

FACULDADE LABORO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM LOGÍSTICA EMPRESARIAL

HECTOR JAMERSON SILVA ALMEIDA
SHIRLEY SILVA ABREU

**GESTÃO OPERACIONAL DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA
CIDADE DE SÃO LUÍS MARANHÃO: Abordagem Utilizando Modelagem
Computacional**

São Luís
2015

HECTOR JAMERSON SILVA ALMEIDA
SHIRLEY SILVA ABREU

**GESTÃO OPERACIONAL DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA
CIDADE DE SÃO LUÍS MARANHÃO: Abordagem Utilizando Modelagem
Computacional**

Trabalho apresentado ao Curso de Logística
Empresarial da Faculdade Laboro como
requisito para obtenção do
título de especialista em Logística
Empresarial.

Orientador (a): Ms. Claudia Monteiro de
Andrade

São Luís
2015

HECTOR JAMERSON SILVA ALMEIDA
SHIRLEY SILVA ABREU

GESTÃO OPERACIONAL DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA
CIDADE DE SÃO LUÍS MARANHÃO: Abordagem Utilizando Modelagem
Computacional

Trabalho apresentado ao Curso de Logística Empresarial da Faculdade Laboro como requisito para obtenção do título de especialista em Logística Empresarial.

Aprovado em / /

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Claudia Monteiro de Andrade
Mestre em Biologia Parasitária
Universidade CEUMA

1º Examinador

2º Examinador

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 06 |
| 2 | JUSTIFICATIVA | 07 |
| 3 | OBJETIVOS | 08 |
| 3.1 | Objetivo Geral | 08 |
| 3.2 | Objetivos Específicos | 08 |
| 4 | SIMULAÇÃO DE PROCESSOS COMO APOIO ÀS DECISÕES | 09 |
| 4.1 | Modelagem e simulação utilizando o software ARENA[®] | 09 |
| 4.2 | Análise de sistemas terminais utilizando o ARENA[®] <i>Output Analyzer</i> | 11 |
| 5 | GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CIDADE DE SÃO LUIS | 12 |
| 5.1 | Alterações no processo de coleta de resíduos sólidos urbanos na cidade de São Luís | 15 |
| 5.2 | Aterro Municipal de Rosário | 17 |
| 6 | DESCRIÇÃO DO CASO | 17 |
| 6.1 | Descrição do local | 18 |
| 6.2 | Coleta e análise de dados | 19 |
| 7 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 23 |
| 8 | PROPOSTAS DE MELHORIAS | 25 |
| 9 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 27 |
| 10 | CONCLUSÃO | 28 |
| | REFERÊNCIAS | 30 |

ANÁLISE LOGÍSTICA DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM SÃO LUIS-MA: Estudo de caso utilizando a modelagem computacional

Hector Jamerson Silva Almeida

Administrador de Empresas

Shirley Silva Abreu

Engenheira de Produção

RESUMO

Este artigo aborda a logística de coleta de resíduos sólidos urbanos na cidade de São Luís, capital do Maranhão, apresentando o histórico de tal processo, assim como seu atual *layout*, propondo melhorias quanto ao operacional, utilizando o software ARENA® de simulação de processos. O foco do estudo é a área B da cidade de São Luís, onde maior parte dos resíduos sólidos urbanos é coletada. O software ARENA® tem por funcionalidade principal a geração de alternativas ao processo decisório no que se refere à alocação de veículos para a coleta domiciliar, estudo de tempos e processos. Tendo em vista os grandes custos gerados para os cofres públicos e, da mesma forma, levando-se em consideração os aspectos ambientais envolvidos no processo, faz-se necessário um estudo sobre os recursos utilizados no processo de coleta domiciliar de resíduos sólidos, no caso, do recurso caminhão compactador, avaliando o nível de utilização, produtividade e quantidade alocada por área, de acordo com o número diário de resíduos gerados, identificação de gargalos, *leadtime* do processo e assim por diante. Assim, será possível a avaliação da logística do processo e, dessa forma, verificar pontos de melhorias no mesmo.

Palavras - chave: Gestão de Resíduos Sólidos; Sistema de Apoio à Decisão; Simulação.

ABSTRACT

This article discusses the logistics of collecting municipal solid waste in the city of São Luís, capital of Maranhão, presenting the history of this process, as well as its current layout, and proposing improvements on the operational using the software ARENA®. The focus of the study is the B area of São Luís, where most municipal solid waste is generated. The ARENA® software has main feature on the generation of alternatives to the decision-making process regarding the allocation of vehicles for home collection, study times and processes. Given the large costs incurred for the public purse and, likewise, taking into account the environmental aspects of the process, it is necessary to study on the resources used in the process of household solid waste collection, in the case, the compactor truck feature, assessing the level of use, productivity and allocated quantity per area, according to the daily number of waste generated, identifying bottlenecks in the process lead time, and so on. Thus, the evaluation process logistics will be possible and propose improvements to optimize it.

Key Words: Solid Waste Management; Decision Support System; Simulation.

1 INTRODUÇÃO

O modo como os resíduos sólidos vêm sendo considerados ao longo da história da indústria no mundo tem passado por grandes transformações, intensificadas no último século. E essas transformações não se referem somente aos resíduos provenientes de processos industriais, mas aos resíduos provenientes do consumo doméstico, da construção civil, de hospitais, entre outros. A preocupação com os resíduos sólidos provém, principalmente, de seu alto potencial poluidor.

As discussões sobre a geração de resíduos sólidos corporificam-se, sobretudo, com relação a sua vertente ambiental. Mas, pouco a pouco, passam a incorporar questões que a ultrapassam, indo ter eco no âmbito social e econômico. Adicionalmente, outros questionamentos passam a incorporar a questão dos resíduos sólidos, como a redução já em sua geração, com a diminuição do uso de matérias primas, entre outros. Em outras palavras, há uma evolução qualitativa nas discussões, as quais acabam tendo reflexo na produtividade dos recursos sólidos utilizados.

Desse modo, a menor geração de resíduos pode resultar em uma menor utilização de recursos ambientais primários, bem como menor necessidade de tratamento e disposição destes resíduos. Deve-se considerar ainda que vários outros elementos permeiam a questão dos resíduos sólidos, além de sua geração propriamente dita, que são sua coleta, transporte, acondicionamento, disposição intermediária e disposição final.

O uso de técnicas que otimizem processos de gerenciamento de resíduos sólidos objetiva agregar qualidade ao processo decisório, pois, muitas vezes, segundo Chang (2000), as decisões sobre o planejamento da gestão dos resíduos sólidos são tomadas baseadas somente na experiência dos gestores. Tal fato, segundo esse autor, contribui para o alto custo e o baixo desempenho dos sistemas de coleta de resíduos nas cidades.

