

Relatório de Desenvolvimento de um Simulador de Coleta de Lixo com Estruturas de Dados

Rafaela Costa¹, Laura Teixeira¹

¹ iCEV – Instituto de Ensino Superior
Teresina – Piauí – Brasil

{rafaela.costa, laura.teixeira}@somosicev.com

Abstract. This paper presents the development of a waste collection simulator, designed to model the flow of collection trucks and the operation of transfer stations. The simulation aims to evaluate the efficiency of the waste collection system through the analysis of key parameters such as travel time, waiting time, vehicle flow, congestion rates, and energy consumption. The system was modeled using manually implemented data structures, specifically queues and linked lists. The proposed model simulates the interaction between smaller trucks, which collect waste in designated zones, and larger trucks, which transport the waste to the final destination.

Resumo. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um simulador de coleta de lixo, projetado para modelar um fluxo de caminhões de coleta e um funcionamento de estações de transferência. A simulação tem como objetivo avaliar a eficiência do sistema de coleta de resíduos por meio da análise de parâmetros chave, como tempo de viagem, tempo de espera, fluxo de veículos, índices de congestionamento e consumo energético. O sistema foi modelado utilizando estruturas de dados implementadas manualmente, especificamente filas e listas encadeadas. O modelo proposto simula a interação entre caminhões menores, que coletam resíduos nas zonas designadas, e caminhões maiores, que transportam os resíduos até o destino final.

1. Introdução

Segundo Valeriana e José [Cunha and Filho 2002], embora o lixo ainda seja tratado de forma indiferente por grande parte da população, sua gestão eficiente é um desafio crescente, devido ao alto volume gerado e aos impactos ambientais e operacionais causados por um gerenciamento inadequado. Esse cenário evidencia a necessidade de soluções que melhorem o controle e a logística da coleta de resíduos.

Com base nessa demanda, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um simulador de coleta de lixo, focado na modelagem computacional do fluxo de caminhões de coleta e no funcionamento das estações de transferência. O sistema foi implementado utilizando estruturas de dados construídas manualmente, como filas e listas encadeadas, a fim de gerenciar as operações de coleta, transferência e transporte de resíduos de forma eficiente. A simulação possibilita a análise de variáveis operacionais, incluindo tempos de espera, capacidade dos veículos e a demanda por transporte, fornecendo uma ferramenta para avaliação e otimização do processo de coleta.

2. Referencial Teórico

A gestão eficiente de resíduos sólidos urbanos representa um desafio crescente nas grandes cidades, exigindo soluções inovadoras que aumentem a eficiência operacional. O aumento da geração de lixo, como apontado por Cristine [da Silva et al. 2020], está associado ao crescimento populacional e ao consumismo exacerbado. Para lidar com esse cenário, torna-se essencial compreender a logística de coleta e transporte de resíduos, um processo que envolve diferentes etapas e atores.

Segundo Valeriana [Cunha and Filho 2002], o ciclo de coleta de resíduos abrange desde a saída dos caminhões coletores até seu retorno ao ponto inicial, passando por locais como usinas de processamento, aterros sanitários ou estações de transferência. As estações de transferência desempenham um papel estratégico ao permitir que caminhões menores descarreguem os resíduos em veículos de maior capacidade, otimizando o transporte para longas distâncias e reduzindo custos operacionais [Cunha and Filho 2002].

Análogo a isso, Estruturas de dados são componentes fundamentais na representação computacional de sistemas complexos, como os utilizados na coleta de resíduos sólidos. Elas permitem a organização lógica e eficiente das informações, facilitando operações como busca, inserção, remoção e atualização de dados [Sedgewick and Wayne 2011].

Dentre os TADs, existe a Fila, que segue o princípio FIFO (First-In, First-Out). Isso significa que o primeiro elemento inserido é o primeiro a ser removido, característica que a torna ideal para contextos que exigem ordem de atendimento, como o gerenciamento de caminhões aguardando para descarregar em estações de transferência. Nessa aplicação, os caminhões são inseridos ao final da fila e atendidos pela remoção sequencial do início [Cortés 2015].

