

UNIVERSIDADE DOS AÇORES
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E GESTÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS EMPRESARIAIS

A CONFIGURAÇÃO DA CADEIA LOGÍSTICA INVERSA PARA O
TRATAMENTO DOS PNEUS USADOS
– UM PROBLEMA DE OPTIMIZAÇÃO DE LOCALIZAÇÃO

Armindo Dias da Silva Frias

Orientador: Professor Doutor Francisco José Ferreira Silva

Ponta Delgada, Setembro de 2010

RESUMO

O aumento do consumo, a necessidade de respeitar o meio ambiente e a oportunidade de negócio, ditaram o aparecimento de fluxos com sentido inverso ao tradicional, que movimentam os bens em fim de vida ou consumidos para montante. Na procura de eficiência para os diversos processos e da cadeia logística no seu todo, as organizações identificaram como elemento relevante a localização das suas infra-estruturas. Na busca da localização óptima, foram desenvolvidos distintos modelos matemáticos que potenciam os objectivos específicos de cada organização. Um dos modelos mais utilizados, que procura minimizar as distâncias totais percorridas, logo dos custos associados à movimentação de mercadorias, é o modelo das *p*-medianas.

Pelos quantitativos envolvidos, valor comercial e perigosidade ambiental que representam, foi implementado em Portugal um sistema de gestão integrada para a recolha e tratamento dos pneus e pneus usados. A análise da configuração da cadeia logística inversa implementada pelo referido sistema, no que concerne à localização das suas infra-estruturas, permite avaliar os custos tidos com a movimentação dos pneus. Sendo este um dos principais custos a ter em consideração no sistema, a sua minimização permite melhorar a eficiência do próprio sistema.

Este é um trabalho multidisciplinar que vem contribuir para um melhor conhecimento do sistema de recolha e tratamento dos pneus e pneus usados implementado na ilha de São Miguel, cria um modelo de localização de infra-estruturas inovador adaptado ao caso concreto estudado, assim como uma ferramenta informática que permite analisar a eficiência da localização em redes. Efectua igualmente uma proposta concreta de melhoria da eficiência do actual sistema e analisa as possíveis razões do envio de pneus usados, gerados nos Açores, exclusivamente para valorização energética.

Palavras-chave: Logística inversa, localização de infra-estruturas, *p*-medianas, pneus usados

ABSTRACT

The increase in consumption, the need to respect the environment and business opportunity, dictated the appearance of reverse flows, where goods are moved from the end of life or consumed point to the origin point. In search for efficiency, in the various processes and supply chain as a whole, the organizations identified as an important element the infrastructure location. In searching for the optimum location, different mathematical models have been developed to increase each organization specific objectives. One of the most used models, which seeks the total distances traveled minimization, that means, the costs minimization associated with moving goods, is the p-median model.

By the amount involved, the commercial value and the environmental danger they represent, was implemented in Portugal an integrated management system for collection and processing tires and used tires. The configuration analysis of the reverse logistics chain implemented by the system, regarding the infrastructure location, allow to evaluate the costs taken with the tires handling. Since this is a important cost to be taken into account in the system, it's minimization can improve the system efficiency.

This is a multidisciplinary work that contributes to a better understanding of the system for collection and processing tires and used tires, implemented in *São Miguel* island, creates a innovative model for infrastructure localization adapted to the specific case studied, as well as a computer tool that allows to analyze the location efficiency on networks. Also carries out a concrete proposal for improving the current system efficiency and discusses the possible reasons for sending used tires generated in the Azores, only for energy recovery.

Key words: Reverse logistics, localization models, p-median, used tires

DEDICATÓRIA

Porque existe amanhã

Valorpneu

Logistics cannot go forward without thinking reverse!

Marisa Paula de Brito

AGRADECIMENTOS

Porque vivemos em sociedade e nada faz isoladamente, muitas foram as pessoas que contribuíram para que esta dissertação se tornasse uma realidade. Quero aqui expressar o meu profundo agradecimento:

- Ao Professor Doutor João Manuel Gonçalves Cabral, professor do Departamento de Matemática da UAC e Director do Centro de Matemática Aplicada e Tecnologias da Informação;
- Ao camarada mais antigo, ao professor e ao amigo Manuel Frutuoso da Costa;
- Ao Vice-Almirante Agostinho Ramos da Silva, meu chefe directo;
- Ao Professor Doutor João José Monteiro de Mora Porteiro, professor do Departamento de Biologia, Chefe de Secção de Geografia e Director do Centro de Informação Geográfica e Planeamento Territorial da UAC;
- Ao Sr. António Moniz de Medeiros, técnico do SIG na Secção de Geografia do Departamento de Biologia da UAC;
- À Professora Doutora Helena Margarida Mateus Silva Montenegro, professora do Departamento de Línguas e Literaturas Modernas da UAC;
- Ao Professor Doutor João Menezes, coordenador do Secção de Tecnologia, Produção e Operações do Departamento de Ciências de Gestão do ISCTE e Presidente do IN OUT GLOBAL – ISCTE;
- Ao Doutor Luís Ferreira, consultor de logístico na Companhia IBM Portuguesa, SA;
- Ao Doutor Marco Paulo Pereira Pessoa Lopes, gerente da firma *Varela e C^a Lda*;
- À Ana Malcata, da firma *Varela e C^a Lda*;
- Ao Eng. Paulo Silva, do Departamento de Logística da firma *Valorpneu - Sociedade de Gestão de Pneus, Lda*;
- Aos meus colegas e professores da UAC;
- Ao professor Doutor Francisco José Ferreira Silva, tutor deste trabalho;
- À minha esposa Ângela e aos meus filhos Eduardo e Beatriz.

ÍNDICE

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
1. Introdução.....	2
2. Revisão da literatura.....	6
2.1. A logística inversa	6
2.1.1. Definição e caracterização	6
2.1.2. O sistema logístico inverso	11
2.1.3. Os pneus usados	20
2.2. Localização de infra-estruturas	22
2.2.1. Princípios	22
2.2.2. Modelos de localização.....	24
2.2.3. O problema das <i>p</i> -medianas.....	27
3. Quadro conceptual e hipóteses	32
3.1. Legislação sobre a temática dos pneus usados	32
3.2. O SGPU implementado em Portugal.....	33
3.3. Caracterização do problema e formulação das hipóteses a testar	36
4. Metodologia a utilizar	39
5. Tratamento e análise dos dados obtidos	46
6. Conclusões	53
APÊNDICE A - Características diferenciadoras dos modelos de localização	APÊND.A-1
APÊNDICE B - Dados obtidos e sua análise estatística	APÊND.B-1
APÊNDICE C - Identificação dos nós e suas coordenadas geográficas	APÊND.C-1
APÊNDICE D - Localização geográfica dos nós iniciais	APÊND.D-1
APÊNDICE E - Resolução gráfica das diversas simulações.....	APÊND.E-1
APÊNDICE F – Exemplo de impressão da folha de cálculo	APÊND.F-1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	1

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Componentes das definições de logística inversa	7
Quadro 2 - Logística directa vs logística inversa	9
Quadro 3 - Resultados de localização obtidos	48
Quadro 4 - Factores intervenientes na hipótese H3	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Logística do pós-consumo vs pós-venda	8
Figura 2 - Logística inversa vs logística verde	10
Figura 3 - A Cadeia de Abastecimento em circuito fechado	17
Figura 4 - Modelo operacional e financeiro do SGPU	34

APÊNDICES

APÊNDICE A - Características diferenciadoras dos modelos de localização	APÊND.A-1
APÊNDICE B - Dados obtidos e sua análise estatística	APÊND.B-1
APÊNDICE C - Identificação dos nós e suas coordenadas geográficas	APÊND.C-1
APÊNDICE D - Localização geográfica dos nós iniciais	APÊND.D-1
APÊNDICE E - Resolução gráfica das diversas simulações.....	APÊND.E-1
APÊNDICE F – Exemplo de impressão da folha de cálculo	APÊND.F-1

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

ACAP	Associação do Comércio Automóvel de Portugal
ANIRP	Associação Nacional dos Industriais de Recauchutagem de Pneus
APIB	Associação Portuguesa dos Industriais de Borracha
CEE	Comunidade Económica Europeia
CER	Catalogo Europeu de Resíduos
CRC	Centros de Retorno Centralizados
CSCMP	<i>Council of Supply Chain Management Professionals</i>
DFRL	<i>Design For Reverse Logistics</i>
DL	Decreto-lei
DLR	Decreto Legislativo Regional
Kg	Quilograma
ONU	Organização das Nações Unidas
PEGRA	Plano Estratégico de Gestão de Resíduos dos Açores
RAA	Região Autónoma dos Açores
RLEC	<i>Reverse Logistics Executive Council</i>
SGPU	Sistema Integrado de Gestão de Pneus Usados
SIG	Sistema de Informação Geográfica
Ton	Tonelada
UE	União Europeia
Valorpneu	Valorpneu - Sociedade de Gestão de Pneus, Lda.

CAPITULO I

Introdução

1. Introdução

Numa sociedade cada vez mais assente no consumo, o respeito pela sustentabilidade ambiental e a procura de benefícios económicos vieram potenciar o desenvolvimento de actividades e procedimentos conducentes à recolha e tratamento de bens consumidos ou em fim de vida útil. Em resposta a essa necessidade, as diversas organizações criaram processos, em sentido inverso ao tradicional. Esses fluxos inversos vieram possibilitar a melhoria da sua imagem corporativa junto dos seus clientes, a obtenção de recursos, o cumprimento das imposições legais vigentes, a optimização da sua cadeia de abastecimentos e a obtenção de retorno económico.

A logística inversa é um dos ramos das ciências empresariais que maior evolução tem registado nas últimas décadas, contribuindo para a melhoria dos processos e eficiência das organizações. Face à importância estratégica que a logística inversa tem para as organizações, assiste-se hoje a uma integração dos fluxos tradicionais, em sentido directo, com os fluxos em sentido inverso, estabelecendo-se assim uma visão integrada de cadeia de abastecimento em circuito fechado.

Um dos factores com maior preponderância na eficiência das organizações é a escolha da localização das suas infra-estruturas, sejam elas de apoio às actividades da logística directa, inversa ou de ambas. Na procura da localização óptima, múltiplos modelos matemáticos têm sido desenvolvidos para fazer face aos diferentes objectivos e especificidades das diversas organizações.

Pela necessidade de observar os princípios da sustentabilidade ambiental, a recolha e tratamento de resíduos é uma das actividades que se encontra legislada, seja a nível europeu, nacional ou regional. Pelos quantitativos envolvidos, valor comercial ou perigosidade ambiental que representam, alguns bens mereceram especial atenção do legislador. Os pneus usados são artigos que apresentam um elevado impacto ambiental, complexidade no seu tratamento e conferem retorno económico. O destino final dos pneus depende de condições técnicas, económicas e legais, podendo estes ser reutilizados, reciclados, utilizados como combustível ou simplesmente depositos em aterro ou a céu aberto. A nível nacional, à semelhança de muitos outros países, para fazer face à necessidade de recolha e tratamento dos pneus usados, foi implementado um Sistema Integrado de Gestão de Pneus Usados (SGPU).

Sendo este sistema financiado por uma taxa aplicada aos consumidores de pneus novos ou reutilizados, o ecovalor, importa aferir da eficiência do sistema implantado. Verificando-se que um dos principais custos envolvidos no funcionamento do sistema se refere à movimentação dos pneus, considera-se de grande relevância a localização das diversas infra-estruturas na avaliação da eficiência do SGPU.

Este trabalho tem como objectivo analisar a configuração da cadeia logística inversa implementada para a recolha e tratamento dos pneus usados, no que concerne à localização das suas infra-estruturas. Tendo em consideração o referido objectivo e a restrição de cedência de dados, foram estabelecidas as seguintes hipóteses a analisar:

H1: Será que a actual localização do ponto de recolha é a que permite uma maior eficiência da rede implementada?

H2: Será que a existência de dois pontos de recolha traria ganhos de eficiência ao actual sistema? Quais as suas localizações geográficas?

H3: Existem condições para que ao nível da ilha de São Miguel sejam cumpridas as quotas nacionais legalmente estabelecidas, para a valorização dos pneus recolhidos e não recauchutados?

Para responder às questões supra identificadas, pretende-se efectuar o estudo de documentos académicos recente, obras de referência, legislação e outros documentos relacionados com a logística inversa, a optimização da localização de infra-estruturas, a gestão e tratamento de resíduos e de pneus usados. Especificamente, pretende-se conhecer os princípios da logística inversa, os principais modelos de optimização da localização de infra-estruturas e os que terão maior potencialidade de aplicação ao caso concreto, os factores diferenciadores dos estudos de localização de infra-estruturas de cadeias de logística directa e logística inversa, o SGPU implantado a nível nacional e na Região Autónoma dos Açores (RAA), assim como legislação relacionada e especificidades do tratamento dos pneus usados.

