

OTIMIZAÇÃO DO FLUXO REVERSO DE PNEUS INSERVÍVEIS ATRAVÉS DE UM MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES: UM ESTUDO DE CASO

Felipe Mendonca Gurgel Bandeira (UFERSA)

felipembandeira@hotmail.com

Breno Barros Telles do Carmo (UFERSA)

brenotelles@hotmail.com



O pneu que não tem mais condições de ser reformado (inservível) é um item que pode ser utilizado em uma gama de processos alternativos de reciclagem. Para viabilizar o retorno desses pneus, é preciso utilizar ferramentas que tornem os canais logísticos reversos - instrumento fundamental para coletar e restituir os resíduos ao setor empresarial - mais competitivos em termos de custos e operacionalidade tanto quanto os canais logísticos diretos tradicionais. Uma dessas ferramentas são os Modelos de Localização de Facilidades, que visam apoiar a decisão de localizar instalações em pontos estratégicos de acordo com as necessidades dos interessados. Este trabalho, portanto, tem como proposta aplicar um Modelo de Localização Capacitado em um software para construir e resolver modelos de otimização a fim de conceber uma solução ótima para localização de ecopontos - pontos de coleta de pneus inservíveis - na região Oeste Potiguar. Ao final desta pesquisa, pôde-se obter uma configuração ótima da rede logística reversa que se baseou nos custos de transportes ao longo da rede estabelecida e os custos de instalação dos ecopontos nas cidades contempladas com eles.

Palavras-chaves: Otimização, logística reversa, pneus

1. Introdução

Algumas implicações nocivas ao meio ambiente podem vir a ocorrer caso o pneu não receba o tratamento adequado após a sua vida útil. De acordo com a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP, 2011), no ano de 2010, foram produzidos cerca de 67,3 milhões de pneus no Brasil e vendidos por volta de 73,1 milhões, envolvendo também os pneus importados vendidos no país.

Com o propósito de mitigar esse passivo ambiental e os riscos à saúde causados por essas pilhas de pneus abandonados, foram criadas legislações específicas no Brasil, como a Resolução nº 416/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que tornam os fabricantes e importadores de pneus novos, com peso unitário superior a 2,0 kg (dois quilos), obrigados a coletar e destinar de maneira ambientalmente correta os pneumáticos inservíveis existentes em território nacional, seguindo as devidas proporções.

Entretanto, essa tarefa se torna complexa pelo fato dos canais logísticos reversos não serem bem estruturados em comparação aos canais de distribuição diretos. Segundo Leite (2009), estes canais não são bem estruturados devido à desvalorização econômica em relação aos canais de distribuição diretos. Por meio da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os fabricantes e importadores de pneus novos se tornam cada vez mais responsáveis pela destinação ecologicamente correta desses resíduos. Em consequência disto, os custos incorridos nessa operação de coleta e destinação, naturalmente, são repassados ao consumidor.

A logística reversa de pneus é uma tarefa complexa devido às características próprias do pneu. Para viabilizar os custos com o transporte de pneus inservíveis para fábricas recicladoras, que muitas vezes se localizam longe do local de geração do resíduo, é interessante que ele seja previamente processado ou triturado para então ser transportado, visto que essa medida aumenta a densidade da carga transportada. Neste sentido, a criação de ecopontos (espaços que recebem, armazenam e processam pneus) é oportuno para viabilizar o suprimento regular do resíduo para as recicladoras.

Diante da ineficiência do sistema logístico reverso do pneu inservível, esta pesquisa tem o objetivo de aplicar um modelo matemático para subsidiar o processo de tomada de decisão para localização de ecopontos que otimizem o processo de logística reversa na coleta e destinação adequada do pneu para uma associação de reciclagem localizada em Mossoró-RN.