Outra estrutura relevante é a Lista Encadeada, que consiste em nós interligados, onde cada nó contém um dado e uma referência para o próximo nó da sequência. Essa estrutura oferece maior flexibilidade em comparação a arrays estáticos, permitindo inserções e remoções dinâmicas em posições arbitrárias. [Cortés 2015]

A integração dessas estruturas possibilita criar representações da lógica de sistemas. Além disso, permite a elaboração de simulações, que consistem na criação de modelos virtuais capazes de reproduzir, de forma simplificada e controlada, o comportamento real de um sistema. Por meio delas, é possível testar cenários, avaliar o impacto de decisões e prever resultados sem a necessidade de realizar operações no mundo real, reduzindo custos e riscos. [de Oliveira Gavira 2003] Um dos cenários aplicáveis é simulando coleta de lixo.

3. Metodologia

3.1. Abordagem Geral

O estudo foi conduzido em três fases. Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre Estruturas de Dados Abstratas (TADs), com ênfase especial nas implementações de filas e listas encadeadas. Esta fundamentação teórica foi importante para orientar as decisões de projeto e implementação do sistema de simulação.

Na segunda fase, desenvolveu-se o ambiente de simulação utilizando a linguagem

Java no ambiente Visual Studio Code. As estruturas de dados foram implementadas manualmente.

3.2. Arquitetura do Sistema

A simulação é composta por cinco classes principais que modelam os elementos essenciais do sistema de coleta:

- **Caminhões Pequenos:** Operam com lógica FIFO para visitar as zonas de atuação, que são sorteadas em uma quantidade aleatória e com zonas também randômicas. Eles iniciam suas rotas em horários aleatórios dentro do período simulado, entre 1 e 12 horas.
- **Caminhões Grandes:** Transportam o lixo trazido pelos caminhões pequenos para o aterro, estes veículos possuem tolerância de tempo e podem ir ao aterro parcialmente carregados quando esperam por muito tempo.
- **Estações de Transferência:** Atuam gerenciando filas independentes para cada tipo de caminhão, que esperam pra receber e descarregar.
- **Zonas:** Geram lixo diário aleatório diariamente, com base em uma quantidade de lixo máxima e quantidade mínima.
- **Cidade:** A cidade é quem possui todos os outros componentes, usando listas encadeadas para guardá-los. Ela possui cinco zonas, os caminhões pequenos, caminhões grandes e duas estações de transferência.

Além dessas classes, a simulação também conta com as classes: Main, Fila, Lista Encadeada e Interface.

3.3. Processo de Desenvolvimento

A implementação enfrentou desafios na definição de comportamentos e características das classes, como elas deveriam se comportar entre si e no gerenciamento das interdependências. Porém, esses desafios foram resolvidos com testes unitários repetitivos e modelagem.

O sistema foi estruturado em ciclos de tempo, com um temporizador, onde a cada segundo, um minuto da simulação é rodado, chamando os métodos de simulação que fazem as classes interagirem entre si, estes que só são ativados para cada objeto caso eles atendam circunstâncias específicas.

3.4. Planejamento Experimental

Para análise sistemática do sistema, adotou-se uma abordagem experimental dividida em duas etapas principais:

Primeira Etapa: Avaliou-se o impacto do aumento da frota coletora, mantendo fixo o número de caminhões grandes em 2 unidades e variando progressivamente os caminhões pequenos (2, 4 e 6 unidades de cada tipo). Cada configuração foi testada em três repetições completas, totalizando nove execuções. O número mínimo de lixo por zona foi colocado como 80 e o máximo como 100 e a quantidade máxima de caminhões pequenos foi de 3 (podendo variar entre 1 e 3). Além disso, o tempo máximo de espera dos caminhões pequenos e grandes foi de, respectivamente, 20 e 30 minutos

Segunda Etapa: Investigou-se o aumento de caminhões grandes, mantendo as configurações do passo anterior enquanto se variava o número de caminhões grandes em

relação ao que já estava sendo usado (De 2 unidades, passou-se a se usar 4 e 6 unidades), mantendo o número de caminhões pequenos em 2 para cada tipo.

Esse experimento é mostrado na seguinte figura 3.4 e para cada execução, registraram-se as estatísticas para a futura análise dos resultados.

