

Planejamento Da Rede De Logística Reversa Pós-Consumo De Equipamentos De Informática

Maritha Gomes Silva de Oliveira

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de São Carlos
marithasilva@yahoo.com.br

Eli Angela Vitor Toso

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Universidade Federal de São Carlos
Rodovia João Leme dos Santos, Km 110 - SP-264, Sorocaba - São Paulo
eli@ufscar.br

RESUMO

Neste trabalho é proposta a adaptação de um modelo de programação matemática para a configuração da cadeia de logística reversa pós-consumo de equipamentos de informática. Uma motivação para o trabalho são os desafios logísticos inerentes ao descarte de resíduos sólidos urbanos, que envolvem comprometimento entre sociedade, governo e empresas privadas. No caso de equipamentos eletroeletrônicos, além dos aspectos legais previstos no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), as oportunidades de recuperação de valor para os produtos são relevantes. Particularmente no caso de equipamentos de informática, uma forma de recuperação é através dos Centros de Recondicionamento de Computadores (CRCs), que são locais onde equipamentos de informática são recondicionados e disponibilizados para utilização por comunidades carentes. Uma das dificuldades para planejamento neste projeto é a configuração da rede logística, que consiste: (i) na definição da quantidade de CRCs que devem ser abertos e (ii) na localização dos CRCs (considerando os locais existentes e possibilidades de expansão).

Palavras Chaves: Logística Reversa, Logística, Localização de Facilidades, Heurísticas.
Área Principal: Otimização Combinatória, Programação Matemática.

ABSTRACT

Mathematical programming In this paper proposes the adaptation of a mathematical programming model for the chain configuration of reverse logistics post-consumption equipment. The motivation for the paper are the logistical challenges inherent in the disposal of solid waste, involving commitment between society, government and private companies. In the case of electronic equipment, in addition to the legal aspects of the National Solid Waste Plan (PNRS), opportunities for recovery value for the products are relevant. Particularly in the case of computer equipment, a form of recovery is through the Computer Reconditioning Centers (CRCs), which are places where computer equipment are refurbished and made available for use by disadvantaged communities. One of the difficulties in planning this project is the configuration of the logistics network, which consists of: (i) the definition of the number of CRCs to be open and (ii) the location of CRCs (considering the existing sites and expansion possibilities).

Keywords: Reverse Distribution; Logistics; Facility Location, Heuristics.
Main Area Combinatorial Optimization, Mathematical Programming.

1. Introdução

O rápido desenvolvimento tecnológico tem aumentado a frequência das trocas de equipamentos eletrônicos, como computadores, celulares, impressoras, televisores, etc. O resultado deste novo padrão de consumo é a geração de um tipo de resíduo: o resíduo eletroeletrônico, também conhecido como lixo *high tech*, e-lixo ou resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). O descarte apropriado destes resíduos tem sido um desafio para as empresas de tecnologia, segundo uma pesquisa da ONU (Organização das Nações Unidas), somente em 2010 foram geradas 50 milhões de toneladas dessa espécie de lixo pelo mundo. Ao mesmo tempo em que representam um enorme risco para o meio ambiente, os REEE tem um potencial de reaproveitamento e podem ser bastante lucrativos. Estudos da ONU indicam que até 2020 o mercado global de recuperação de lixo eletroeletrônico pode lucrar cerca de 21 bilhões de dólares.

O risco de contaminação pelo REEE é algo que preocupa diversos governos pelo mundo, alguns países exportam grande parte de seu lixo eletroeletrônico para reciclagem, enquanto outros reprocessam estes produtos, atingindo taxas de mais de 80% de reciclagem. No Brasil, relatórios da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABIEE, 2012) mostram que os resíduos compostos por aparelhos de telefones fixos e celulares, televisores e computadores, o chamado lixo TICC, já atinge o patamar de 200 mil toneladas ao ano, o que significa mais de 1 kg por habitante do país. No ritmo de crescimento atual, as estimativas são de que até 2030 serão geradas 6,6 milhões de toneladas deste tipo de lixo no Brasil.