2. Logística reversa para o pneu inservível

No Brasil, cerca de 70% da borracha produzida é utilizada na fabricação de pneus, e a tendência é de que nos próximos anos a produção de pneus continue em ascensão. A Tabela 1 apresenta números relacionados à produção anual de pneumáticos no Brasil.

Pneumáticos	Total 2007 (mil)	Total 2008 (mil)	Total 2009 (mil)	Total 2010 (mil)	Participação 2010
Carga	7.319	7.367	6.034	7.735	11,50%

Caminhonetes	6.058	5.842	5.601	7.941	11,80%
Automóveis	28.791	29.586	27.492	33.813	50,20%
Motocicletas/Motonetas	13.725	15.250	13.000	15.205	22,60%
Outros	1.354	1.666	1.684	2.611	3,90%
Total Pneumáticos	57.247	59.711	53.811	67.305	100,00%

Fonte: ANIP (2011)

Tabela 1 - Produção anual de pneumáticos em unidades por grupo

Em relação ao elevado consumo de pneus no Brasil, grande parte se deve, proporcionalmente, à elevada quantidade de veículos que trafegam na malha viária brasileira. As condições precárias das estradas das rodovias contribuem para o desgaste excessivo dos pneus. Um pneu, caso seja utilizado de maneira razoável, teria condições de rodagem em média de 100.000 quilômetros. Ao fim dessa quilometragem, ele chegaria a perder 10% de seu peso devido ao desgaste da banda de rodagem que é a parte que fica em contato direto com o solo (BEUKERING e JANSSEN, 2001).

O termo Logística Reversa pode ser considerado como o processo de planejar, implementar e controlar a eficiência, materiais em processamento, o custo efetivo de fluxo de matérias-primas, produtos acabados e a informação a partir do destino final ou ponto de consumo ao ponto de origem com o propósito de resgatar algum valor residual introduzindo o produto novamente ao ciclo de negócios ou descartá-lo de forma correta (ROGERS e TIBBEN-LEMBKE, 1999). De modo geral, as operações que envolvem a logística reversa incluem a coleta, estocagem, armazenagem, separação, transação, processamento, entrega e integração (MEADE e SARKIS, 2002).

Dentre os processos básicos da logística reversa, tem-se a coleta, que tem por objetivo transportar os produtos do cliente final para um ponto de recuperação, onde eles serão inspecionados e a qualidade será avaliada para o direcionamento do tipo de recuperação que deve seguir. A qualidade do pneu ditará o fluxo do pneu ao longo da cadeia de suprimentos reversa. Cimino (2004) destaca que a criação de pontos de coleta dos pneus inservíveis (ecopontos) deve levar em consideração aspectos de distancia e volume e buscar incentivos à reciclagem de pneus para viabilizar sua coleta. O mesmo autor afirma que os ecopontos, que servem como pontos intermediários até a destinação final dos pneus, devem ser mantidos licenciados pela vigilância sanitária estadual ou municipal até que ocorra a destinação final adequada.

A falta de estruturação dos canais logísticos reversos é um dos principais entraves para que haja um equilíbrio entre os fluxos diretos e reversos. Pois não há maneira de gerir um sistema logístico qualquer, seja ele reverso ou não, sem que haja infraestrutura adequada e específica para aquele material ou produto para coletar, armazenar e transportar. Instalações para armazenagem e sistemas de controle devem ser desenvolvidos para interligar de forma eficiente os pontos de coleta e os clientes até o ponto de consumo (GONÇALVES e MARINS, 2006).

3. Problemas de localização

Quando uma potencial planta tem uma capacidade estabelecida de atendimento, o problema é denominado de problema de localização de plantas capacitadas. Quando a restrição de capacidade não é assumida, tem-se o problema de localização não-capacitado ou sem restrição de capacidade (DUBKE, 2006).