Etapa	Variação Principal	Níveis Testados	Repetições
1	Frota Coletora	2,4,6 caminhões pequenos	3 por nível
2	Capacidade de Transferência	4,6 caminhões grandes	3

4. Resultados

4.1. Análise Comparativa das Execuções sem Incremento de Caminhões Grandes

As Tabelas a seguir apresentam os resultados das nove execuções realizadas com as configuração básicas de 2, 4 e 6 caminhões de cada tipo, respectivamente, sem incremento de caminhões grandes, mostrando quantidade de lixo gerado por cada zona, o total de lixo coletado pelos caminhões pequenos, o tempo de duração, quantas viagens os caminhões pequenos realizaram e quantas viagens ao aterro foram realizadas.

Table 1. Desempenho operacional com 2 caminhões pequenos de cada tipo

Métrica	1 ^a Execução	2 ^a Execução	3 ^a Execução
Distribuição Inicial (kg)	90, 86, 100, 88, 89	93, 91, 81, 99, 96	91, 98, 84, 88, 89
Lixo Coletado (ton)	80	112	78
Tempo Total	17:08	18:20	16:27
Viagens Pequenos	22	30	20
Viagens Aterro	13	13	13
C. Grandes Adicionados	2	2	2

Table 2. Desempenho operacional com 4 caminhões pequenos de cada tipo

Métrica	1 ^a Execução	2 ^a Execução	3 ^a Execução
Distribuição Inicial (kg)	90, 80, 95, 80, 94	80, 84, 82, 90, 90	83, 97, 93, 86, 92
Lixo Coletado (ton)	176	170	176
Tempo Total	13:24	15:19	14:52
Viagens Pequenos	44	44	46
Viagens Aterro	18	18	19
C. Grandes Adicionados	2	3	2

Table 3. Desempenho operacional com 6 caminhões pequenos de cada tipo

Métrica	1 ^a Execução	2 ^a Execução	3 ^a Execução
Distribuição Inicial (kg)	91, 93, 86, 82, 83	97, 99, 84, 97, 98	80, 97, 94, 89, 97
Lixo Coletado (ton)	256	338	280
Tempo Total	17:05	17:04	17:29
Viagens Pequenos	66	84	66
Viagens Aterro	26	30	25
C. Grandes Adicionados	4	4	4

4.2. Análise Comparativa das Execuções com Incremento de Caminhões Grandes, sem incremento de caminhões pequenos

As Tabelas a seguir apresentam os resultados das nove execuções realizadas com as configuração básicas de 2, 4 e 6 caminhões grandes enquanto haviam apenas 2 caminhões pequenos de cada tipo, para avaliar a capacidade de transferência (se a quantidade aumenta de lixo levado pro aterro e se ainda existe necessidade de caminhões extras).

Table 4. Desempenho operacional com 2 caminhões pequenos de cada tipo e 4 caminhões grandes

Métrica	1 ^a Execução	2 ^a Execução	3 ^a Execução
Distribuição Inicial (kg)	84, 99, 96, 86, 100	82, 95, 89, 84, 94	99, 80, 93, 99, 84
Lixo Coletado (ton)	86	108	82
Tempo Total	17:45	15:33	14:48
Viagens Pequenos	22	28	20
Viagens Aterro	14	14	11
C. Grandes Adicionados	0	1	0

Table 5. Desempenho operacional com 2 caminhões pequenos de cada tipo e 6 caminhões grandes

Métrica	1 ^a Execução	2 ^a Execução	3 ^a Execução
Distribuição Inicial (kg)	80,82,83,90,97	95,82,81,80,80	95,93,95,90,94
Lixo Coletado (ton)	106	72	118
Tempo Total	18:02	12:23	17:28
Viagens Pequenos	30	18	32
Viagens Aterro	15	10	10
C. Grandes Adicionados	0	0	0

5. Discussão

5.1. Variabilidade do Sistema

Os resultados obtidos nas simulações mostram que o sistema de coleta apresenta uma alta variabilidade, ou seja, mesmo quando as condições iniciais e o número de caminhões são os mesmos, os resultados podem mudar bastante de uma execução para outra. Isso pode ser observado claramente nas tabelas apresentadas, onde as métricas como quantidade de lixo coletado, número de viagens e tempo total de operação mudam bastante entre as repetições.

Essa variabilidade acontece porque o sistema inclui vários elementos aleatórios, que tentam representar as incertezas do mundo real. Por exemplo, os caminhões pequenos não seguem uma rota fixa, mas sim visitam as zonas em uma ordem que é escolhida aleatoriamente. Isso faz com que a eficiência do trajeto varie em cada simulação, já que alguns caminhos podem ser mais curtos e outros mais longos.

