio ou usina, Tabela 1) de compostagem, o que indica uma deficiência do país quanto ao engajamento dessa técnica de destinação final ambientalmente adequada. Do montante coletado de 65,1 milhões de toneladas de RSU, em 2019, estima-se que apenas 305 mil toneladas foram recebidas nas unidades de compostagem (MDR, 2020).

Tendo em vista os dados apresentados e considerando que a composição gravimétrica dos RSU no Brasil é predominantemente orgânica (45,3% de matéria orgânica) (ABRELPE, 2020), é possível afirmar que existe um campo promissor, porém ainda pouco explorado para o tratamento dos resíduos sólidos pela compostagem. O descarte dos resíduos misturados inviabiliza ações específicas para tratamento de cada tipo de resíduo e a segregação na fonte é muito importante. Pensando nesta perspectiva de segregação na fonte, Alkinade *et al.*, (2017) avaliaram os fatores de sucesso para o reaproveitamento de resíduos da construção civil a partir do design de “desconstrução”, e não demolição, de prédios. Tal atividade permite melhorar o reaproveitamento de resíduos a partir da segregação e manutenção das suas características (ALKINADE *et al.*, 2017).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020a) ressalta que ações regionalizadas visando o melhor aproveitamento dos diferentes tipos de resíduos são de extrema importância para a sustentabilidade da cadeia de gerenciamento de resíduos sólidos. Apesar de o município contar com iniciativas de compostagem dos resíduos orgânicos coletados na região central da cidade (KRECL *et al.*, 2021), a solução é ainda ineficiente uma vez que falta informação à população da região central

a respeito dos tratamentos aplicados aos resíduos e programa de Educação Ambiental incentivando a segregação na fonte.

### 5.2.1 Indicador para o processo de Compostar RSU

Os indicadores do processo de compostagem de RSU estão associados com as taxas per capita de resíduos coletados convertidos em compostos, capacidade de processamento das unidades de compostagem e relação de resíduos coletados com resíduos compostados (DA SILVA, PRIETTO e KORF, 2019). Pensando na realidade da CTR – Londrina e os indicadores avaliados por Da Silva, Prietto e Korf (2019), o indicador que mais se adere ao processo é a porcentagem total de resíduos coletados que é compostado em uma escala temporal determinada (por dia, por semestre, por ano), conforme Equação 1.

$$\frac{\text{Quantidade total de RSU compostado}}{\text{Quantidade de RSU coletado}} * 100 \quad (1)$$

Os indicadores referentes à compostagem devem ser preferencialmente de fácil aplicação e controle, uma vez que o processo se encontra com pouca expressividade no cenário atual brasileiro. De fato, em um estudo avaliando a aplicabilidade dos indicadores para o gerenciamento de resíduos sólidos em cidades do Rio Grande do Sul, não foi possível aplicar nenhum indicador relacionado ao tratamento de RSU, como a compostagem, devido à falta de informação disponível no SNIS-RS (DA SILVA, PRIETTO e KORF, 2019).

Outra métrica importante para auxiliar o controle da compostagem na CTR – Londrina é a avaliação do tempo em que o composto se encontra nos barracões de compostagem, bem como a realização de estudo de composição físico-química e microbiológica do composto visando sua utilização e possível comercialização. Uma pesquisa realizada por Souza *et al.*, (2020) identificou os parâmetros mais monitorados no processo de compostagem, sendo eles: pH, temperatura, C/N e umidade.

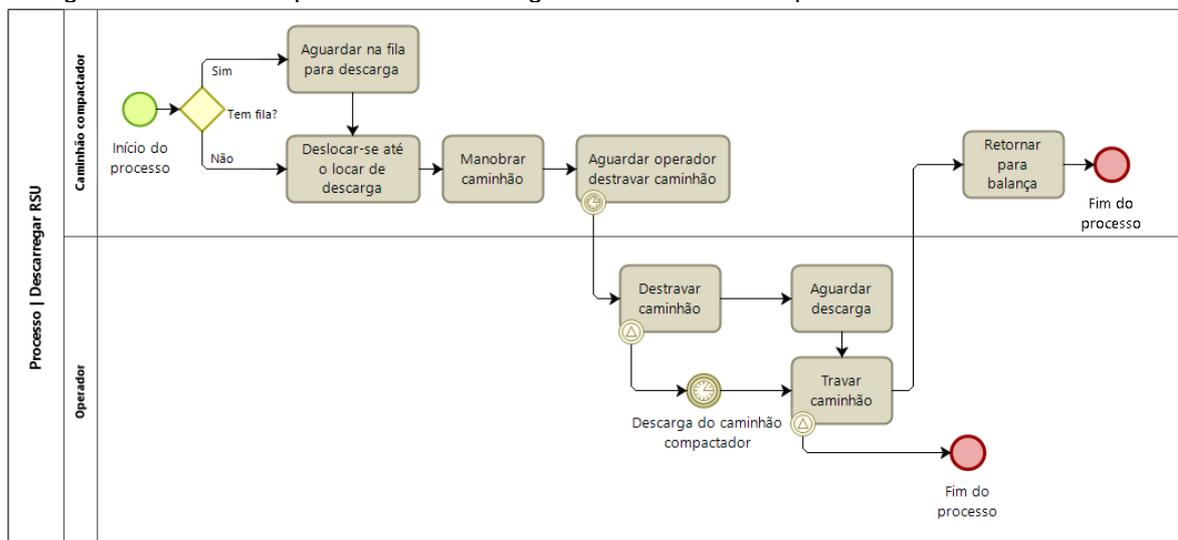
De modo a garantir a qualidade e a comercialização do composto gerado, deve-se seguir as regras sobre “definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos

biofertilizantes, destinados à agricultura” de acordo com a Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020 (MAPA, 2020).

