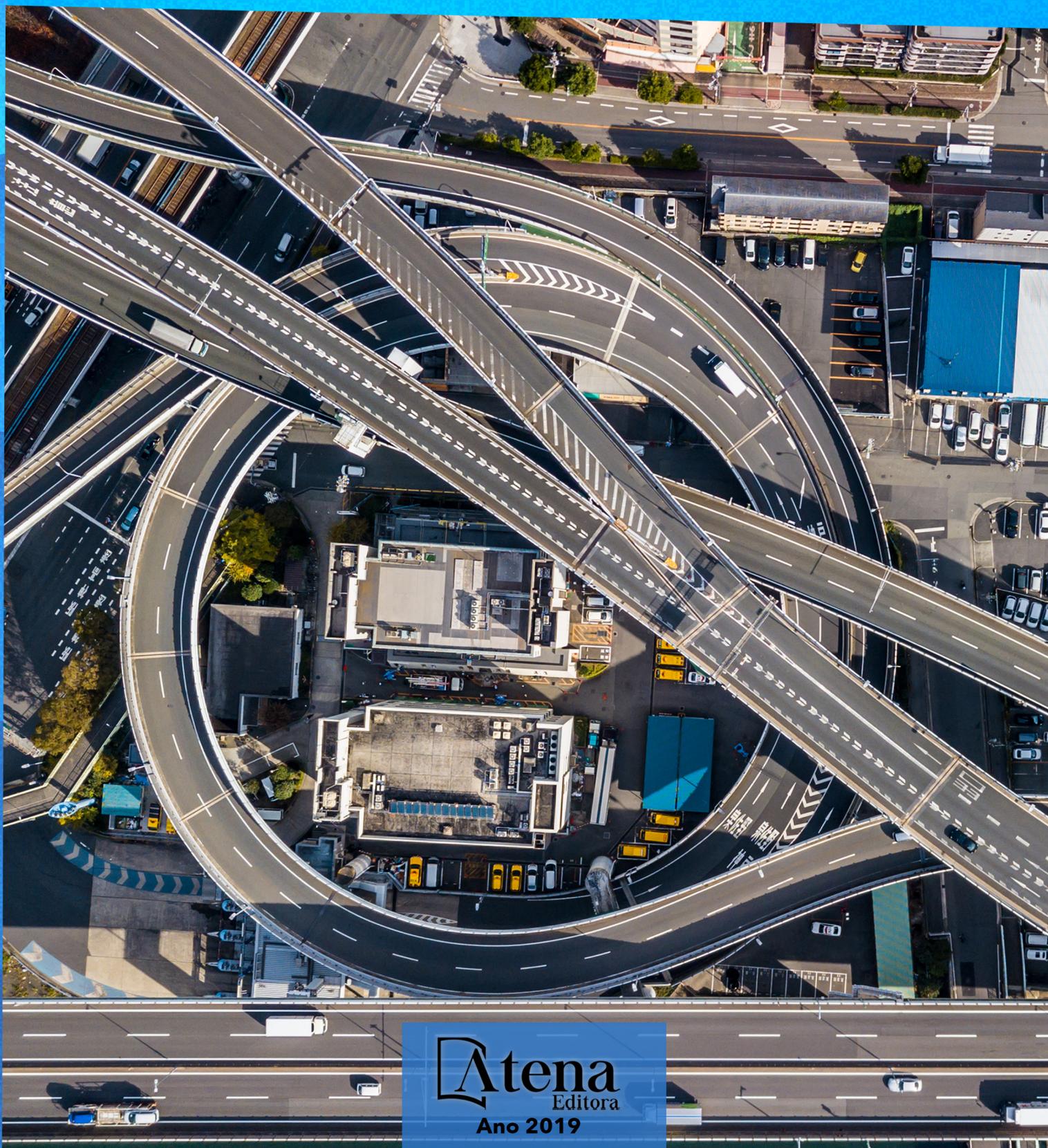


**JOÃO DALLAMUTA
RENNAN OTAVIO KANASHIRO
(ORGANIZADORES)**

CONCEITOS E FERRAMENTAS NA ENGENHARIA DE TRANSPORTES



Atena
Editora
Ano 2019

João Dallamuta
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)

Conceitos e Ferramentas na Engenharia de Transportes

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Rafael Sandrini Filho
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof^a Dr^a Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof.^a Dr.^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof.^a Dr.^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C744	Conceitos e ferramentas na engenharia de transportes [recurso eletrônico] / Organizadores João Dallamuta, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-352-1 DOI 10.22533/at.ed.521192405 1. Engenharia de transportes – Pesquisa – Brasil. I. Dallamuta, João. II. Kanashiro, Otavio. CDD 629.04
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Esta obra é composta por pesquisas realizadas por professores, alunos de graduação e pós-graduação cujas linhas de pesquisa procura modelar e propor soluções para problemas práticos de transporte, sobretudo no cenário brasileiro

Os desafios da engenharia de transporte envolvem aspectos técnicos inerentes ao ofício de engenheiro, mas sobretudo humanos, uma vez que envolve diretamente questões ligadas a segurança. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) o Brasil ocupa o quinto lugar entre os países recordistas em mortes no trânsito, atrás somente da Índia, China, Estados Unidos e Rússia. Considerando que dentre estas nações, apenas a Rússia apresenta população inferior a brasileira temos um trânsito violento tanto em indicadores absolutos quanto proporcionais.

Outros aspectos importantes no cenário de engenharia aplicada a problemas de trânsito é a eficiência. Temos uma matriz de transporte basicamente rodoviária e um ambiente regulatório e político complexo para mudar este cenário, via de regra nossos pesquisadores modelam e otimizam em cima de condições de contorno que não são nem de longe as melhores, como no dito popular, tiram leite de pedra. Ganhos de eficiência mesmo que pequenos, no Brasil são importantes, haja vista o cenário custoso (em valores monetários, tempo e riscos) que temos no Brasil.

E por fim, destacamos a importância da sustentabilidade. Há pouco mais de 40 anos atrás demos uma resposta a um problema, que na época era econômico e não de sustentabilidade, com o Proálcool. Atualmente novos desafios de sustentabilidade irão gerar impacto na engenharia de transporte. O biodiesel, veículos híbridos, elétricos e novas exigências legais de construção de vias tanto urbanas quanto intermunicipais, devem provocar mudanças nos paradigmas atuais.

Esta obra reunimos aspectos de modelagem, otimização e estudos de problemas práticos. Também são abordadas pesquisas nas áreas de construção e urbanismo. Todos os trabalhos com discussões de resultados e contribuições genuínas em suas áreas de conhecimento.

Boa leitura.