Para responder às duas primeiras questões, planeia-se formular um modelo de optimização da localização de infra-estruturas que se adapte às especificidades do caso concreto, efectuando o seu cálculo através de ferramentas informáticas assim como a visualização gráfica das soluções com recurso um Sistema de Informação Geográfica (SIG). No que se refere à terceira questão, tenciona-se analisar as imposições legais, as

alterações necessárias à sua implementação no espaço interno da RAA e respectivas implicações financeiras.

Com o presente trabalho, pretende-se contribuir para o conhecimento do SGPU implementado em território nacional e na RAA, criar uma ferramenta que permita analisar a eficiência da localização das suas infra-estruturas e identificar possíveis localizações de infra-estruturas a edificar.

Com o intuito de cumprir o desidrato explanado, esta dissertação será constituída por seis capítulos. O primeiro fará uma introdução ao tema, o segundo a revisão da literatura considerada fundamental para conhecer o tema, suas envolventes, desenvolvimentos e enquadramento. O terceiro identificará o quadro conceptual específico do tema a tratar, nomeadamente, o sistema de gestão dos pneus usados implementado e o enquadramento legal vigente, assim como as hipóteses que se pretendem testar. Do quarto constará o método de recolha de dados a realizar assim como a explanação da metodologia que se pretende seguir no teste das hipóteses. No quinto capítulo identificar-se-á a forma como foi efectuado o tratamento dos dados obtidos e a análise dos resultados alcançados, assim como a identificação de contributos e limitações do presente estudo. Por último, no sexto capítulo apresentar-se-ão as conclusões retiradas da análise dos resultados obtidos e algumas propostas para futuras investigações.

CAPITULO II

Revisão da literatura

2. Revisão da literatura

2.1. A logística inversa

2.1.1. Definição e caracterização

Na sua génese, conforme narrado por Sun Tzu (1974), a logística era parte integrante da arte da guerra e era vista como a capacidade para atender às necessidades de apoio à execução da mesma. Com a evolução dos tempos, a logística deixou de ser uma ciência exclusiva dos militares, passando a gestão empresarial a ditar os seus cânones. Na actualidade, à luz da definição adoptada pelo *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP) (2010), a logística é pensada em termos de gestão da cadeia de abastecimento, sendo responsável pelo planeamento, implementação e controlo da eficiência dos fluxos directos e inversos, armazenagem de bens e serviços assim como da subsequente informação, entre os pontos de origem e os pontos de consumo, procurando satisfazer as necessidades dos clientes. De realçar o facto de que a logística contempla dois conjuntos de fluxos principais, os directos e os inversos.

Consoante os autores e data em que foi apresentada, a definição de logística inversa pode ser mais ou menos abrangente. É possível consultar bons resumos e análises da definição de logística inversa em Lourenço & Soto (2002), De Brito & Dekker (2003), Quesada (2003) e Chaves & Batalha (2006). O *Reverse Logistics Executive Council* (RLEC) (2010) define logística inversa como sendo o processo de planeamento, implementação e controlo da eficiência, do custo efectivo com matérias-primas, do inventário de entrada, dos produtos acabados e da informação relacionada, desde o ponto de consumo até ao ponto de origem, com o objectivo de recapturar valor ou efectuar a correcta deposição dos materiais.

Quesada (2003) propõe que a logística inversa seja definida como a gestão de qualquer tipo de itens (usados ou não, produtos acabados ou apenas componentes, peças ou materiais) que, por diferentes tipos de razões são enviados por um membro da cadeia de abastecimento a outro membro a montante, incluindo fluxos que ocorram fora da cadeia original mas que tenham origem na cadeia de abastecimentos e que sejam consequência de um incremento de material ou valor decorrente das actividades de reparação ou recuperação.

Das diversas definições analisadas e de acordo com Soto Z (2005), é possível desagregá-las nos seus componentes básicos, a saber: o que é a logística inversa?, quais os seus *inputs* ou entradas, o ponto de origem das entradas, as actividades ou tarefas desenvolvidas ao longo das diversas fases do processo, os resultados ou consequências dessas actividades e, o destino dos produtos resultantes.

De uma forma genérica, a maioria das definições analisadas podem enquadrar-se no seguinte quadro comparativo:

Quadro 1 - Componentes das definições de logística inversa

O que é?	Entradas	Origem	Actividades	Saídas	Destino
<ul style="list-style-type: none"> • Processo • Acção • Perícias e actividades • Área da logística 	<ul style="list-style-type: none"> • Produtos descartados • Produtos usados • Peças ou produtos previamente expedidos • Embalagens e desperdícios perigosos e não perigosos • Informação • Matérias-primas • Em processo de inventário • Produtos acabados • Informação relacionada • Componentes • Materiais 	<ul style="list-style-type: none"> • Ponto de consumo • Ponto do fim de vida útil • Cadeia de abastecimento 	<ul style="list-style-type: none"> • Planeamento, implementação • controlo da eficiência, do custo efectivo de fluxos • Recolha • Transporte • Armazenagem • Processamento • Aceitação • Recuperação • Reparação • Embalamento • Envio • Redução • Gestão • Alienação • Desmontagem • Inventários • Produção • Inspeção • Redistribuição 	<ul style="list-style-type: none"> • Produtos reutilizáveis • Reciclagem • Remanufactura • Deposição • Correcta deposição • Reduzir • Gerir • Recapturar valor 	<ul style="list-style-type: none"> • Produtor • Ponto central de recolha • Ponto de origem • Cliente • Membro cadeia abastecimento

Adaptado de Soto Z. (2005)

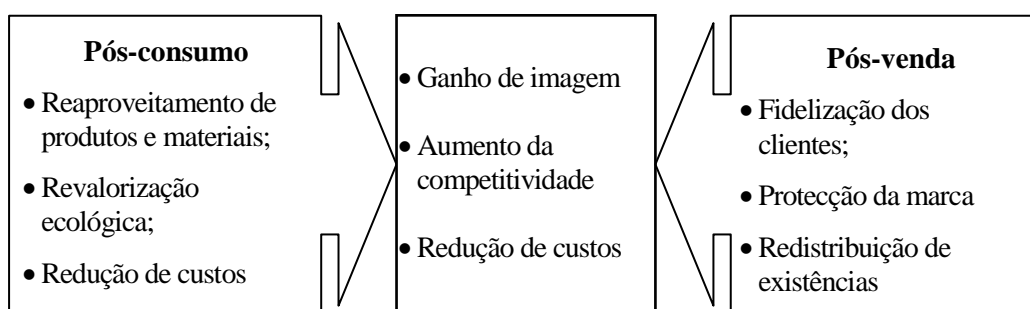
No âmbito deste trabalho, considero apropriado definir logística inversa como o processo de planeamento, implementação e controlo da eficiência, das actividades desenvolvidas na recolha, processamento, armazenagem e posterior distribuição, de bens consumidos ou em fim de vida útil e informação associada, em qualquer fase da cadeia de abastecimentos, com o objectivo de obter valor ou efectuar o seu correcto tratamento.

Tendo em consideração a origem e as características dos artigos a recolher, um conjunto alargado de autores, entre os quais Mueller (2005), Chaves & Batalha (2006) e Guarnieri et al. (2006), subdividem a logística de sentido inverso em duas áreas de actuação:

- De pós-consumo, quando incorpora artigos em fim de vida útil, resíduos industriais ou após o seu uso, os quais têm como fim mais usual a reciclagem ou a deposição e onde alguns materiais proporcionam retorno económico e informação. Norteia-se por preocupações ambientais, de libertação dos canais logísticos e de obtenção de matérias-primas reutilizáveis;
- De pós-venda, quando se trata do retorno de produtos motivado por razões comerciais e onde os artigos tiveram pouco ou nenhum uso mas apresentam deficiências, estão associados à insatisfação dos clientes ou à necessidade de proceder a ajustes de existências. Estes bens têm como destino mais frequente a reciclagem ou a reutilização, incorporando informação relevante para a gestão mas significam frequentemente um custo adicional. São artigos que possibilitam agregar valor ao produto e que propiciam a diferenciação competitiva da empresa junto dos seus clientes.

Atendendo aos objectivos associados a cada uma das subdivisões identificadas, podem sintetizar-se as diferenças no seguinte esquema:

Figura 1 - Logística do pós-consumo vs pós-venda



Adaptado de Chaves & Batalha (2006)

Tem sido comum associar a logística inversa a uma versão simétrica da logística tradicional, onde os fluxos partem do consumidor para o produtor, no entanto, fazendo um resumo do defendido por Mueller (2005), Soto (2005), Souza (2008) e RLEC

(2010), podem ser identificadas algumas outras diferenças fundamentais entre as duas logísticas, que se sintetizam no seguinte quadro:

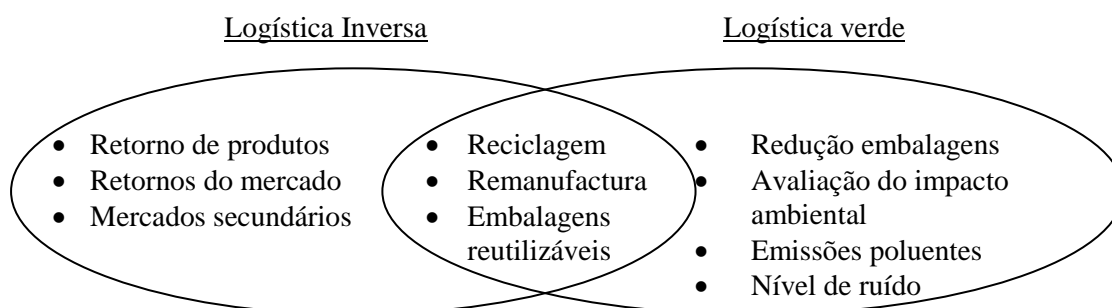
Quadro 2 - Logística directa vs logística inversa

	Logística em sentido directo	Logística inversa
Planeamento	Relativamente directo e de fácil compreensão	Com maior complexidade
Força impulsionadora	Durante o processo produtivo, os produtos são puxados pela necessidade dos consumidores	Pode ser puxado pela necessidade ou vantagem económica do consumidor do produto ou, pode ser empurrado por imposição legal ou opinião pública
Nível de incerteza	Conhecido	Nem sempre facilmente identificável mas bastante elevado
Factor tempo	Prioritário	Pouco relevante
Valor dos bens	Valor de mercado	Baixo valor unitário, residual
Sentido dos fluxos	Directo	Inverso
Direcção dos fluxos	Divergente, de um ponto de produção para vários pontos de distribuição	Convergente e depois divergente, diversos pontos de recolha para um ponto de triagem ou processamento inicial e posteriormente, distribuídos para alguns pontos de tratamento divergentes
Processo produtivo	É uma fase que antecede a rede de distribuição	Ultrapassa os limites da unidade de produção, os artigos recolhidos seguem um fluxo pré-estabelecido que os transforma noutros produtos, está agregado à rede de distribuição
Qualidade produtos	Uniforme	Não uniforme
Embalagem dos produtos	Uniforme	Frequentemente danificada ou inexistente
Gestão existências	Consistente	Não consistente e com maior complexidade, possível gestão conjunta produtos novos e recuperados
Destino	Conhecido e predefinido	Diverso e incerto
Distribuição	Artigos padronizados	Elevado nível incerteza, tanto quantitativo como qualitativo
Custos distribuição	Facilmente identificados	Nem sempre são facilmente identificáveis
Processo negocial	Directo e definido	Complexo, dificultado por diversos factores
Marketing	Métodos bem conhecidos	Métodos dificultado por diversos factores
Visibilidade do processo	Mais transparente	Menos transparente

Após definir e diferenciar logística directa da logística inversa, importa agora distinguir a logística inversa de outros conceitos, com os quais é frequentemente confundida ou tomada por sinónimo.

Conforme De Brito & Dekker (2003), a logística verde ou ecológica refere-se à análise da totalidade da cadeia logística, com o objectivo de reduzir o consumo de recursos naturais não renováveis e atenuar as emissões poluentes, ou seja, entender e minimizar o impacto ecológico da actividade da logística. Conforme se esquematiza na figura seguinte, existe um conjunto de actividades onde se verifica uma sobreposição dos dois conceitos. A reutilização de um determinado produto, refere-se ao mesmo tempo à logística inversa e à logística verde, no entanto, a redução de consumo de energia nesse processo está inserido apenas na logística verde.

Figura 2 - Logística inversa vs logística verde



Adaptado de Rogers & Tibben-Lembke (2001)

Adlmaier & Sellitto (2007) defendem que a gestão de resíduos ou gestão ambiental tem como principal objectivo a recolha e tratamento de materiais rejeitados ou refugos para os quais não existe outro uso, enquanto a logística inversa concentra-se nos fluxos inversos onde existe possibilidade de recuperar valor ou imposição legal para o fazer.

