

# Simulador de Coleta de Lixo para Teresina: Uma Abordagem Baseada em Estruturas de Dados para Gestão de Resíduos Sólidos

**Discentes:** Lívio Júnior, Caio, César  
**Curso:** Engenharia de Software  
**Instituição:** iCEV – Instituto de Ensino Superior

## Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um simulador para o sistema de coleta de lixo da cidade de Teresina, utilizando estruturas de dados customizadas para modelar o fluxo operacional de caminhões pequenos e estações de transferência. O simulador implementa filas, listas e nós para gerenciar a coleta em cinco zonas urbanas, permitindo análise de eficiência operacional e determinação da quantidade mínima de caminhões de 20 toneladas necessários para atender a demanda municipal. Os resultados obtidos demonstram que o sistema requer no mínimo **2 caminhões de 20 toneladas** para operar eficientemente, baseado em simulações de 20 turnos com parâmetros realísticos de geração de lixo.

**Palavras-chave:** Gestão de Resíduos, Estruturas de Dados, Simulação, Sustentabilidade Ambiental, Otimização Logística.

## 1. Introdução

A gestão eficiente de resíduos sólidos urbanos representa um dos principais desafios das cidades brasileiras contemporâneas. Com o crescimento populacional e o aumento da geração de lixo per capita, torna-se fundamental o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem no planejamento e otimização dos sistemas de coleta.

Este trabalho propõe um simulador computacional para o sistema de coleta de lixo de Teresina, capital do Piauí, modelando matematicamente o processo de coleta através de estruturas de dados customizadas. O objetivo principal é determinar a quantidade mínima de caminhões de grande porte necessários para atender eficientemente a demanda de coleta da cidade.

A relevância deste estudo reside na aplicação prática de conceitos de estruturas de dados em um problema real de gestão urbana, contribuindo tanto para o avanço acadêmico quanto para soluções aplicáveis à administração pública.

## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

A coleta de resíduos sólidos urbanos envolve múltiplas etapas: geração, coleta primária, transferência e disposição final. O modelo de estações de transferência é amplamente utilizado em grandes centros urbanos para otimizar custos operacionais e reduzir o impacto ambiental do transporte.

## 2.2 Estruturas de Dados Aplicadas

O simulador utiliza três estruturas de dados principais:

- **Listas Ligadas:** Para gerenciar coleções dinâmicas de objetos (zonas, caminhões, estações)
- **Filas (FIFO):** Para modelar as filas de descarregamento nas estações de transferência
- **Nós Genéricos:** Como base para implementação das estruturas compostas

## 3. Metodologia

### 3.1 Modelagem do Sistema

O sistema foi modelado considerando os seguintes componentes:

1. **Cinco Zonas Urbanas:** Sul, Norte, Centro, Leste e Sudeste, cada uma com parâmetros específicos de geração de lixo
2. **Frota de Caminhões Pequenos:** 6 veículos com capacidades de 2, 4, 8 e 10 toneladas
3. **Duas Estações de Transferência:** Com capacidade dinâmica de caminhões grandes
4. **Caminhões Grandes:** Veículos de 20 toneladas com tolerância de espera configurável

### 3.2 Parâmetros de Configuração

Geração de Lixo por Zona (kg/turno):

- Zona Sul: 500-1000
- Zona Norte: 400-800
- Zona Centro: 600-1200
- Zona Leste: 300-700
- Zona Sudeste: 450-900

Frota de Caminhões Pequenos:

- 2 caminhões de 2 toneladas
- 2 caminhões de 4 toneladas
- 1 caminhão de 8 toneladas
- 1 caminhão de 10 toneladas

Parâmetros Operacionais:

- Máximo de 8 viagens por dia por caminhão
- Tempo máximo de espera: 5 turnos
- Tolerância dos caminhões grandes: 3 turnos

### 3.3 Algoritmo de Simulação

O algoritmo principal executa os seguintes passos a cada turno:

1. **Geração de Lixo:** Cada zona gera lixo aleatoriamente dentro de seus parâmetros
2. **Coleta Primária:** Caminhões pequenos coletam lixo priorizando zonas com maior acúmulo
3. **Transferência:** Caminhões lotados dirigem-se às estações de transferência
4. **Processamento nas Estações:** Gerenciamento de filas e transferência para caminhões grandes
5. **Otimização Dinâmica:** Criação de novos caminhões grandes conforme demanda

## 4. Implementação

### 4.1 Estruturas de Dados Customizadas

#### Classe Nó Genérico

```
public class No<T> {
    private T dado;
    private No<T> proximo;

    public No(T dado) {
        this.dado = dado;
        this.proximo = null;
    }
    // Getters e Setters...
}
```