Para Bartolhomeu e Caixeta-Filho (2010), além dos impactos ambientais associados à destinação inadequada de equipamentos eletroeletrônicos, outros dois fatores importantes definem sua destinação: incentivos econômicos e imposições legais. Em relação aos fatores econômicos, o potencial de lucratividade relacionado a esses resíduos é bastante significativo. Apesar de ser necessária alta tecnologia para a reciclagem e recuperação de metais valiosos, uma tonelada de resíduos eletroeletrônicos possui aproximadamente 22,24 gramas de ouro enquanto uma tonelada de minério possui apenas 0,4 gramas, ou seja, são 5,6 vezes mais.

Em relação às imposições legais, a criação em 2010 da Política Nacional de Resíduos Sólidos, especificamente o artigo 33 (Lei nº 12.305/10), trata dos produtos eletroeletrônicos e seus componentes. Esta lei determina que haja uma estruturação e implementação de sistemas de logística reversa para os componentes do lixo TICC, colocando os fabricantes, os importadores e os comerciantes como responsáveis pela disposição final ambientalmente adequada dos produtos, além de estender a responsabilidade pelas suas embalagens. Desta forma, práticas e iniciativas relacionadas à logística reversa pós-consumo passaram a ser uma obrigatoriedade para muitas empresas, inclusive para grandes usuários de equipamentos eletrônicos como órgãos governamentais que trocam equipamentos de informática com frequência.

O Governo Federal criou em 2004 um projeto chamado 'Computadores para Inclusão' com o objetivo de: criar oportunidades de formação educacional e profissional para jovens de baixa renda; apoiar iniciativas de inclusão digital; estimular políticas de descarte planejado e ecologicamente sustentável; entre outros (Ministério das Comunicações, 2012). Para operacionalização do projeto, foram implantados os Centros de Recondicionamento de Computadores (CRCs) e os Telecentros.

Com o crescimento da quantidade de lixo TICC, o governo pretende ampliar esse projeto, de forma de alcançar maiores índices de coleta ecologicamente correta desses materiais. Os principais desafios associados a esta proposta de ampliação são: (i) a definição do número de CRCs necessários; (ii) e a localização destes CRC's, considerando a localização e região de atendimento dos já existentes. Desta forma, o objetivo deste trabalho é propor um modelo de programação matemática para apoiar estas decisões.

2. Revisão Bibliográfica

A logística reversa pode ser definida como o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo de matérias-primas, estoque em processo e produtos acabados, bem como do seu fluxo de informação, do ponto de consumo até o ponto de origem, com o propósito de recuperar valor ou realizar um descarte adequado (LEITE, 2003; JAYARAMAN et al., 2003; LACERDA, 2009). Para Daher et al. (2006) a logística reversa engloba todas as operações relacionadas com a reutilização de produtos e materiais. Segundo Fleischmann et al. (1997), Fleischmann et al. (2000) e Leite (2003) a logística reversa engloba aspectos de distribuição, gerenciamento de estoques e gerenciamento da produção. Para Lacerda (2009), o processo de logística reversa garante que materiais sejam reaproveitados e que retornem ao processo tradicional de suprimento, produção e distribuição.

A definição de logística reversa permeia a mesma definição da logística direta, ou tradicional, porém dedicada ao fluxo no sentido oposto, a partir do ponto de consumo de um determinado produto, até o seu ponto de origem, com o objetivo de recapturar valor ou dar destinação adequada ao mesmo (Srivastava 2007).

Hau-dong (2010) define que cabe à logística direta e reversa juntas estabelecer um circuito fechado para maximizar a eficiência do uso de recursos e promover as bases para uma economia sustentável. Salema et al. (2006) destaca a importância da associação da logística direta e reversa dentro da cadeia de suprimentos através do conceito de “macro” e “micro” tempo, onde o tempo “macro” é o que envolve todo o processo logístico do produto (direto e reverso) e o conceito “micro” o que envolve a instâncias de distribuição, armazenamento e distribuição, dessa forma as decisões devem ser tomadas a partir da análise desses dois cenários.

A visão de logística reversa passou a ser uma realidade em termos de investimento estratégico, a visão das empresas mudou muito nos últimos anos, deixando de considerá-la como um gerador de altos custos internos para considerar como um diferencial. A crescente preocupação com logística reversa é demonstrada pela quantidade de trabalhos recentes sobre temas como: Gerenciamento sustentável de redes de suprimento (*Sustainable Supply Network Management*); Gerenciamento ambiental de cadeias de suprimento (*Supply Chain Environmental Management*); Logística Verde (*Green Logistics*); Cadeias de Suprimento Verde (*Green Supply Chain*); e, Gerenciamento de Cadeias de Suprimento Verde (*Green Supply Chain Management*) (Sarkis et al., 2011; Dekker et al., 2012; Sbihi e Eglese, 2010; Srivastava, 2007). Particularmente os trabalhos de Dekker et al. (2012) e Sbihi e Eglese (2010) apontam direções e oportunidades de pesquisas sobre aplicações de Pesquisa Operacional para Logística Verde, como os problemas de configuração de rede logística.