A utilização de ferramentas de Pesquisa Operacional (PO) na Gestão de Resíduos Sólidos surge como uma alternativa viável para o tratamento da complexidade inerente ao processo de coleta de resíduos sólidos, pois, por meio do uso destas ferramentas, pode-se representar uma situação do mundo real, estudar seu comportamento (via execução de modelos formais) e tomar decisões com base nas conclusões extraídas.

No caso deste trabalho, serão utilizados modelagem e simulação do sistema de coleta de resíduos domiciliares de uma área crítica da cidade de São Luís - MA, tendo como

principal ferramenta para tal estudo o *software* ARENA[®] de Simulação, a fim de propor melhorias para tal processo logístico.

2 JUSTIFICATIVA

A preocupação ambiental há muito atua como protagonista no cenário global. Tal situação apoia-se, sobretudo, pela grande quantidade de resíduos gerados pelo homem, assim como na utilização demasiada dos recursos naturais. O intenso consumismo só acelera ainda mais esse contexto preocupante e, portanto, estudos a respeito disso devem ser realizados.

Em São Luís, capital do Maranhão, a coleta de resíduos é realizada atualmente por apenas uma empresa, a São Luís Engenharia Ambiental Ltda (SLEA). Com a nova política de união público-privada adotada pela prefeitura municipal, os custos com a coleta tiveram um recrudescimento de 33% ao mês (SLEA, 2013). Segundo dados da Secretaria Municipal de Obras Públicas (SEMOSP, 2010), os custos mensais em 2011, por exemplo, dentro de 1 mês, foi da ordem de aproximadamente 1 milhão de reais, isso antes da política citada acima. Recentemente, segundo dados da Superintendência de Limpeza Urbana (SULIP, 2015), o processo de destinação final de resíduos sólidos não é mais direcionado para o Aterro Municipal da Ribeira, até então o único aterro sanitário de São Luís, mas sim para o de Rosário - MA.

Tendo em vista os grandes custos gerados para os cofres públicos e, da mesma forma, levando-se em consideração os aspectos ambientais envolvidos no processo, faz-se necessário um estudo da logística do processo de transportes desses resíduos, assim como dos recursos utilizados no processo de coleta domiciliar de resíduos sólidos, no caso, do recurso caminhão compactador, avaliando o nível de utilização, produtividade, quantidade alocada por área de acordo com o número diário de resíduos gerados, identificação de gargalos, *leadtime* do processo e assim por diante.

Vale salientar ainda que este trabalho trata-se de extensão de projeto de iniciação científica iniciado em 2011 sobre gerenciamento de resíduos sólidos na cidade de São Luís, apresentado na Semana de Iniciação Científica de 2011 e, depois, foram aprofundados os

estudos a partir a simulação e processos da área de maior quantidade de resíduos coletados diariamente na cidade em estudo.

Segundo a Superintendência de Limpeza Pública (SULIP, 2013), o processo passou a ser monitorado e gerenciado pela SLEA, no entanto, não houve mudanças de cunho operacional (alocação de caminhão, divisão de áreas, etc.). Por isso, é interessante que seja feito o estudo de tal operação, assim como de seus reflexos socioambientais.

Assim, torna-se preponderante empreender estudos cuja finalidade seja consubstanciar trabalhos que busquem aperfeiçoar as etapas de coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos. Estudos de melhorias para a roteirização nessas etapas pode ter impactos positivos na emissão de gás carbônico, além de evitar a circulação indevida de veículos de coleta em locais e horários incompatíveis com o trânsito da cidade.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar o processo de coleta domiciliar realizada pelos caminhões compactadores de resíduos sólidos urbanos na cidade de São Luís - MA.

3.2 Objetivos Específicos

Para o alcance de tal objetivo, tem-se como objetivos secundários na pesquisa os que se seguem:

- a) caracterizar as etapas de coleta e transporte dos resíduos sólidos em São Luís (MA) em suas principais vertentes: quem faz, onde faz, quando faz, como faz e quanto faz;
- b) caracterizar o processo de coleta domiciliar realizada pelos caminhões compactadores (número de caminhões utilizados por área, número de áreas de coleta, tempos e turnos de trabalho, tempos de processo e etc.);
- c) simular o processo no ambiente ARENA[®] de simulação;
- d) analisar os relatórios de saída do *software* para estudo da operação;
- e) caracterizar a etapa de destinação final dos resíduos gerados no município e coletados pelos compactadores em estudo: quanto recebe o aterro, qual sua vida útil estimada, numero de viagens realizadas para que seja atingida a demanda de resíduos gerados;

4 SIMULAÇÃO DE PROCESSOS COMO APOIO ÀS DECISÕES

“Em linhas gerais, a simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e, assim, conduzir experimentos com esse modelo a fim de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”. (PEDGEN, 1990). Os objetivos da simulação são basicamente de descrição do comportamento do sistema, construir teorias e hipóteses e, com o modelo, prever comportamentos futuros. A importância da simulação está no fato de que dá condições ao analista para realizar estudos sobre os sistemas modelados, estudando-se o sistema sem alterá-lo e, sobretudo, fazendo-se as mais diversas variações de estado do sistema para verificar comportamentos e propor melhorias.

Por meio do uso da simulação, pode-se imitar o comportamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo no mundo real, segundo as ideias de Law (1991), uma das principais etapas de um estudo de simulação consiste na criação de um modelo lógico. Sendo que um modelo lógico consiste em conjunto de suposições e aproximações, devidamente quantificadas e estruturadas, que visam representar o comportamento do sistema real sob determinadas condições, utilizando-o para prever e comparar alternativas lógicas passíveis de serem simuladas.

A simulação permite também a utilização de variáveis aleatórias, de modo a representar com maior veracidade o comportamento do sistema real. Portanto, “[...] este método se constitui numa das ferramentas de análises mais poderosas disponíveis para a representação de sistemas complexos” (KELTON et al., 1998, p 17.)

4.1 Modelagem e simulação utilizando o *software* ARENA[®]

Segundo Alves (2007), um software de simulação visualiza o sistema a ser modelado por meio de um conjunto de estações de trabalho que prestam serviços às entidades ou transações que se deslocam dentro do sistema. De acordo com Freitas (2008), a modelagem e simulação em ARENA[®] são compostas por dois processos: estações de trabalho (onde a entidade receberá algum serviço) e opções de fluxo para entidade entre as estações de trabalho. Além disso, os seguintes passos devem ser executados:

- Introduzir e interconectar módulos para representar o sistema de acordo com a lógica de operações, obtidos a partir do *Template Basic Process*;
- Incrementar dados para o modelo;
- Executar o modelo.