### 5.3 Descarga de RSU

O processo de descarregar RSU na célula (na frente operacional) está evidenciado na Figura 18. O processo se inicia com a chegada do caminhão compactador na área de descarga; caso haja filas, o caminhão compactador aguarda. Após a entrada, o caminhão compactador é manobrado na frente operacional e destravado pelo operador de descarga, iniciando a descarga de RSU. Quando o caminhão compactador estiver totalmente descarregado, o operador trava-o após a parte traseira baixar, e sinaliza ao motorista, que segue para a saída do aterro sanitário.

Figura 18 – Fluxo do processo de descarga de RSU na frente operacional da CTR – Londrina



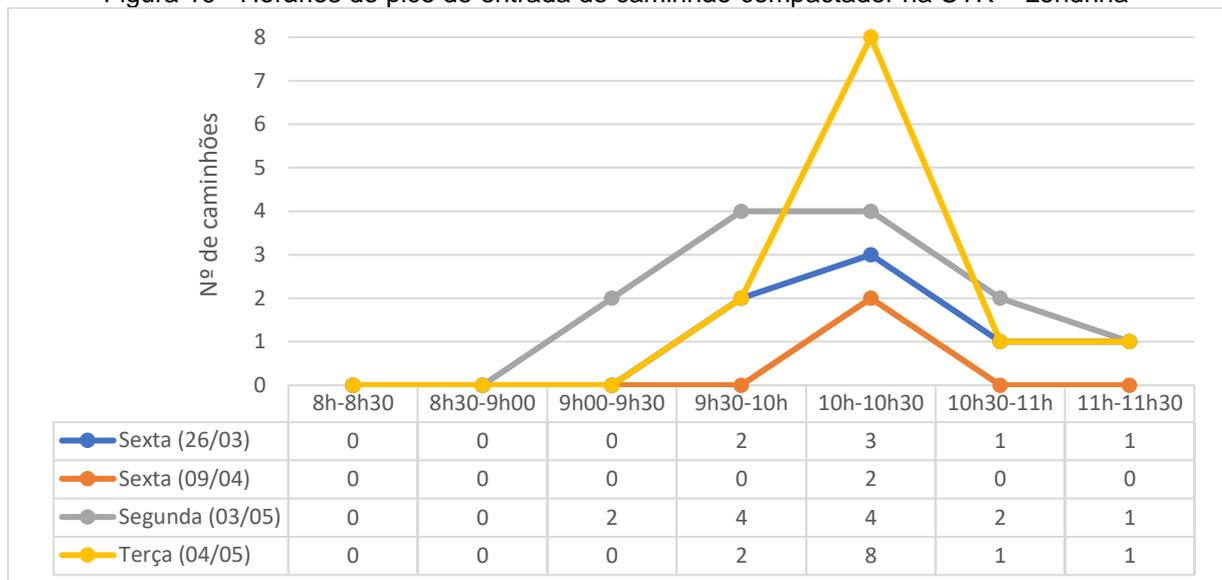
Fonte: da autora (Bizagi, 2020)

De acordo com a NBR 8419 (ABNT, 1992), no projeto de aterros sanitários deve constar o método de operação e a sequência de preenchimento das células. Portanto, o método de descarga dos resíduos é um importante fator a ser levado em consideração ao longo da vida útil do aterro sanitário, visto que a descarga dos resíduos de forma adequada garantirá uma otimização das máquinas que espalham e compactam os resíduos. Quando os resíduos são descarregados de forma aleatória, sem seguir um método padronizado, pode ocorrer retrabalhos da equipe em

desprendimento de máquina, tempo e mão de obra para transferir os resíduos até o local adequado de disposição para, então, iniciar o espalhamento e compactação.

Ao longo do mapeamento do processo de descarga de RSU, foi identificado alguns momentos de fila dos caminhões, em especial entre 10h e 10h30 (Figura 19), período da manhã com maior ocorrência de entrada de caminhões para descarga. O pico verificado ocorreu em uma terça feira, com a entrada de 8 caminhões entre 10h e 10h30.

Figura 19 - Horários de pico de entrada de caminhão compactador na CTR – Londrina



Fonte: da autora (2021)

De acordo com Tchobanoglous e Kreith (2002, p. 735), a área de descarga deve ser pequena, geralmente com largura de 30 metros, com locais separados para descarga de caminhões e outros tipos de veículos. Os autores também enfatizam a necessidade de se ter os padrões de tráfego, bem como a sequência de chegada dos caminhões no local.

O processo de descarregar resíduos em aterros sanitários demanda uma atenção especial visto o perigo associado ao tráfego de caminhões compactadores de resíduos, movimentação de pessoas e outras máquinas e equipamentos da operação. Por isso, o processo deve garantir a segurança dos colaboradores combinado ao desempenho da atividade. Ao longo do mapeamento do processo de descarregar RSU na célula (frente operacional), observou-se que a CTR – Londrina adota o método de descarga em linha, conforme evidenciado na Figura 20. Verificou-

se que existe um operador responsável por organizar as descargas, destravar e travar os caminhões compactadores.

Figura 20 – Área de descarga de resíduos na CTR - Londrina



Fonte: da autora (2021)

A descarga de resíduos na frente operacional apresentou alguns pontos críticos, como evidenciados no Quadro 8. O principal ponto identificado de criticidade no processo e merece atenção dos gestores do aterro sanitário é relacionado à segurança do operador que exerce a função de organizar as descargas.

Quadro 8 – Pontos de melhorias identificados para o processo de descarregar RSU

Pontos de melhorias	Proposta
Operador avisa que caminhão está pronto pra descarga com um sinal com a mão, logo, não é adequado para a segurança do operador	Aumentar a segurança dos operadores do aterro com a utilização de sinalizadores sonoros para avisar que o caminhão está destravado e pronto para descarga. Estabelecer um processo para a descarga, realizar treinamentos periódicos
Apenas um funcionário para descarga em cada turno. A presença de apenas 1 operador proporciona sobrecarga cognitiva, o que potencializa a ocorrência de riscos de acidentes de trabalho	Alocar um operador para realizar as destravas para evitar formação de filas e atraso na descarga
Ausência de indicadores aplicados na descarga	Controlar os tempos de ciclo da descarga para planejar escalabilidade do processo

Fonte: da autora (2021)

Os deslizamentos são apontados como a principal causa de acidentes em locais de disposição final de RSU, como os aterros sanitários e lixões, provocados, na maioria das vezes, por sistemas de drenagens verticais e horizontais de baixa qualidade (ABLP, 2019). Porém, além de causas geotécnicas, acidentes em aterros sanitários também podem acontecer devido à falta de processo bem estabelecido na operação. A descarga de RSU em aterros sanitários na frente operacional é um processo que requer especial cuidado e atenção dos envolvidos.