Existem diversos modelos para configuração de rede logística usando programação inteira mista, como por exemplo, o modelo proposto por Demirel & Gökçen (2008) que envolve mais do que a logística reversa, mas também a logística direta e a produção. O modelo busca determinar valores ótimos de produção e transporte de quantidades fabricadas e remanufaturadas de produtos, envolvendo o conceito de que produtos que possuem logística reversa podem servir como matéria prima da linha de produção. Nesse modelo o estudo de localização envolve não apenas centros de coleta e distribuição, mas também centros de produção, onde os produtos são desmontados e suas peças servem como matérias primas para a produção de outros produtos.

O modelo proposto por Hau-Dong (2010) apresenta uma proposta que trata da importância de um centro estratégico de reciclagem. Trabalhando com AHP (Processo de Análise Hierárquica), que consiste em uma ferramenta multi-critérios para tomada de decisão e permite a consideração simultânea de critérios quantitativos e qualitativos, e com DEA (Análise Envoltória de Dados), que é usado para avaliar a eficiência da operação dos centros de reciclagem e assim remover opções inválidas. O autor parte de duas premissas: a de que o serviço de reciclagem será terceirizado e que houve uma pesquisa preliminar para determinar os potenciais locais para os futuros centros de reciclagem. O modelo proposto é capaz de apoiar o processo decisório levando em conta múltiplos fatores, conforme apresentado na figura 1.

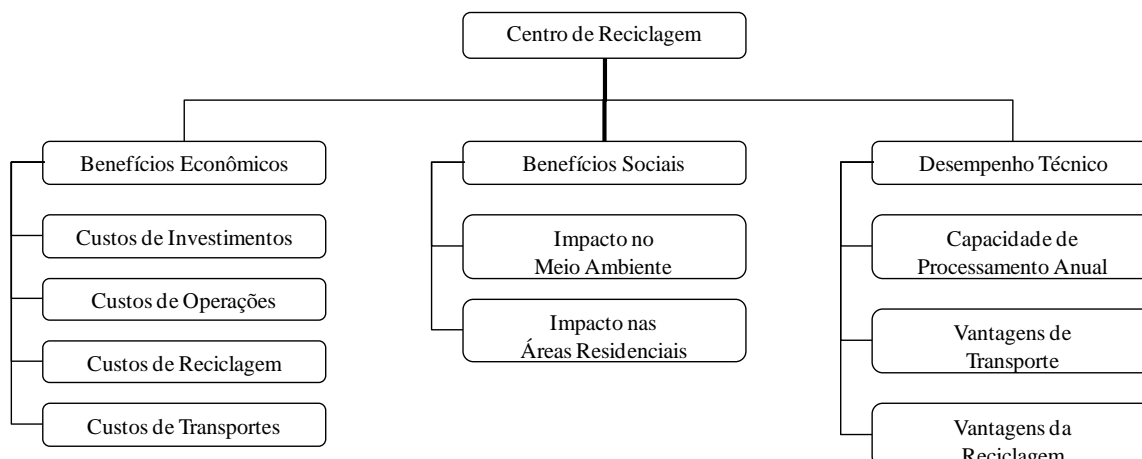


Figura 1 - Adaptado de Hua-Dong (2010)

Pela visão de Hau-Dong (2010) a instalação de centros de reciclagem devem trazer benefícios econômicos e sociais, e também corresponder ao desempenho técnico esperado. Os benefícios sociais envolvem uma preocupação com o meio ambiente e com a comunidade em que será inserido o centro de reciclagem. Os benefícios econômicos são uma análise dos custos envolvidos no processo, como os de investimentos, operações, reciclagem e transporte. Já o desempenho técnico desejado são as análises de qual deve ser capacidade de processamento anual do centro, e as vantagens de reciclagem e transporte que ocorrem com a instalação em determinado local.