João Dallamuta
Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
USO DE MODELAGEM DINÂMICA DE SISTEMAS CONECTADA A UM SIG PARA A GERÊNCIA DE PAVIMENTOS URBANOS	
José Leomar Fernandes Júnior Simone Becker Lopes	
DOI 10.22533/at.ed.5211924051	
CAPÍTULO 2	15
MODELOS DE CONTROLE SEMAFÓRICO PARA OTIMIZAÇÃO DE FLUXO DE TRÁFEGO EM VIAS URBANAS	
Ana Caroline Meireles Soares João Viana da Fonseca Neto Patrícia Helena Moraes Rêgo	
DOI 10.22533/at.ed.5211924052	
CAPÍTULO 3	26
MODELAGEM DE UMA REDE LOGÍSTICA REVERSA PARA COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	
Adelaida Pallavicini Fonseca Milton Jonás Monteiro José Antonio Rodríguez Melquiades	
DOI 10.22533/at.ed.5211924053	
CAPÍTULO 4	44
SIMILARIDADES E DISSIMILITUDES DAS CARACTERÍSTICAS DOS CORREDORES DE TRANSPORTE PÚBLICO EM CIDADES GLOBAIS	
Maria Ivana Vanderlei Leonardo Herszon Meira Oswaldo Cavalcanti da Costa Lima Neto	
DOI 10.22533/at.ed.5211924054	
CAPÍTULO 5	60
SHOPPING CENTER COMO ATRATIVO DE CONDOMÍNIOS VERTICAIS E AS INFLUÊNCIAS NO TRÁFEGO VIÁRIO	
Maximillian Nascimento da Costa Jussara Socorro Cury Maciel	
DOI 10.22533/at.ed.5211924055	
CAPÍTULO 6	72
TRANSPORTES, ACESSIBILIDADE URBANA E AS CALÇADAS NA CIDADE DE SÃO PAULO	
Lucas de Souza Ramalhaes Feitosa Roberto Righi	
DOI 10.22533/at.ed.5211924056	

CAPÍTULO 7	88
REGULAÇÃO DO USO DO ESPAÇO PÚBLICO EM CIDADES DE PEQUENO PORTE: UMA ANÁLISE TEÓRICA ENTRE AS POLÍTICAS PÚBLICAS, A LEGISLAÇÃO E A PRÁTICA	
Dannúbia Ribeiro Pires	
Leonardo Herszon Meira	
Maria Victória Leal de Almeida Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.5211924057	
CAPÍTULO 8	104
A RELAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO ESCOLAR E MELHORIAS DECORRENTES DE PROGRAMAS DE TRANSPORTE ESCOLAR RURAL: UM ESTUDO EM SANTA MARIA DO CAMBUCÁ – PE	
Maria Victória Leal de Almeida Nascimento	
Mauricio Oliveira de Andrade	
Dannúbia Ribeiro Pires	
DOI 10.22533/at.ed.5211924058	
CAPÍTULO 9	119
AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE DOSADAS PELA METODOLOGIA <i>SUPERPAVE</i>	
Matheus Covelo Machado	
Heraldo Nunes Pitanga	
Taciano Oliveira da Silva	
Adriano de Freitas Teixeira	
Valéria Martins da Costa Pena	
Giovani Levi Sant'Anna	
DOI 10.22533/at.ed.5211924059	
CAPÍTULO 10	135
CARACTERÍSTICAS DE VULNERABILIDADE EM IDOSOS E OBESOS NAS TRAVESSIAS DE PEDESTRE	
Frederico Souza Gualberto	
Janaína Amorim Dias	
Heloísa Maria Barbosa	
Marcelo Franco Porto	
Marconi Gomes da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.52119240510	
CAPÍTULO 11	151
DESASTRES NATURAIS: SELEÇÃO E LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DE ABRIGOS PARA FLAGELADOS	
Manuela Marques Lalane Nappi	
João Carlos Souza	
DOI 10.22533/at.ed.52119240511	
SOBRE OS ORGANIZADORES.....	167

MODELAGEM DE UMA REDE LOGÍSTICA REVERSA PARA COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Adelaida Pallavicini Fonseca

Universidade de Brasília, Departamento de
Engenharia Civil e Ambiental
Brasília – Distrito Federal

Milton Jonás Monteiro

Universidade Federal de Tocantins, Curso de
Administração
Palmas – Tocantins

José Antonio Rodríguez Melquiades

Universidad Nacional de Trujillo, Escuela de
Informática
Trujillo, Perú

RESUMO: A pesquisa bibliográfica revela uma preocupação dos governos federais com a destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) com o objetivo de preservar a saúde da população, o meio ambiente urbano e rural. Por exemplo, no Brasil observa-se a criação da Lei 12.305/10 e, no Peru, da Lei 27.314/2000. Neste contexto e para o caso das cidades brasileiras esperava-se que, com o comando legal de desativação dos lixões até 2014, surgissem medidas que viabilizassem a coleta seletiva, reciclagem e reutilização para cerca de 80% do volume total de resíduos sólidos coletados e destinados a locais impróprios. Nesse sentido esta pesquisa tem como objetivo principal modelar e planejar uma rede logística reversa para uma região urbana. Os resultados obtidos

mostram ser possível realizar a modelagem matemática desse tipo de problema com baixo investimento, assim como aplicá-la em várias regiões sem necessidade de grandes mudanças no modelo proposto.

PALAVRAS-CHAVES: Logística reversa, redes de transporte, resíduos sólidos urbanos.

ABSTRACT: The literature reveals a concern of Federal Governments with the disposal of municipal solid waste (MSW) in order to preserve the health of the population, the urban and rural environment. For example, in Brazil there has been the creation of Law 12,305 / 10 and, in Peru, of Law 27,314 / 2000. In this context and for the case of Brazilian cities, it expected that, with the legal command for the deactivation of landfills by 2014, measures would be adopted in order to enable the selective collection, recycling and reuse for about 80% of the total volume of collected solid waste and intended to inappropriate places. In this sense, this research aims to model and plan a reverse logistics network to an urban area. The results show to be possible perform mathematical modeling of this problem with low investment, as well as apply it in various regions without major changes in the proposed model.

KEYWORDS: Reverse logistics, transport networks, urban solid waste.

1 | INTRODUÇÃO

A acessibilidade predial na maioria das cidades já se encontra comprometida, em virtude da falta do cumprimento das normas técnicas brasileiras quanto ao desenho e construção de calçadas e passeios, assim como na disposição não padronizada dos elementos de infraestrutura de mobilidade urbana (CERNA, 2014).

O problema se agrava com a colocação indiscriminada dos RSU (seja como for o armazenamento) nas calçadas e nas vagas de estacionamento, como apontam as pesquisas de Monteiro (2013), Oliveira (2014) e Abreu (2015). Esses três autores levantaram a situação da coleta e transporte dos RSU nas quadras comerciais da cidade de Brasília. Um deles focou o problema no Setor Comercial Norte (MONTEIRO, 2013) e os outros dois nas quadras comerciais do Plano Piloto (ABREU, 2015; OLIVEIRA, 2014). Os diagnósticos apresentados nesses trabalhos mostram a dificuldade de gestão dos RSU na cidade.

O modelo de gestão dos Serviços de Limpeza Urbana é similar em aproximadamente todas as cidades brasileiras, sendo que a situação de acondicionamento residencial ou predial, coleta e transporte, tratamento e disposição final dos RSU, infelizmente é a mesma em quase todas as cidades, segundo dados da ABRELPE (2010, 2014).

Não se pode negar que existem muitas iniciativas da população e de várias organizações não governamentais tratando de reverter essa situação, no entanto, elas não têm a infraestrutura adequada para operacionalizar várias ações da cadeia logística reversa, nem muito menos as competências e atribuições necessárias para exercer o mesmo papel que lhe cabe aos órgãos gestores.

De todo o exposto, conclui-se que o tema é bastante desafiador, pois embora a sociedade possa ter consciência da riqueza descartada cotidianamente e de potenciais ganhos econômicos, sociais e ambientais que poderiam ser auferidos, soluções abrangentes parecem caminhar a passos lentos.