O *Input Analyzer* é uma ferramenta computacional integrante do ARENA[®] que auxilia no tratamento de dados amostrais, identificando uma distribuição de probabilidade que represente o comportamento dos dados. Isto é feito por meio de testes de aderência. “É uma ferramenta de análise independente da ferramenta de modelagem do ARENA[®].” (FREITAS, 2008,p.56) Ainda segundo Freitas (2008), depois de coletadas as amostras do sistema real, deve-se inseri-los no *Input Analyzer* e, de acordo com a distribuição dada, realizar testes de aderência Chi-Quadrado e *Kolmogorov-Smirnof* (K-S) para validar esses dados como representativos do sistema real. Nos testes de aderência, admite-se, por hipótese, que a distribuição da variável de interesse na população seja descrita por um determinado modelo de distribuição de probabilidades e se testa o modelo, ou seja, verifica-se a boa ou má aproximação dos dados da amostra do modelo.

Para Chwif e Medina (2006), o primeiro teste de aderência é o chamado Chi-Quadrado (χ^2) desenvolvido por Karl Pearson, mostrado na equação 1:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(fo_i - fe_i)^2}{fe_i} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

K = nº de classes ou intervalos

Fo_i = frequência observada na classe i

Fe_i = frequência esperada na classe i

A condição para que a distribuição de probabilidades dos dados que estão sendo analisados corresponda à distribuição de probabilidades teóricas é que satisfaça ao mesmo nível de significância na tabela de Chi-Quadrado. Quanto às distribuições de probabilidades, podem representar curvas dos mais variados tipos, a saber, distribuição normal, triangular, log normal, exponencial e etc.

especificamente da opção mais comum, isto é, aquela em que os dados para análise tenham sido gerados a partir da execução de um modelo no ARENA®.

5 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CIDADE DE SÃO LUIS

Em São Luís, capital do Maranhão, o processo de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, segundo dados da SEMOSP (2013), é caracterizado pela coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos feitos por empresas terceirizadas, as quais utilizam caminhões compactadores realizando a coleta no ambiente urbano, além de caçambas para coleta de entulhos e materiais provenientes dos serviços de varrição e limpeza de áreas públicas. Para feiras e mercados, a cidade conta com pequenos caminhões e, ainda, existem *containers*, distribuídos em pontos estratégicos, para posterior recolhimento do lixo de locais mais afastados. A coleta, transporte e tratamento de parte dos resíduos hospitalares e infectantes são feitos por empresas particulares, as quais são especializadas e utilizam a incineração como forma de tratamento de resíduos sólidos.

Durante a pesquisa, visitas foram feitas para que algumas informações referentes ao processo de coleta fossem obtidas. De acordo com dados da Superintendência de Limpeza Pública – SULIP (2015), com relação à gestão de resíduos na capital maranhense, até 2009, a coleta do lixo era dividida entre as empresas LIMP Fort Engenharia Ambiental, LIMPEL - Limpeza Urbana e Companhia de Limpeza Urbana e Limpo Fort Engenharia. Antes disso, existia a Coliseu, que era uma empresa da prefeitura responsável pela coleta dos resíduos. Até No ano de 2012, apenas duas empresas realizavam a coleta de resíduos na cidade, no caso, LIMPEL e Vital Engenharia. Conforme previsto, a Prefeitura de São Luís iniciou a privatização da coleta de lixo, segundo dados da SEMOSP (2015), com a implantação da PPP (Parceria Público Privada). Vale ressaltar que a PPP foi inserida no sistema de resíduos sólidos da capital maranhense.

O processo de gestão de resíduos sólidos urbanos é atualmente de responsabilidade da São Luís Engenharia Ambiental - SLEA. Para tanto, a empresa conta com um sistema de monitoramento via satélite, onde pode ser verificado todo o processo de coleta em tempo real. A empresa conta atualmente com 33 caminhões compactadores de lixo. Neste trabalho será abordado apenas o viés da coleta de resíduos feita pelos caminhões

compactadores, afinal, a maior parte de resíduos gerados são os domiciliares, que em sua totalidade são coletados pelos caminhões compactadores. Esses 33 caminhões são distribuídos entre as 4 grandes áreas de coleta de resíduos: A,B,C e D.

Os caminhões saem todos do mesmo local para iniciar a coleta de resíduos, ou seja, saem da garagem da São Luís Engenharia Ambiental Ltda (SLEA). Os caminhões trabalham por turnos distribuídos entre dias pares (segunda, quarta e sexta) e ímpares (terça, quinta e sábado). Em geral, a saída dos caminhões inicia-se às 7 horas, no turno da manhã e, à tarde, inicia-se às 14 horas. Segundo os dados da SEMOSP (2013), a coleta dura em média 4 horas. Nos bairros bastante movimentados, como o centro da cidade, a coleta de resíduos pelos caminhões compactadores é feita preferencialmente à noite.

Após saírem da SLEA, os caminhões dirigem-se para as suas respectivas áreas de coleta e, em seguida, dão início ao processo. Cada caminhão compactador tem capacidade para 15m³ de lixo. De acordo com os resultados dos cálculos, os 15m³ são equivalentes a aproximadamente 8,5 toneladas de lixo. A empresa conta com 33 caminhões compactadores, sendo que, segundo normas de gestão de resíduos sólidos, pelo menos 10% dessa quantidade devem estar reservadas para o caso de problema em algum caminhão coletor. Cada área é subdividida em setores de coleta e, para cada setor, um caminhão é alocado. O planejamento da SEMOSP, junto com a SLEA, é que cada caminhão faça 2 viagens diárias, no máximo, para que os custos operacionais não sejam tão elevados nesse processo logístico, como custos com manutenção de caminhões, por exemplo.

Quanto ao plano de coleta atual, segundo os engenheiros responsáveis pela operação da SLEA, foi sugerido pela própria prefeitura, representada pela SULIP, e passou pela inspeção técnica de empresa vinculada ao grupo Queiroz Galvão. A distância entre os centros de massa de cada área e o antigo aterro sanitário, Aterro Municipal da Ribeira, são dados a seguir:

- Área A - 23 a 30 Km
- Área B - 20 a 25 Km
- Área C - máximo 20 Km
- Área D - 30 a 35 Km (parte com maior altitude da cidade)

O Aterro Municipal da Ribeira foi desativado em julho deste ano, no caso, 2015. No local, encontra-se agora o ponto de transbordo, todos os caminhões realizam suas viagens normalmente, porém, os resíduos são depositados neste ponto. De lá, outros caminhões de maior capacidade de coleta encaminham os resíduos para o novo aterro destino, no caso, na cidade de Rosário. O processo de simulação adotado para o estudo de caso abrangerá apenas a rota dos caminhões sentido SLEA - Setor de Coleta- Ponto de Transbordo do Tibiri (Antigo Aterro da Ribeira). Tais alterações quanto ao processo de coleta, no caso, a partir do ponto de transbordo até o novo aterro sanitário, localizado na cidade de Rosário, será analisado em tópico mais à frente. As velocidades medias de operação dos caminhões compactadores são:

- Caminhão deslocado sem resíduo: 60 Km/h
- Caminhão coletando: Máximo 20 Km/h
- Deslocando cheio: Entre 40 Km/h e 50 Km/h

O tempo produtivo esperado por turno é de 3 horas produtivas. Já a capacidade do caminhão é de, no máximo, 8,5 toneladas de lixo. Segundo planejamento da SLEA, para cada setor, deverá ser alocado 1 caminhão com 2 viagens diárias para aquele setor. Assim, como cada caminhão tem aproximadamente 8,5 toneladas de lixo, é estimado que em um único setor, por dia, deve ser coletado no máximo 17 toneladas de lixo. De acordo com os dados diários coletados por caminhão em cada viagem, percebe-se um grande numero de viagens feitas para cada setor de coleta. Os turnos são de sete horas e vinte minutos. A parada para o almoço dura 1 hora.