Tian (2011) propõe um modelo que representa um sistema de reciclagem em que uma empresa produz apenas um único produto, seus clientes compram diretamente da fábrica e o governo utiliza de práticas de incentivo fiscal e inserção de taxas para incentivar o processo de reciclagem. Considerando uma demanda estocástica, altamente sensível ao preço de venda do produto, uma função determinística de correlação negativa em que uma variável estocástica multiplica essa relação (preço-demanda) é utilizada para determiná-la. Assim como a demanda, a taxa de resíduos a ser reciclada também é uma variável estocástica, da mesma forma uma função determinística, mas dessa vez com correlação positiva, multiplicada por uma variável estocástica é utilizada. A relação taxa de reciclagem e preço assume uma correlação positiva, pois quanto maior o valor de um produto no final de sua vida útil maior as chances de reciclagem (HOSHINO et al., 1995).

3. Descrição do Problema

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABINEE, cada brasileiro gera, em média, 1 KG de lixo TICC por ano, composto por telefones fixos e celulares, televisores e computadores. Particularmente em relação a equipamentos de informática, a troca de produtos com melhor desempenho é cada vez mais frequente. Conforme mencionado anteriormente, para contornar o problema de descarte de material em órgãos governamentais e estimular práticas de inclusão digital, o Governo Federal criou o projeto 'Inclusão Digital' que incorpora Centros de Recondicionamento de Computadores (CRCs) e Telecentros.

Os Centros de Recondicionamento de Computadores (CRCs) são espaços dedicados à reciclagem, recuperação e reuso de computadores, oriundos de órgãos governamentais, iniciativa privada e população, e a formação de jovens de baixa renda no setor de informática. Os CRCs recebem equipamentos de informática descartados e realizam operações de triagem nas quais os equipamentos são testados para uma avaliação do potencial de aproveitamento de peças. As peças que podem ser aproveitadas são utilizadas para formar novos computadores enquanto as peças danificadas juntamente com os demais componentes do lixo TICC são encaminhadas para

empresas especializadas na destinação ambientalmente correta destes materiais, segundo os critérios da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Os Telecentros são locais que recebem os computadores reformulados pelos CRCs e disponibilizam acesso ao mundo digital à comunidade carente, além de serem pontos potenciais de coleta para a logística reversa de computadores.

Atualmente existem 80 Telecentros considerados nucleadores que estão inseridos em diversas comunidades. Considerando que estes locais se tornem postos de coleta de equipamentos de informática pós consumo, podemos propor uma configuração para a rede de logística reversa, assim as comunidades nas quais os projetos estão inseridos teriam uma opção de descarte correto para seus componentes tecnológicos e ainda colaborariam para o projeto 'Computadores para Inclusão'.

Nesta proposta de configuração de rede reversa os Telecentros tem uma taxa de entrada de material variável de acordo com a comunidade que atende. Após receber esses materiais das comunidades nas quais estão inseridos será necessário o encaminhamento para os CRCs. Ao chegar nos CRCs o material proveniente da comunidade seria unido ao material proveniente de empresas privadas e órgãos governamentais onde passaria pelo processo de triagem. Os computadores reformulados serão doados aos Telecentros que possuem espaços disponíveis. Quando há computadores reformulados e não existe demanda por eles nos Telecentros, estes são encaminhados para o Projeto de Formação de Jovens, que ocorre dentro dos CRC's, a escolas públicas, a bibliotecas públicas, etc. A figura 2 ilustra a rede de logística reversa do projeto 'Computadores para Inclusão'.



Figura 2- Esquema de Funcionamento Projeto Computadores para a Inclusão

4. Modelagem

Jayaraman et al. (2003) propõe um modelo de coleta de material com o objetivo de encontrar uma estratégia eficiente de logística reversa através da utilização da rede de atacadistas e de varejistas como pontos de coleta. O material recolhido é encaminhado para um centro intermediário de separação que classifica os materiais em três categorias: produtos perigosos, produtos com defeito e produtos que tenham chegado ao final de sua vida útil. Após esse processo são enviados a um local de remanufatura ou descarte adequados. Neste trabalho este modelo é adaptado desconsiderando o local de intermediário onde a separação ocorre e

considerando os Telecentros como os pontos atacadistas e varejistas de coleta direta ao consumidor, e os Centros de Recondicionamento de Computadores (CRC's) como ponto de processamento final.