Em sentido contrário, os indicadores apontam avanço acelerado na produção de bens que um dia serão descartados, no aumento nos custos de operação da coleta e transporte, construção e manutenção de aterros e de outras facilidades e na constante falta de recursos públicos para obras públicas e gestão.

A rigor, pode-se concluir que o maior problema que todas as cidades têm, está na falta de uma rede logística reversa que integre todos os participantes formais e informais, privados ou não, que atuam e trabalham com os RSU, aliada a um bom sistema de informação gerencial e de controle operacional.

Há necessidade de se implantar políticas públicas adequadas, que possibilitem saltos qualitativos, permitindo assim migrar rapidamente a sistemas integrados que reincluam os RSU na cadeia produtiva, aproveitando o seu potencial produtivo e de geração de renda, assim como o seu conteúdo energético. A Lei nº 12.305/2010, é enfática neste sentido.

Nessa perspectiva da nova legislação e do estágio pouco avançado em que se encontra em relação à coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos é que motivou o desenvolvimento dessa pesquisa, que tem como objetivo principal, modelar e planejar uma rede logística reversa para uma região urbana, dimensionando o fluxo de RSU que será movimentado ao longo da rede e determinando o número e capacidade das estações de coleta e das unidades produtivas e especiais necessárias para o atendimento dessa região, quanto a coleta, transporte e disposição final dos RSU.

Com a otimização do modelo de coleta e transporte de RSU é possível reorganizar o sistema logístico reverso de uma cidade de forma a conseguir um melhor dimensionamento da rede, com a conseqüente diminuição do número de veículos que circulam na cidade e de contêineres e sacolas de lixo espalhados pela cidade, criando um ambiente mais sustentável e saudável.

Para isso, foram definidas quatro seções contadas a partir dessa introdução, que apresenta o contexto do problema e o objetivo do artigo. A segunda seção levanta os elementos abordados na literatura sobre modelos de redes logísticas, de distribuição (direita) e reversa e de gestão de RSU. Base que subsidia a modelagem da rede logística proposta apresentada na seção seguinte. Em seguida, há o encerramento do artigo com a conclusão da pesquisa realizada.

2 | MODELOS DE REDES LOGISTICAS E GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Neste item apresenta-se um levantamento do estado da arte dos principais modelos matemáticos utilizados na estruturação de redes logísticas, de forma geral, e na gestão de resíduos sólidos. Assim, fez-se uma seleção daqueles modelos que podiam vir a contribuir com os objetivos do trabalho. O processo de seleção compreendeu os seguintes passos:

- a. Revisão bibliográfica sobre modelos matemáticos relacionados ao tema da pesquisa;
- b. Compreensão clara da proposta de cada modelo e suas técnicas de solução;
- c. Análise dos requerimentos de dados para executar os modelos;
- d. Busca de uma base de dados existentes nos diferentes agentes envolvidos na logística e gestão de resíduos sólidos para testar esses modelos;
- e. Avaliação de uma ferramenta computacional que permitisse executar os modelos selecionados e simular várias soluções;
- f. Análise da experiência alcançada com cada modelo para fundamentar a modelagem proposta na pesquisa (MELQUIADES, 2015).

Devido à complexidade de uma série de modelos utilizados na literatura científica

para estruturar redes logísticas, otimizar rotas e, sistemas de distribuição e coleta com vários pontos de origens e destinos e pontos de triagens, buscou-se aqueles modelos mais simplificados que fossem factíveis de serem programados e validados.

Vale ressaltar que a literatura é muito vasta quanto a esse tema, no entanto, nem todos os modelos podem ser testados, já que, muitas vezes apresentam alguma incompatibilidade, como conflito nas restrições, ou falta de alguma hipótese ou premissa.

Diante desse quadro, observou-se que era importante contar com uma ferramenta computacional que possibilitasse a execução dos modelos selecionados e preferencialmente não tivesse nenhum custo. Assim, realizou-se uma busca intensiva de softwares livres na Internet, chegando-se à conclusão que a melhor ferramenta computacional para ser utilizada era o software *GLPK* (MAKHORIM, 2008). O *GLPK* mostrou-se uma ferramenta muito pratica quanto a sua capacidade de execução dos algoritmos testados e de trabalhar com um número bastante considerável de variáveis e dados de entrada.

2.1 Modelos de Redes Logísticas

Uma proposta baseada num modelo de programação inteira mista não linear para o desenho de rede logística de distribuição integrada (direta e reversa) foi apresentada por Jeung (2005). Neste modelo a função objetivo minimiza os custos totais, que representam os custos operacionais, os custos de funcionamento das facilidades fornecidas e os custos de fluxos diretos e reversos. A técnica de solução desenvolvida para solucionar o problema foi um algoritmo genético.

Já Srivastava (2008) apresenta no nível metodológico uma estrutura conceitual combinando a modelagem descritiva com as técnicas de otimização para abordar o problema de logística reversa. Dessa forma, formula um modelo conceitual de logística reversa baseado em multiperíodo e com agregação de valor ao sistema. O modelo está fundamentado em três níveis: retorno dos produtos pós-venda e pós-consumo; captação desses produtos nos centros de coleta; transporte desses produtos aos centros de manutenção e remodelação ou aos centros de manufatura.

Um modelo de programação linear que minimiza o custo total para o transporte em uma rede de logística reversa foi proposto por Lee J. *et al* (2008). O modelo compreende três etapas: 1) os RSU coletados nas estações de coleta (*ec*) são transportados para os centros de triagem (*cd*); 2) nos centros de triagem (*cd*) é realizada uma classificação dos RSU sob três critérios, RSU que podem ser reutilizados são transportados para os centros de reciclagem (*r*); RSU que precisarem de algum processo então são transportados para os centros de transformação (*ct*) e; aqueles resíduos sem valor são transportados para os centros de eliminação (*e*); e 3) os RSU processados nos centros de transformação (*ct*) são transportados para as fábricas (*f*).

Nessa última etapa proposta por Lee J. *et al* (2008), mantêm-se a seguinte

premissa, se a quantidade de matéria-prima (m) que vem dos centros de transformação (ct) é menor do que a demanda das fábricas (f), então estas devem comprar essa matéria prima de seus outros fornecedores, mas se existe matéria-prima suficiente para atender a demanda das fábricas então, não se faz necessário os outros fornecedores, no entanto, o excesso deve ser distribuído aos centros de reciclagem (r) e/ou centros de eliminação (e).

Para resolver o modelo de logística reversa, Saman *et al* (2009) propõem um modelo de programação linear inteira mista para otimizar os custos de transporte e custos fixos de funcionamento das diferentes unidades produtivas que compõem a rede logística reversa. O modelo permite também, determinar o número necessário das diferentes unidades produtivas que compõem a rede.

O modelo de Saman *et al* (2009) também, funciona em várias etapas: os RSU são entregues nos centros de atenção ao cliente (l), que depois são enviadas as estações de coleta (ec). Nas estações de coleta se realiza uma triagem. Os RSU's com possibilidades de serem reciclados ou recuperados são enviados aos centros de recuperação (cr) e aqueles que não tem mais utilidade são encaminhados aos centros de eliminação (e).