Tabela 1: Coleta de Resíduos Domiciliares

| | | |
|--------------|----|----------------|
| Nomenclatura | PD | Par diurno |
| | ID | Ímpar diurno |
| | PN | Par noturno |
| | IN | Ímpar noturno |
| | DN | Diário Noturno |

Fonte: Secretaria Municipal de Obras Públicas (2015)

De modo geral, o turno matutino inicia-se com a saída dos caminhões às sete horas da manhã. No turno matutino, faz-se 50 por cento da rota em questão e, pela tarde, na segunda viagem, termina-se o trajeto. Depois do trajeto, o caminhão segue para o ponto de transbordo do Tibiri e faz o descarregamento do lixo.

Quadro 1: locação de caminhões compactadores por área de São Luis, por dia par/ímpar e turno diurno ou noturno.

| Alocação de Caminhões Compactadores | | | | |
|--|------|------|------|------|
| Coleta Domiciliar | | | | |
| Área A | | | | |
| A PD | A ID | A DN | A PN | A IN |
| 7 | 7 | 6 | 4 | 4 |
| Área B | | | | |
| B PD | B ID | B DN | B PN | B IN |
| 11 | 11 | 3 | 0 | 0 |
| Área C | | | | |
| C PD | C ID | C DN | C PN | C IN |
| 5 | 5 | 0 | 4 | 4 |
| Área D | | | | |
| D PD | D ID | D DN | D PN | D IN |
| 3 | 3 | 0 | 0 | 0 |

Fonte: A autora (2015)

5.1 Alterações no processo de coleta de resíduos sólidos urbanos na cidade de São Luís

Segundo o jornal O Estado Online (2015), por determinação judicial, o Aterro Municipal da Ribeira está impedido de receber resíduos desde 25 de julho de 2015. Com o fechamento do mesmo, os resíduos sólidos de São Luís serão levados ao aterro sanitário do município de Rosário. Para isso, o lixo passará por um novo processo logístico. Até chegar a seu destino, distante 60 km da capital maranhense, os resíduos serão levados em caminhões, em 56 viagens diárias de ida até o aterro sanitário.

Apesar de ter ocorrido tal mudança, os processos de coleta de resíduos continuam ocorrendo normalmente na capital maranhense. O diferencial é que serão levados até a estação de transbordo Tibiri, na área do Aterro da Ribeira, compactados e então direcionados por outros caminhões maiores para serem despejados no centro de gerenciamento ambiental de Rosário - MA.

Figura 2: Titara Central de Gerenciamento Ambiental em Rosário



Fonte: Jornal O Estado (2015)

No Aterro da Ribeira, serão feitas as ações subsequentes ao encerramento das atividades. Será feito o recobrimento com argila dos pontos de lixo que ainda existem e serviços para evitar a erosão do morro formado pelo acúmulo de resíduos. Depois disso, ainda é necessário licença ambiental para desativação do espaço (tratamento do chorume, biogás, etc).

Essa nova logística de destinação do lixo não deve implicar em custos adicionais diretamente para os cidadãos de São Luís, visto que o serviço é prestado para o Município de São Luís. Mas, ao contrário disso, grandes empresas, que são grandes geradoras de resíduos, terão de arcar com os custos adicionais para dar destino adequado ao seu lixo.

Antes da interdição do Aterro da Ribeira, segundo a SULIP (2015), as empresas faziam o descarte de seus resíduos no espaço sem nenhum custo. O único gasto era com a terceirização de empresas especializadas no transporte de resíduos. Agora, as grandes empresas da capital também terão de encaminhar o lixo para um aterro sanitário. Como o mais próximo é o do município de Rosário, isso implicará em custos adicionais para transportar o lixo por mais 60 km até o município e para a gerenciadora do espaço. Segundo a SEMOP (2015), os custos de transporte dos resíduos podem sofrer um aumento de 30% a 50% por causa do trajeto até Rosário. Os caminhões que seguiam até o Distrito Industrial, em São Luís, terão de ir até Rosário. Os custos adicionais, como mais combustíveis, devem ser repassados aos clientes.

5.2 Aterro Municipal de Rosário

O aterro sanitário localizado na cidade de Rosário, no povoado Buenos Aires, a 60 km da capital São Luís, (CENTRAL DE GERENCIAMENTO AMBIENTAL) é administrado pela empresa maranhense TITARA e possui uma área de 180 hectares com capacidade para tratamento de 2,3 mil toneladas de resíduos por dia. O aterro terá uma vida útil de 32 anos, o espaço é completamente adequado para o despejo destes resíduos, incluindo o tratamento, conforme determina a lei 12.305. O fim dos lixões a céu aberto é uma exigência da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A atividade econômica principal de tal aterro é o tratamento e disposição de resíduos perigosos. Já como atividades secundárias deste aterro, podem ser relacionadas coleta de resíduos perigosos, tratamento e disposição de resíduos não perigosos, coleta de resíduos não perigosos, carga e descarga.

Além de receber diariamente 1.000 toneladas de lixo produzidas pela população da capital de São Luís ele também atenderá os resíduos produzidos nos municípios de Rosário, Raposa e de empresas privadas. Com isso a capital se livra de um problema que atrai muitos vetores para a população como mosquitos e urubus; além de causar transtornos para a aviação, como os incidentes entre aeronaves e aves.

O Centro de Gerenciamento de Resíduos da TITARA já opera no mercado de resíduos desde março de 2014. Tal aterro sanitário está voltado para o gerenciamento de resíduos sólidos ou resíduos perigosos ou não. Toda a operação feita pela empresa está dentro das normas ambientais e para operar no ramo possui todas as licenças necessárias emitidas pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA).

6 DESCRIÇÃO DO CASO

Este trabalho consistiu em um estudo de caso, tendo sido precedida por uma revisão bibliográfica inicial sobre o assunto. A pesquisa bibliográfica é fundamental para colocar o pesquisador em contato com o tema de estudo em suas particularidades. Foi alvo da pesquisa bibliográfica inicialmente, a ABNT NBR 10.004/2004, que trata da classificação de resíduos sólidos em suas várias especificidades. O estudo, por sua vez, foi empreendido na

Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos, no Aterro Municipal da Ribeira e na São Luís Engenharia Ambiental.