O Problema de Localização Capacitado (PLC) consiste em encontrar um conjunto $P \subseteq I$ que atenda a todas as necessidades dos clientes de forma a minimizar o custo total, dado um conjunto de facilidades I , em que cada facilidade tem uma capacidade a_i e um conjunto de clientes J , em que cada um tem a necessidade b_j . Na abordagem clássica do PLC, deseja-se solucionar o *tradeoff* existente entre o custo de transporte e os custos de implantação de facilidades (PRAÇA, 2003).

A função objetivo de custo total (1) é composta pelos custos fixo B_i para se instalar uma facilidade i , e o custo variável unitário C_{ij} , que representa o custo de transportar uma unidade do produto i até o cliente j . Diante disso, o PLC pode ser formulado como um modelo de programação linear inteira e binária, da seguinte maneira:

$$\min \sum_{i \in I} B_i y_i + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} C_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq a_i y_i, \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = b_j, \forall j \in J \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0, \forall i \in I \text{ e } \forall j \in J \quad (4)$$

$$y_i \in \{0,1\}, \forall i \in I \quad (5)$$

Onde x_{ij} representa a quantidade enviada do produto i para j , e y_i representa a instalação ou não da facilidade i . Se $y_i = 1$, a facilidade será instalada em i , caso contrário, $y_i = 0$.

A equação (2) garante que nenhum cliente seja atendido por uma facilidade fechada e que o total da demanda atendida pela facilidade não ultrapasse a sua capacidade. A equação (3) garante que a demanda de cada cliente seja satisfeita. A equação (4) tem como objetivo garantir que não serão enviadas quantidades negativas, e, por fim, a equação (5) é restrição de integralidade da variável de decisão y_i (PRAÇA, 2003).

4. Construção do modelo

Inicialmente, determinou-se a quantidade de pneus inservíveis gerada em cada cidade que compõe o Oeste Potiguar. Para tanto, houve a necessidade de estimar esses valores devido à inexistência desses dados. A estimativa se baseou na frota de veículos e na estimativa de venda de pneus em cada município da região de estudo. O procedimento para se estimar a quantidade de pneus vendidos na região do Oeste Potiguar foi o mesmo utilizado por Rocha (2008) para estimar a quantidade de pneus vendidos no estado do Ceará. A Tabela 2 apresenta a pressuposição da existência de uma proporcionalidade entre a frota total de veículos e a quantidade de pneus vendidos. Essa proporção sugere a possibilidade de se estimar a quantidade de pneus vendidos em uma cidade qualquer desde que sua frota seja conhecida.

	Frota		Pneus vendidos
Brasil	68.548.151	↔	55.000.000 (vendas no Brasil)

Cidade <i>i</i>	Frota de <i>i</i> (<i>f_i</i>) ↔ Pneus vendidos em <i>i</i> (<i>P_{vi}</i>)
-----------------	---

Fonte: Elaborado pelo autor (2011)

Tabela 2 - Proporção estabelecida para estimativa de venda de pneus.

A quantidade de pneus postos a venda anualmente em cada cidade deve ser 0,802 vezes o valor da frota que existe na mesma, conforme demonstra a Equação 6. A partir desse dado, a estimativa de pneus inservíveis gerados ao ano em cada município foi obtida.

$$P_{vi} = \frac{55.000.000 f_i}{68.548.151} = 0,802 f_i \quad (6)$$

Este valor, por sua vez, é fruto de uma parcela da quantidade dos pneus vendidos por ano em cada cidade. Conforme estudos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (ITP, 2007 *apud* Rocha, 2008), do total de pneus velhos que são substituídos por pneus novos, estima-se que 53,2% sejam inservíveis. Analogamente, considerou-se que, da quantidade de pneus vendidos (*P_{vi}*) em cada cidade ao ano, 53,2% correspondem a pneus inservíveis. É importante ressaltar que a metodologia utilizada para se chegar ao valor de pneus inservíveis gerados por ano em cada cidade é determinística e somente é possível estabelecer um valor a cada ano para cada cidade (ROCHA, 2008). A partir das considerações feitas, estima-se $P_{li} = 0,532 P_{vi}$.