Já Quesada (2003) defende que a logística para a reciclagem de materiais ou apenas reciclagem, implica o reaproveitamento de materiais constituintes dos produtos recolhidos e pode ser realizada por qualquer entidade. No entender de Souza (2008), esta actividade é sempre lucrativa, uma vez que a entidade que a faz escolhe apenas os produtos que asseguram a rentabilidade pretendida. Por vezes, existem empresas especializadas que fornecem os seus serviços de reciclagem de produtos, em regime de outsourcing, a quem tem responsabilidade por desenvolver a actividade de recolha e tratamento. Esta actividade constitui uma parte integrante da logística inversa.

De acordo com De Brito & Dekker (2003), a logística inversa pode ser vista como parte integrante do desenvolvimento sustentado, como foi definido no relatório *Brundtland* (ONU, 1987), uma vez que procura contribuir para a satisfação das

necessidades actuais sem comprometer as necessidades das gerações futuras, através do reaproveitamento do valor dos produtos consumidos ou em fim de vida útil e, cumulativamente, minimizando o seu impacto ambiental.

2.1.2. O sistema logístico inverso

Após definir, delimitar e caracterizar a logística inversa importa agora analisar o sistema logístico inverso nas suas múltiplas componentes e interações, procurando conhecer as motivações e barreiras à sua implementação, actividades que desenvolve e organização enquanto parte da cadeia de abastecimento global.

Com base na definição encontrada anteriormente e de acordo com Barroso & Machado (2005), poderá dizer-se que a missão da logística inversa é planejar, implementar e controlar, de um modo eficiente e eficaz, a recuperação de resíduos, instituindo a redução do consumo de matérias-primas, recorrendo a meios como a reciclagem, a substituição, a reutilização de materiais, a reparação e a deposição.

Segundo a visão de autores como Moura (2006), Leite (2000), Barroso & Machado (2005) ou Souza (2008), é possível identificar um conjunto factores que propiciaram o aparecimento e desenvolvimento da logística inversa. São eles, o incremento generalizado do consumo com conseqüente acréscimo na criação de resíduos, o aumento da consciencialização ambiental dos consumidores, o despertar para a importância económica associada à recolha de resíduos, a procura de maior eficiência na recuperação de valor a partir dos produtos em fim de vida, assim como a redução do ciclo de vida dos produtos, motivado por estratégias comerciais que visam a obsolescência planeada dos produtos, a variedade de novos lançamentos, a redução de custos com a distribuição, embalagem e manutenção, serão os factores com maior relevância.

Considerando os anteriores factores como referencia, importa desde já identificar os motivos materiais que impelem os diversos intervenientes para a concretização da logística inversa. Do ponto de vista de Rogers & Tibben-Lembke (1998), existe um conjunto de razões distintas pelas quais os clientes e comerciantes devolvem os produtos. Os clientes fazem-no porque, o produto que adquiriram não corresponde à sua necessidade, não o conseguem utilizar de forma conveniente, apresenta defeitos ou existe uma utilização abusiva da política liberal de devoluções criada pelas empresas.

Do ponto de vista dos comerciantes, os produtos são devolvidos porque o prazo de validade se encontra expirado, por sazonalidade dos produtos, porque os produtos foram substituídos por uma versão mais recente, existe descontinuidade na sua produção, por se verificarem níveis de existências demasiado elevados, pela fraca rotatividade do produto ou por cessação da actividade do vendedor.

Analisando agora as motivações das empresas e outros operadores que desenvolvem actividades de logística inversa, verifica-se um consenso generalizado entre os autores consultados, tendo Mueller (2005) sintetizado essas motivações como sendo a procura de benefícios económicos decorrentes da reciclagem ou da reutilização, para proteger a margem de lucro, obter valor pela recuperação de activos, o cumprimento da legislação ambiental em vigor, para conseguir uma melhor imagem ambiental da empresa junto dos consumidores, na perspectiva de alcançar vantagem competitiva pela diferenciação dos serviços disponibilizados ou para conseguir limpar o canal de distribuição, .

Se atendermos ao ponto de origem, dentro da cadeia de abastecimentos, De Brito (2003) identifica as seguintes razões para se efectuar o retorno dos produtos:

- Na produção, para libertar de excesso de matérias-primas, devoluções por motivo de controlo de qualidade ou desembaraçar de excessos de produção;
- Na distribuição, devido a recolhas de produtos, retomas decorrentes de acordos comerciais com grossistas, ajuste interno do nível de inventários ou retomas operacionais;
- Dos consumidores, para obter o reembolso pela devolução dos produtos, com a activação de garantias por mau funcionamento no pós-uso ou do fim do seu ciclo de vida.

Por seu turno, De Brito & Dekker (2003) condensam as motivações para a logística inversa em causas económicas, que procuram de lucro directo ou indirecto, por imposição legal e como resposta às necessidades com origem no corporativismo social.

Contraopondo às motivações anteriormente identificadas e de acordo com o estudo dirigido por Rogers & Tibben-Lembke (1998), foram identificadas algumas barreiras à implementação da logística inversa nas empresas, como seja a relativamente baixa importância das questões relacionadas com a logística inversa em comparação com outras áreas funcionais, a adopção de políticas da empresa pouco direccionadas para

este tema, a falta de sistemas de apoio à gestão dos fluxos inversos, por razões competitivas, por desatenção dos gestores para estes assuntos, a falta de recursos financeiros ou de recursos humanos e por motivos legais. Verifica-se que as razões apresentadas têm um elevado grau de inter-relacionalidade entre elas, por exemplo, a falta de importância das questões relacionadas com a logística inversa, as políticas da empresa e a falta de recursos financeiros poderão estar relacionadas com a escassez de recursos face ao elevado investimento que a logística inversa implica. O facto de a logística inversa ser uma actividade relativamente recente implica que ainda não estejam padronizados procedimentos, dificultado a existência de sistemas de gestão adaptados a esta nova realidade e a existência de mão-de-obra especializada. Lacerda (2002) identifica ainda como barreiras a falta de planeamento, o facto de a logística inversa não ser vista como um processo contínuo e a inexistência de consensos entre os diversos intervenientes no fluxo inverso, nomeadamente, entre produtores e intermediários.

Após ponderar as motivações que move cada um dos intervenientes para a adopção de tarefas no âmbito da logística inversa e as barreiras que se colocam à sua concretização, importa agora conhecer as actividades que a integram. Da bibliografia consultada, verifica-se uma grande uniformidade na identificação das actividades que compõem a logística inversa, tendo Fleischmann et al (2000) e De Brito & Dekker (2003) identificado as que seguidamente se elencam:

- Recolha, inclui todas as tarefas que envolvem a colheita dos resíduos e a sua movimentação física para o local de tratamento, envolvendo as acções de aquisição, transporte e armazenagem;
- Inspeção/separação, compreende as operações que permitem efectuar a triagem dos resíduos de acordo com as diferentes possibilidades de tratamento, abarca as actividades de desmontagem ou desmantelamento, prensagem, teste e armazenagem;
- Reprocessamento, actividade de transformação de um resíduo noutra produto, componente ou material novamente utilizável, inclui as operações de reparar (ao nível do produto), refazer (ao nível do módulo), remanufaturar (ao nível do componente), recuperar (ao nível do fragmento), reciclar (ao nível do material) e incinerar (ao nível da energia);

- Redistribuição, refere-se á recolocação no mercado de produtos recuperados, podendo incluir actividades de venda, transporte e armazenagem;
- Deposição, tarefa de colocar, em local apropriado ou não, os resíduos que por razões técnicas ou económicas não foram recuperados, envolvendo as acções de transporte, aterro ou incineração.

Rogers & Tibben-Lembke (1998) consideram que o conjunto destas actividades representa a acção fundamental da logística inversa, sendo que todas elas, em conjunto, devem de ter a capacidade de retirar os produtos de onde eles não são pretendidos, determinar qual o seu destino mais apropriado e a forma mais eficiente de lá chegar. Por seu turno, De Brito (2003) considera que o principal factor a ter em consideração na selecção do destino a dar aos produtos, são as características do próprio produto, como seja a sua composição, nível de deterioração ou a sua forma.

No desenvolvimento das referidas actividades, por vezes surgem indícios de que algo não está a correr da melhor forma. Segundo Richard L. Dawe, referido por Rogers & Tibben-Lembke (1998), é possível identificar alguns sintomas base evidenciadores da existência de problemas no processo da logística inversa, como a entrada de produtos no circuito inverso a um ritmo superior ao seu processamento ou deposição, a presença de grande quantidade de existências retomadas em depósito, a constatação de retomas não autorizadas ou não identificadas, um ciclo de processamento moroso ou agnosia em relação ao tempo dispendido pelo processo inverso, o desconhecimento dos custos associados ao processamento inverso ou a falta de credibilidade da actividade de reparação junto dos clientes. Sintomas como a acumulação de produtos retomados por identificar ou processar são facilmente percebíveis, no entanto, os restantes indícios nem sempre são tão fáceis de ser identificados, principalmente quando não existe um sistema de informação que permita mensurar eficazmente a actividade desenvolvida.

Para obviar os problemas anteriormente identificados no desempenho específico de cada uma das actividades e do sistema da logística inversa no global, Rogers & Tibben-Lembke (1998) identificam um conjunto de elementos chave para a gestão da logística inversa, a generalidade dos quais Lacerda (2002) considera tratarem-se de factores críticos que contribuem de forma positiva para o desempenho do sistema da logística inversa. Assim, são factores essenciais para a boa gestão da logística inversa:

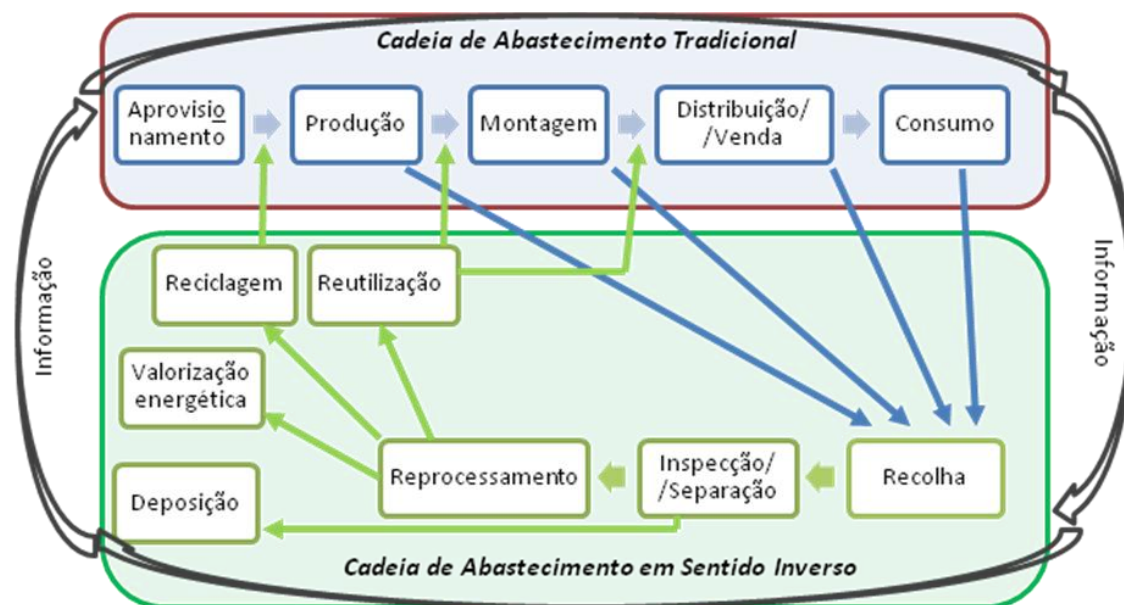
- A existência de um controlo de entrada que permita a correcta identificação do estado dos materiais recebidos numa fase inicial e que possibilite um eficiente encaminhamento dos produtos ao longo do fluxo inverso;
- Conseguir reduzir o tempo entre a entrada dos produtos no ciclo inverso até à sua efectiva saída;
- Implementar processos padronizados para a logística inversa e não apenas a adopção de procedimentos com carácter esporádicos ou de excepção;
- A presença de um sistema de informação que monitorize e flexibilize todo o sistema, efectuando o rastreamento dos produtos retomados e a contabilização temporal do processo;
- Dispor de Centros de Retorno Centralizados (CRC) que permitam um rápido e eficiente tratamento dos produtos recebidos;
- Adotar políticas de zero retornos, onde o produtor cancela a possibilidade de retorno dos seus produtos, transferindo essa responsabilidade para os intermediários, através da concessão de um valor por esse serviço;
- Possuir aptidão para retirar o máximo valor económico possível dos produtos recolhido, minimizando os possíveis impactos negativos;
- Ter capacidade de negociação, o que implica ter perfeito conhecimento do potencial valor dos produtos recolhidos ou a recolher;
- Conseguir implementar um sistema de contabilidade de custos que permita desenhar um mais eficiente sistema de logística inversa assim como facilitar a decisão sobre o destino final dos artigos recebidos;
- Ter a capacidade de avaliar os custos/benefícios da subcontratação em regime de outsourcing do sistema logístico inverso pois, um operador especializado poderá obter maior valor dos produtos retomados e oferecer maior nível de eficiências aos clientes;
- Possuir aptidão para manter uma relação colaboracionista entre clientes e fornecedores, potenciando benefícios e minimizando impactos negativos .