### 5.3.1 Indicador para o processo de descarregar RSU

O indicador de descarga de RSU na célula (frente operacional) está relacionado ao tempo em que um caminhão compactador leva para descarregar os RSU coletados. O indicador aqui estabelecido é o “tempo total de descarga”, e foi verificado um tempo, em média, de 4 minutos para descarregar, com desvio padrão de 1:49 min (Tabela 3). O valor observado encontra-se em concordância com o verificado por Owusu-Nimo *et al.*, (2019), de aproximadamente 4.25 minutos para descarga de resíduos em aterros sanitários.

Tabela 3 – Crono análise de tempo de descarga de cada caminhão, nos dias amostrados, na CTR – Londrina

Data	Caminhão	Tempo total de descarga
26/03/2021	Caminhão 1	00:03:00
	Caminhão 2	00:04:00
	Caminhão 3	00:03:00
	Caminhão 4	00:03:00
	Caminhão 5	00:01:00
	Caminhão 6	00:04:00
	Caminhão 7	00:03:00
09/04/2021	Caminhão 8	00:02:00
	Caminhão 9	00:03:00
03/05/2021	Caminhão 10	00:03:00
	Caminhão 11	00:06:00
	Caminhão 12	00:03:00
	Caminhão 13	00:03:00
	Caminhão 14	00:04:00
	Caminhão 15	00:04:00
	Caminhão 16	00:04:00
	Caminhão 17	00:07:00
	Caminhão 18	00:04:00
	Caminhão 19	00:05:00
	Caminhão 20	00:02:00
	Caminhão 21	00:04:00
	Caminhão 22	00:04:00
	Caminhão 23	00:03:00
04/05/2021	Caminhão 24	00:03:00
	Caminhão 25	00:04:00
	Caminhão 26	00:03:00
	Caminhão 27	00:05:00
	Caminhão 28	00:07:00
	Caminhão 29	00:05:00
	Caminhão 30	00:03:00
	Caminhão 31	00:08:00
	Caminhão 32	00:10:00
	Caminhão 33	00:03:00
	Caminhão 34	00:03:00
Média		00:04:00
Des. P.		00:01:49

Fonte: da autora (2021)

Estudos evidenciam fatores importantes para otimização de coleta de RSU levando em consideração alguns pontos como disposição/localização de lixeiras, otimização de tempos e rotas de coleta, custo, e emissão de carbono (HANNAN *et al.*, 2020) mas pouco é verificado na literatura análises mais robusta dos processos internos de aterros sanitários, como o tempo de descarga de caminhões compactadores, que, de certa forma, influenciarão toda a cadeia de gerenciamento de resíduos sólidos.

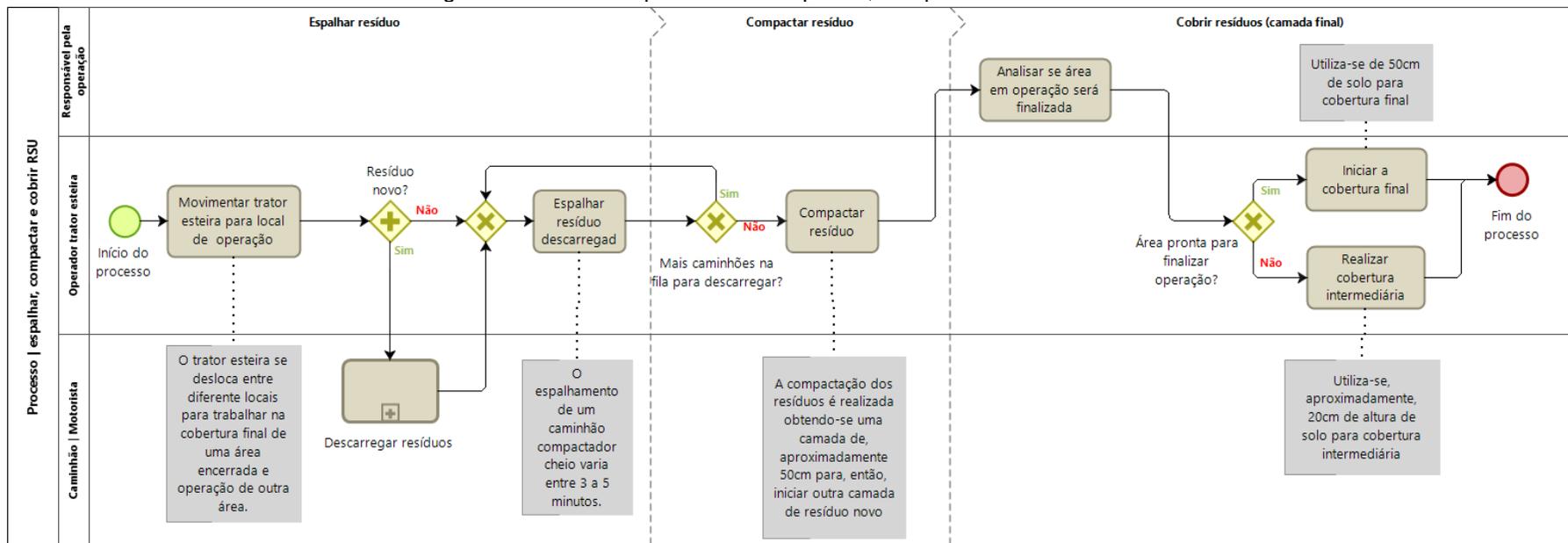
O tempo de descarga de resíduos é um fator importante que demonstra problemas que interferem nas atividades operacionais do aterro sanitário. Dificuldades de acessar a frente operacional pelas vias de acesso, problemas mecânicos com caminhões, pode levar a um atraso na descarga desses resíduos, gerando, conseqüentemente, aumento de filas e impactos na rota de coleta de RSU. Importante ressaltar que este indicador servirá, em dias de chuva, por exemplo, pra verificar as condições da descarga e acesso à frente de trabalho. Além disso, quando se pensa em escalabilidade da operação de aterros sanitários, quando mais otimizado esse indicador estiver, mais resíduos será capaz de receber.