Devido à complexidade do problema os autores fazem uso da metaheurística *simulated annealing* para obter soluções. O modelo matemático procura otimizar a rede logística reversa, buscando atender a demanda dos clientes que descartam seus RSU no sistema. O modelo de otimização trata de determinar, em função das capacidades estabelecidas às unidades produtivas da rede, o número de unidades necessária de cada uma delas, assim como as quantidades de volume de carga que deve sair de cada uma delas de forma a minimizar os custos de transporte na rede.

Sterle (2010) explica que é possível desenvolver um sistema de logística urbana em dois níveis, baseando-se numa extensão do PRV. O modelo consiste em concentrar a carga que chega para a área urbana em um determinado conjunto de plataformas (CP), localizadas no cordão externo (limítrofe) da área urbana. Nessas plataformas (p) a carga é classificada segundo a localização geográfica do destinatário da carga e distribuída a um conjunto de centros menores (CS) localizados nos bairros ou distritos pertencentes à área urbana. Esses centros são denominados pelo autor como unidades satélites (s).

Devido a natureza combinatória do problema tem-se uma complexidade computacional para resolver o modelo, assim observa-se que quando mais componentes ou variáveis são acrescentados, o tempo de processamento para encontrar uma solução vai ficando bem maior. Dessa forma, Sterle (2010) propõe uma meta heurística (busca tabu) que resolve o problema em pouco tempo computacional, mas não garante que a solução seja ótima.

O Modelo de Qureshi *et al* (2010) é uma variante do Problema de Roteirização e Programação de Veículos com Janelas de Tempo (PRVPJT) conhecido como o Problema de Roteirização e Programação de Veículos com Janelas de Tempo Meio

Suave (PRVPJTMS). O modelo proposto pelo referido autor aplica penalidade ao veículo quando este se atrasa e chega depois do tempo estabelecido na janela de tempo do cliente. A representação matemática do modelo de Qureshi *et al* (2010) é semelhante ao PRVJT, mas a janela de tempo é estendida para τ , onde $\tau > \tau_0$.

Conforme Badran (2006) o gerenciamento dos RSU compreende o gerenciamento de três grandes sistemas. O primeiro é relacionado ao sistema físico-operacional, que começa com a otimização do processo de coleta dos resíduos, continua com o tratamento adequado (reciclagem e/ou reutilização) até a disposição final dos mesmos, seguindo as normas ambientais exigidas.

O segundo sistema diz respeito aos aspectos institucionais, onde o gerenciamento deve considerar todos os agentes que participam direta e indiretamente em todos os processos de forma a garantir o funcionamento do sistema, qualidade do serviço, a preservação do meio ambiente e o bem-estar da comunidade. Isso inclui a forma de relacionamento e participação de todos, contemplando programas de conscientização e responsabilidade social. O terceiro sistema refere-se ao sistema jurídico e regulatório.

Quanto ao sistema físico-operacional há várias propostas para otimizar os processos e determinar a quantidade necessária de estações. Um modelo de programação linear inteira mista para a seleção das estações de coleta necessárias numa região urbana ou cidade foi proposta por (BADRAN, 2006). Ele divide a região urbana em zonas (z), os RSU que são coletados nessas zonas são transportados as estações de coleta (ec). Nesse local, os RSU passam por uma triagem, os que são plausíveis de recuperação ou de reciclagem são transportados para os centros de triagem (cd) e o resto é transportados para os aterros (a).

2.2 Proposta de modelagem para coleta e transporte de rsu

Em geral, a configuração de uma rede logística reversa de uma cidade segue a estrutura apresentada na Figura 1. Independente de como seja feita o processo de coleta e transporte dos RSU em uma cidade, esta pesquisa propõe três etapas do processo de modelagem da rede logística reversa:

- a. Roteirização da coleta dos RSU gerados nas zonas urbanas e transporte dos mesmos para as estações de coleta;
- b. Transporte dos RSU das estações de coleta selecionadas até os centros especializados sob duas propostas diferentes, as quais se descrevem a continuação;
- c. Teste e validação do modelo com a aplicação em um estudo de caso.

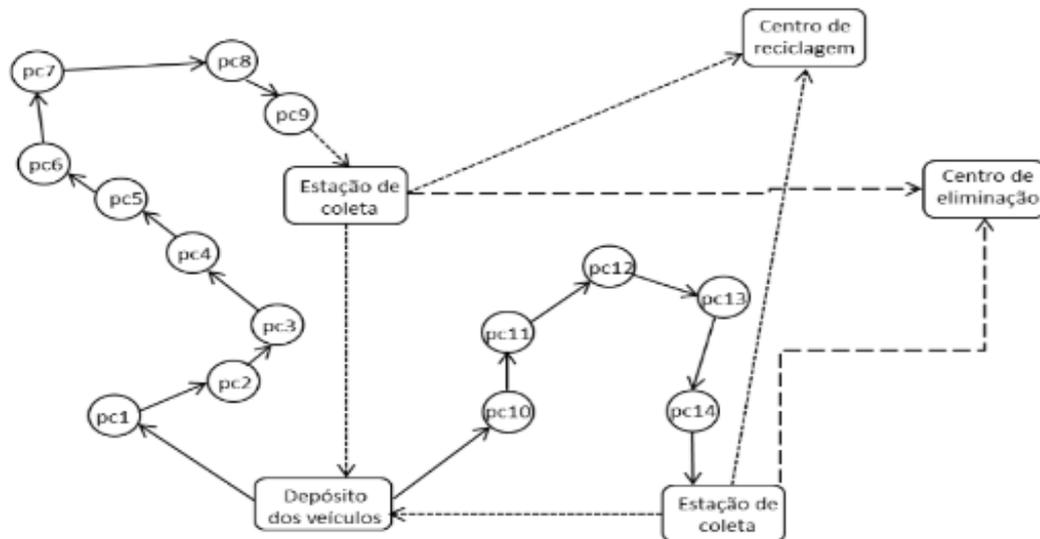


Figura 1: Esquema do processo de coleta e transporte de RSU

Fonte: Elaboração própria

Dependendo do comportamento da comunidade e da política do governo local, pode apresentar-se duas situações, os usuários não separam devidamente os RSU ou caso contrário, separam. Caso se dê a primeira situação precisar-se-á de centros de triagem para fazer a devida separação, o que aumenta os custos do sistema, devido a necessidade de investimento na construção de uma instalação desse tipo e aos seus custos de manutenção e operação. Na Figura 2 ilustra-se o primeiro caso. Na segunda situação (caso) são eliminados os centros de triagem.

2.3 Primeira Etapa

A primeira etapa do processo de modelagem da rede logística reversa consiste em formular o problema de roteirização e seleção das estações de coleta. Baseado no PRVJT e no modelo de Buhrkal *et al* (2012) formula-se um modelo que minimize o custo total obtido no processo de geração do melhor plano de roteirização, que atenda a demanda de todos os pontos de coleta e o transporte dos RSU coletados para as estações de coleta selecionadas.

A inserção de janelas de tempo no modelo é com o propósito de estabelecer períodos prefixados para a coleta de RSU nos pontos de coleta. Essa variável permitirá otimizar a frota ao longo do dia e estabelecer melhor as estações de coleta. Vários autores, entre eles, Buhrkal *et al* (2012) agregam um componente interessante em seus modelos matemáticos, que consiste em quantificar as emissões de CO₂ dos veículos alocados em uma rota, mostrando sua relevância.