Para apresentação deste modelo é necessária a seguinte notação:

Índices:

i	Posto de coleta a partir do cliente (Telecentros)
j	CRCs

Parâmetros:

C_{ij}	Custo de transportar de i para j
F_j	Custo de abrir um local de separação e processamento do material
a_i	Quantidade de produtos em i
B_j	Capacidade máxima de j (CRCs)
P_{min}	Número mínimo de pontos de coleta
P_{max}	Número máximo de pontos de coleta

Variáveis:

X_{ijk}	Fração de unidades que se origina em i é encaminhado a j e depois ao posto de renovação k
P_j	Indica se o local de processamento j é aberto ($P_j=1$) ou não ($P_j=0$)

Modelo Matemático:

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j C_{ij} a_i X_{ij} + \sum_j F_j P_j \quad (1)$$

$$\sum_j X_{ij} = 1 \text{ para todo } i \quad (2)$$

$$\sum_i a_i X_{ij} \leq B_j \text{ para todo } j \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq P_j \text{ para todo } i, j \quad (4)$$

$$P_{min} \leq \sum_j P_j \leq P_{max}, \quad (5)$$

$$0 \leq X_{ijk} \leq 1 \quad (6)$$

$$P_j \in \{0,1\} \quad (7)$$

A função objetivo (1) visa minimizar os custos de transferência dos produtos entre os pontos de coleta (Telecentros) e as instalações de destino (CRC's) somados aos custos fixos de se abrir um novo ponto de instalação de destino. A restrição (2) garante que toda a oferta de produtos disponíveis nos postos de coleta i chegará a um posto de recondicionamento j . A próxima restrição, (3), diz respeito a quantidade de matéria a ser enviada a um local j garantindo que uma unidade não receberá mais que sua capacidade. Só é possível que um local receba material caso seja aberto, (4) garante isso para as unidades j . Números mínimo e máximo de locais de CRC devem ser atribuídos, as restrições (5), garantem isso. A restrição (6) garante que a variável X seja linear e assuma valores entre 0 e 1. Há também a necessidade que a variável P seja binária, assim (7) se faz necessária.

5. Resultados

O modelo foi aplicado considerando a configuração da rede de logística reversa para todo o território brasileiro. Foram considerados 80 Telecentros nucleadores como locais candidatos para abertura para um CRC. Estes Telecentros estão distribuídos de acordo com a tabela abaixo:

Acre	Rio Branco	1
	Rio Branco	2
Alagoas	Maceió	3
	Maceió	4
Amapá	Macapá	5
	Macapá	6
Amazonas	Manaus	7
	Manaus	8
Bahia	Salvador	9
Ceará	Fortaleza	10
	Fortaleza	11
	Cajazeiras	12
	Fortaleza	13
Distrito Federal	Brasília	14
	Brasília	15
	Brasília	16
	Brasília	17
Espírito Santo	Vitória	18
	Vila Velha	19
	Vitória	20
Goiás	Goiânia	21
	Goiânia	22
Maranhão	São Luís	23
	São Luís	24
Mato Grosso	Cuiabá	25
	Cuiabá	26
Mato Grosso do Sul	Campo Grande	27
	Campo Grande	28
Minas Gerais	Belo Horizonte	29
	Belo Horizonte	30
	Belo Horizonte	31
	Uberaba	32
Pará	Belém	33
	Belém	34
Paraíba	João Pessoa	35
	João Pessoa	36

Paraná	Curitiba	37
	Curitiba	38
	Foz do Iguaçu	39
Pernambuco	Recife	40
	Recife	41
	Recife	42
Piauí	Teresina	43
	Teresina	44
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro	45
	Rio de Janeiro	46
	Niterói	47
	Nova Iguaçu	48
	Rio de Janeiro	49
	Teresópolis	50
Rio Grande do Norte	Natal	51
	Natal	52
Rio Grande do Sul	Porto Alegre	53
	Porto Alegre	54
	Caxias do Sul	55
	Santa Maria	56
	São Leopoldo	57
Rondônia	Porto Velho	58
	Porto Velho	59
Roraima	Boa Vista	60
	Boa Vista	61
Santa Catarina Santa Catarina	Florianópolis	62
	Florianópolis	63
	Florianópolis	64
São Paulo	São Paulo	65
	São Paulo	66
	Amparo	67
	Bragança Paulista	68
	Campinas	69
	Diadema	70
	Guarulhos	71
Indaiatuba	72	