A partir do indicador de tempo de ciclo do caminhão compactador no aterro sanitário (vide Tabela 2), e o tempo de descarregar os resíduos (vide Tabela 3), é possível verificar que 40% do tempo em que o caminhão compactador permanece no aterro sanitário é, de fato, descarregando os RSU na célula. Os outros 60% do tempo o caminhão compactador encontra-se em atividades que não agregam valor, como deslocamentos, filas e pesagem.

#### **5.4 Espalhamento, compactação e cobertura de RSU**

O último processo que abrange a operação de aterros sanitários é o espalhamento, compactação e cobertura final dos resíduos descarregados, um único processo contemplando as três etapas que ocorrem concomitantemente na operação. O processo com as três fases (espalhar, compactar e cobrir) encontra-se evidenciado na Figura 21. O espalhamento e compactação dos resíduos descarregados na CTR – Londrina é realizado conforme a experiência do operador. Foi verificado que o espalhamento dos RSU contidos em um caminhão compactador cheio leva em torno de 3 a 5 minutos, e a compactação é feita de forma cruzada, sem controle do número de passadas do trator esteira no resíduo.

Figura 21 – Fluxo do processo de espalhar, compactar e cobrir resíduos



Fonte: da autora (Bizagi, 2020)

A falta de controle e padronização das atividades operacionais de aterros sanitários também é verificada por Owusu-Nimo *et al.*, (2019), e é um problema quando não há registro formal de como a atividade deve ser executada na operação. De forma a otimizar a operação da CTR – Londrina e buscando compreender melhor o comportamento biológico dos resíduos ali depositados, sugere-se, de acordo com o Quadro 9.

Quadro 9 – Propostas de melhorias levantadas ao longo do mapeamento do processo de espalhar, compactar e cobrir resíduos

Pontos de melhorias	Proposta
Área exposta em duas frentes operacionais	Definir um plano de contingência para evitar áreas expostas que ocasionam presença de animais, liberação de gás e infiltração de água da chuva. As alternativas compreendem mantas ou lonas para recobrimento dos resíduos até sua cobertura com solo
Material documentado sobre a ligação dos drenos verticais de gases	Mapear os drenos verticais e suas ligações e deixar a documentação disponível para os envolvidos na operação
Acendimento manual dos queimadores de gás	Buscar alternativas e orçar cenários para acendimento automático dos operadores. Hoje o aterro possui 82 drenos e a perspectiva é aumentar.
Estudo para quantificação e qualificação do gás gerado no aterro	Realizar estudos visando dimensionar quantitativamente e qualitativamente os gases emitidos pelos drenos e pela camada de cobertura
Medição manual de vazão de lixiviado nas lagoas	Adaptar um sistema de medição de vazão automática visando mais acurácia e controle dos dados
Acompanhamento de indicadores de desempenho do processo para analisar o andamento da operação	Implantar indicadores de desempenho para os processos e fazer gestão do andamento da operação

Fonte: da autora (2021)

Foram identificadas as melhorias relacionadas às atividades que são executadas de forma manual, como a medição da vazão de lixiviado e o acendimento dos queimadores de gás, bem como o desenvolvimento de pesquisas a respeito dos subprodutos gerados no aterro sanitários, como a composição química e vazão de saída do biogás.

Estudos sobre concentrações de metais pesados em lixiviado, por exemplo, são de fundamental importância para indicar a presença de resíduos tóxicos no maciço de resíduos. Malvezzi *et al.*, (2019), verificaram a concentração de metais pesados como ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), chumbo (Pb), crômio (Cr) e relação desses metais com o pH no lixiviado de aterro sanitário do semiárido brasileiro

e a influência da recirculação nas concentrações desses metais. Os autores verificaram que a recirculação de lixiviado teve uma influência, especialmente, na diminuição dos níveis de Mn e Pb do efluente.

Visando ainda o reaproveitamento energético do biogás gerado em aterros sanitários, estudos que relacionem as condições intervenientes e o potencial bioquímico de metano em resíduos aterrados fomentam a discussão sobre o tema e subsidiam projetos assertivos no longo prazo (MARQUES JR, 2020).

Uma dificuldade de operação foi a ausência de um material informativo a respeito das conexões dos drenos verticais e horizontais. Tal questão é de especial importância quando se constata vazamento de lixiviado e entupimentos de drenos na célula ou bermas, conforme evidenciado na Figura 22. Para que o vazamento seja solucionado, é necessário retirar o solo contaminado e direcionar o lixiviado para os drenos, onde esses estão conectados até atingirem as lagoas de lixiviado. Porém, quando não se tem a informação sobre a conexão dos drenos, torna-se mais difícil analisar para onde o lixiviado deve ser direcionado. Ademais, a CTR – Londrina é operada por meio de contrato público-privada, e as empresas que a operam podem mudar conforme contrato e esse registro mantém o histórico de alterações no aterro sanitário.