Tendo em consideração a importância de que se reveste o desenvolvimento de actividades de logística inversa no seio da maioria das organizações e abrangência das mesmas, Rogers & Tibben-Lembke (1998) defendem que a logística inversa é um factor estratégico para a maioria das empresas, permitindo-lhes ganhar vantagem competitiva. O facto de existir a possibilidade de devolução de artigos não pretendidos

ou defeituosos, favorece a redução do risco dos retalhistas e intermediários, aumenta os custos associados à mudança de fornecedor, ajuda a melhorar a satisfação dos clientes, melhora a imagem corporativa da organização perante os seus clientes e colaboradores, permite efectuar uma melhor gestão das existências dos clientes, facilitando negócios futuros, possibilita o cumprimento das imposições legais relativas à preservação ambiental e tratamento de resíduos, bem assim como incorpora valor no seu processo produtivo que anteriormente era desperdiçado.

No sentido de conseguir obter as vantagens anteriormente identificadas, as empresas e outras organizações têm alterado a sua visão e postura perante a logística inversa. Quesada (2003), refere que no passado a logística inversa era vista de uma forma independente da tradicional cadeia de abastecimento em sentido directo, relacionava-se com actividades como a reciclagem ou a recolha de resíduos, sendo que a sua gestão se concentrava exclusivamente nos processos em sentido inverso e não tinha uma visão periférica abrangente dos mesmos. A existência de fluxos de materiais recuperados e de informação adicional, veio fechar o circuito e alterar radicalmente a tradicional concepção da cadeia de abastecimento. Na visão de Barroso & Machado (2005), a cadeia de abastecimento em circuito fechado, engloba não só, as actividades logísticas tradicionais como o aprovisionamento, produção, distribuição ou consumo, mas também as actividades associadas á logística inversa de recolha, inspecção/separação, reprocessamento, deposição ou redistribuição dos resíduos recuperados, conforme se apresenta esquematicamente na figura seguinte.

Figura 3 - A Cadeia de Abastecimento em circuito fechado



Adaptado de Barroso & Machado (2005)

De acordo com as autoras anteriormente referidas, a passagem de uma cadeia de abastecimento simples para uma em circuito fechado, veio introduzir maior complexidade na cadeia de abastecimento, necessidade maior espaço de armazenagem em virtude de incluir os produtos recolhidos, obrigatoriedade de dispor de sistemas de informação mais abrangentes, incremento da necessidade de formação dos trabalhadores face à maior amplitude das tarefas desenvolvidas e um processo de planeamento da rede de transporte mais complexo. Todas estas alterações têm como principal consequência o aumento da complexidade e exigência da gestão, ao invés, esta visão estruturante permite a redução dos custos globais e dos impactos ambientais.

Os fluxos inversos apresentam um conjunto de características distintas do circuito de abastecimento tradicional, conforme identificado por Fleischmann et al (2002):

- Desde logo a principal força impulsionadora dos circuitos inversos são os consumidores que puxam os produtos ou são empurrados por imposição legal;
- A incerteza associada à quantidade, qualidade e distribuição temporal da entrada dos produtos, o que se vai somar à tradicional incerteza das necessidades dos clientes e nível de desempenho de todos os intervenientes na cadeia logística;
- O grau de centralização da triagem dos produtos recolhidos, tendo este factor influência directa no desenho da rede de transportes e custos associados;

- A necessidade de interligação entre a cadeia de abastecimento inversa e a de sentido directo, nomeadamente no que concerne ao aproveitamento de sinergias pela partilha de infra-estruturas e rede de transportes, assim como a absorção dos produtos finais da cadeia inversa.

Em acréscimo às anteriores, Debo, Savaskan, & Wassenhove (2002) identificam a necessidade de coordenação entre os diversos intervenientes, face à complexidade e múltiplos objectivos presentes. Esta coordenação tem como principais obstáculos, a dificuldade de alinhamento comum, a necessidade de existir uma partilha efectiva de informação e a existência de integração funcional entre os diversos intervenientes.

De acordo com Fleishmann, referido por French (2002), são identificadas cinco categorias de fluxos inversos, as quais se substanciam nas devoluções comerciais de artigos que proporcionam retorno financeiro a quem os devolve, nas devoluções ao abrigo de garantias de produtos com defeito, nos produtos rejeitados por se encontram fora das especificações, nas embalagens reutilizáveis e nos produtos em fim-de-vida. Poderá também considerar-se os artigos que o consumidor devolve ao produtor ou a empresas especializadas, para eliminação no final da sua vida útil, por imposição legal ou consciência ambiental. Os fluxos inversos podem ainda incluir artigos que não chegaram ao consumidor final mas que ultrapassaram a sua validade ou que saíram da fábrica à consignação.

A eficiência do tratamento dos fluxos associados à logística inversa está dependente de diversos factores, os quais Sohn Filho (2005) identifica como sendo:

- A capacidade de identificar os potenciais ganhos decorrentes de investimentos em actividades de logística inversa;
- Competência para recuperar valor dos resíduos recolhidos, seja para reutilização ou para venda a outros mercados;
- Optimização da rede inversa a implementar e meios envolvidos, face aos usuais baixos valores unitários do material recolhido;
- Adopção de meios tecnológicos que permitam um eficiente processo de recolha, tratamento e distribuição dos resíduos;
- Disponibilidade de sistemas de informação e comunicação que abranjam todos os intervenientes e que possibilitem a gestão integrada de toda a rede inversa;
- Existência de meios humanos com formação e treino adequados;

- Obter sinergias com a cadeia de abastecimentos directa, pela adopção de estratégias colaborativas com outras entidades ou pelo alargamento a outros produtos;
- Efectuar uma eficiente gestão financeira de toda a cadeia logística.

Contrapondo aos factores que influenciam positivamente a logística inversa, Tibben-Lembke & Rogers, referenciados por Fortes (2004), identificam alguns aspectos que dificultam o processo inverso, como a complexidade de prever a oferta de produtos rejeitados em quantidade, tempo e local, a existência de uma infinidade de potenciais pontos de recolha, os produtos retomados não apresentam uma qualidade uniforme, existe um elevado grau de incerteza associada à recolha, o que torna difícil planear e gerir a rede de transportes, verificam-se grandes oscilações nos inventários face dificuldade de sincronizar a logística inversa com a restante cadeia de abastecimentos e, a falta de visibilidade e consciencialização para uma cadeia que trata os produtos que a generalidade da sociedade não pretende.

Diversas técnicas e ferramentas são passíveis de ser aplicadas com o objectivo de minimizar as dificuldades anteriormente identificadas. No que concerne à incerteza associada ao retorno dos produtos, Tibben-Lembke (2002) identifica a necessidade de ter em consideração do ciclo de vidas dos produtos. Consoante os produtos se encontram na fase de introdução, crescimento, maturidade ou declínio e período após cancelamento, verifica-se que o volume e características dos produtos retomados vai sofrendo mutações. Por outro lado, para se melhorar a eficiência de todo o processo inverso é essencial que o desenvolvimento dos produtos tenha em conta o seu futuro processamento na cadeia inversa. Rogers & Tibben-Lembke (1998) sugerem a adopção do termo *Design For Reverse Logistics* (DFRL) para identificar o conjunto de técnicas empregues a quando do desenvolvimento dos produtos e que têm como objectivo facilitar o seu futuro tratamento pela cadeia inversa, reduzindo custos de processamento e optimização da obtenção de valor.

Para além das técnicas e ferramentas anteriormente identificadas, consideram os mesmos autores que a logística inversa é uma área do saber ainda relativamente recente, onde só agora os diversos intervenientes estão a tomar consciência da sua importância e onde a grande maioria ainda não se apercebeu das suas reais potencialidades em termos estratégicos. Para preparar o futuro é necessário estar desperto para as tendências que deverão concorrer para a redução dos custos de

exploração do circuito inverso, através da implementação de um conjunto de medidas que permitam reduzir o volume de material a processar assim como, o seu encaminhamento para o correcto local de processamento, de uma forma assertiva. Algumas dessas medidas podem passar pela melhoria das tecnologias de controlo de entradas, antecipação da decisão de destino dos produtos retomados, redução do tempo dispendido no ciclo de processamento inverso, implementação de créditos parciais de retoma e melhoria dos sistemas de informação. Outras práticas conducentes ao aperfeiçoamento da logística inversa foram identificadas por Rodrigues et al (2002), como seja uma melhor definição dos intermediários participantes nos fluxos inversos, com vista à sua responsabilização e grau de cooperação na cadeia. A profissionalização das parcerias estabelecidas no âmbito da logística inversa, no sentido de melhorar a sua eficiência. Igualmente a aplicação à logística inversa de conceitos utilizados no planeamento do circuito directo, como sejam os estudos de localização de infra-estruturas, sistemas de apoio à decisão ou sistemas de geoposicionamento e programação dos transportes. Por fim, o aproveitamento dos mercados emergentes de produtos e matérias-primas reciclados e ainda a capacidade de conseguir certificar os processos desenvolvidos segundo normas ambientais reconhecidas.

Após terem sido identificados os princípios básicos da logística inversa, importa agora analisar as especificidades dos pneus usados.

2.1.3. Os pneus usados

Pelos quantitativos, valor comercial e perigosidade ambiental envolvidos, os pneus usados foram dos primeiros artigos que mereceram tratamento legal específico no que concerne à sua recolha e tratamento, enquanto resíduos.

Conforme referido na *Historic UK Magazine* (2010), feita com base em borracha natural e couro, a roda de ar foi patenteada em 1845 por R. W. Thomson. De acordo com o referido em Goodyear (2010), é com a sua associação às bicicletas e à indústria automóvel, pelas mãos de John Boyd Dunlop, Edward Michelin e Goodyear, que verdadeiramente se generaliza a utilização dos pneumáticos, ou pneus.

Respondendo a um superior nível de exigência das diversas indústrias onde são utilizados, os pneus foram-se tornando cada vez mais complexos, em termos físicos e

químicos. De acordo com a Valorpneu (2008), o aumento da complexidade e durabilidade dos pneus veio trazer a melhoria da sua performance mas também, maiores dificuldades ao seu tratamento após utilização. Sohn Filho (2005) identifica algumas consequências ambientais decorrentes da incorrecta eliminação dos pneus usados. O seu abandono a céu aberto, para além do impacto visual, potencia o aparecimento e propagação de doenças e dificulta o combate aos incêndios que ocorram. A sua queima a céu aberto provoca a libertação de substâncias cancerígenas como o carbono e o enxofre, assim como a contaminação do ambiente com metais pesados como o zinco, o cromo, o cádmio ou o chumbo. O seu abandono em lagos, rios e ribeiras pode originar problemas de assoreamento.

Os pneus quando chegam ao fim da sua vida útil, conforme Andrietta (2002), podem ser classificados como reutilizáveis ou não reutilizáveis. Quando reutilizáveis, podem desde logo ser utilizados no mercado de segunda-mão ou podem ser refabricados através de processos como a recauchutagem ou a remontagem, com o intuito de repor as suas características iniciais e possibilitar a sua reutilização enquanto pneus. Os pneus usados podem ainda ser reutilizados em aplicações distintas da sua função original, como seja a contenção da erosão dos solos, a criação de barreiras de inércia, na protecção de taludes, como defensas de protecção em portos marítimos, na criação de recifes artificiais, em parques infantis, no enchimento de aterros, entre outros. Quando os pneus não cumprem as condições para serem reutilizados, podem ser encaminhados para reciclagem. Sohn Filho (2005) dá ênfase ao procedimento de reciclagem, o qual consiste na desmontagem e selecção dos diversos componentes constituintes através da trituração, regeneração ou desvulcanização e pirólise, para dar origem a novos produtos ou matérias-primas. Outra hipótese para aproveitamento dos pneus usados, beneficiando do seu elevado poder calorífico, é a valorização energética através da sua queima em complexos industriais. Por fim, quando não se reúnem as condições técnicas ou económicas para realizar uma das operações anteriores, os pneus são simplesmente depositados em aterros sanitários ou ao ar livre. De uma forma genérica, pode dizer-se que os pneus usados têm um dos seguintes destinos: reutilização directa ou após refabrico, reciclagem, valorização energética ou deposição.