Em suma, a metodologia adotada é composta pelos seguintes passos:

- ✓ Revisão Bibliográfica
- ✓ Análise do Local de Estudo
- ✓ Pré – Modelagem
- ✓ Análise de Dados
- ✓ Comparação entre Cenários
- ✓ Propostas de Melhorias

Em São Luís, são realizadas coletas dos seguintes tipos: domiciliar (realizada por caminhões compactadores de resíduos), remoção manual, remoção mecânica, poliguindaste, volumosos, poda, varrição, feiras e mercados e etc. Os principais tipos são basicamente três, no caso, domiciliar, remoção manual e remoção mecânica.

6.1 Descrição do local

Quanto à área de estudo, segundo dados da SLEA, a área B representa a área mais crítica da coleta de resíduos, visto que abrange o centro da cidade e, devido às volumosas quantidades de resíduos gerados por dia, se comparadas as das outras áreas. No caso, o volume diário é 30% maior do que a área A e até 60% superior as demais áreas. Portanto, o estudo da área B é bastante relevante para o processo.

A área B de São Luís é subdividida em 25 setores. O planejamento da SEMOSP e SLEA é que cada setor tenha um caminhão alocado. Tal caminhão, nos dias de coleta, faz duas viagens planejadas por dia. Faz a primeira viagem de coleta, descarrega no Aterro da Ribeira, tem parada de 1 hora e, em seguida, realiza a segunda viagem. No entanto, dependendo do dia, é muito comum caminhões reservas serem solicitados para realizar o restante da coleta de resíduos domiciliares. Na área B, 11 setores possuem coleta diurna nos dias pares, outros onze setores possuem coleta diurna em dias ímpares e, por fim, três setores com frequência de coleta diária e noturna. Dias de segunda, quarta e sexta são realizadas as

coletas pares diurnas e diárias noturnas. Já nos dias de terça, quinta e sábado são coletados os resíduos dos setores ímpares diurnos e noturnos.

A coleta diurna tem início às sete da manhã. Começando da segunda-feira, saem 11 caminhões compactadores da garagem da SLEA. A distância que o caminhão percorre até chegar à área de coleta, de acordo com o tratamento dos dados coletados no *input analyzer* do ARENA®, segue uma distribuição triangular TRIA(18,20,25) em minutos. As características dessa distribuição remetem valores mínimos, modas e máximo de toneladas a coletar por dia nessa área. Cada caminhão compactador executa o deslocamento para o centro de coleta da área B com uma velocidade média de 60 Km/h.

Durante a coleta da primeira viagem, o caminhão pode simplesmente finalizar a rota prevista e, em seguida, deslocar-se para o ponto de transbordo do Tibiri para descarregar o caminhão compactador. A duração da coleta depende do dia da semana e segue uma distribuição triangular TRIA (3.5, 4, 5.0) em horas. Ao chegar ao Tibiri, o caminhão é pesado com resíduos e, logo após, segue para as células para despejo do lixo.

Durante a segunda viagem, o caminhão pode atingir sua capacidade de coleta antes do término da rota de segunda viagem. Assim, deverá chamar um caminhão reserva e descarregar no aterro. O caminhão reserva chega até a área de coleta, realiza a coleta restante e, em seguida, segue para o aterro. Ambos vão para a garagem da SLEA ao final do processo.

6.2 Coleta e análise de dados

Para a modelagem e simulação da coleta domiciliar da área B de resíduos sólidos de São Luís, foram coletados dados em basicamente três fontes, no caso, na Superintendência de Limpeza Pública, isto é, um departamento dentro da própria SEMOSP; na São Luís Engenharia Ambiental Ltda; e, por último, no *software* de monitoramento via satélite utilizado pela empresa terceirizada de coleta de lixo na cidade, *Rascol System*.

Para definição dos dados amostrais, foram utilizados dados referentes à quantidade de resíduos sólidos coletados na área de estudo B. A coleta de dados girou em torno dos dados relacionados aos anos de 2010, 2011, 2012 e parte do ano de 2013 (até o mês

de junho). Observou-se que ao longo dos anos há certa tendência de crescimento na quantidade de resíduos gerados. Isto pode ser justificado por motivos bastante aparentes, tais como aumento do número de indústrias, recrudescimento do consumismo etc. Além disso, foi verificado também que alguns meses do ano tem maiores quantidades de resíduos gerados, como dezembro, janeiro, fevereiro, março e julho. A justificativa encontrada para tal fato, segundo a SLEA, remete aos meses com feriados prolongados (Natal, Ano Novo, Carnaval e Páscoa) ou período de férias (janeiro e julho). Portanto, os dados utilizados refletem quantidades diárias coletadas na área B durante vários meses dos anos supracitados.

As amostras foram analisadas dentro de um nível de confiança de 95%, com erro amostral associado à média de 5%. Em seguida é dada a fórmula para uma amostragem não proporcional, segundo Freitas (2008) é a demonstrada na equação 2:

$$n = \frac{Z^2}{Eo^2} \times \sigma \quad \text{Eq. (02)}$$

Onde:

n = tamanho da amostra

Z= valor da Normal

σ^2 =desvio padrão amostral

E02= erro Amostral Tolerável arbitrado associado à média

Inicialmente, foi coletada uma amostra de 30 unidades referentes à quantidade diária total de resíduos gerados na área B em toneladas (t) nos meses de janeiro.

Quadro 02: Amostra do mês de janeiro da área B.

| | | | | |
|----------|----------|----------|---------|----------|
| 224,44 t | 374,03 t | 293,08 t | 289,7 t | 280 t |
| 297,14 t | 323,2 t | 382,9 t | 388,5 t | 292,4 t |
| 420,02 t | 285,52 t | 326,49 t | 298 t | 411,62 t |
| 331,88 t | 314,96 t | 278,22 t | 282,3 t | 295,12 t |
| 328,38 t | 275,46 t | 284,63 t | 287,6 t | 261,8 t |
| 300 t | 302 t | 281,91 t | 320,9 t | 298 t |

Fonte: SEMOSP, 2013

A média dessa amostra é 311 e, por extensão, o desvio padrão adquiriu o valor de 44,45. Assim, para o cálculo do número da amostra tem-se:

Quadro 3: Valores referentes à amostra no mês de janeiro

| Medidas de Dispersão | Valor da normal para confiança (Z) |
|----------------------|------------------------------------|
| Média = 311 | 1,96 |
| Desvio Padrão= 44,45 | |

Fonte: A autora (2015).