Figura 22 – Vazamento de lixiviado observado ao longo do mapeamento dos processos operacionais



Fonte: da autora (2021)

#### 5.4.1 Indicador para o processo de espalhar, compactar e cobrir RSU

O processo de espalhar, compactar e cobrir resíduos é evidenciado em três fases que ocorrem concomitantemente no aterro sanitário. São propostos três

indicadores de desempenho de operação para esse processo que melhor represente cada fase da operação. Para o espalhamento, o indicador que relaciona quantas toneladas de RSU é espalhado por hora de operação fornece uma visão quantitativa da produtividade do aterro sanitário. Por meio de coleta de informações dos operados e estimativas iniciais, verificou-se que o trator esteira leva, em média, 5 minutos para espalhar os RSU contidos em um caminhão compactador. Considerando que um caminhão compactador carregado tem, em média, 8.817Kg de RSU, a produtividade é o espalhamento de 105ton/h atualmente na CTR – Londrina.

Para a compactação, o indicador que mais vai representar em números a efetividade desse processo é a densidade (peso por volume) obtida pela operação. Para medição, esse indicador requer métodos mais sofisticados de análise para que se obtenha o valor de quantidade de resíduos aterrados pelo volume ocupado. No caso da CTR – Londrina, trimestralmente é realizada uma análise de volume do aterro sanitário, informando o volume de corte, aterro e peso (ton) dos resíduos recebidos no período. Com isso é possível monitorar a densidade dos resíduos aterrados. Uma outra alternativa de realizar o acompanhamento do processo de compactação é averiguar o número de passagens do trator esteira sobre os resíduos.

O indicador para a cobertura de resíduos está relacionado com a área exposta de RSU na frente operacional. Quanto menor for a área exposta em um aterro sanitário, melhor e mais otimizada sua operação. Isso porquê resíduos expostos ocasionam presença de animais, liberação de odores e gases e facilitam a entrada de água pluvial para dentro do maciço, aumentando a geração de lixiviado. Desse modo, é sempre importante manter apenas uma frente operacional para evitar deslocamento de equipamentos e resíduos expostos.

O Quadro 10 contém os indicadores propostos para o processo de espalhar, compactar e cobrir RSU

Quadro 10 – Indicadores propostos para o processo de Espalhar, compactar e cobrir resíduos

<b>Espalhar</b>	<b>Compactar</b>	<b>Cobrir</b>
Produtividade	Densidade	Área exposta
$\frac{\text{ton de resíduo espalhado}}{\text{hora}}$	$\frac{\text{ton de resíduo compactado}}{\text{m}^3}$	Área de resíduo exposto
		

Fonte: da autora (2021)

### 5.5 Descrição dos Indicadores Propostos

Seguindo a metodologia evidenciada por Pereira, Curi e Curi (2018), os indicadores propostos para cada processo mapeado foram compilados e estão evidenciados no Quadro 11. Os indicadores mostrados no Quadro 11 compreendem valores obtidos em campo e por meio de material disponibilizado pela CTR – Londrina. Para garantir acurácia dos cálculos, sugere-se uma análise mais profunda a partir de séries históricas de dados.

Indicadores relacionados ao volume de aterros sanitários e geração de RSU são amplamente relatados na literatura científica (DEUS, BEZERRA e BASTTISTELLE, 2019), porém pouco é reportado acerca de indicadores para controle da eficiência desses empreendimentos. O enfoque aos indicadores propostos foi atrelá-los aos processos da operação do aterro sanitários, desde a entrada dos RSU até a cobertura final. Os indicadores propostos foram pensados de uma forma que melhor representasse o processo mapeado em questão e que fossem de fácil mensuração, baseados em informações adquiridas em campo (CHAVES, SIMAN, SENA, 2020).

Quadro 11 – Indicadores propostos para controle e monitoramento dos processos mapeados

INDICADORES						
<b>Indicador</b>	Tempo de ciclo	RSU compostado	Tempo de descarga	Produtividade	Densidade	Área exposta
<b>Origem dos dados</b>	Primário <sup>1</sup>	Primário	Primário	Primário	Primário	Primário
<b>Fonte de coleta dos dados</b>	Pelo sistema, na guarita	No galpão de compostagem	Operação	Operação	Empresa especializada	Operação
<b>Descrição</b>	Tempo total do caminhão compactador dentro das instalações do aterro sanitário	Quantidade de RSU compostados em relação à quantidade recebido de RSU	Tempo total de descarga do caminhão compactador na frente operacional do aterro sanitário	Toneladas de RSU espalhadas por hora	Toneladas de RSU espalhadas por volume ocupado	Área total sem cobertura intermediária /final
<b>Forma de calcular</b>	Hora de saída menos hora de entrada	Razão entre RSU compostado e coletado * 100	Tempo total de descarga	Razão entre toneladas de resíduos recebidos no aterro e tempo de utilização de máquina	Razão entre toneladas de resíduos recebidos no aterro e volume avançado na operação	Soma das áreas com resíduos expostos
<b>Tipo de relação do indicador e justificativa</b>	Minimizar	Maximizar	Minimizar	Maximizar	Maximizar	Minimizar
	Quanto menor o indicador, mais otimizado o tempo dos caminhões compactadores no aterro sanitário	Quanto maior o RSU compostado, menos material orgânico está sendo aterrado	Quanto menor o indicador, menos tempo gasto com descarga, evitando filas e transtornos	Quanto maior o indicador, maior a produtividade do aterro sanitário, mais resíduos consegue receber	Quanto maior o indicador, maior a vida útil do aterro sanitário	Quanto menor o valor, menor a área exposta
<b>Unidade de medida</b>	Minutos	Kg/ton	Minutos	Ton/h	Ton/m <sup>3</sup>	M <sup>2</sup>
<b>Indicador atual da CTR - Londrina</b>	10 min	Sem valores	4 min	105 ton/h	1,08 ton/m <sup>3</sup>	Sem valores
<b>Processo</b>	Controle de entrada	Compostagem de RSU	Descarga de RSU	Espalhamento, compactação e cobertura de RSU		

Fonte: da autora (à luz da estrutura de PEREIRA, CURI E CURI, 2018)

<sup>1</sup>Dados primários: obtidos em campo

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados aqui obtidos em relação ao mapeamento dos processos operacionais são um passo inicial para construção do conhecimento na literatura científica a respeito da utilização do gerenciamento por processos, BPM, na linguagem padronizada BPMN, em empreendimentos como aterros sanitários. O mapeamento das atividades operacionais de um aterro sanitário envolvendo o caminho percorrido pelo RSU, desde o acesso ao local, passando pela descarga, compostagem e, por fim, espalhamento, compactação e cobertura dos materiais, se mostrou uma importante ferramenta de simples aplicação e gestão, promovendo ganhos referentes à identificação de melhorias. Ademais, a conciliação dos processos mapeados com os indicadores atrelados a cada processo visa auxiliar gestores a respeito da importância do monitoramento em aterros sanitários, pois gerenciar, monitorar as rotinas de trabalho é o grande desafio.