Esse elemento somado à função objetivo do modelo influencia no processo de roteirização e seleção das estações de coleta, já que na medida em que aumenta o valor da emissão de CO₂ pelo aumento do número de veículos circulando na rede viária, o modelo procura encontrar outra combinação que minimize os custos de transporte e de instalação das estações de coleta. Tomando em consideração esse

aspecto, passa-se a utilizar esse componente na formulação matemática do modelo proposto na pesquisa.

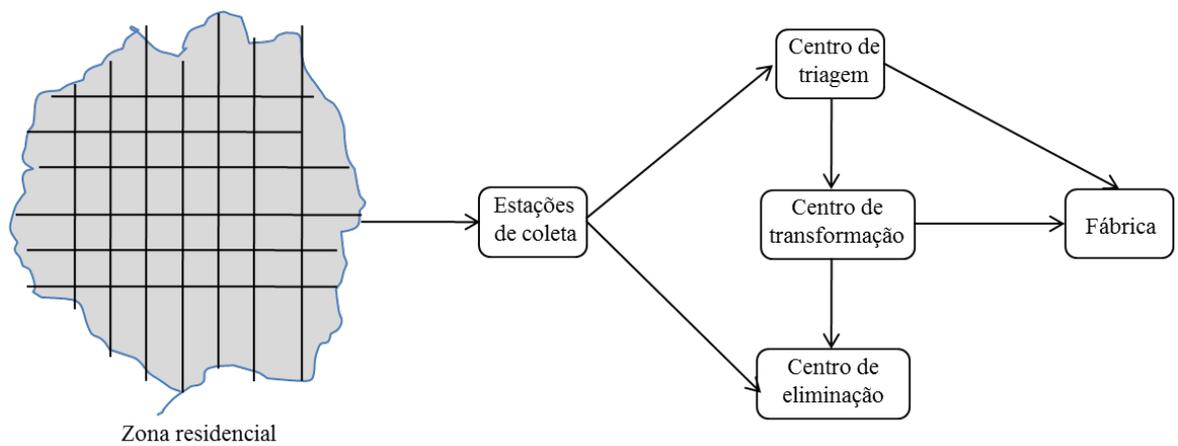


Figura 2: Proposta do Caso I

Fonte: Elaboração própria

Função Objetivo:

$$Min CT = \sum_{i,j=1;i \neq j}^{p'} \sum_{k=1}^{k'} c_{i,j} x_{i,j,k} + \sum_{ec=1}^n c_{fec} y_{ec} + \sum_{i,j=1;i \neq j}^{p'} \sum_{k=1}^{k'} cc \left(\frac{em_k}{q_k} \right) x_{i,j,k} \quad (1)$$

Minimizar os custos de transporte na roteirização e transporte as estações de coleta + custos de abertura das estações de coleta selecionadas + quantificação das emissões de CO₂ pelos veículos utilizados no processo de roteirização e transporte

Sujeito a:

- Restrição 1, garante que o veículo k deixa o depósito para iniciar uma rota;

$$\sum_{j=1}^{h'} x_{0,j,k} = 1, \quad \forall k \in K \quad (2)$$

- Restrição 2, garante que o veículo k depois, de visitar a última estação de coleta retorna ao depósito;

$$\sum_{ec=1}^n x_{ec,0,k} = 1, \quad \forall k \in K \quad (3)$$

- Restrição 3, cada ponto de coleta é atendido exatamente uma vez;

$$\sum_{i=1; i \neq j}^{p'} \sum_{k=1}^{k'} x_{i,j,k} = 1, \quad \forall j \in PC \quad (4)$$

- Restrição 4, estabelece a conservação de fluxo entre pontos de coleta e estações de coleta;

$$\sum_{i=1}^{p'} x_{i,j,k} = \sum_{i=1}^{p'} x_{j,i,k}, \quad \forall j \in PC \cup EC; \quad k \in K \quad (5)$$

- Restrição 5, estabelece as janelas de tempo para o atendimento nos pontos de coleta;

$$a_i \leq W_{i,k} \leq b_i, \quad \forall i \in PC; \quad k \in K \quad (6)$$

- Restrição 6, modela o tempo de atendimento nos pontos de coleta;

$$W_{i,k} + s_i + t_{i,j} \leq W_{j,k} + 100000(1 - x_{i,j,k}) \quad \forall i, j \in PC \cup EC; \quad k \in K; \quad i \neq j \quad (7)$$

- Restrição 7, estabelece que os veículos comecem o processo de coleta vazio e terminem vazios depois de concluir esse processo;

$$\sum_{i=0, i=8}^u D_{i,k} = 0, \quad \forall k \in K \quad (8)$$

- Restrição 8, relação que estabelece o equilíbrio dos RSU acumulados nos pontos de coleta e nas estações de coleta;

$$D_{i,k} + q_i \leq D_{j,k} + 100000(1 - x_{i,j,k}), \quad \forall i \in PC \cup EC; \quad j \in N; \quad k \in K; \quad i \neq j \quad (9)$$

- Restrição 9, a quantidade de RSU coletados tem que ser menor ou igual as capacidades dos veículos coletores;

$$D_{i,k} \leq q_k, \quad \forall i \in PC; k \in K$$

(10)

- Restrição 10, estabelece que o atendimento dos pontos de coleta pelos veículos é limitado;

$$\sum_{i=1}^{p'} \sum_{j=1}^{h'} x_{i,j,k} \leq S, \quad \forall k \in K$$

(11)

- Restrição 11, somente é possível atribuir uma estação de coleta a um veículo, caso a estação fosse selecionada para oferecer atendimento;

$$x_{i,ec,k} \leq y_{ec}, \quad \forall i \in N; ec \in EC; k \in K; i \neq ec$$

(12)

- Restrições de não negatividade das variáveis e das variáveis binárias;

$$D_{i,k} \geq 0, \quad \forall i \in N; k \in K$$

(13)

$$W_{i,k} \geq 0, \quad \forall i \in N; k \in K$$

(14)

$$x_{i,j,k} = \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in N; k \in K$$

(15)

$$y_{ec} = \{0, 1\}, \quad \forall ec \in EC$$

(16)

Fórmula proposta pela Volvo Trucks (2010) para emissão de CO2 em kg/(ton-km) e inserida na FO do modelo:

$$Emissao\ CO2\ em\ \frac{kg}{ton.km} = cc \left(\frac{em_k}{q_k} \right)$$

(17)

2.4 Segunda Etapa

Consiste em analisar o processo de transporte dos RSU coletados nessas estações para os centros especializados, de acordo com os casos I e II levantados no

início de este item. O processo de transporte foi otimizado fazendo uma variação do modelo proposto em Lee J. et al. (2009). Para o Caso I, apresenta-se o modelo que otimiza os custos de transporte dos RSU entre os diferentes centros especializados ou unidades produtivas que compõem a rede logística reversa. Ao modelo é agregado o componente de quantificação de emissões de CO₂ produzidos pelos veículos no processo de transporte. Para o Caso II foi feita uma variação do modelo apresentado para o Caso I, mas sem considerar os centros de triagem.