Antes da aplicação da modelagem matemática proposta foram estabelecidas algumas premissas. Elas são necessárias uma vez que o modelo tem limitações no que tange a sua capacidade de representação da realidade. Foram estabelecidas as seguintes premissas:

- A associação recicladora é fixa e se encontra na cidade de Mossoró-RN: foi definida em função de ela ser a maior cidade do Oeste Potiguar e, portanto, das cidades alternativas na região, é a que possui melhor infraestrutura e recursos para contemplar um projeto pioneiro desse nível.
- Deve-se garantir que toda a quantidade de pneus inservíveis geradas ao ano nas cidades seja enviada aos ecopontos selecionados e, posteriormente, à associação recicladora localizada na cidade de Mossoró-RN.
- Os pneus enviados de um município qualquer para a recicladora em Mossoró devem passar obrigatoriamente por algum ecoponto.
- Os ecopontos podem atender a quaisquer cidades, não sendo obrigatório destinar todos os pneus de uma determinada cidade para um único ecoponto.
- A logística interna e a acessibilidade de tráfego no espaço interno das cidades envolvidas no estudo não foram levadas em consideração.
- Considera-se que a associação tem capacidade para receber pneus inservíveis a qualquer hora.
- O modal escolhido para ser utilizado na coleta e transporte dos pneus é o rodoviário tendo em vista a sua flexibilidade de rotas e baixo tempo de transporte em relação a outros modais de transportes dentro da zona urbana.
- Considerou-se que todas as rotas que ligam todas as cidades da região do Oeste Potiguar são plenamente acessíveis e comportam o deslocamento do veículo escolhido para realizar as rotas de coleta.

O objetivo principal do modelo é estabelecer quais e quantos ecopontos serão concebidos a fim de minimizar o custo total de operação da rede. Para tanto, é necessário que se determine os elementos de entrada e saída do modelo, além das relações matemáticas entre eles para se chegar à função objetivo desejada. A Tabela 3 apresenta as descrições dos parâmetros e variáveis do modelo proposto.

Variável	Nomenclatura	Tipo
Número de cidades existentes no modelo	N_{ce}	Parâmetro
Número de cidades candidatas a receber o ecoponto	N_{cc}	Parâmetro
Capacidade de armazenamento do ecoponto	S	Parâmetro
Geração de pneus inservíveis da cidade i	Q_i	Parâmetro
Custo unitário de transporte da cidade i para o ecoponto j	C_{ij}	Parâmetro
Custo de transporte do ecoponto j para a associação de reciclagem r	C_{jr}	Parâmetro
Custo fixo para implantar um ecoponto na cidade j	B_j	Parâmetro
Variáveis inteiras que definem a quantidade de pneus transportada da cidade i para o ecoponto j	x_{ij}	Variável de decisão
Variáveis binárias que definem se uma facilidade (ecoponto) é implantada na cidade j ou não. y_j assume o valor 1 caso a cidade j seja selecionada para ter um ecoponto; caso contrário, $y_j = 0$	y_j	Variável de decisão

Tabela 3 - Parâmetros e Variáveis do modelo

Considerando os diversos problemas de localização, optou-se pela adaptação e implantação do Problema de Localização Capacitado adotado por Rocha (2008). O PLC em questão pode ser compreendido da seguinte forma: Dado um conjunto de facilidades J , em que cada facilidade tem uma capacidade S e um conjunto de pontos de oferta I , o PLC consiste em encontrar um conjunto $R \subseteq J$ que atenda a todas as necessidades dos pontos de oferta de forma a minimizar o custo total da operação. A função objetivo de custo total é composta pelos custos fixo B_j para se instalar um ecoponto na cidade j , o custo variável unitário C_{ij} para transportar os pneus da cidade i geradora até o ecoponto j , e o custo variável C_{jr} para transportar do ecoponto j até a recicladora r em Mossoró. Diante disso, o PLC pode ser formulado como um modelo de programação linear inteira e binária (equação 7).