Após analisada a logística inversa de uma forma genérica e o processo da logística inversa associada ao caso específico dos pneus usados, importa agora estudar um dos

factores que foi considerado como tendo grande relevância na eficiência da cadeia logística, tanto directa como inversa, e que tem a ver com a localização das infra-estruturas.

2.2. Localização de infra-estruturas

2.2.1. Princípios

Considerando o já anteriormente afluído e de acordo com Owen & Daskin (1998), a localização de instalações ou infra-estruturas é um factor crítico para a maioria das organizações públicas ou privadas. Lacerda (1998) considera que os estudos de localização possuem grande amplitude de aplicação ao nível estratégico, tático ou operacional, sejam eles estudos exploratórios, análises de cenários ou para responder a problemas concretos.

Se no passado, a decisão sobre a localização dos meios dependia do bom senso dos gestores, actualmente, num mundo à escala global, essa decisão tem de se basear em conhecimentos e métodos científicos. Sato (2002) refere que tradicionalmente eram apenas duas as variáveis a ter em conta num problema desta índole, a localização da oferta e a da procura. O mesmo autor, assume que presentemente e na maioria dos casos, ter em consideração apenas aquelas duas variáveis não é suficiente, torna-se necessário pois considerar outros factores como os custos com a mão-de-obra, sua disponibilidade e qualificação, limitações legais específicas dos bens, estabilidade da região, custos com transportes, tempo de entrega, custos de instalação inicial ou taxas de câmbio. Outro factor a ter em consideração, que Porter (1998) analisou, será a especificidade dos aglomerados industriais, os quais só por si trazem vantagens em relação a localizações isoladas, tais como, facilidade acesso à informação, complementaridade entre diversas empresas do aglomerado, facilidade acesso a instituições e a bens públicos ou incentivo à mensuração do desempenho.

Cortes & Paula Júnior (2001) consideram que os problemas de decisão da localização de infra-estruturas envolvem diversos critérios quantitativos e qualitativos, podendo gerar-se conflitos entre eles. Para identificar esses critérios, as referidas autoras consideraram quatro factores representativos que influenciam na decisão da

localização, sendo eles: o custo, a vantagem local, a acessibilidade aos centros consumidores e a atracção do local.

Será que a localização de infra-estruturas, conforme se destinem a ser utilizadas no âmbito da logística directa ou na logística inversa, obedece a diferentes variáveis e critérios? Da bibliografia estudada, não ficou evidente a existência de diferenças substanciais, podendo os diversos modelos ser utilizados em ambas as situações, constituindo-se como principal critério de selecção os objectivos pretendidos. Souza (2008) refere que numa cadeia logística inversa, o tempo é um factor de menor importância. Acatando este facto, sai reforçada a relevância dos custos para a avaliação da localização de infra-estruturas relacionadas com a logística inversa. Outros factores diferenciadores serão, o facto de o material movimentado no circuito inverso ter geralmente menor valor unitário, nem sempre existir uma uniformidade dos artigos e suas embalagens e as quantidades a movimentar nem sempre obedecem a padrões conhecidos.

Após conhecer os factores a ter em consideração num estudo de localização, é necessário ter a percepção que esse tipo de trabalho de investigação pode ser influenciado por outras circunstâncias. Ballou (2006) identificou os cinco principais problemas a ter em consideração a quando da condução do processo tendente à determinação da localização óptima:

- Força directora, considera que em cada organização ou sector de actividade pode existir um ou mais factores específicos que prevalecem sobre os restantes, enviesando os resultados;
- Número de instalações, existem diferenças substanciais de complexidade e método a aplicar, entre localizar uma única unidade ou múltiplas instalações;
- Escolhas discretas, opções pontuais específicas a cada caso estudado;
- Grau de agregação de dados, disponibilidade e forma como se vão relacionar os vários dados disponíveis e que concorrem para a tomada de decisão;
- Horizonte de tempo, a decisão da localização tem geralmente consequências a longo prazo e um elevado peso financeiro, pelo que é necessário ter em conta o factor tempo.

Para possibilitar uma escolha fundamentada do modelo a aplicar no presente trabalho, vai-se passar a analisar alguns dos modelos existentes e as suas principais características.

2.2.2. Modelos de localização

Em termos históricos e de acordo com Plastria (2005) e Reese (2005), a formalização do problema matemático que pretende encontrar um ponto médio que minimize o somatório das distâncias entre três pontos num plano surgiu no século XVII com Fermat. Por seu turno, Alfred Weber (1909), dando seguimento ao trabalho de Fermat, apresentou um estudo para obter a localização óptima de infra-estruturas das empresas por motivos económicos, considerando diferentes pesos para cada um dos pontos periféricos. Foi, no entanto, a partir da década de 60 do século passado que se verificou um crescente interesse por esta temática, nomeadamente com os trabalhos de Hakimi (1964, 1965) que, transformou o modelo de Weber para o plano num problema de pontos discretos em rede ou grafos.

Com os diversos estudos de localização de infra-estruturas ou equipamentos, procura-se obter ganhos de eficiência ao nível das diversas organizações. Marianov & Serra (2004) referem que os modelos de localização ou afectação, procuram situar geograficamente infra-estruturas e/ou serviços de forma a otimizar um ou vários objectivos relacionados com a eficiência do sistema ou da afectação de recursos. Estes modelos podem ser classificados segundo distintas taxionomias, consoante o espaço geográfico onde são aplicados, a extensão temporal que consideram, o tipo de aplicação, os objectivos que pretendam alcançar, o número de infra-estruturas a localizar, as características desses meios, o modo de resolução do problema, entre outras.

No intuito de melhor conhecer os diversos grupos de modelos de localização existentes e suas características fundamentais, vai-se proceder a uma breve análise dos mesmos. Desde logo parte-se da premissa que este é um universo vasto e em constante evolução, para cada caso concreto a analisar é possível conjugar as diversas características de uma forma quase *ad-hoc*, dando origem a uma multiplicidade de modelos. Em complemento à análise seguinte, é apresentado em apêndice A um quadro resumo da mesma.

Considerando o levantamento de trabalhos anteriormente publicados feito por Current, Min, & Schilling (1990), estes identificaram quatro categorias gerais de objectivos: minimização de custos, orientação para a procura, maximização dos proveitos e preocupações ambientais.

Ponderando a natureza dos objectivos a que os diversos modelos se subordinam, Marianov & Serra (2004) consideram públicos, quando pretendam minimizar os custos sociais, universalidade dos serviços, eficiência e equidade, ou privados, quando objectivam a maximização do lucro ou a obtenção de cotas de mercado dos competidores.

Em razão da quantidade, relação e características das infra-estruturas a localizar podemos ter modelos singulares ou de vários meios. No caso de vários meios, considerando os possíveis tipos de relações existentes entre as infra-estruturas, podem os modelos classificar-se como:

- Daskin & Dean (2004) consideram hierarquizados ou não hierarquizados, consoante existe uma relação de jerarquia entre os serviços ou meios disponibilizados pelas diversas infra-estruturas ou não;
- ReVelle, Williams & Boland (2002) identificam de cobertura com *backup* ou com redundância, quando para cada nó se prevê uma cobertura duas vezes ou quando para cada nó se prevê uma cobertura múltipla superior a duas vezes, respectivamente;
- Por seu turno, Galvão (2004) discrimina entre com capacidade ou sem capacidade, consoante os modelos tenham em ponderação a limitação de capacidade das infra-estruturas a localizar ou não.

Considerando que, em regra, a decisão de localizar infra-estruturas tem repercussões a longo prazo e que o meio envolvente está em constante mutação, Owen & Daskin (1998) analisaram a importância da decisão da localização de infra-estruturas para o planeamento estratégico das organizações públicas e privadas, desagregando os problemas de localização entre estáticos e dinâmicos, determinísticos e estocásticos. Apesar de mais simples resolução, os problemas estáticos e de índole determinística trabalham com valores conhecidos e chegam a uma solução ideal para um determinado ponto no tempo. Este tipo de solução não espelha a mutação temporal e incerteza do mundo real. Ao invés, os modelos dinâmicos procuram uma solução óptima ou quase óptima no horizonte temporal de vida útil esperada da infra-estrutura a localizar. No que concerne à disponibilidade de dados, esta nem sempre acontece, tanto em abordagens estáticas como dinâmicas, sendo necessário utilizar ferramentas estocásticas, sejam elas probabilísticas ou de criação de cenários, que colmatem essa lacuna.

Galvão (1981) reduz os diversos problemas de localização com base na continuidade do espaço, considerando-o contínuo ou discreto. Elegendo o plano contínuo, com espaço de solução infinito, os pontos podem assumir qualquer localização no plano e as distâncias são calculadas segundo um sistema métrico euclidiano rectilíneo, estes problemas são comumente denominados de problemas de Weber, podendo-se considerar um centro único ou múltiplos centros. Considerando o plano descontínuo ou discreto, com espaço de solução finito, os potenciais pontos de localização assumem um número finito e conhecido. A localização em redes constitui um caso especial de localização no plano com espaço de solução finito, onde os possíveis pontos solução ficam restringidos aos arcos e vértices da rede e as distâncias são calculadas ao longo dos arcos.

Para os problemas de localização discretos, Reese (2005) identifica quatro tipos básicos, o *p*-medianas, o *p*-centros, de localização de infra-estruturas sem capacidade e de atribuição quadrática. Enquanto o primeiro procura encontrar a mediana de entre os diversos pontos conhecidos, o segundo pretende localizar centros entre os diversos pontos. Os problemas para localização de infra-estruturas sem capacidade é idêntico ao das *p*-medianas, diferindo deste no facto de considerar os custos fixos com a edificação de cada ponto mediano e não possui uma constante do número máximo de infra-estruturas a localizar. Os problemas de atribuição quadrática utilizam informação de custos e fluxos ao invés das distâncias utilizadas na *p*-medianas. Segundo Marianov & Serra (2004) é possível identificar dois grupos essenciais de modelos, os modelos de que pretendem minimizar o somatório das distâncias ou tempo percorrido entre *p* infra-estruturas e os diversos nós, estes modelos são conhecidos por “*MiniSum Location Models*” ou “*P-Medianas*” e, os modelos de cobertura, os quais se podem subdividir em “*Set Covering Models*” que pretendem minimizar o número de infra-estruturas que permitem efectuar uma determinada cobertura ou os que pretendem maximizar a cobertura com um número limitado e conhecido de infra-estruturas, os “*Maximum Covering Models*”. Conforme os mesmos autores, para cada uma das características e modelos base anteriores, é possível identificar a existência de diversos modelos ou submodelos, adaptados às mais variadas situações concretas. No caso específico deste estudo, iremos focar-nos no modelo das *p*-medianas, por se considerar como o que melhor se enquadra nos escopos da presente investigação.

2.2.3. O problema das p -medianas

Como definido por Rosário, Carnieri & Steiner (2002), o problema base das p -medianas resume-se à determinação da localização de p infra-estruturas, designadas por medianas, numa rede composta por um conjunto pré-definido de n nós de procura ou oferta, onde se pretende minimizar a soma de todas as distâncias de cada nó à sua mediana mais próxima.

Tomando por base a formulação descrita por Galvão (2004), o modelo das p -medianas pode ser enunciado como um problema de programação binária, onde x_{ij} é uma matriz de afectação ($n \times n$), tal que $x_{ij} = 1$ se o vértice j é servido por um centro localizado no vértice i , e $x_{ij} = 0$ no caso contrário. O elemento y_i é uma variável discreta que assume o valor unitário quando a mediana está localizada no vértice i e o valor nulo quando não está. O elemento d_{ij} representa a distância mínima entre os diversos vértices i e j .

$$\text{Função objectivo: } \quad \text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Restrições: } \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = p, \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq y_i, \quad i, j = 1, \dots, n, \quad i \neq j \quad (4)$$

$$x_{ij}, y_i \in \{0,1\}, \quad i, j = 1, \dots, n \quad (5)$$

As restrições apresentadas asseguram que na matriz x_{ij} , a soma das colunas j não podem ultrapassar o valor unitário (2), a soma dos elementos do vector y_i é igual ao valor definido para p (3), os diversos elementos das linhas não podem ser maiores do que o elemento correspondente a y_i (4) e que todos os elementos assumem apenas o valor nulo ou unitário (5), uma vez que na ausência de economias de escala e de limites de capacidade, a solução óptima para cada vértice j é sempre totalmente servido pelo centro i mais próximo.

O exposto corrobora o afirmado por Galvão (1981) onde, a função objectivo (1) pretende minimizar a distância total entre cada vértice de procura/oferta e a mediana mais próxima. No que diz respeito às restrições, (2) assegura que cada vértice j é servido exclusivamente por uma única mediana i , (3) limita a p o número de vértices a serem seleccionados para medianas, (4) garante que $x_{ij} = 1$ apenas se $y_i = 1$, ou seja, que vértices não-medianas são somente servidos pelas medianas da rede e não por outros vértices não-medianas.