Caso I: Função Objetivo:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } CT = & \sum_{ec,cd=1}^{n,n'} c_{ec,cd} x_{ec,cd} + \sum_{ec,e=1}^{n,e'} c_{1ec,e} x_{1ec,e} + \sum_{cd,f=1}^{n',f'} c_{2cd,f} x_{2cd,f} \\
 & + \sum_{cd,ct=1}^{n',n''} c_{3cd,ct} x_{3cd,ct} + \sum_{ct,f=1}^{n'',f'} c_{4ct,f} x_{4ct,f} + \sum_{ct,e=1}^{n'',e'} c_{5ct,e} x_{5ct,e} \\
 & + \sum_{k,i,j=1}^{k',m',m'} f_{k,i,j} Y_{k,i,j} + \frac{\sum_{ec,cd=1}^{n,n'} \sum_{k=1}^{k'} cc \left(\frac{em_k}{q_k} \right) (Y_{k,ec,cd}) (Dist_{EC_{CD}})}{m}
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Minimizar os custos de transporte entre os centros especializado se reduzir as emissões de CO₂

Sujeito a:

- Restrição 1, modela as capacidades das estações de coleta;

$$\sum_{cd,e=1}^{n',e'} x_{ec,cd} \leq a_{ec}, \quad \forall ec \in EC
 \tag{19}$$

- Restrição 2, modela as capacidades dos centros triagem;

$$\sum_{cd,f=1}^{n'',f'} (x_{2cd,f} + x_{3cd,ct}) \leq b_{cd}, \quad \forall cd \in CD, f \in F
 \tag{20}$$

- Restrição 3, modela as capacidades dos centros de transformação;

$$\sum_{f,e=1}^{f',e'} (x_{4_{ct,f}} + x_{5_{ct,e}}) \leq u_{ct}, \quad \forall ct \in CT$$

(21)

- Restrição 4, limita o uso dos veículos para aquelas rotas selecionadas;

$$\sum_{k=1}^{k'} b_{k,ec,cd} Y_{k,ec,cd} \leq x_{ec,cd}, \quad \forall ec, \in EC, cd \in CD$$

(22)

- Restrição 5, mantém o equilíbrio do fluxo de carga nas estações de coleta, centros de triagem e centros de transformação;

$$\sum_{k=1}^{k'} b_{k,ec,cd} Y_{k,ec,cd} \leq x_{ec,cd}, \quad \forall ec, \in EC, cd \in CD$$

(23)

- Restrição 6, mantém o equilíbrio do fluxo de carga nas estações de coleta, centros de triagem e fábricas;

$$\sum_{ec=1}^n x_{ec,cd} = \sum_{f=1}^{f'} x_{2_{cd,f}}, \quad \forall cd \in CD$$

(24)

- Restrição 7, mantém o equilíbrio do fluxo de carga nos centros de triagem, transformação e fábricas;

$$\sum_{cd=1}^{n'} x_{3_{cd,ct}} = \sum_{f=1}^{f'} x_{4_{ct,f}}, \quad \forall ct \in CT$$

(25)

- Restrição 8, mantém o equilíbrio do fluxo de carga nos centros de triagem,

transformação e centros de eliminação;

$$\sum_{cd=1}^{n'} x3_{cd,ct} = \sum_{e=1}^{e'} x5_{ct,e}, \quad \forall ct \in CT$$

(26)

- Restrições de não negatividade de todas as variáveis (inclusive as binárias);

$$x_{ec,cd}, x1_{ec,e}, x2_{cd,f}, x3_{cd,ct}, x4_{ct,f}, x5_{ct,e} \geq 0$$

(27)

$$Y_{k,i,j} = \{0,1\}, \forall k \in K, i, j \in N$$

(28)

2.5 Estudo de Caso para o Distrito de Trujillo no Peru

Para aplicar o disposto na Lei Geral de Resíduos Sólidos 27314/2000 de Perú e testar e validar os modelos propostos nessa pesquisa foi necessário fazer uma série de levantamento de informações e estudos complementares. Como estudo de caso foi escolhido o Distrito de Trujillo que pertence à Província de Trujillo no Departamento de La Libertad, da República de Perú. O Distrito de Trujillo, localizado a 34 metros acima do nível do mar, tem uma área de 39,36 km² (2,2 % da Província de Trujillo) e uma população de 317.900 habitantes (INEI, 2014). A densidade populacional é de 7.035 hab/km².

Assim, os modelos programados com a ferramenta computacional GLPK utilizaram como dados de entrada as informações do Distrito de Trujillo, fornecida pelo Serviço de Gestão Ambiental de Trujillo (SEGAT, 2014). Para operacionalização da coleta dos RSU, essa instituição, divide o Distrito em cinco zonas, além do centro da cidade (CC). A Tabela 1 mostra o número de residências por classe econômica e social e por zona geradora de RSU, assim como o volume total gerado por zonas e a taxa de geração em kg/residência/dia segundo a classe econômica e social com um nível de confiança de 95%.

O total de RSU gerados no Distrito de Trujillo é de aproximadamente 153.772,33 kg/dia, os quais são coletados por domicilio pela empresa responsável. Esta não conta com um plano de rotas que otimize o serviço de coleta. O sistema utilizado é empírico e intuitivo. No plano Integral de Gestão Ambiental de resíduos sólidos para a Província de Trujillo (2010-2020) reconhece-se que a coleta dos RSU tem chegado algumas vezes a 100% de cobertura, mas é realizada sem respeitar os horários estabelecidos.

Depois do processo de coleta, os RSU são transportados direto para o lixão El

Milagro. Trujillo não tem aterro sanitário, assim também não têm estações de coleta, centros de triagem e de transformação devidamente formalizados e controlados pelo Município. Para melhorar esse quadro, essa pesquisa validou os modelos fazendo o planejamento da rede logística reversa da Zona 5 do Distrito de Trujillo. Como a Zona 5 é muito extensa, questão que poderia vir inviabilizar os testes, ela foi separada em três subzonas e modeladas separadamente. Assim, a primeira subzona compreende os subsetores de La Merced e La Arboleda_San Eloy, a segunda, o subsetor de San André e a terceira, o subsetor de Monserrate. Por restrições de número de páginas somente se apresentará os resultados do primeiro subsetor.

Zona	A	B	C	Residências	%	Quantidade gerada de RSU (kg/dia)	A	B	C	Média
1	2.429	6.518	2.212	11.159	19	29.906,12	3,16	2,44	3,06	2,68
2	-	8.209	3.022	11.231	20	29.088,29	-	2,53	2,87	2,59
3	-	9.813	3.667	13.480	23	38.418,00	-	2,85	2,85	2,85
4	-	6.293	2.337	8.630	15	22.179,10	-	2,52	2,77	2,57
5	2.686	7.002	2.339	12.027	21	31.510,74	2,55	2,46	2,87	2,62
CC	1.043	-	-	1.043	2	2.670,08	2,56	-	-	2,56
Total	6.158	37.835	13.577	57.570	100	153.772.33	2,75	2,57	2,88	2,66
	10%	66%	24%							

Tabela 1: Residências por classe econômica e social e por zonas geradoras de RSU – Volume de RSU gerado por zona por dia e taxas de geração em kg/residência/dia

Fonte: Baseado em Huerta (2012)

2.5.1 Etapa 1: Aplicação do Modelo PRVJT nos Subsetores La Merced e La Arboleda_San Eloy

De acordo com Huerta (2012), La Merced tem 589 residências e gera 1.566,74 kg/dia de RSU e a La Arboleda_San Eloy abrange 530 residências e produz 1.409,80 kg/dia de RSU. Com esses dados estimou-se 20 pontos de coleta para La Merced e 17 para La Arboleda_San Eloy 17, em total, 37 pontos de coletas com uma capacidade de 90 quilogramas/ponto. Fizeram-se as seguintes considerações: conservar a capacidade dos veículos coletores igual aos que atualmente realizam o serviço no Município de *Trujillo*, 7 toneladas; manter o tempo de atendimento em cada ponto de coleta em aproximadamente 4 minutos e, a janela de tempo no intervalo de 7:00 às 10:00 horas.