$$\min \sum_{j \in J} B_j y_j + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} C_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} C_{jr} \sum_{i \in I} x_{ij} \quad (7)$$

Onde x_{ij} representa a quantidade de pneus transportada de i para j , e y_j representa a instalação ou não do ecoponto em j . Se $y_j = 1$, o ecoponto será instalado em j , caso contrário, $y_j = 0$. No grupo das restrições, a equação (8) garante que toda a quantidade de pneus inservíveis (Q_i) gerada em uma cidade será entregue aos ecopontos. A Equação 9 garante que a capacidade dos ecopontos (S_j) não seja ultrapassada e que uma cidade não

envie pneus para ecopontos fechados. A Equação 10 tem como objetivo garantir que não serão enviadas quantidades negativas, e, por fim, a Equação 11 estabelece valores binários que quando assume o valor 1 a instalação se localiza em J e assume o valor 0, caso contrário.

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = Q_i, \forall i \in I \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq S_j y_j, \forall j \in J \quad (9)$$

$$x_{ij} \geq 0, \forall i \in I \text{ e } \forall j \in J \quad (10)$$

$$y_j \in \{0,1\}, \forall j \in J \quad (11)$$

Foram definidas como cidades possíveis para instalação de ecopontos as que possuíam maior oferta de pneus na região. Esse critério escolhido foi o mais apropriado visto que uma vez que uma cidade é escolhida a receber um ecoponto, as quantidades de pneus inservíveis geradas nesta mesma cidade deverão ser enviadas ao seu próprio ecoponto e, conseqüentemente, não incorrerá em custos para transportar esses pneus. Observou-se que as cidades candidatas correspondem juntas a 70% da oferta de pneus inservíveis.

A Figura 1 apresenta o esquema do PLC para as sete cidades candidatas a receber ecopontos.

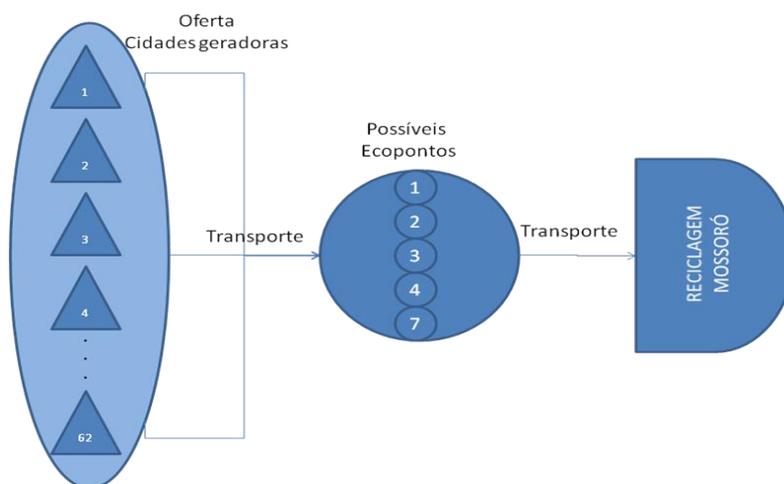


Figura 1 - Esquema do PLC

Para o custo de transporte, adotou-se o valor de R\$ 0,0017/pneus.km para cada par de origem/destino. Esse valor foi obtido a partir da Revista Economia e Transporte (2007, *apud* Rocha, 2008) para o caminhão médio que possui capacidade de 1600 pneus. O autor em questão adota que o custo do transporte é função direta da distância entre as cidades geradoras, os locais onde se instalarão os ecopontos, bem como a cidade onde haverá a reciclagem.