#### Lista Ligada

```
public class Lista<T> {
    private No<T> primeiro;
    private int tamanho;

    public void adicionar(T item) { /* Implementação */ }
    public T obter(int indice) { /* Implementação */ }
    public boolean remover(T item) { /* Implementação */ }
}
```

#### Fila FIFO

```
public class Fila<T> {
    private No<T> primeiro;
    private No<T> ultimo;

    public void enqueue(T item) { /* Implementação */ }
    public T dequeue() { /* Implementação */ }
    public T frente() { /* Implementação */ }
}
```

### 4.2 Hierarquia de Classes

O sistema implementa herança através da classe abstrata Caminhao:

```
public abstract class Caminhao {
```

```
protected int id, capacidadeMaxima, cargaAtual;  
protected String status;  
  
public abstract void executarOperacao();  
}
```

Especializada em `CaminhaoPequeno` e `CaminhaoGrande`, cada uma com comportamentos específicos.

### 4.3 Interface Gráfica

Foi desenvolvida uma interface Swing que permite:

- Execução passo a passo da simulação
- Visualização em tempo real das estatísticas
- Logs detalhados de operações
- Controle total do fluxo de simulação

## 5. Resultados e Análise

### 5.1 Execução da Simulação

Durante uma simulação padrão de 20 turnos, obtivemos os seguintes resultados médios:

#### Estatísticas Operacionais:

- Total de lixo coletado: ~10.500 kg
- Número de descarregamentos: ~15-20
- Tempo médio de espera: 1.2 turnos
- Caminhões grandes necessários: **2 unidades**

### 5.2 Análise de Eficiência

A simulação demonstrou que:

1. **Capacidade Adequada:** 2 caminhões de 20 toneladas atendem satisfatoriamente a demanda
2. **Balanceamento de Carga:** As duas estações de transferência distribuem adequadamente o fluxo
3. **Otimização Dinâmica:** O sistema raramente necessita adicionar caminhões grandes adicionais
4. **Tempo de Espera Aceitável:** Média de 1.2 turnos indica operação eficiente

### 5.3 Resultados Esperados vs. Obtidos

#### Expectativas Iniciais:

- Necessidade de 3-4 caminhões grandes por estação
- Alto tempo de espera nas filas
- Dificuldade de balanceamento entre zonas

## Resultados Obtidos:

- Apenas 2 caminhões grandes no total (1 por estação)
- Tempo de espera baixo (1.2 turnos)
- Distribuição equilibrada da coleta
- Sistema estável e eficiente

## 5.4 Análise de Sensibilidade

Testes com diferentes parâmetros mostraram:

- **Aumento de 50% na geração de lixo:** Necessidade de 2 caminhões grandes
- **Redução de frota pequena:** Aumento proporcional no tempo de espera
- **Alteração na tolerância:** Impacto direto na eficiência operacional

## 6. Conclusões

O simulador desenvolvido comprovou ser uma ferramenta eficaz para análise de sistemas de coleta de lixo urbano. Os principais achados incluem:

1. **Resposta à Pergunta Principal:** O município de Teresina necessita de no mínimo **2 caminhões de 20 toneladas** para atender adequadamente a demanda de coleta, considerando os parâmetros estabelecidos.
2. **Eficiência das Estruturas de Dados:** As implementações customizadas de listas, filas e nós demonstraram performance adequada para o domínio do problema.
3. **Viabilidade Operacional:** O modelo de duas estações de transferência com distribuição equilibrada mostrou-se eficiente e escalável.
4. **Ferramenta de Apoio à Decisão:** O simulador fornece base sólida para planejamento de frotas e otimização de recursos municipais.

### 6.1 Trabalhos Futuros

- Integração com dados reais de GPS e sensores IoT
- Implementação de algoritmos de roteamento otimizado
- Análise de cenários climáticos e sazonais
- Expansão para outras cidades

### 6.2 Contribuições

Este trabalho contribui para:

- **Universidade:** Aplicação prática de estruturas de dados em problemas reais
- **Gestão Pública:** Ferramenta de apoio ao planejamento urbano
- **Sustentabilidade:** Otimização de recursos e redução de custos operacionais

## Referências

1. **Cormen, T. H., et al.** *Algoritmos: Teoria e Prática*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

2. **Goodrich, M. T.; Tamassia, R.** *Estruturas de Dados e Algoritmos em Java*. 5<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
3. **IBGE.** *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017*. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

---

**Correspondência:** [caio\_cesar.barbosa@somosicev.com]

[livio.junior@somosicev.com]

**Data de Submissão:** 18/06/2025

**Última Revisão:** 18/06/2025