Os principais desafios identificados ao longo do mapeamento estão relacionados com a implementação dos indicadores, bem como a inserção de novas tecnologias para otimizar a operação da CTR – Londrina. O estabelecimento de um processo bem definido para a compostagem, com ações planejadas considerando os stakeholders do processo, mostra-se como uma importante oportunidade para melhorar o gerenciamento de RSU do município.

Apesar de as práticas de BPM serem bem consolidadas no mundo dos negócios, onde o BPMN desempenha um papel de desenvolvimento das equipes de trabalho, padronização e documentação dos processos mapeados, otimização e melhoria contínua, nesta pesquisa, buscou-se atrelar o conhecimento de BPM e BPMN e aplicá-los em empreendimentos como aterros sanitários, os quais normalmente, no Brasil, apresentam suas atividades pouco desenvolvidas com baixas tecnologias associadas, quando comparadas à realidade de países desenvolvidos.

A principal relevância do estudo foi o levantamento de dados a respeito da aplicação de mapeamento de processo (BPM) em empreendimentos como aterros sanitários, onde torna-se fundamental profissionalização e investimento em ferramentas de gestão e processos para tornar suas atividades padronizadas, garantindo assim, mais qualidade no serviço prestado.

É importante ressaltar que a aplicação de uma gestão por processos, ou BPM, está continuamente em evolução, buscando a melhoria contínua dos processos

mapeados e o encaixe perfeito entre a execução das atividades de trabalho e resultado desejado. Portanto, gestores, acadêmicos e comunidade científica no geral podem utilizar essa pesquisa como referência, avaliando se as propostas apresentadas também são relevantes para suas respectivas realidades. Assim, constrói-se uma teia informações que corroboram para a consolidação de mapeamento de processos em ambientes como aterros sanitários.

Portanto, conclui-se:

- A utilização do BPMN se mostrou uma ferramenta simples de mapear os processos operacionais do aterro sanitário;
- A partir do mapeamento, foi possível identificar e propor melhorias no aterro sanitários para que ele execute suas atividades de forma eficiente.
- Os processos mapeados estão documentados e podem servir como banco de conhecimento para a CTR – Londrina. A equipe terá acesso ao documento e poderá trabalhar na melhoria contínua dos processos mapeados.
- Os indicadores propostos para cada um dos processos fornecerão à CTR – Londrina potencial para monitoramento e acompanhamento das atividades, auxiliando no gerenciamento por processos.

Para trabalhos futuros, propõe-se:

- Estabelecimento de um plano de ação que contemple as propostas de melhorias identificadas por meio do mapeamento do processo;
- Incentivar a compostagem por meio de ações do município de Londrina e Educação Ambiental para que o processo seja executado de forma eficiente e com a otimização de resultados;
- Utilização dos dados de tempos dos caminhões são importantes para subsidiar projetos futuros de otimização de rotas, ou até mesmo fornece um banco de dados para projeções.
- Consolidação dos indicadores propostos e sua aplicação na operação, acompanhamento dos cenários antes e depois e desenvolvimento de um painel de gestão visual disponível na área administrativa/operacional da CTR – Londrina.

## REFERÊNCIAS

- ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Caracterização e classificação de resíduos sólidos**. 2013. Disponível em <http://www.abes-sp.org.br/noticias/19-noticias-abes/5009-caracterizacao-e-classificacao-de-residuos-solidos>. Acessado em 6 de mai. 2019.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992.
- ABPMP – Association of Business Process Management Professionals. **BPM CBOK: Guia para o gerenciamento de processos de negócio. Corpo comum de conhecimento**. Ed. 1, Vol. 3, Brasília, 2013. 453p.
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresa de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. São Paulo, 2020. 52p.
- ALFAIA, R. G. DE S. M.; COSTA, A. M.; CAMPOS, J. C. Municipal solid waste in Brazil: A review. **Waste Management and Research**, v. 35, n. 12, p. 1195–1209, 2017.
- ABLP – Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública. **Deslizamento em aterros sanitários: técnicas de construção e operação foram aprimoradas após o estudo de acidentes**. São Paulo, nº 101, 2019, 52p.
- ARAÚJO NETO, C. L. **Análise do comportamento dos resíduos sólidos urbanos e desenvolvimento de modelos estatísticos para previsão das deformações de aterros sanitários**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2016.
- AZEVEDO, B. D.; SCAVARDA, L. F.; CAIADO, R. G. G.; FUSS, M. Improving urban household solid waste management in developing countries based on the German experience. **Waste Management**, v. 120, p. 772–783, 2021.
- BATISTA, M.; CAIADO, R. G. G.; QUELHAS, O. L. G.; LIMA, G. B. A.; LEAL FILHO, W.; YPARRAGUIRRE, I. T. R. A framework for sustainable and integrated municipal solid waste management: Barriers and critical factors to developing countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 312, 2021.
- BERGE, N. D.; BATARSEH, E. S.; REINHART, D. R.; STEGMANN, R.; BOLYARD, S. C.; LU, W. Chapter 15.1 Landfill Operation. In: COSSU, R.; STEGMANN, R. **Solid Waste Landfilling: concepts, processes, technologies**. Elsevier Inc, 2018. p. 845–866.
- BRASIL. Lei nº9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispões sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1998.