Quanto ao custo fixo de instalação dos ecopontos em cada cidade candidata a instalar os mesmos, foi determinado, para o modelo proposto inicialmente, que ele seria um único valor, independente da localidade, devido à dificuldade de associar custos diferenciados para esse tipo de instalação em diferentes lugares da região estudada. Por isso, esse valor foi estabelecido em R\$ 47.836,97. Este foi determinado por CP Solutions (2007, *apud* Rocha,

2008), que significa uma média de investimentos na construção de ecopontos de 200m² com capacidade anual de armazenamento de 48 mil pneus para cada ecoponto.

5. Resultados obtidos

A resolução da função objetivo para o modelo inicial apresentou um valor de R\$ 107.365,13, representando o custo total para suprir a oferta de pneus inservíveis em cada cidade do Oeste Potiguar com dois ecopontos. Neste caso, o modelo também gerou duas cidades contempladas com ecopontos: Mossoró e Caraúbas (Cenário 1).

O custo total é composto pela soma do custo de instalação e o custo de transporte. Já o custo de transporte pode ser obtido pela subtração do custo de instalação do custo total. Com base nos resultados, percebe-se que o custo mais expressivo é o custo fixo de instalação das facilidades, R\$ 95.673,94, ou seja, 89,11% do custo total da operação, restando somente 10,89% ao custo de transporte. Apenas uma cidade, Alto do Rodrigues, forneceu seus pneus inservíveis para mais de um ecoponto. Isso pode ser atribuído à limitação de capacidade das instalações o que obriga o envio do excedente para outra facilidade. Outro detalhe é que as cidades que foram contempladas enviaram toda sua oferta para sua instalação própria.

A fim de proporcionar outras configurações da rede logística reversa, optou-se pela modificação de algumas condições consideradas no modelo exposto inicialmente, sem haver alterações no modelo escrito no LINGO. Essas alterações na modelagem simulam variações no limite de capacidade dos ecopontos e no custo fixo de implantação dos mesmos. Portanto, procura-se conceber cenários que proporcionem maior confiabilidade à modelagem adotada nesta pesquisa. O cenário que será apresentado abaixo define uma situação distinta: instalação de um único ecoponto fixo na cidade de Mossoró com capacidade de 90.000 pneus por ano. Esse cenário obriga que o transporte de pneus das cidades geradoras seja feito direto para a cidade recicladora.

Sabendo-se que o montante de pneus inservíveis gerados corresponde a 88.188 pneus/ano, decidiu-se arredondar a capacidade do ecoponto para 90.000 pneus/ano para comportar possíveis variações adicionais na quantidade gerada. Mantendo a proporcionalidade entre a capacidade do ecoponto e seu custo de implantação, este ficará em R\$ 89.694,32. Toda a quantidade de pneus inservíveis gerada na região foi enviada ao ecoponto de Mossoró. Obviamente isso iria ocorrer de qualquer maneira tendo em vista que uma das restrições do modelo garante que toda a quantidade de pneus inservíveis gerada deve ser enviada a pelo menos um ecoponto.

Os valores obtidos para o custo total de operação ficou em R\$ 98.525,52, sendo que R\$ 89.694,32 corresponde ao custo de instalação que também é igual ao custo de implantação de um único ecoponto de acordo com o custo considerado para este cenário. O restante do custo total, R\$ 8.831,20 corresponde ao custo de transporte entre as cidades e o ecoponto em Mossoró (Cenário 2).

Uma segunda variação do modelo adotou que o ecoponto não precisaria estar fixo na cidade de Mossoró, mas poderia ser localizado em qualquer uma das sete cidades candidatas. A capacidade do ecoponto continuou sendo de 90.000 pneus/ano.

De acordo com a nova modelagem, identificou-se que mesmo as cidades alternativas para implantar ecopontos tendo capacidade suficiente para receber toda a geração de pneus inservíveis da região, a cidade de Mossoró novamente foi contemplada com o ecoponto e,

portanto, este novo cenário só conta com essa única instalação. O custo total foi o mesmo do cenário anterior (Cenário 3).