Conforme Lorena (s.d.), a resolução deste problema baseia-se no pressuposto que todos os pontos de procura/oferta são servidos pelo centro mais próximo, que os vértices coincidem com os nós, que não são consideradas restrições de capacidade dos vértices e que não existem custos de implementação dos pontos medianos.

A formulação do problema anterior pode ser alterada no sentido de acomodar outras restrições ou considerar outros objectivos. Galvão (1999) apresenta um modelo onde cada nó é quantificado, atribuindo-se um peso a cada vértice de procura/oferta.

$$\text{Função objectivo: } \quad \text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_j d_{ij} x_{ij} \quad (6)$$

Sendo que v_j representa a quantificação da oferta ou da procura do vértice j e as restrições mantêm-se com formulação idêntica à apresentada para o modelo inicial.

Segundo o mesmo autor, o modelo da p -medianas pode ainda ser objecto de generalização para incluir outros factores, como sejam os custos de transporte ou de edificar e operar as infra-estruturas p .

$$\text{Função objectivo: } \quad \text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^n f_i y_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \right\} \quad (7)$$

$$\text{Restrições: } \quad \sum_{i=1}^n y_i \leq p \quad (8)$$

Neste caso, f_i representa o custo com a construção e/ou operação das infra-estruturas e c_{ij} o custo com transportes associados a cada nó. Em termos de

restrições, mantêm-se as apresentadas nos modelos anteriores, sendo a apresentada em (3) substituída pela (8).

Seria possível continuar a apresentar diversas generalizações ou adaptações do modelo da *p*-medianas a casos específicos, no entanto sairia dos objectivos deste trabalho.

Por norma e conforme referido por Lacerda (1998), os problemas de localização possuem uma complexidade bastante elevada, a qual é maioritariamente devida à elevada quantidade de dados a analisar, à necessidade de processar um conjunto extenso de variáveis de decisão que se influenciam mutuamente e ao elevado número de possíveis alternativas a serem analisadas e comparadas. Conforme demonstraram Kariv & Hakimi (1979), o problema de identificar *p*-medianas, mesmo numa rede de estrutura simples, é considerado um problema de resolução *NP-Hard*¹.

Para ocorrer à complexidade da resolução e adaptação aos diferentes casos concretos, foram desenvolvidos distintos algoritmos, tanto exactos como heurísticos, para a resolução do problema das *p*-medianas. No caso dos métodos exactos, Galvão (1981) agrupou-os em quatro grupos distintos: algoritmos de busca em árvore, relaxamento de programação linear, aproximação dual e relaxamento *Lagrangeano*. Os métodos de resolução heurísticos, apesar de não fornecerem soluções exactas, permitem simplificar e tornar possível a resolução de alguns problemas concretos de localização. Reese (2005), para além de efectuar uma sistematização dos métodos heurísticos e meta-heurísticos associados aos diversos trabalhos publicados, enumera como métodos heurísticos primários o “*greedy*”, o alternado e o de substituição de *vertex*. Nos anos mais recentes têm surgido um sem número de métodos, fruto de combinações entre os métodos heurísticos e meta-heurísticos identificados. Um exemplo será o trabalho desenvolvido por Chiyoshi & Galvão (2000) os quais aplicam a meta-heurística conhecida por *simulated annealing*² ao problema das *p*-medianas, combinando elementos do método de substituição de *vertex* com a metodologia geral do *simulated annealing*.

¹ *NP-Hard* refere-se a problemas de resolução pelo menos tão difíceis como os problemas com resolução não determinística em tempo polinomial (NP), da teoria da complexidade computacional (Weisstein, 2010).

² Técnica para obter uma boa solução para um problema de optimização com recurso à utilização de uma solução aproximada, o seu nome deriva da analogia com uma técnica metalúrgica (Black, 2009).

Para além da procura de novos algoritmos que permitam ou facilitem a resolução deste tipo de problema, outro factor a ter em consideração é o aumento da capacidade de tratamento de dados proporcionada pelo avanço da tecnologia de computação. Conforme refere Reese (2005), um elemento facilitador da resolução dos problemas de localização é a aplicação de ferramentas computacionais na resolução dos algoritmos matemáticos e na criação de interfaces mais amigáveis e que permitem uma visualização do problema, com sejam os Sistemas de Informação Geográficos (SIG).

Estudados que foram os princípios e especificidades da logística inversa, verificou-se que um dos factores preponderantes na eficiência das cadeias de abastecimento em sentido inverso, à semelhança das cadeias em sentido directo, será a localização das suas infra-estruturas. Assim, foi feita a sistematização dos principais modelos de optimização da localização de infra-estruturas e suas principais características. Foi particularizado o modelo das p -medianas por se antever que será este o que melhor se enquadra no problema levantado por este trabalho. Por forma a dar aplicabilidade aos conceitos anteriormente elencados, importa agora identificar o quadro conceptual em que se baseia este trabalho e quais as hipóteses a testar.

CAPITULO III

Quadro conceptual e hipóteses

3. Quadro conceptual e hipóteses

Este trabalho tem o propósito de estudar a configuração da cadeia logística de sentido inverso implementada para o tratamento dos pneus usados em Portugal, analisando em concreto a eficiência da localização do centro de recolha de pneus existente na ilha de São Miguel, assim como a necessidade e os ganhos de eficiência que traria a existência de um segundo ponto de recolha. Este estudo terá por base os princípios e modelos teóricos de localização de redes logísticas e deverá propor alterações à rede implementada, caso se justifiquem. Verificando-se que a totalidade dos pneus usados com origem nos Açores se destinam a valorização energética, pretende-se igualmente analisar quais os motivos desta opção assim como as alterações e custos envolvidos na mudança deste procedimento.

Para atingir esse desígnio, irá ser efectuado o enquadramento do SGPU implementado, à luz dos princípios da logística inversa e das teorias essenciais sobre localização de infra-estruturas, analisado da eficiência da localização adoptada para o centro de recolha em função da localização dos detentores e das quantidades movimentadas por cada um dos intervenientes.

Constituindo os pneus usados um problema ambiental e a sua recolha e tratamento uma oportunidade de negócio e uma imposição legal, importa desde já analisar os princípios legais e diplomas fundamentais que lhe estão subjacentes.

3.1. Legislação sobre a temática dos pneus usados

A consciencialização generalizada da sociedade para a questão da sustentabilidade ambiental e a percepção da urgência da mesma, veio originar, nos últimos anos, a publicação de uma vasta teia jurídico-legal a nível da União Europeia (UE) e de diversos países.

Da análise das directivas da UE que delineiam legalmente a gestão de resíduos a nível comunitário, Barroso & Machado (2005) consideram que estas têm como objectivos primordiais a prevenção na criação de resíduos, o seu correcto tratamento com recurso à reutilização, reciclagem e outras formas de valorização dos resíduos, a minimização dos riscos ambientais decorrentes do seu tratamento e eliminação, assim

como a harmonização das diversas medidas nacionais, em matéria de gestão de resíduos, para assim assegurar o bom funcionamento do mercado interno.

A política ambiental comunitária baseia-se no princípio de prevenção e correcção dos danos causados ao ambiente assim como no princípio do poluidor/pagador. A ideia subjacente a este segundo princípio prende-se com o facto de serem os produtores/fabricantes as entidades que melhores condições têm para lidar com os respectivos resíduos, pois conhecem os produtos, possuem tecnologia de base para os trabalhar e podem melhorar a concepção dos produtos com vista a facilitar a sua posterior recuperação, reciclagem ou eliminação.

A nível nacional e regional, verifica-se a existência de edifício legal abrangente e actual, que define os princípios gerais de respeito pelos consumidores e pelo meio ambiente. Refira-se que as linhas fundamentais dos objectivos definidos para a política ambiental são a gestão sustentável dos recursos naturais, a protecção e valorização ambiental do território, a conservação da natureza, protecção da biodiversidade e da paisagem e, a integração do ambiente nas políticas sectoriais e de desenvolvimento local e regional. Encontram-se igualmente estabelecidas as regras para a gestão dos resíduos, particularizando aqueles que representam maior peso ou nível de perigosidade para o ambiente. Pela quantidade e riscos inerentes, os pneus usados são objecto de referência directa por parte de diversos diplomas legais.

No respeito pelas directivas comunitárias, o DL 178/2006, de 05 de Setembro, estabelece o regime geral da gestão de resíduos em Portugal. Por seu turno, o DL 111/2001, de 6 de Abril, com as alterações introduzidas pelo DL 43/2004, de 02 de Março, determina os princípios e normas aplicáveis à gestão dos pneus e pneus usados assim como os objectivos a cumprir.

Em síntese, poder-se-á dizer que se vem assistindo à criação de regras e obrigações legais cada vez mais restritivas e com maiores preocupações ambientais.

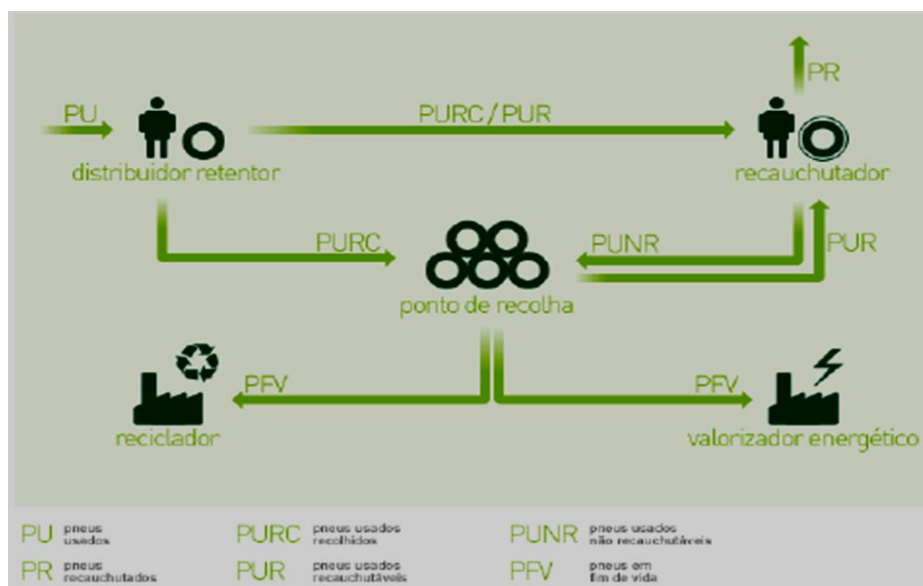
3.2. O SGPU implementado em Portugal

Visto que foi a especificidade que os pneus usados representam e os princípios legais que lhe estão subjacentes, importa agora analisar o SGPU implementado a nível nacional e da RAA. Com o propósito de organizar e gerir um sistema integrado de

recolha e de tratamento de pneus usados em território nacional, foi constituída em 2002 a sociedade sem fins lucrativos *Valorpneu - Sociedade de Gestão de Pneus, Lda.* (Valorpneu). Esta sociedade reúne na sua estrutura os principais operadores económicos ligados aos pneus.

De uma forma esquemática pode-se apresentar o SGPU da seguinte forma:

Figura 4 - Modelo operacional e financeiro do SGPU



Fonte: página Web da Valorpneu

Os detentores de pneus usados, sejam eles oficinas, outras empresas ou particulares, entregam os pneus usados no ponto de recolha ou nas empresas recauchutadoras. Por sua vez, os recauchutadores entregam os pneus que não têm condições para serem refabricados no ponto de recolha, recebendo estes os pneus entregues no ponto de recolha e que têm condições técnicas para passarem pelo processo de recauchutagem.

No centro de recolha, o operador logístico efectua a triagem e armazenamento dos pneus recebidos, transmitindo por via informática, esses dados para a entidade gestora. Mediante as quantidades armazenadas, por tipologia, nos diversos pontos de recolha e disponibilidades das entidades recicladoras e de valorização energética, é dada ordem de transporte dos pneus do ponto de recolha para o seu destino final.

Em termos financeiros, a base de sustentação do SGPU assenta no ecovalor cobrado ao consumidor aquando da venda dos pneus novos ou usados provenientes de importação, cumprindo-se assim o princípio do consumidor/pagador consagrado na lei.

Na RAA, foram constituídos oito pontos de recolha, um por ilha, à excepção do Corvo, que utiliza o da ilha das Flores. Foi igualmente contratado um transportador que abrange a totalidade do território regional. Retirando os pneus que seguem para recauchutagem ou que em casos pontuais são reutilizados noutras aplicações, a totalidade dos pneus usados produzidos na RAA são encaminhados para valorização energética no território continental.