Segundo os dados do quadro acima, a média amostral foi de 311 toneladas de lixo e o desvio padrão de tais dados é o seguinte:

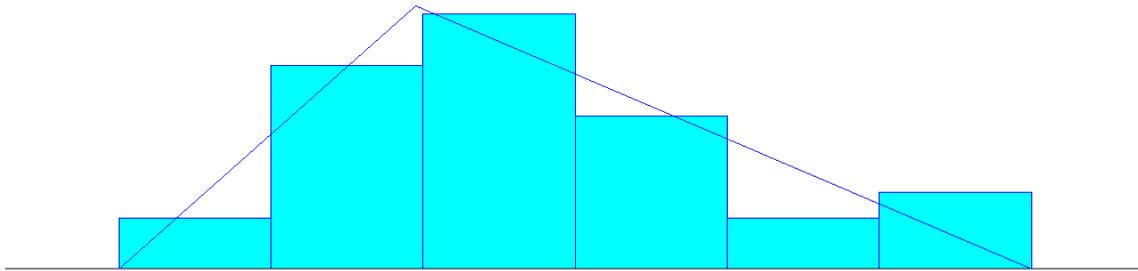
Quadro 4: Tamanho da Amostra

| Erro amostral associado à média | Tamanho da Amostra |
|----------------------------------|--------------------|
| $E(3) = 0,03 \times 311 = 9,33$ | 88 |
| $E(5) = 0,05 \times 311 = 15,55$ | 32 |
| $E(10) = 0,10 \times 311 = 31,1$ | 8 |

Fonte: A autora (2015).

Para o cálculo do número da amostra de cada um dos meses foi realizado o mesmo cálculo e, como erro amostral admissível, foi considerado 0,05, tendo em vista que 0,03 de erro amostral implicariam em um número relativamente alto de dados. Além disso, a utilização de 5% de erro tolerável mostrou-se eficiente para análise dos dados. Após a coleta dos dados e cálculo do número da amostra, foram realizados os testes de aderência através da ferramenta *Input Analyzer* do ARENA®.

Figura 3: Resultado do teste de aderência



Fonte: Software ARENA® (2013).

O gráfico acima é resultado do teste de aderência dos dados coletados para a quantidade de resíduos gerados na área B por dia no mês de janeiro. No caso desse mês, em específico, a curva estatística que melhor se adequou aos dados coletados foi a triangular, gerando a expressão Tria (224, 283, 421) toneladas de resíduos por dia.

Em São Luís, são realizadas coletas dos seguintes tipos: domiciliar (realizada por caminhões compactadores de resíduos), remoção manual, remoção mecânica, poliguindaste, volumosos, poda, varrição, feiras e mercados e etc. Os principais tipos são basicamente três, no caso, domiciliar, remoção manual e remoção mecânica. Quanto à área de estudo, segundo dados da SLEA, a área B representa a área mais crítica da coleta de resíduos, visto que abrange o centro da cidade e, devido às volumosas quantidades de resíduos gerados por dia, se comparadas as das outras áreas. No caso, o volume diário é 30% maior do que a área A e até 60% superior as demais áreas. Portanto, o estudo da área B é bastante relevante para o processo.

A área B de São Luís é subdividida em 25 setores. O planejamento da SEMOSP e SLEA é que cada setor tenha um caminhão alocado. Tal caminhão, nos dias de coleta, faz duas viagens planejadas por dia. Faz a primeira viagem de coleta, descarrega no Aterro da Ribeira, tem parada de 1 hora e, em seguida, realiza a segunda viagem. No entanto, dependendo do dia, é muito comum caminhões reservas serem solicitados para realizar o restante da coleta de resíduos domiciliares. Na área B, 11 setores possuem coleta diurna nos dias pares, outros onze setores possuem coleta diurna em dias ímpares e, por fim, três setores com frequência de coleta diária e noturna. Dias de segunda, quarta e sexta são realizadas as coletas pares diurnas e diárias noturnas. Já nos dias de terça, quinta e sábado são coletados os resíduos dos setores ímpares diurnos e noturnos.

A coleta diurna tem início às sete da manhã. Começando da segunda-feira, saem 11 caminhões compactadores da garagem da SLEA. A distância que o caminhão percorre até chegar à área de coleta, de acordo com o tratamento dos dados coletados no *input analyzer* do ARENA[®], segue uma distribuição triangular TRIA(18,20,25) em minutos. As características dessa distribuição remetem valores mínimos, modas e máximo de toneladas a coletar por dia nessa área. Cada caminhão compactador executa o deslocamento para o centro de coleta da área B com uma velocidade média de 60 Km/h.

Durante a coleta da primeira viagem, o caminhão pode simplesmente finalizar a rota prevista e, em seguida, deslocar-se para o ponto de transbordo do Tibiri para descarregar o caminhão compactador. A duração da coleta depende do dia da semana e segue uma distribuição triangular TRIA (3.5, 4, 5.0) em horas. Ao chegar ao Tibiri, o caminhão é pesado com resíduos e, logo após, segue para as células para despejo do lixo.

Durante a segunda viagem, o caminhão pode atingir sua capacidade de coleta antes do término da rota de segunda viagem. Assim, deverá chamar um caminhão reserva e descarregar no aterro. O caminhão reserva chega até a área de coleta, realiza a coleta restante e, em seguida, segue para o aterro. Ambos vão para a garagem da SLEA ao final do processo.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Visto que a simulação, segundo PEDGEN (2008), permite a análise de sistemas a partir de dados reais, o *software* Arena possibilitou, através de seus relatórios, a quantidade de caminhões que deverá ser dimensionada corretamente para atender a demanda da área B por dia. Esse dimensionamento foi encontrado a partir da análise dos cenários da coleta de resíduos na área B, isto é, inicialmente rodou-se a simulação do sistema considerando a atual alocação de caminhões compactadores e, depois, o cenário proposto como “ideal”. Os relatórios da simulação em Arena projetam todos os dados do sistema simulado, assim como a comparação dos diferentes cenários. Cada cenário será replicado (simulado) diversas vezes no software, e o Arena mostra como resultado a média dessas replicações (PEDGEN,2008). O número de 15 replicações (repetições), segundo Pedgen (2008) é satisfatório para uma primeira análise. Portanto, para cada mês, o sistema de coleta de resíduos por dia na área B de São Luís foi rodado no Arena 15 vezes. E os resultados considerados foram a média dessas replicações.

Os resultados gerais da simulação também serão dados de acordo com o mês em questão. Para a geração desses resultados, de acordo com o estabelecido, será considerada uma alocação de 10 caminhões para a área em estudo, ou seja, 6 a mais do que aquela em ser. A nova alocação dos caminhões de coleta de resíduos, que antes era 6 e que sugeriu-se 10, possibilitou, de acordo com os dados obtidos no Arena (2013), a diminuição considerável do tempo de espera por um caminhão reserva (lembrando-se que, quando determinado caminhão não consegue finalizar sua rota de coleta porque obtém sua capacidade de resíduos coletados atingida, ele deverá chamar um caminhão reserva da garagem e, se tiver disponível, esse caminhão reserva deslocar-se-á até a área de coleta para finalizar o serviço), reduziu de maneira geral em 33% e, em alguns casos, chega a 50% a menos o tempo de espera dos setores por caminhões reservas.