Foi proposto ainda um último cenário para avaliar o desempenho da rede logística. Foi considerado que a capacidade do possível ecoponto em Mossoró de 41.446 pneus/ano, equivalente a geração de pneus inservíveis de Mossoró por ano, e as demais cidades candidatas com capacidade de 7.800 pneus/ano. Este valor corresponde, aproximadamente, ao restante da capacidade necessária – pois a capacidade de 41.446 pneus/ano já está em Mossoró - para receber os pneus gerados na região dividida por 6 ecopontos.

Feitas as alterações nos referidos parâmetros, obteve-se uma nova solução para o modelo. Essa nova modelagem mostrou que todas as 7 cidades candidatas a receber ecopontos foram contempladas com a facilidade. Percebe-se que cada ecoponto escolhido tem sua utilização bastante acentuada e a distribuição dessas facilidades na região Oeste Potiguar está bem mais balanceada em relação aos cenários concebidos anteriormente, conforme ilustra a Figura 2. O custo total da operação, R\$ 98.900,69, é composto por R\$ 87.946,28, que corresponde ao custo de instalação dos 7 ecopontos de acordo com o custo fixo de implantação de cada um. O restante do custo total, R\$ 10.954,41 corresponde ao custo de transporte entre as cidades e o ecoponto instalado em Mossoró (Cenário 4).

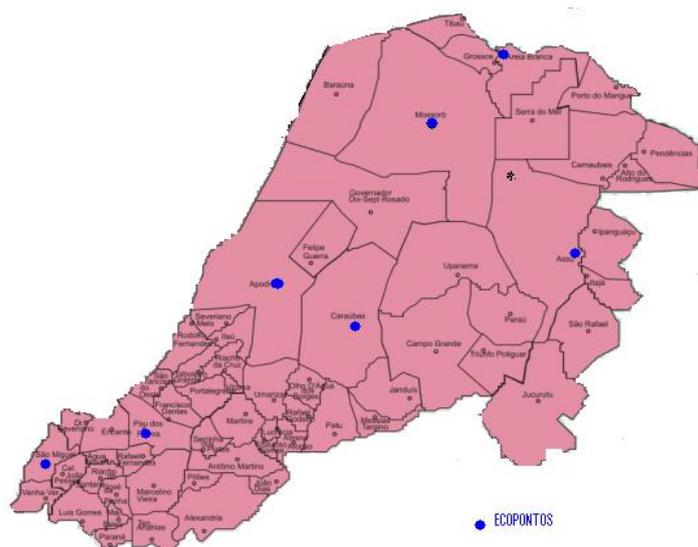


Figura 2 – Nova distribuição dos ecopontos

Para cada cenário, foram definidos os custos envolvidos com a variação das variáveis do modelo. A síntese dos resultados é apresentada na Tabela 4.

CENÁRIOS	CUSTOS			LOCALIZAÇÃO DOS ECOPONTOS
	INSTALAÇÃO	TRANSPORTE	TOTAL	
Cenário 1	R\$ 95.673,94	R\$ 11.691,19	R\$ 107.365,13	Caraúbas e Mossoró
Cenário 2	R\$ 89.694,32	R\$ 8.831,20	R\$ 98.525,52	Mossoró
Cenário 3	R\$ 89.694,32	R\$ 8.831,20	R\$ 98.525,52	Mossoró

Cenário 4	R\$ 87.946,28	R\$ 10.954,41	R\$ 98.900,69	Apodi, Areia Branca, Assú, Caraúbas, Mossoró, Pau dos Ferros e São Miguel
------------------	---------------	---------------	---------------	---

Fonte: Elaborado pelo autor (2011)

Tabela 4 - Custos obtidos no Modelo Inicial e Cenários

Pelo modelo desenvolvido, foi possível analisar o incremento de custos que ocorreu entre os diferentes cenários obtidos. A Tabela 5 apresenta a matriz com os incrementos nos custos oriundos de cada modelo.