Além disso, o horário de início dos caminhões também é sorteado, o que influencia o ritmo da coleta. Um caminhão que começa a trabalhar mais cedo pode conseguir coletar

mais lixo antes de encontrar filas nas estações, enquanto outro que começa mais tarde pode enfrentar congestionamentos ou acumular lixo em excesso nas zonas.

Outro ponto importante é a geração diária de resíduos, que também varia dentro de uma faixa estabelecida. Mesmo que o limite mínimo e máximo sejam fixos, o valor exato de lixo gerado em cada zona muda a cada execução, o que altera a demanda por coleta. Isso representa o fato de que na vida real a produção de lixo não é constante e depende de vários fatores, como dia da semana, eventos locais, clima, entre outros.

Por causa desses fatores, os resultados da simulação não são fixos, o que reforça a importância de realizar múltiplas execuções e analisar os dados de forma estatística para entender o comportamento geral do sistema.

5.2. Impacto do Número de Caminhões Pequenos

Ao aumentar a quantidade de caminhões pequenos, o principal ponto observado foi o aumento na quantidade total de lixo coletado, aliado a uma maior quantidade de viagens. Isso indica que uma frota maior de caminhões pequenos consegue cobrir melhor as zonas gerando lixo e transportar mais resíduos para as estações de transferência.

Porém, esse aumento na frota não resultou em redução no tempo total da simulação. Isso acontece porque as viagens dos caminhões pequenos ainda dependem de fatores como horários de início aleatórios e a ordem das visitas, que afetam o tempo levado para concluir as atividades de coleta e transferência.

5.3. Capacidade dos Caminhões Grandes

Aumentar o número de caminhões permitiu que, com dois caminhões pequenos de cada tipo, não existisse mais a necessidade de adicionar caminhões grandes, ou seja, o tempo de espera dos pequenos não chega a ser um problema. Portanto, dependendo da quantidade de pequenos existente, aumentar o número de caminhões grande pode chegar a excluir a necessidade de adições extras ao longo da simulação.

6. Conclusão

Este trabalho desenvolveu um simulador para sistemas de coleta de resíduos urbanos, implementando manualmente as estruturas de dados fundamentais (filas FIFO e listas encadeadas) que modelam a operação de caminhões coletores e estações de transferência. Essa simulação foi testada de diversas maneiras e seus resultados foram analisados para um entendimento do seu funcionamento.

Os resultados evidenciaram que o comportamento do sistema é sensível a variações aleatórias nos parâmetros de simulação. Essa característica reproduz a imprevisibilidade das operações de coleta no mundo real. Fatores como a ordem aleatória de visita às zonas, os horários de início diferenciados para cada veículo e as diferentes na gerações diárias de resíduos criam um cenário dinâmico onde resultados idênticos são difíceis de acontecer, mesmo mantendo as mesmas condições iniciais.

Quanto ao dimensionamento da frota, os experimentos mostraram que o aumento no número de caminhões pequenos (de 2 para 4 ou 6 unidades de cada tipo) elevou a capacidade total de coleta, atingindo até 338 toneladas em uma das execuções. Contudo, esse incremento não se traduziu em redução do tempo total de operação, que se manteve

na faixa de 17 minutos em média. Isso pode ser explicado pela diferença de horário de inicio entre caminhões, pois já que eles começam em horários diferentes, eles também terminarão em horários diferentes, aumentando o tempo da simulação.

Por outro lado, o aumento no número de caminhões eliminou da necessidade de acionar veículos adicionais durante a operação com 2 caminhões pequenos de cada tipo.

Referências

- Cortés, M. I. (2015). *Computação: Estruturas de Dados*. Editora da Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, CE, 3rd edition.
- Cunha, V. and Filho, J. V. C. (2002). Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 9(2):143–161.
- da Silva, C. S. S., Boll, N., Zanin, G. B., Peretti, G., and de Souza, D. S. (2020). Análise histórica da geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos no brasil. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 16(41):1–15.
- de Oliveira Gavira, M. (2003). Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento. Master's thesis, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Orientador: Prof. Titular Joao Vitor Moccellin.
- Sedgewick, R. and Wayne, K. (2011). *Algorithms, Part I*. Addison-Wesley.