	Osasco	73	Sergipe	Aracaju	77
	Piracicaba	74		Aracaju	78
	Santos	75	Tocantins	Palmas	79
	Santo André	76		Palmas	80

Tabela 1- Localização de Telecentros nos diferentes estados brasileiros

A geração de resíduos eletroeletrônicos de cada Telecentro foi estimada pela quantidade de habitantes em cada cidade, a quantidade de lixo tipo TICC gerada por cada brasileiro, pelo índice de recuperação nacional desse material e dividido pelo número de Telecentros existentes em cada cidade. Por exemplo:

	Habitantes	Lixo TICC per/capta	Taxa de Reaproveitamento	Número de Telecentros	Total
São Paulo	11.244.369	1	0.01	2	56221.85

Tabela 2- Calculo do Volume de Lixo

A capacidade de cada CRC que será aberto foi baseada na capacidade real média dos CRCs já existentes no país. Os custos de abertura foram estimados considerando a renda per capita da região em que ele será implantado, pois este indicador está direcionalmente relacionado ao custo de vida de cada região. Os CRCs já existentes, CESMAR (em Porto Alegre), GAMA (em Brasília), Belo Horizonte Digital (em Belo Horizonte), Lauro de Freitas (na Bahia), Recife e Belém, foram considerados com custos de abertura iguais a zero.

Os custos de transporte de material entre um Telecentro e um CRC foram calculados pela multiplicação das distâncias entre eles (distância rodoviária) pelo valor de Km rodado com um caminhão do tipo Basculante Toco.

O modelo foi implementado na linguagem GAMS (*General Algebraic Modeling System*) versão 23.5.1 e resolvido através do *solver* CPLEX 12.2, em um computador com processador *Intel Core i5 2.20 GHz*. e memória RAM instalada de 6Gb.

O modelo foi executado com o número máximo de abertura de CRCs possíveis igual a 80, ou seja, considerando a possibilidade de abrir um CRC para cada Telecentro caso seja viável. No entanto, o modelo encontrou a solução ótima com abertura de 45 CRCs a um custo total de R\$21.273.213,50 de abertura mais deslocamento entre os Telecentros e os CRCs durante um horizonte de planejamento de um ano, com um tempo computacional de 12.53 segundos e atingindo um GAP de 0%.

A tabela a seguir apresenta os CRCs que foram selecionados para serem abertos bem como a quantidade de material processado em cada um deles e a capacidade de aproveitamento, ou seja, indica a quantidade de material que ainda seria possível processar (capacidade ociosa). Por exemplo, no CRC 2 (Rio Branco - AC) a capacidade utilizada é de 15.5%, o que indica uma capacidade ociosa de 84,5%.

CRC Aberto	Quant. de Material Processado /Kg	Capacidade utilizada %
2	3357.96	15.5
3	9326.08	43.2
5	3979.14	18.4
7	18025.25	83.5
9	21600.21	100

11	21603.26	100
12	9012.625	41.7
13	5434.613	25.2
16	21599.37	100
17	4030.259	18.7
19	7398.72	34.3
21	13018.92	60.3
23	10119.43	46.8
25	5513.5	25.5

27	7872.04	36.4
29	21600.7	100
31	2153.735	10.0
32	7851.301	36.3
33	13920.31	64.4
37	17468.96	80.9
39	2560.81	11.9
40	10971.37	50.8
43	8144.39	37.7
45	21592.14	100
46	21603.71	100
48	12894.25	59.7
49	21603.71	100
51	8038.11	37.2
53	16241.49	75.2
55	4354.82	20.2

56	2610.27	12.1
58	4265.58	19.7
60	2842.58	13.2
62	21593.54	100
64	20526.49	100
65	21589.19	100
66	21589.19	100
67	21589.19	100
68	20127.42	93.2
69	21577.08	100
70	21626.49	100
71	21578.86	100
73	13529.96	62.6
78	10875.22	50.3
80	2282.97	10.6

Tabela 3 - CRC's selecionados e porcentagem de aproveitamento

Podemos constatar, a partir da tabela acima, que o número de CRCs com a capacidade máxima de aproveitamento são quinze (9, 11, 16, 29, 45, 46, 49, 62, 64, 65, 66, 67, 69, 70 e 71) e estão todos localizados em grandes Cidades ou Regiões Metropolitanas.