No caso concreto da ilha de São Miguel, a firma *Varela & C^a, Lda* é a empresa contratada como operador logístico. Esta empresa disponibiliza um ponto de recolha situado em Ponta Delgada, onde todos os detentores da ilha fazem a entrega dos seus pneus usados, de forma gratuita. As expensas com o transporte dos pneus desde o local de detenção até ao centro de recolha são da responsabilidade do detentor. Após processamento e contentorização, os pneus existentes nos centros de recolha são entregues à firma transportadora contratada para proceder à sua expedição para uma das empresas contratadas como valorizadoras. No caso dos Açores, a empresa contratada como transportadora é a *Varela & C^a, Lda*, que procede ao transporte marítimo dos contentores para o território continental.

Uma vez que na entidade gestora estão representados os principais intervenientes da cadeia logística directa dos pneus e existe uma interligação entre os dois fluxos logísticos principais através reintrodução no mercado dos pneus recauchutados e da partilha de informação, pode dizer-se que o modelo implementado constitui um exemplo de Cadeia de Abastecimento em circuito fechado.

Em termos genéricos, pode dizer-se que o sistema implementado para gestão dos pneus usados em Portugal assenta num modelo centralizado, onde o centro de decisão se encontra na entidade gestora. Este tipo de organização potencia a coordenação e a optimização dos diversos recursos disponíveis, possibilitando a obtenção de ganhos de eficiência.

3.3. Caracterização do problema e formulação das hipóteses a testar

Explanada a doutrina no que se refere à logística inversa, verificou-se que um dos principais factores que influenciam a eficiência da cadeia logística é a localização das infra-estruturas. Este factor tem influência directa nos custos de edificação e exploração das infra-estruturas e nos custos de transporte suportados pelos diversos intervenientes.

Após se ter identificado o SGPU implementado, importa agora verificar da eficiência do mesmo, nomeadamente no se refere à localização dos pontos centrais de passagem de todos os pneus, o centro de recolha. Para se aferir da eficiência da localização do ponto de recolha terá de se recorrer a ferramentas matemáticas. De uma forma empírica, a forma rectangular da área geográfica em causa e a localização do actual ponto de recolha junto a uma das extremidades, poderá antever a uma localização não óptima. Por outro lado, a possível maior concentração de detentores na zona de Ponta Delgada e a sua proximidade ao ponto de entrega ao transportador marítimo, poderá minimizar, anular ou mesmo suplantar os inconvenientes do distanciamento do ponto de recolha ao centro geográfico da ilha.

Sendo que o custo com o transporte é um dos principais factores que influenciam a localização de infra-estruturas, verifica-se que os custos com transporte de pneus até aos centros de recolha não são contabilizados pela entidade gestora como custos de exploração do SGPU. No cumprimento de uma obrigação legal, os detentores fazem a entrega dos pneus nos centros de recolha constituídos, de uma forma independente e não coordenada. Esta forma de entrega não aproveita possíveis sinergias decorrentes do englobamento de cargas. A criação de um segundo ponto de recolha, poderá contribuir para esse mesmo englobamento de cargas a nível local com a consequente redução dos custos totais com transportes.

Outra questão a ter em consideração é o facto de que o DL 178/2006 de 05 de Setembro define que deve ser dada preferência tendencial à reciclagem sobre a recuperação energética. A alínea c) do número 2 do artigo 4º do DL 111/2001 de 06 de Abril, com as alterações introduzidas pelo DL 43/2004, de 02 de Março, prevê que pelo menos 65% dos pneus recolhidos e não recauchutados deverão ser reciclados. Segundo os relatórios da entidade gestora, todos os limites legais foram cumpridos e suplantados a nível nacional, no entanto, verifica-se que a totalidade dos pneus produzidos nos Açores é encaminhada para valorização energética. Será que não existem condições

técnicas e económicas para dar um destino mais nobre e consonante com os princípios legalmente instituídos, aos pneus produzidos nos Açores?

Considerando o objectivo deste trabalho e o anteriormente exposto, identificam-se as questões concretas a que se pretende dar resposta com este estudo:

H1: Será que a actual localização do ponto de recolha é a que permite uma maior eficiência da rede implementada?

H2: Será que a existência de dois pontos de recolha traria ganhos de eficiência ao actual sistema? Quais as suas localizações geográficas?

H3: Existem condições para que ao nível da ilha de São Miguel sejam cumpridas as quotas nacionais legalmente estabelecidas, para a valorização dos pneus recolhidos e não recauchutados?

Para responder às questões ora elencadas, tendo em consideração a tipologia do presente trabalho e o nível de colaboração das entidades detentoras dos dados, pretende-se adoptar a metodologia a enunciar no próximo capítulo.

CAPITULO IV

Metodologia a utilizar

4. Metodologia a utilizar

Após o enquadramento do tema efectuado com recurso à revisão bibliográfica apresentada no primeiro capítulo, foi enunciado no capítulo anterior o quadro conceptual específico do presente trabalho, assim como quais as hipóteses que se pretendem testar. Importa agora identificar quais as ferramentas e metodologias que se pretendem utilizar para aferir da veracidade, ou não, das hipóteses colocadas.

No intuito de conhecer os princípios doutrinários que regem o tema, foi feita uma pesquisa de obras publicadas, nas bibliotecas locais, a consulta de diversas bases de dados científicas de acesso electrónico, nomeadamente a *Biblioteca do conhecimento online b-on*, a *Proquest-ABI/INFORM*, a *SciELO – Scientific electronic library online*, a *JSTOR* e o *Google Scholar*. Foram igualmente realizados diversos contactos com empresas e entidades relacionadas com o tema, assim como a realização de duas entrevistas semi-estruturadas ao Dr. Marco Paulo Pereira Pessoa Lopes, gerente da firma *Varela e C^a Lda*.

Junto da firma gestora do SGPU, foram obtidos os dados secundários listados no apêndice B, referentes às quantidades totais de pneus usados entregues pelos detentores da ilha de São Miguel, durante o ano de 2009, mediante compromisso de confidencialidade da identificação dos mesmos. Foi incluído nesta listagem, o actual ponto de recolha de pneus usados, para que ele próprio seja tido como uma possível localização, tendo-lhe sido atribuído o peso de 0,010 toneladas, referente à estimativa de produção própria.

Para aferir da optimização da localização será necessário recorrer a um modelo de localização de base matemática. Desde logo, na literatura, não foram identificadas diferenças substanciais na aplicação de modelos de localização a cadeias logísticas directas e cadeias logísticas inversas. Apesar disso, optou-se por utilizar distâncias ao invés de tempo, uma vez que, como vimos na bibliográfica consulta, o factor tempo tem uma importância reduzida nos processos de logística inversa e porque se considera que existe uma relação de causa/efeito mais directa entre o custo de transporte e a distância percorrida por estrada ao invés de tempo médio de deslocação.

Tendo em consideração o objectivo estabelecido e o cariz eminentemente público do serviço em causa, a eficiência deverá de ser obtida pela minimização de custos e não

pela optimização das receitas. Considerando que todo o território se encontra coberto com a rede de centros de recolha e que o tempo de acesso não é um factor preponderante, foi descartada a possibilidade de optar por um modelo de cobertura. Sabendo-se que no SGPU, o principal custo de exploração prende-se com a necessidade de transportar os pneus entre os diversos intervenientes, optou-se por minimizar a distância percorrida, logo, por um problema do tipo *p-medianas*. Dentro desta tipologia de modelo, foi considerado necessário ter em consideração não só a distância percorrida mas também a quantidade de material movimentado por cada interveniente, uma vez que existem diferenças substanciais de volume movimentado entre os diversos detentores, entre os 53 e os 165.500 kg. Não foi considerado o modelo das *p-medianas* com centros capacitados, uma vez que sempre que os níveis de stock aumentam nos centros de recolha, estes são de imediato escoados para tratamento final, não existindo uma efectiva acumulação.

Considerando que entre os Açores e o ponto de valorização dos pneus usados no território continental, não existem alternativas credíveis ao transporte marítimo a partir de Ponta Delgada e porque independentemente dos cenários que se coloquem internamente à ilha este custo não sofre alteração, a variável custo de transporte e tratamento externo à ilha foi considerada um custo fixo, pelo que não foi considerada nas duas primeiras hipóteses. Não foram igualmente considerados os custos com edificação de um segundo ponto de recolha porque, a relativa proximidade dos possíveis locais implica a inexistência de uma variação de custo significativa e porque não foi possível obter os custos inerentes à operação do actual ponto de recolha.

Assim, para testar as hipóteses H1e H2, obtendo a localização do(s) ponto(s) de recolha que minimize as distâncias totais percorridas, logo dos custos envolvidos, é considerado o modelo das *p-medianas* com nós quantificados, com a seguinte representação matemática:

$$\text{Função objectivo: } \quad \text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_j d_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n a w_i d_i y_i \right\} \quad (9)$$

$$\text{Restrições: } \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = p \quad (11)$$

$$x_{ij} \leq y_i \quad i, j = 1, \dots, n, \quad i \neq j \quad (12)$$

$$x_{ij}, y_i \in \{0,1\} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n v_j x_j = w_i \quad i = 1, \dots, n \quad (14)$$

O modelo considera os seguintes índices:

- i - Potenciais localizações do(s) centro(s) de recolha, corresponde às linhas da matriz;
- j - Centros detentores de pneus usados, corresponde às colunas da matriz;

Onde as variáveis têm a seguinte representação:

- v_j - Quantidade de pneus movimentados por cada interveniente/nó, em toneladas;
- w_i - Quantidade de pneus movimentados por cada centro de recolha, em toneladas;
- d_{ij} - Distância entre os vértices j e i ;
- p - O número conhecido ou pretendido de centros de recolha (vértices) a serem seleccionados para medianas.
- a - Percentagem do custo do transporte em contentor, por comparação com o custo do transporte efectuados pelos detentores.

E onde as variáveis de decisão são,

- x_{ij} - É uma matriz de afectação ($n \times n$) tal que, $x_{ij} = 1$ se o vértice j é servido por um centro localizado no vértice i e, $x_{ij} = 0$ no caso contrário;
- y_i - O elemento y_i é uma variável discreta que assume o valor 1 quando a mediana está localizada no vértice i e o valor 0 quando não está.

A inclusão da expressão

$$\sum_{i=1}^n a w_i d_i y_i$$

na função objectivo, prende-se com a necessidade de ter em conta a distância e a quantidade de pneus movimentados entre os p vértices seleccionados como medianas e o local de recepção da entidade transportadora que assegura a sua movimentação para o território continental. A restrição (14) atribui a w_i o valor correspondente ao somatório dos pneus entregues pelos nós seleccionados para cada vértice mediano.

Tendo em consideração o universo restrito de variáveis e nós a considerar, optou-se pela resolução exacta com recurso ao *Microsoft Office Excel 2007*, com a implementação do suplemento *Risk Solver Platform V10.0* da firma *Frontline Systems, Inc.*

Para responder à terceira questão colocada, não foi identificada razão técnica que inviabilize a reciclagem de pneus usados produzidos na RAA, tendo no entanto informado a entidade gestora que actualmente as empresas que efectuam reciclagem se encontram no limite da sua capacidade de processamento. Assim, o encaminhamento dos pneus oriundos da RAA exclusivamente para valorização energética tem apenas a ver com opções de índole logístico e de racionalização dos actuais meios disponíveis, nomeadamente das empresas contratadas com valorizadores por reciclagem.

Não se considera que a limitação apresentada responda, só por si, à questão em causa, uma vez que desde o início do SGPU o número de entidades recicladoras e a sua capacidade de processamento tem vindo sempre a aumentar. Será pois expectável que a capacidade de valorização por reciclagem aumente algures num futuro próximo.

Parte-se da premissa que os pneus, para sofrerem o processo de reciclagem, têm de ser entregues na entidade recicladora na sua forma original, separados por tipologia e não possuírem elementos estranhos contaminadores. Ao invés, para valorização energética, os pneus podem ir triturados e não existem grandes preocupações na sua limpeza. Este conjunto de condições diferenciadoras vai implicar um distinto nível de tratamento por parte do centro de recolha e uma substancial diferença da capacidade de carga por contentor, com as consequências económicas daí decorrentes. Cumulativamente, refira-se que o valor pago pela entidade gestora, por tonelada de

pneu, será distinto nas duas situações, sendo que esses preços não foram fornecidos por motivo de não violação do sigilo comercial existente entre a entidade gestora e restantes operadores do SGPU.