\_\_\_\_\_. Lei nº12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2010.

\_\_\_\_\_. Lei nº13.709, de 14 de agosto de 2018. Institui a Lei Geral de Proteção de dados Pessoais. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2018.

\_\_\_\_\_. Lei nº14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2020.

CARRILHO, A. N.; CANDIDO, H. G.; SOUZA, A. D. Geoprocessamento aplicado na seleção de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Conceição das Alagoas (MG). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 201–206, fev. 2018.

CERMINARA, G.; COSSU, R. Waste Input to Landfills. In: COSSU, R.; STEGMANN, R. **Solid Waste Landfilling: concepts, processes, technologies**. Elsevier Inc., 2018. p. 15–39.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2020**. ASSUNPÇÃO, M. H. P.L (coord.). São Paulo, 2021.

CHANGIZI, B.; KOKASH, N.; ARBAD, F.; MAKHNIST, L. Compositional workflow modeling with priority constraints. **Science of Computer Programming**, v. 203, p. 102578, 2021.

CHAVES, G. L. D.; SIMAN, R. R.; SENA, L. G. Ferramenta de avaliação dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: parte I. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 167-179, 2020.

CHINOSI, M.; TROMBETTA, A. BPMN: An introduction to the standard. **Computer Standards and Interfaces**, v. 34, n. 1, p. 124–134, 2012.

CMTU – Companhia Municipal de Trânsito e Urbanização de Londrina. **Coleta de Resíduos Recicláveis**. Disponível em <<https://cmtu.londrina.pr.gov.br/index.php/coleta-reciclavel.html>> Acessado em 05 de jul. 2021a.

\_\_\_\_\_. **Coleta – orgânico e rejeito**. Disponível em <<https://cmtu.londrina.pr.gov.br/index.php/coleta-organico-e-rejeito.html>> Acessado em 22 de jul. 2021b.

\_\_\_\_\_. **Coleta de Resíduos Recicláveis**. Disponível em <<https://cmtu.londrina.pr.gov.br/index.php/coleta-reciclavel.html>> Acessado em 02 de ago. 2021c

COUTO, M. C. L.; LANGE, L. C. Análise dos sistemas de logística reversa no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 889–898, 2017.

- CUNHA, M. E. G.; SILVA, M. F. Análise de instrumentos de gestão ambiental visando a melhoria contínua do índice de qualidade de aterros de resíduos - IQR do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 6, 2007.
- DA CUNHA, C. E. S. C. P.; RITTER, E.; FERREIRA, J. A. O uso de indicadores de desempenho na avaliação da qualidade operacional dos aterros sanitários do estado do Rio de Janeiro no triênio 2013-2015. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 345–360, 2020.
- DA SILVA, L.; PRIETTO, P. D. M.; KORF, E. P. Sustainability indicators for urban solid waste management in large and medium-sized worldwide cities. **Journal of Cleaner Production**, v. 237, 2019.
- DOS SANTOS, S. O. S.; LIBONI, L. B.; DE PÁDUA, S. I. D.; REBEHY, P. C. P. W.; Evidências teóricas sobre a contribuição da gestão por processos para a inovação ambiental. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 37–52, 2013.
- DEUS, R. M.; MELE, F. D.; BEZERRA, B. S.; BATTISTELLE, R. A. G. A municipal solid waste indicator for environmental impact: Assessment and identification of best management practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, 2020.
- DEUS, R. M.; BEZERRA, B. S.; BATTISTELLE, R. A. G. Solid waste indicators and their implications for management practice. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, n. 3, p. 1129–1144, 2019.
- ERASMUS, J.; VANDERFEESTEN, I.; TRAGANOS, K.; GREFFEN, P. Using business process models for the specification of manufacturing operations. **Computers in Industry**, v. 123, p. 103297, 2020.
- FEIZ, R.; JAHANSSON, M.; LINDKVIST, E.; MOESTEDT, J.; PALEDAL, S. N.; SVENSSON, N. Key performance indicators for biogas production—methodological insights on the life-cycle analysis of biogas production from source-separated food waste. **Energy**, v. 200, 2020.
- FRANCO, D. G. DE B.; STEINER, M. T. A.; ASSEF, F. M. Optimization in waste landfilling partitioning in Paraná State, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 283, 2021.
- GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. **Waste Management**, v. 33, n. 1, p. 220–232, 2013.
- HANNAN, M. A.; LIPU, M. S. H.; AKHTAR, M.; BEGUN, R. A.; AL MAMUN, M. A.; HUSSAIN, A.; MIA, M. S.; BASRI, H. Solid waste collection optimization objectives, constraints, modeling approaches, and their challenges toward achieving sustainable development goals. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, p. 123557, 2020.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. Londrina, código 4113700. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/londrina.html>> Acessado em 05 de jul. 2021.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas** Disponível em <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inmet?r=clima/normaisClimatologicas>> Acessado em 05 de jul. 2021.

\_\_\_\_\_ **Dados Meteorológicos.** Disponível em < <https://tempo.inmet.gov.br/>> Acessado em 13 de ago. 2021.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos.** Publicado em 09/07/2020. Disponível em < <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>> Acessado em 22 de jul. 2021.

ISO/IEC – 19510. Information technology – Object Management Group. Business Process Model and Notation.

JORNAL OFICIAL DO MUNICÍPIO DE LONDRINA. **Imprensa Oficial do município de Londrina.** Jornal do Executivo. Atos Legislativos. Disponível em <[http://www2.londrina.pr.gov.br/jornaloficial/images/stories/jornalOficial/jornal\\_3797assinado.pdf](http://www2.londrina.pr.gov.br/jornaloficial/images/stories/jornalOficial/jornal_3797assinado.pdf)> Acessado em 22 de jul. 2021.

JUCÁ, J. F. T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In **Anais 5º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental**, Porto Alegre, 2003.