A baixa capacidade de aproveitamento de alguns CRCs, como o de 31 (Belo Horizonte - MG) se deve à necessidade de uma pequena quantidade de processamento para completar CRCs já abertos. Outra situação em que os CRCs devem ser abertos com baixa porcentagem de utilização ocorre em regiões distantes dos grandes centros populacionais, como por exemplo o CRC 2 (Rio Branco - AC) e o CRC 80 (Palmas - TO), pois as distâncias envolvidas no transporte para outros centros urbanos é grande.

Uma outra análise realizada foi de só permitir a abertura de um CRC se sua capacidade de utilização fosse maior ou igual a 80%. Com isso apenas 25 facilidades seriam abertas (2, 9, 23, 25, 29, 34, 37, 40, 45, 46, 48, 49, 53, 60, 62, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73 e 78), acarretando em um aumento de custo de, aproximadamente, 400%.

6. Conclusão e Perspectivas Futuras

Os resultados iniciais desta pesquisa indicam que no Brasil os custos de transporte rodoviário fazem com que seja economicamente mais vantajoso abrir novas instalações para acondicionamento de computadores do que transportar material entre elas. As próximas etapas deste trabalho incluem a incorporação de restrições de orçamento máximo e de abertura máxima de Centro de Acondicionamento de Computadores, além da realização de uma análise para o dimensionamento de capacidade dos CRCs a serem abertos.

Agradecimentos

As autoras agradecem ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos- Sorocaba e CAPES pelo apoio a pesquisa.

Referências

ABINEE. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/>. Acesso em: 02 Abr 2013.

BARTOLOMEU, D. B. e CAIXETA FILHO, J. V. *Logística Ambiental de Resíduos Sólidos*. Editora Atlas, São Paulo, 2010.

Ballou, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial*. Artmed Editora, São Paulo, 2004.

Chaves, G. L. D. (2009) *Logística Reversa de Pós Venda Para Alimentos Derivados de Carne e Leite: análise de retornos e distribuição*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). 115 p. São Carlos: Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, 2009.

Daher, C.E; Silva, E.P.S.; Fonseca, A.P. (2006), Logística Reversa: Oportunidade para Redução de Custo através do Gerenciamento da Cadeia Integrada de Valor. *Brazilian Business Review*, 3, 58-73.

Daskin, M. S., Sanjay M. (2001) Capacitated Facility Location/Network Design Problems. *European Journal Of Operational Research*, 129, 481-495.

Demirel, N. Ö.;Gökçen, H. (2008) A Mixed Integer Programming Model For Remanufacturing In Reverse Logistics Environment. *Int J Adv Manuf Technol*, 39, 1197–1206.

Dekker R.; Bloemhof J.; Mallidis, I.(2012).Operations Research For Green Logistics – An Overview Of Aspects, Issues, Contributions And Challenges. *European Journal Of Operational Research*, 219, 671–679.

Fleischmann, M.; Bloemhof-Ruwaard, J., M.; Dekker, R. (1997) Quantitative Models for Reverse Logistics: A Review. *Europe Journal Of Operation Research*, 103, 1-17.

Fleischmann, M.; Krikke, H.R.; Dekker, R.; Flapper, S.D.P.(2000). A characterisation of logistics networks for product recovery. *OMEGA-INTERNATIONAL JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCE*. vol. 6, pag 653-666.

Fleury, A., *Planejamento Do Projeto De Pesquisa E Definição Do Modelo Teórico*. Metodologia De Pesquisa Em Engenharia De Produção E Gestão De Operações.Rio De Janeiro: Campus, 2010.

Hoshino, T., Yura, K. And Hitomi, K. (1995), Optimization Analysis For Recycle-Oriented Manufacturing Systems. *International Journal Of Production Research*, 33, 2069–2078.

Hua-Dong, G. (2010), Location Selection Of Recycle Center By Combining Ahp And Dea Methodologies. *Logistics Systems and Intelligent Management*, 2, 884-888.

Jayaraman, V.; Patterson, R. A.; Rolland, E. (2003), The Design Of Reverse Distribution Networks: Models And Solution Procedures. *European Journal Of Operational Research*, 150, 128–149.

Kim, A. H.; Yang, J.; Lee, K.. (2009) Vehicle routing in reverse logistics for recycling end-of-life consumer electronic goods in South Korea. *Transportation Research Part D*, 14, 291–299.

Lacerda, L.. Logística Reversa, uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais. Centro de Estudos em Logística. *Sargas: competência em logística*. Maio de 2009.