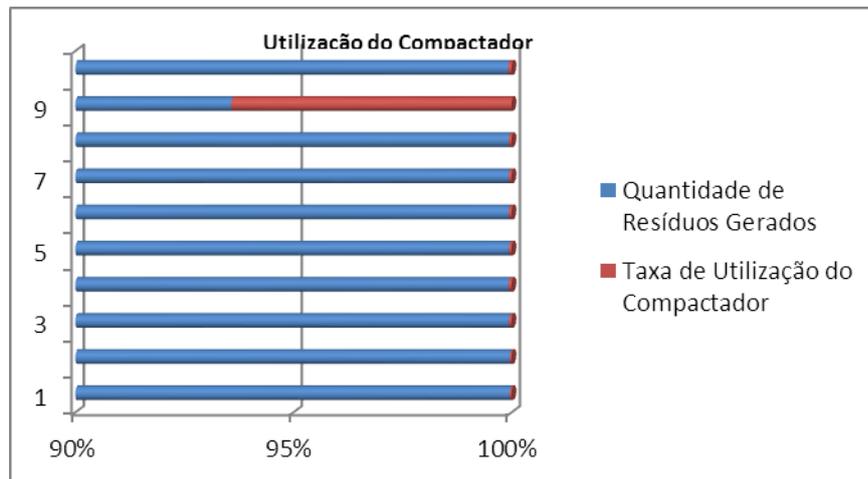
Com o novo dimensionamento para 10 caminhões compactadores disponibilizados por dia para a coleta da área B, no mês de janeiro, por exemplo, tem-se que a média dos resíduos a coletar após a coleta domiciliar diária adquiriu valor 0; Ou seja, a nova alocação atende bem melhor a demanda de resíduos gerados naquela área de São Luís não só no mês de janeiro, mas também para todos os outros meses.

Os relatórios também possibilitaram visualizar que os tempos de processo e de gargalo no sistema foram diminuídos em até 35 %. O tempo médio de deslocamento do caminhão até iniciar a coleta foi de 19 minutos e o tempo médio de cada viagem é de 4,5h, viagem mais espera chega a 5,99h; a utilização do caminhão compactador 18,11% e o tempo gasto no “aterro” (Ponto de Transbordo do Tibiri) pelo caminhão foi de 0,34h ou 20,4 minutos em média. Por outro lado, o tempo de carregamento do caminhão reserva possui média de 2,3h, número de viagens 305, tempo total de espera por reservas disponíveis 28,70 minutos. O número de reservas aguardando ser chamados chega até 8, ou seja, embora tenha melhorado a eficiência do sistema, o tempo dos caminhões ociosos aumentou.

No mês seguinte, fevereiro, as mesmas condições foram inseridas, porém a taxa de resíduos a coletar nesse mês difere do mês anterior. Assim, a média do compactador coletando é 2,24h. Dessa forma, ao alocar 10 caminhões reservas para a área B, o sistema acaba por ter uma produtividade média de 3 horas por viagem, exatamente aquela esperada pela SEMOSP. Quanto à quantidade de viagens dos caminhões ao ponto de Transbordo do Tibiri, nota-se a tendência dos meses de janeiro, julho e dezembro em utilizar de maneira mais

efetiva os recursos e por extensão ter mais viagens, já que mais resíduos são gerados e mais reservas são utilizados.

Figura 4: Taxa de Utilização do Caminhão Compactador x Quantidade de Resíduos Gerados



Fonte: A autora. Relatório ARENA® de Simulação

Verifica-se de acordo com os resultados da simulação que, quanto maior a quantidade de resíduos gerados, maior é a taxa de utilização dos compactadores no aterro sanitário, tendo em vista a maior quantidade de viagens que são realizadas e, além disso, pode-se perceber que a nova alocação de caminhões para 10 compactadores melhorou o desempenho do sistema.

8 PROPOSTAS DE MELHORIAS

As propostas de ações abaixo relacionadas para aperfeiçoamento da coleta domiciliar, a priori, da área B da cidade de São Luís do Maranhão apoiam-se nos relatórios obtidos no *software* ARENA® de modelagem e simulação, assim como no conhecimento prévio em gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e análise de relatórios obtidos, alinhando viabilidade econômica, social e ambiental.

- ✓ Variar os horários de saídas dos caminhões, diminuindo tempos coincidentes altos de chegadas de caminhões ao aterro (horários de pico);
- ✓ realocar os caminhões reservas segundo demanda, que varia sobretudo mensalmente;

- ✓ utilizar para a área B 10 caminhões reservas e, em meses de pico, alugar até cinco caminhões (o custo é menor e satisfaz o sistema);
- ✓ fazer estudo de realocação dos caminhões fixos;

Alinhada às melhorias que podem ser realizadas quanto à questão operacional de coleta domiciliar da área B, deve ser posto em prática ações de conscientização já que, segundo pesquisa de campo realizada em janeiro de 2013, um dos principais problemas enfrentados por esse processo se deve à falta de consciência da população (maus hábitos), ausência de coleta seletiva e mau acondicionamento dos resíduos. As novas ações devem considerar também os aspectos contidos no quadro abaixo:

Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos horários de coleta domiciliar de lixo

| TURNO | VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|----------------|--|---|
| Diurno | É mais econômica | Interfere muitas vezes no trânsito |
| Noturno | Menores transtornos em vias de circulação mais intensa | Aumenta o risco de acidentes |
| | Aproveitamento melhor da frota | Aumento do desgaste dos caminhões |
| | Redução do tempo de espera na descarga | Falta de tempo para uma manutenção preventiva regular |

Fonte: SEMOSP, 2013

Antes de qualquer mudança, é necessária a educação da comunidade em relação aos hábitos mais adequados que devem ter, para contribuir com o sistema de coleta, durante a conscientização é necessário explicar qual a importância da mudança de hábitos e quais os efeitos que essa mudança trará posteriormente para a vida da comunidade e do meio ambiente.

Após a conscientização e a mudança de hábitos na comunidade a etapa seguinte é a união dos órgãos públicos para efetivarem a adoção da coleta seletiva no município de São Luis. A coleta seletiva trará os seguintes benefícios: menor redução de florestas nativas; redução da extração dos recursos naturais; diminuição da poluição do solo, da água e do ar; economia de energia e água; possibilidade da reciclagem de materiais que iriam para o lixo; conservação do solo; diminuição do lixo nos aterros e lixões; aumento da vida útil dos aterros sanitários; redução dos custos da produção, com o aproveitamento de recicláveis pelas indústrias; diminuição do desperdício; melhoria da limpeza e higiene da cidade; prevenção de enchentes; redução dos gastos com a limpeza urbana; criação de oportunidades de

fortalecimento de cooperativas, gerando emprego e renda pela comercialização dos recicláveis.