KAPLAN, R. S., NORTON, D. P. **The balanced scorecard. Translating strategy into action.** Harvard Business School Press, Boston, 1996, 322p.

KAPLAN, R. S., NORTON, D. P. **The strategy-focused organization. How balanced scorecard companies thrive in the new business environment.** Harvard Business School Press, Boston, 2001, 399p.

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; WOERDEN, F. V. **What a waste 2.0: A global Snapshot of solid waste management to 2050.** Washington, DC: World Bank Group, 2018.

KRECL, P.; DE LIMA, C. H.; DAL BOSCO, T. C.; TARGINO, A. C.; HASHIMOTO, E. M.; OUKAWA, G. Y. Open waste burning causes fast and sharp changes in particulate concentrations in peripheral neighborhoods. **Science of the Total Environment**, v. 765, p. 124736, 2021.

LIMA, P. G.; DESTRO, G. E.; BRAGA JR, S. S.; FORTI, J. C. Análise gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de um aterro sanitário. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 12, n. 4, p. 410-426, 2018.

MAIMOUN, M. A. REINHART, D. R.; GAMMOH, F. T.; BUSH, P. M. Emissions from US waste collection vehicles. **Waste Management**, v. 33, n. 5, p. 1079–1089, 2013.

MALVEZZI, L. B., FARIAS, A. P., ABREU, J. L. S., MARQUES JR., F. A. F., MELO, M. C. **Avaliação de metais pesados no lixiviado de aterro sanitário do semiárido brasileiro.** Anais I Congresso Internacional de Meio Ambiente e

Sociedade (I CONIMAS) e III Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido (III CONIDIS), v.1, ISSN 2526-186X. Campina Grande, 2019.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2020.

MARQUES JÚNIOR, FRANCISCO AURIBERTO FERREIRA. **Condições intervenientes na geração de biogás de resíduos recém dispostos em aterro sanitário e com um ano de aterramento**. 2020. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020.

MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Brasília, 2020, 246p.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Secretaria de Qualidade Ambiental, Brasília, 2020a, 187p.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº 280, de 29 de junho de 2020. Institui o Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR nacional, como ferramenta de gestão e documento declaratório de implantação e operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2020b.

MUNAWAR, E.; YUNARDI, Y.; LEDERER, J.; FELLNER, J. The development of landfill operation and management in Indonesia. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 20, n. 2, p. 1128–1142, 2018.

OLIVEIRA, M. G.; GOMES, S. S. S.; REZENDE, J. L. P.; BORGES, N. G. Monitoramento de um Plano de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS): Estudo de caso na PUC Minas Betim. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 115, n. 222, p. 98–115, 2019.

OWUSU-NIMO, F.; ODURO-KWARTENG, S.; ESSANDOH, H.; WAYO, F.; SHAMUDEEN, M. Characteristics and management of landfill solid waste in Kumasi, Ghana. **Scientific African**, v. 3, 2019.

PARK, J. Y.; CHERTOW, M. R. Establishing and testing the “reuse potential” indicator for managing wastes as resources. **Journal of Environmental Management**, v. 137, p. 45–53, 2014.

PEREIRA JR, EDSON HERMENEGILDO. Um método de gestão por processos para micro e pequena empresa. 2010. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2010.

PEREIRA, S. S.; CURI, R. C.; CURI, W. F. Uso de indicadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos: parte II - uma proposta metodológica de construção e

análise para municípios e regiões: aplicação do modelo. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 485–498, jun. 2018.

PIAIA, M. L.; PORTELA, J. C.; PEREIRA JÚNIOR, E. H.; FIDELIS, N. V. W. Proposal process management at the plant operation applied to the generating unit shutdown process of Itaipu Binacional. **Gestão e Produção**, v. 27, n. 1, 2020.

POLANČIČ, G.; ORBAN, B. A BPMN-based language for modeling corporate communications. **Computer Standards and Interfaces**, v. 65, p. 45–60, 2019.

RIBEIRO, R. G. M.; PINHEIRO, R. V. N.; DE MELO, D. A. Composição Gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares encaminhados ao aterro sanitário do município de Goiânia (GO). **Anais III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Goiânia, 2012.

SALAZAR-ACUÑA, E. Indicador económico para la evaluación de la gestión municipal de los residuos valorizables en Costa Rica. **Revista de Ciencias Ambientales**, v. 54, n. 1, p. 1–15, 2020.

SANTOS, JEOVANA JISLA DAS NEVES. **Avaliação geotécnica de mistura de solo e composto orgânico para uso como biocoberturas em aterros sanitários**. 2019. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

SON, L. H.; LOUATI, A. Modeling municipal solid waste collection: A generalized vehicle routing model with multiple transfer stations, gather sites and inhomogeneous vehicles in time windows. **Waste Management**, v. 52, p. 34–49, 2016.

SOUZA, L. A. DE.; DO CARMO, D. F.; DA SILVA, F. C.; PAIVA, W. M. L. Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, p. 194–212, 2020.

TAIATELE JÚNIOR, IVAN. **Biodegradabilidade de embalagens biodegradáveis e sua compostabilidade com resíduos orgânicos domiciliares**. 2014. 105f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

TAIATELE JR, I.; DAL BOSCO, T. C.; BERTOZZI, J.; MICHELS, R. N.; MALI, S. Biodegradability assessment of starch/glycerol foam and poly(butylene adipate-co-terephthalate)/starch film by respirometric tests. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, n. 23, 2020.

TCHOBANOGLIOUS, GEORGE.; KREITH, FRANK. Handbook of solid waste management. **McGraw-HILL**, 2ª edição, 2002, 834p.

VAN DER AALST, W. M. P. Business Process Management: A Comprehensive Survey. **ISRN Software Engineering**, v. 2013, p. 1–37, 2013.

VAN LOOY, A.; SHAFAGATOVA, A. Business process performance measurement: a structured literature review of indicators, measures and metrics. **SpringerPlus**, v. 5, n. 1, p. 1–24, 2016.