Leite, P. R.. *Logística reversa*. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2003.

Leite, P. R. (1999), Canais de distribuição reversos. *Revista Tecnológica*. São Paulo, Edit. Publicare.

Martins, R.A. (2010), Princípios Da Pesquisa Científica. *Metodologia De Pesquisa Em Engenharia De Produção e Gestão De Operações*. Rio De Janeiro, Campus/Elsevier, 5-29.

Melkote, S.; Daskin, M. S. (2001), Capacitated Facility Location/Network Design Problems. *Europe Journal Of Operation Research*, 129, 481-495.

Morabito, R. ; Pureza, V.. Modelagem e simulação. *Metodologia De Pesquisa Em Engenharia De Produção E Gestão De Operações*, Campus/Elsevier, Rio de Janeiro, 165-194, 2010.

Pallone, S.. *Resíduo Eletrônico: Redução, Reutilização, Reciclagem E Recuperação*. Disponível Em <http://Www.Comciencia.Br/Comciencia/?Section=8&Edicao=32&Id=379>. Acesso em: 03 Jun. 2012.

Pokharel S. Mutha, A. (2009) Perspectives In Reverse Logistics: A Review. *Resources, Conservation And Recycling*, 53, 175–182.

Política Nacional De Resíduos Sólidos. Lei 12.305/10 | Lei Nº12.305, De 2 De Agosto De 2010. Institui A Política Nacional De Resíduos Sólidos; Altera A Lei No 9.605, De 12 De Fevereiro De 1998; E Dá Outras Providências.

Sarkis,J., Gonzalez-Torre, P., Adenso-Diaz, B., (2010) Stakeholder Pressure And The Adoption Of Environmental Practices: The Mediating Effect Of Training. *Journal Of Operations Management*, 28(2), 163-176.

Salema, M. I. G.; Barbosa-Povoa, A. P.; Novais , A. Q. (2006) An Integrated Model For The Design And Planning Of Supply Chains With Product Return. 16th *European Symposium On Computer Aided Process Engineering And 9th International Symposium On Process Systems Engineering*, 21, 2129-2134.

Sbihi, A. and Eglese, R. W.(2010), Combinatorial optimization and green logistics. *Annals of Operational Research*, 175, 159 - 175.

Srivastava, S. K.. (2007), Green Supply-Chain Management: A State-Of-The-Art Literature Review, *International Journal Of Management Reviews*, 9, 53-80.

Tian, Z. (2011), Strategy of Recycling Waste Resource With Governmental Incentives And Funds. International Conference Of Information Technology, Computer Engineering And Management Sciences, 2011, Beijing, China.

Unep - United Nations Environment Programme & United Nations University. Recycling – From Ewaste To Resources. 2009. Disponível em: <Http://Www.Unep.Org/3672c28a-6f15-496a-A17b->

018a3d5787fc/Finaldownload/Downloadid-Ff6d01448fa821978bded340a71a85e4/3672c28a-6f15-496a-A17b-

018a3d5787fc/Pdf/Pressreleases/E-Waste_Publication_Screen_Finalversion-Sml.Pdf. Acesso em: 03 Jun. 2012.

Xavier, L. H.; Lucena, L. C.; Costa, M. D.; Xavier, V. A.; Cardoso, R. S. (2010). Gestão De Resíduos Eletroeletrônicos: Mapeamento Da Logística Reversa De Computadores E Componentes No Brasil. *3º Simpósio Iberoamericano De Ingeniería De Resíduos E 2º Seminário Da Região Nordeste Sobre Resíduos Sólidos*.

Zhang Y. M.; Huang G. H.; Li He (2011), An Inexact Reverse Logistics Model For Municipal Solid Waste Management Systems. *Journal Of Environmental Management*, 92, 522-530.

ZHU, Q.; SARKIS, J. (2004) Relationships Between Operational Practices And Performance Among Early Adopters Of Green Supply Chain Management Practices In Chinese Manufacturing Enterprises. *Journal Of Operations Management*, 22, 265–289.

Ministério das Comunicações. Computadores para Inclusão. Disponível em: <http://www.mc.gov.br/acoes-e-programas/centros-de-recondicionamento-de-computadores-crcs/256-temas/centros-de-recondicionamento-de-computadores-crcs/24988-computadores-para-inclusao>. Acesso em: 29/10/2012.