Os resultados mostram que é possível o atendimento dos pontos de coleta somente com um veículo coletor e uma estação de coleta. A Figura 3 mostra a rota e a ordem em que o veículo visita os pontos coletores, ele inicia no ponto D0, depois passa coletando os RSU de todos os pontos coletores, uma vez que visita o último ponto coletor se dirige à estação de coleta selecionada, ec1, para descarregar e depois retorna de novo ao D0. O custo total de operação do sistema foi de \$ 173.995,00,

um valor bem aceito pelos especialistas da SEGAT, além de ser bem menor que o atual cenário, embora não foi possível quantificar essa redução. O CO₂ gerado foi de 0,003984 kg/ton-km.

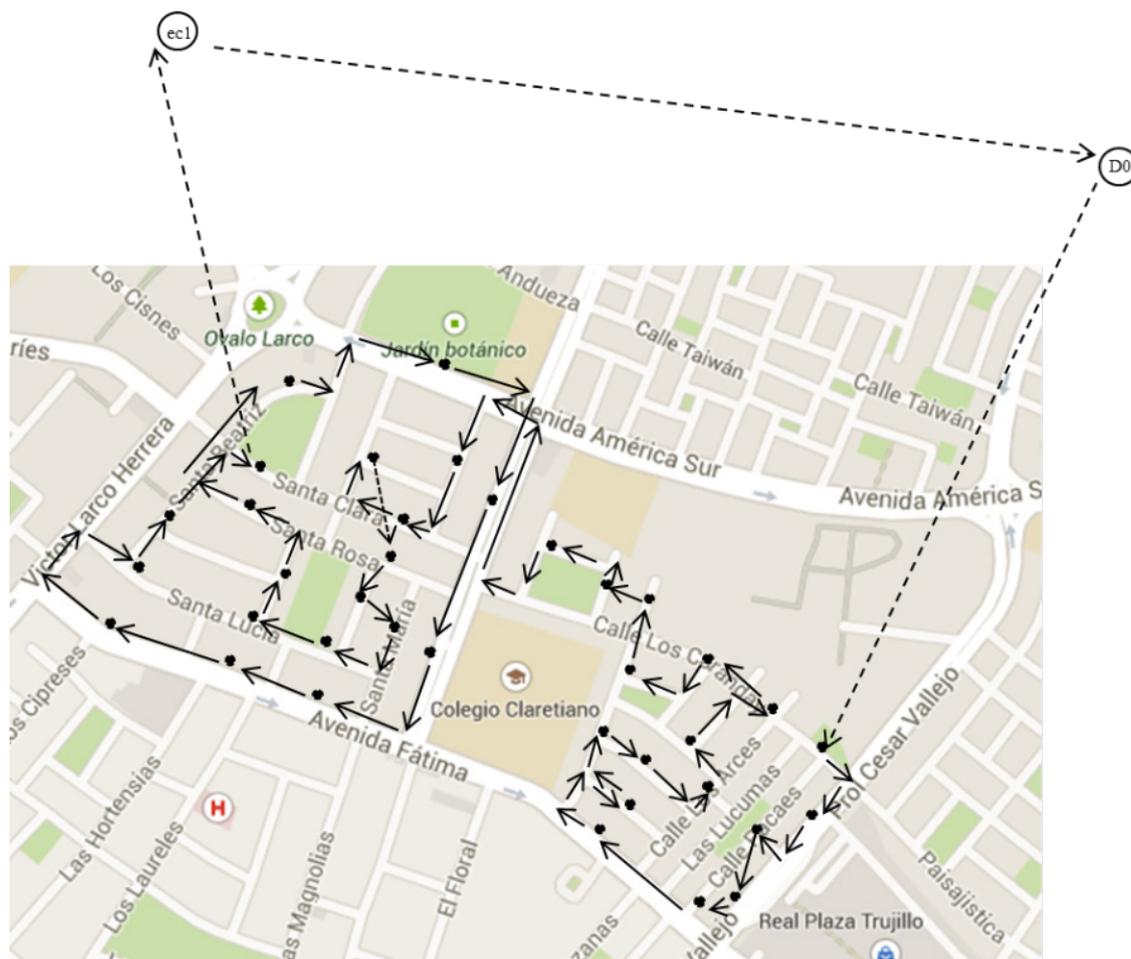


Figura 3: Roteirização nos Subsetores La Merced_La Arboleda_San Eloy

Fonte: Resultados obtidos com o GLPK

2.5.2 Etapa 2: Aplicação do Modelo de Transporte nos Subsetores La Merced e La Arboleda_San Eloy: Caso I e Caso II

Para o Caso I, dos 2.977,54 kg de RSU coletados e alocados na *ec1*, 2.577,00 é transferido para o centro de triagem *cd1*, o restante, 400,54 kg é enviado para o *cd2*. Daqui têm-se duas alternativas, se os RSU estão higienizados e prontos para utilização como matéria prima, eles são encaminhados diretos para a única fábrica da rede logística reversa. Caso contrário, eles são transferidos aos centros de transformação. O *cd2* envia seus 400,54 kg ao *ct2*, o *cd1* remete 1.750,00 kg para o *ct1* e 827,00 kg para o *ct2*. Depois do processo de transformação, o *ct1* expede 1.700,00 kg para a fábrica e o *ct2*, 1.200,00 kg. Ou seja, a fábrica recebe em total 2.900,00 kg, 77,00 kg a menos que quando vem direto dos centros de triagem. Esses 77,00 kg são encaminhados para o centro de eliminação.