Incremento Custo	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Cenário 1	X	-8,23%	-8,23%	-7,88%
Cenário 2	X	X	0,0%	0,38%
Cenário 3	X	X	X	0,38%
Cenário 4	X	X	X	X

Fonte: Elaborado pelo autor (2011)

Tabela 5 - Incremento de custos em porcentagem entre Cenários

6. Considerações finais

Diante dos testes realizados, percebe-se que o modelo proposto é capaz de subsidiar o processo de tomada de decisão na escolha dos locais de implantação dos ecopontos. A rede logística reversa de pneus se mostrou bastante complexa havendo a necessidade de contar com estruturas específicas e agentes para catalisar o retorno desses resíduos.

Em todas as soluções obtidas nos cenários propostos, a operação de logística reversa de pneus atendeu toda a oferta de pneus estimada no Oeste Potiguar. Portanto, o modelo se mostrou confiável para gerar o custo total de operação levando em conta a oferta máxima de pneus da região em estudo.

A tarefa de se definir a solução mais adequada se torna difícil devido à carência de informações mais precisas para contemplar a modelagem. Sabendo-se que ainda é incipiente a utilização desse tipo de modelo aplicado à logística reversa de pneus, acredita-se que a modelagem cumpriu com a sua proposta inicial que foi conceber uma configuração de rede logística otimizada na região Oeste Potiguar, sob os parâmetros e premissas consideradas inicialmente.

É importante ressaltar que a finalidade desta pesquisa não é solucionar de forma definitiva o problema da logística reversa dos pneus, e sim abrir perspectivas e possibilitar a concepção de futuros modelos mais específicos considerando a aplicação de dados mais realistas.

Referências

- ANIP.** Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos. Disponível em: <<http://www.anip.com.br>> Acesso em: 11 jun. 2011.
- BEUKERING, P. J. H. VAN; JANSSEN, M. A.** Trade and recycling of used truck tyres in Western and Eastern Europe. *Resource Conservation and Recycling*, v. 33, p. 235-265, 2001.
- CIMINO, M. A.** Gerenciamento de pneumáticos inservíveis: análise crítica de procedimentos operacionais e tecnologias para minimização, adotadas no território nacional. 2004. 178p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) -Universidade Federal de São Carlos, 2004.

CP SOLUTIONS (2007). *Pneus velhos ganham destinação correta em Belo Horizonte. Notícia de 01 de fevereiro de 2007*. In. **ROCHA, B. O.** Utilização de modelos de localização para dinamização do fluxo reverso de pneus inservíveis. 2008. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Transportes) - Programa de mestrado em Engenharia de Transporte. Universidade Federal do Ceará, 2008.

DUBKE, A. F. *Modelo de localização de terminais especializados: um estudo de caso em corredores de exportação da soja*. 2006. 177f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2006.

GONÇALVES, M. E.; MARINS, F. A. S. *Logística reversa numa empresa de laminação de vidros: Em Estudo de Caso*. *Gestão e Produção*, v.13, n.3, p.397-410, 2006.

LEITE, P. R. *Logística reversa: meio ambiente e competitividade*. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MEADE, L.; SARKIS, J. *A conceptual model for selecting and evaluating third-party reverse logistics providers*, *Supply Chain Management: An International Journal*, v. 7, n. 5, 2002.

PRAÇA, E. R. *Distribuição de gás natural no Brasil: um enfoque crítico e de minimização de custos*. 2003. 159f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de mestrado em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará, 2003.

ROCHA, B. O. *Utilização de modelos de localização para dinamização do fluxo reverso de pneus inservíveis*. 2008. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Transportes) - Programa de mestrado em Engenharia de Transporte. Universidade Federal do Ceará, 2008.

ROGERS, D. S.; TIBBEN.LEMBKE, R. S. *Going backwards: reverse logistics trends and practices*. Reno: University of Nevada, 1999.