9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, poderia ser realizada uma análise global do processo, isto é, o estudo das áreas A, B, C e D de coleta da cidade. Além disso, deve-se verificar a possibilidade de mudanças da própria alocação de veículos fixos, pois isso poderia possibilitar grande aperfeiçoamento da coleta domiciliar urbana na cidade, reduzindo custos extras como caminhões reservas, fazendo-se melhor utilização dos caminhões fixos. Além, pode-se analisar a nova configuração da coleta após a mudança para o novo aterro sanitário na cidade de Rosário-MA.

10 CONCLUSÃO

O sistema de coleta dos resíduos sólidos é uma interação entre os órgãos governamentais responsáveis, os trabalhadores e a população. Somente sendo possível total eficácia quando essa interação acontecer de maneira harmônica. Diante dos problemas apresentados na cidade de São Luís - MA, existem medidas a serem tomadas para obtenção da qualidade no sistema de coleta. As medidas para obter a qualidade separam-se em curto, médio e longo prazo.

A implantação do sistema de coleta seletiva é o último passo, para posterior reciclagem dos materiais, que se torna urgentemente necessária, para evitar degradação ambiental e poluição do ambiente urbano. Antes da implantação de qualquer medida, é necessário focalizar de maneira eficaz na conscientização e educação ambiental, pois essa é a base da pirâmide da qualidade no sistema de coleta dos resíduos sólidos.

A simulação da área de coleta B, considerada a área crítica de coleta, mostrou que a quantidade de 4 caminhões reservas alocados para a área em questão acaba por não corresponder às características da demanda. Ou seja, a fim de se coletar todo o resíduo gerado na área e manter a cidade limpa, tornam-se necessários mais caminhões reservas. Através dos relatórios da simulação, verificou-se que 10 caminhões atendem, em tempo hábil, toda a demanda de resíduos gerados na maioria dos meses. Além disso, os gargalos referentes ao tempo de espera dos caminhões reservas nos pontos solicitados diminuíram em até uma hora e meia. Embora nos meses de pico sejam necessários cerca de 15 caminhões reservas, devido aos altos custos envolvidos, o número de 10 reservas já é suficiente, pois em meses de pico, poder-se-ia alugar tais caminhões, levando a um custo inferior ao adquirir mais caminhões. Assim, a nova alocação traria bons resultados operacionais e de gerenciamento desses resíduos, apesar de aumentar a ociosidade dos caminhões em alguns meses.

Após a conscientização e a mudança de hábitos na comunidade a etapa seguinte é a união dos órgãos públicos para efetivarem a adoção da coleta seletiva no município de São Luís. A coleta seletiva trará os seguintes benefícios: menor redução de florestas nativas; redução da extração dos recursos naturais; diminuição da poluição do solo, da água e do ar; economia de energia e água; possibilidade da reciclagem de materiais que iriam para o lixo; conservação do solo; diminuição do lixo nos aterros e lixões; aumento da vida útil dos aterros

sanitários; redução dos custos da produção, com o aproveitamento de recicláveis pelas indústrias; diminuição do desperdício; melhoria da limpeza e higiene da cidade; prevenção de enchentes; redução dos gastos com a limpeza urbana; criação de oportunidades de fortalecimento de cooperativas, gerando emprego e renda pela comercialização dos recicláveis.

Como sugestões para trabalhos futuros, poderia ser realizada uma análise global do processo, isto é, o estudo das áreas A, B, C e D de coleta da cidade. Além disso, deve-se verificar a possibilidade de mudanças da própria alocação de veículos fixos, pois isso poderia possibilitar grande aperfeiçoamento da coleta domiciliar urbana na cidade, reduzindo custos extras como caminhões reservas, fazendo-se melhor utilização dos caminhões fixos.

Além disso, quanto à configuração do processo de coleta de resíduos a partir das alterações de julho de 2015, pode-se perceber que implicarão em aumento de custos entre 30% a 50% no gerenciamento de resíduos. Outro ponto a ressaltar será a possível diminuição de acidentes com aves e aeronaves, pois o antigo aterro da cidade atraía grande quantidade de aves e, com a proximidade em relação ao aeroporto de São Luís, os riscos de acidentes eram elevadíssimos. Por fim, outro ponto que poderá ficar como estudo futuro seria com relação à identificação de pontos positivos e negativos gerados com a implantação no novo aterro sanitário, na cidade de Rosário - MA.

REFERÊNCIAS

ANGELIS, Neto. ANGELIS, Bruno Luis. **Gestão de resíduos sólidos Urbanos de Maringá/PR**. São Paulo, Saraiva: 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ANBT. **ABNT NBR 10.004:2004**. Disponível em: <http://www.saac.com.br/pdf/NBR10004-2004-ClassificadodeResiduosSolidos.pdf>. Acesso em: 02 fev 2013.

ARENA® SOFTWARE. **ARENA® - Overview**. Disponível em: <http://www.ARENA®software.com>. Acessado em 16 jan. 2013.

BARLAZ, M.A. et al. **Life-Cycle Study of Municipal Solid Waste Management - System Description**. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1995.

CHWIF, L. e MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**, Ed. Bravarte, São Paulo, 2006.

FREITAS, Paulo José de. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GOIS, Bruno César Vieira. **Uma comparação dos métodos de divisão e organização das rotas de coleta dos caminhões compactadores de lixo**. São Paulo: Faculdade de tecnologia da Zona Leste, 2005.

KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P., SADOWSKI, D. A. **Simulation with ARENA®**, McGraw-Hill, New York, 1998.

RECICLAGEM. **As cores dos Contêineres de lixo**. Disponível em: <http://www.micropointbr.com.br/base.html>. Acesso em jan/2015.

SANTOS, Gemelle Oliveira. ALVES, Catarina de Brito. SILVA, Luiz Fernando Ferreira da ZANELLA. Maria Elisa. **Implementação da coleta de resíduos sólidos em condomínios de Fortaleza/CE: Etapas, perspectivas energéticas e ambientais**. Fortaleza, Saraiva : 2012.

SCHALCH, Valdir. Associação brasileira de engenharia sanitária e ambiental. **Aterros sanitários, construção, operação e gerenciamento**. São Paulo, Saraiva: 2008 .

SEMOSP. Secretária Municipal de Obras e Serviços Públicos: **Superintendência de Limpeza Pública**. São Luís, 2010.

SEMOSP. Secretária Municipal de Obras e Serviços Públicos: **Superintendência de Limpeza Pública**. São Luís, 2013.

SLEA. Prefeitura Municipal de São Luís: **São Luís Engenharia Ambiental**. São Luís, 2013.

SILVA SOUSA, Rowzivel Adamack. **Análise do sistema de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares na cidade de São Luís**. São Luis: Engenharia Mecânica Industrial do Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão, 2008.

VELLOSO, Marta Pimenta. VALADARES, Jorge de Campos. SANTOS, Elizabeth Moreira dos. **A coleta de lixo domiciliar na cidade do Rio de Janeiro**: um estudo de caso baseado na percepção do trabalhador. Rio de Janeiro: 2015.