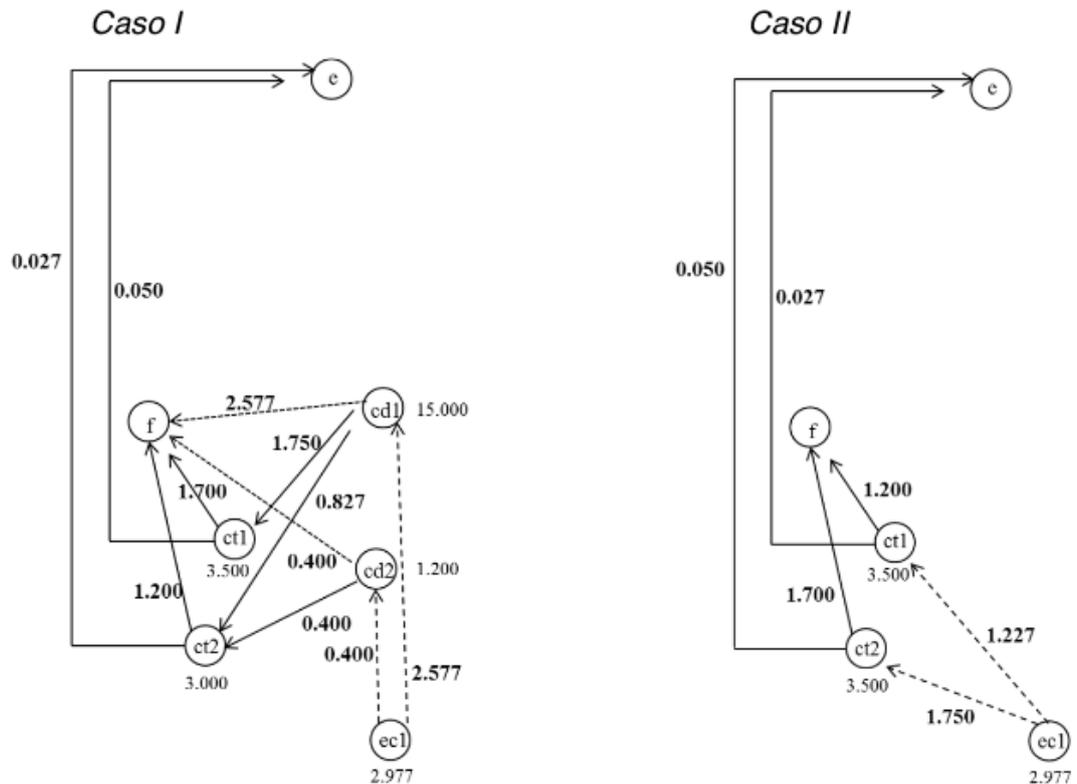


Figura 4: (a) Transporte dos RSU para os centros especializados, Caso I. (b) Transporte dos RSU para os centros especializados, sem centro de triagem, Caso II

Nota: Os valores das unidades estão em decimais, notação em espanhol

Fonte: Resultados obtidos com o *GLPK*

No caso II não existem os centros de triagem, assim dos 2.977,00 kg de RSU que recebe a estação de coleta *ec1*, 1.227,00 kg são transportados para o centro de transformação *ct1* e o restante, 1.750,00 kg para o *ct2*. Do centro de transformação *ct1* são remetidos 1.200 kg para a fábrica e 27,00 kg para o centro de eliminação. Do *ct2* são enviados 1.700,00 kg à fábrica e 50,00 kg para o centro de eliminação.

3 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A modelagem proposta calcula os fluxos na rede logística reversa, permitindo dimensionar a quantidade e capacidade das unidades produtivas e dos veículos, sendo possível aplicá-lo em várias regiões, sem necessidade de grandes mudanças na modelagem proposta. No modelo de roteirização com o *GLPK* obteve-se como resultado o roteamento ótimo para o atendimento dos clientes (pontos de coleta) e alocação apropriada das estações de coleta, de forma a facilitar o acesso de veículos e reduzir os custos de transporte e os conflitos com o fluxo de tráfego da rede viária da cidade em estudo, por meio da seleção das melhores rotas. Já no modelo de transporte, o *GLPK* mostra as quantidades de RSU coletadas das estações de coleta selecionadas que são transportadas para os centros especializados para seguir algum processo segundo seja o valor de tais resíduos. Uma contribuição adicional, foi a

mensuração do CO₂ gerado pelos veículos coletores e de transporte obtidos com o *GLPK*.

A modelagem proposta nessa pesquisa baseia-se na não existência da coleta domiciliar, ou seja, parte-se da premissa que a população participa ativamente da coleta seletiva e leva seus RSU até um ponto de coleta. Essa premissa reduz sensivelmente os custos de coleta e de transporte dos RSU, fato que ficou demonstrado nos testes realizados, uma economia que tem seus reflexos em toda a rede, já que reduz a frota de veículos pesados circulando pelas vias urbanas. Neste caso, o governo local desempenha um papel importante, porque tudo dependerá das políticas e intervenções dele, o que deverá fazer que o plano de ação e diretrizes cumpra as metas da Lei dos Resíduos Sólidos.

REFERÊNCIAS

ABREU, P. H. **Projeto de Acessibilidade para o Transporte de Carga e Coleta de Resíduos Sólidos nas Quadras Comerciais do Plano Piloto**. 2015. 55f. Trabalho de Projeto Final do Curso de Engenharia Civil – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS – ESPECIAIS.). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013**. ABRELPE, 2014.

BADRAN, M.F.; EL-HAGGAR, S.M. Optimization of municipal solid waste management in Port Said – Egypt. *Waste Management*, Elsevier, v. 26, p. 534-545, 2006. ISSN: 0956-053X. DOI:10.1016/j.wasman.2005.05.005.

BUHRKAL, K.; LARSEN, A.; ROPKE, S. The waste collection vehicle routing problem with time windows in a city logistics context. *The Seventh International Conference on City Logistics. Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Elsevier, v. 39, p.241-254, december, 2012. DOI:10.1016/j.sbspro.2012.03.105.

CERNA, N. S. S. Contribuição para modelagem de um sistema de avaliação da qualidade dos elementos de infraestrutura de mobilidade urbana. 2014. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2014.

HUERTA, G.; VÁSQUEZ, J. Estudio de caracterización de los residuos sólidos urbanos. Distrito de Trujillo. Municipalidad Provincial de Trujillo, Perú, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA - INEI. Estado de la población peruana 2014a. Disponível em http://www.inei.gob.pe/media/MenuRe-cursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1157/libro.pdf. Acesso em 20/08/2014.

JEUNG KO H.; EVANS, G.W. A genetic algorithm-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistic network for 3PL. **Computer & Operations Research**, Elsevier, 2005. DOI:10.1016/j.cor.2005.03.004.

LEE, J.; GEN, M.; RHEE, K. Reverse logistic network problem using priority-based genetic algorithm. **International journal of information system for logistics and management**. 2008.

MAKHORIN, A. **Modeling language GNU MathProg**. Draft Edition for GLPK, Version 4.34, 2008.

MELQUIADES, J. A.R. **Modelagem para a roteirização do processo de coleta e transporte dos**

resíduos sólidos urbanos. 2015. Tese (Doutorado em Transportes) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2015.

MONTEIRO, M. J. **Logística Reversa: uma proposta de gestão integrada de resíduos sólidos nos setores comerciais**. 2013. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2013.

OLIVEIRA, C.P. **Planejamento Integrado e Participativo de Coleta Seletiva nas Quadras Comerciais do Plano Piloto**. 2014. 48 f. Trabalho de Projeto Final do Curso de Engenharia Civil – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2014.

SERVICIO DE GESTIÓN AMBIENTAL DE TRUJILLO – SEGAT. Mapa de zonas de limpieza pública. 2014. Disponível em <http://www.segat.gob.pe/>. Acesso em 27/02/2014.

SRIVASTAVA, S.K. Network design for reverse logistics. OMEGA, **The International Journal of Management Science**, Elsevier, v.36, issue 4, p.535-548. August 2008. DOI:10.1016/j.omega.2006.11.012.

SOBRE OS ORGANIZADORES

JOÃO DALLAMUTA: Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Trabalha com Gestão da Inovação, Empreendedorismo e Inteligência de Mercado.

RENNAN OTAVIO KANASHIRO - Professor na Universidade Norte do Paraná (Unopar). Graduação e Mestrado em Engenharia Mecânica pela UTFPR. Trabalha com temas: Identificação de Sistemas, Problema Inverso e Otimização.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-352-1