Partindo do princípio que o lucro se obtém da subtração dos custos aos lucros e que os agentes económicos privilegiam a acção que lhes proporciona maior retorno, em termos económicos, passa a ser viável o envio de pneus para reciclagem ao invés de valorização energética quando a seguinte expressão for verdadeira:

$$V_1 - \left[CP_1 + \frac{1}{18} CT_1 \right] \leq V_2 - \left[CP_2 + \frac{1}{4} CT_2 \right] \quad (15)$$

Desagregando os custos de transporte em trajecto terrestre na RAA, trajecto marítimo e trajecto rodoviário no território continental, temos:

$$V_1 - \left[CP_1 + \frac{1}{18} (CTa_1 + CTm_1 + CTc_1) \right] \leq V_2 - \left[CP_2 + \frac{1}{4} (CTa_2 + CTm_2 + CTc_2) \right] \quad (16)$$

Onde as variáveis têm a seguinte representação:

- V - Valor pago pela entidade gestora ao operador logístico, por tonelada;
- CP - Custo de processamento no centro de recolha, por tonelada;
- CT - Custo do transporte de um contentor entre centro recolha e valorizador
- CTa - Custo do transporte rodoviário de um contentor na RAA
- CTm - Custo do transporte marítimo de um contentor
- CTc - Custo do transporte rodoviário de um contentor no território continental.

E onde os índices correspondem,

- 1 - Valorização energética
- 2 - Valorização por reciclagem

Os valores constantes que intervêm na fórmula têm na sua génese a informação de que um contentor carrega, em média, quatro toneladas de pneus inteiros e dezoito toneladas se estes foram previamente triturados. Assim, o custo de transporte dos pneus inteiros em contentor é quatro vezes e meia superior ao custo de transporte dos pneus triturados.

Da análise inicial dos dados fornecidos pela entidade gestora e considerando os intentos deste trabalho, estes apresentam as seguintes limitações:

- Os detentores não foram identificados completamente, surgindo dúvidas pontuais sobre a sua designação completa e morada a partir da qual fazem a entrega dos pneus;
- Foram solicitados dados a nível nacional, tendo apenas sido facultados os dados referentes à ilha de São Miguel, o que limita o âmbito deste estudo;
- Foram apenas disponibilizados os dados referentes ao ano de 2009, sendo que a nível nacional existem dados desde 2003 e nos Açores desde o segundo semestre de 2006, inviabilizando o estudo evolutivo e a obtenção de valores mais robustos.

Efectuada que foi a identificação da metodologia que se pretende utilizar no teste às três hipóteses elencadas, importa agora descrever o tratamento dos dados iniciais segundo os métodos identificados e realizar a interpretação os resultados encontrados.

CAPITULO V

Tratamento e análise dos dados obtidos

5. Tratamento e análise dos dados obtidos

Identificados que foram os métodos que se pretendem utilizar no tratamento dos dados disponíveis, com o propósito de testar as hipóteses enunciadas, pretende o presente capítulo efectuar o tratamento dos referidos dados e a análise dos resultados alcançados, bem como identificar possíveis contributos alcançados e limitações encontradas.

A partir dos dados obtidos, que se encontram listados no apêndice B, com recurso a bases de dados de empresas disponíveis na internet, a páginas electrónicas das próprias empresas e com a colaboração da firma *Varela e C^a Lda*, foram obtidas as moradas completas dos detentores que fizeram entregas, no ano de 2009, no centro de recolha de Ponta Delgada. Essas moradas, permitiram alcançar as coordenadas geográficas com recurso a ferramentas disponíveis na internet, nomeadamente, o sítio electrónico do Governo dos Açores “*IDEiA – Infra-estrutura de dados espaciais interactiva dos Açores*” (2010), os mapas interactivos disponibilizados no “*Geoportal – SIG*” da Câmara Municipal de Ponta Delgada (2010) e o “*Sapo mapas*” (2010). Com base nas localizações geográficas obtidas, foi possível construir o mapa com a distribuição espacial dos detentores que se encontra representado no apêndice D. Com recurso às mesmas ferramentas e tendo por base os critérios seguidamente apresentados, foi possível obter a matriz das distâncias entre os diversos pontos:

- Foi seleccionado o percurso mais curto por estrada;
- Nas estradas, foram consideradas não só as estradas regionais mas também caminhos e canadas, porque existem localizações distantes das estradas regionais e porque efectivamente as pessoas utilizam esses diversos percursos rodoviários;
- Foi considerada como unidade de distância o quilómetro, com arredondamento a uma casa decimal, para distâncias superiores a um quilómetro e, a três casas decimais, para distâncias inferiores à referida extensão;
- Na elaboração da matriz distâncias, foi considerado o mesmo valor entre cada par de pontos, independentemente do sentido do percurso.

Analisada a matriz distâncias, verificou-se a existência de 23 valores inferiores a 0,5 quilómetros. Considerando que a distância média é de cerca de 10 quilómetros e muitos desses detentores tinham um peso reduzido, correspondendo a pequenas oficinas situadas em aglomerados habitacionais ou zonas industriais, foram esses pares de detentores transformados num único ponto geograficamente intermédio com o peso

correspondente à soma dos pontos iniciais, conforme apêndice C. Com esta operação conseguiu-se reduzir 23 nós, transformando a matriz distância $d_{67 \times 67}$ numa matriz $d_{44 \times 44}$, o que se traduziu numa substancial diminuição da complexidade dos cálculos a efectuar.

No transporte entre o(s) centro(s) de recolha e a empresa transportadora foi considerado que o custo em contentor representa 70% do custo em viaturas de menor dimensão praticado pelos detentores. Foi igualmente considerado que a localização da empresa transportadora se situa no cais marítimo para embarque de contentores.

Partindo da matriz distâncias obtida e dos pesos dos diversos nós, foi criada uma folha de cálculo no Microsoft Office Excel para efectuar o cálculo do modelo anteriormente identificado, conforme se apresenta no apêndice F. O modelo foi corrido para uma e duas medianas ($p=1$ e $p=2$), possibilitando assim resposta às hipóteses H1 e H2. Para confirmar robustez do modelo, este foi igualmente corrido para três, quatro e cinco medianas. Por sua vez, com os resultados obtidos na simulação $p=5$, foi de novo processado o modelo, mas agora com o objectivo de obter um ponto mediano. O método de resolução com recurso a várias iterações, com o objectivo de ir aproximando do resultado pretendido de forma gradual, pode considerar-se como uma resolução baseada em análise de *clusters*.

Dos cálculos efectuados, obtiveram-se os resultados seguidamente tabelados, os quais se encontram representados graficamente no apêndice E.

Quadro 3 - Resultados de localização obtidos

<i>p</i>	Nós centrais (vértices)	Descrição localização geográfica	Nº. de nós servidos (Axx)	Nº. de detentores (Pxx)	Peso total do vértice (ton)	(%)	Objectivo
1	A00	Actual centro de recolha	44	67	959,320	100	17.526,68
1	A34	Pranchinha – P. Delgada	44	67	959,320	100	15.665,04
2	A34	Pranchinha – P. Delgada	41	62	828,437	86	13.735,63
	A30	Nordeste	3	5	130,883	14	
3	A02	Lagoa	13	16	279,448	29	13.255,71
	A30	Nordeste	3	5	130,883	14	
	A37	Stª Clara – P. Delgada	28	46	548,989	57	
4	A02	Lagoa	12	15	266,428	28	12.969,43
	A30	Nordeste	3	5	130,883	14	
	A33	Valados – P. Delgada	10	12	282,566	29	
	A34	Pranchinha – P. Delgada	19	35	279,443	29	
5	A12	Rib. Seca – R. Grande	7	9	166,938	17	12.417,36
	A25	Atalhada - Lagoa	5	6	99,490	10	
	A30	Nordeste	3	5	130,883	14	
	A33	Valados – P. Delgada	10	12	282,566	29	
	A34	Pranchinha – P. Delgada	19	35	279,443	29	
5/1	A34	Pranchinha – P. Delgada	44	67	959,320	100	14.687,19

Considerando os resultados apresentados, pode afirmar-se que no caso de uma mediana, hipótese H1, o ponto médio ponderado pelos pesos dos diversos nós, situa-se na área urbana da cidade de Ponta Delgada e dista do actual centro de recolha em 2,1km.

Na situação de criação de um segundo ponto de recolha, hipótese H2, constata-se que o ponto vértice A34, situado no interior da cidade de Ponta Delgada, manter-se-ia como mediana e receberia 86% dos pneus. A segunda mediana, estaria localizada na Vila do Nordeste, recebendo esta apenas 14% da quantidade total de pneus produzida. Esses 14% referem-se a cinco detentores, três situados na Vila da Povoação e dois na Vila do Nordeste. De referir ainda que dos cinco detentores, um deles representa quase 80% do volume total das 130,883 toneladas entregues.

Com o incremento do número de vértices p , a eficiência do modelo vai sempre melhorando, uma vez que reduz as distâncias acumuladas percorridas. No entanto, se o modelo tivesse em consideração o custo de exploração dos centros de recolha, haveria de chegar um ponto em que esses custos passariam a ser superiores à variação dos custos com transporte, passando o modelo a apresentar valores mais elevados com o aumento do número de p considerados. De realçar que o resultado obtido com recurso a duas iterações vem confirmar o resultado do modelo para $p=1$, uma vez que ambos identificaram como vértice o nó A34.

No que se refere à hipótese H3, face ao não acesso aos dados necessários para efectuar uma análise matemática, optou-se por fazer uma análise teórica desta questão.

Para se conseguir ter uma percepção das possíveis opções ou limitações associadas a este processo teremos que analisar os factores legais, técnicos, económicos e logísticos que afectam cada um dos intervenientes. Assim, reduziu-se a análise efectuada à seguinte tabela:

Quadro 4 - Factores intervenientes na hipótese H3

<u>Factores legais</u>	
- Gestor do SGPU	De acordo com o DL 178/2006 de 05 de Setembro, tem a obrigação de encaminhar preferencialmente os pneus para reciclagem ao invés da valorização energética. A opção de encaminhamento dos pneus é do Gestor do SGPU
- Operador logístico	Nada a referir.
- Transportador	Nada a referir.
- Valorizador	Trata os pneus que lhe são encaminhados pelo Gestor do SGPU.
<u>Factores técnicos</u>	
- Gestor do SGPU	Acção meramente administrativa.
- Operador logístico	Para reciclagem, terá de fazer a triagem dos pneus recebidos e sua limpeza; Para valorização energética, basta consolidação de carga para transporte, podendo recorrer à trituração dos pneus.
- Transportador	Transporta contentores independentemente do seu conteúdo.

Quadro 4 (continuação)

- Valorizador	<p>Conforme a tecnologia de reciclagem, terá requisitos próprios quanto ao material a receber, nomeadamente no que diz respeito a padronização de tamanho, formato e constituição física assim como de limpeza.</p> <p>As cimenteiras que fazem a valorização energética podem utilizar como combustível carvão, fuelóleo, gás, entre outros, pelo que é pouco exigente em termos de requisitos.</p>
---------------	--

Factores económicos

- Gestor do SGPU	Para além do valor de 0,025€/Kg pagos aos operadores logísticos pelos pneus recolhidos e triados, conforme estipula o despacho n.º 31203/2008 do Ministério do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional e da economia e da inovação, de 04 de Dezembro de 2008, não foi possíveis apurar qualquer outro valor contratado no âmbito do SGPU;
- Operador logístico	Uma vez que o seu proveito financeiro provém da quantidade de pneus entregues ao gestor do SGPU, terá de avaliar o retorno recebido pelas duas opções.
- Transportador	O valor do transporte dos contentores é independente do peso. Tem benefício na opção de reciclagem uma vez que representa o transporte de maior número de contentores.
- Valorizador	Desconhece-se os valores contratados com o gestor do SGPU. Antevê-se a existência de quantidades mínimas que proporcionam a rentabilidade económica.

Factores logísticos

- Gestor do SGPU	Podem existir cláusulas contratuais de quantidades a entregar aos diversos valorizadores, nomeadamente aos valorizadores energéticos.
- Operador logístico	As duas opções representam exigências logísticas diferenciadas, sendo a reciclagem mais exigente em termos de mão-de-obra e a valorização energética em termos de meios. A opção de valorização energética permite maior capacidade de processamento.
- Transportador	Nada a referir
- Valorizador	Capacidade de tratamento em termos quantitativos

Outros factores

	Ambiental – verifica-se a existência de benefícios ambientais na opção de reciclar em comparação com a valorização energética, indo ao encontro da preferência legal.
--	---

Da ponderação dos diversos factores e não considerando a limitação actual em termos de capacidade de tratamento das empresas que efectuam a reciclagem, a opção de destino dos pneus produzidos na RAA será preponderantemente condicionada por factores económicos.

De uma forma geral, o presente estudo teve como principal limitação a falta de dados. O facto de terem sido fornecidos apenas as quantidades recebidas no centro de recolha de Ponta Delgada para o ano de 2009, não permitiu a análise do SGPU de uma forma mais ampla. A não cedência dos valores intervenientes nas diversas fases veio inviabilizar uma análise mais detalhada da eficiência do SGPU.

Apesar das limitações anteriormente identificadas, considera-se que o presente trabalho contribuiu para um melhor conhecimento do sistema de recolha e tratamento dos pneus usados implementado nos Açores e mais especificamente na ilha de São Miguel, não tendo sido identificado qualquer outro trabalho de índole científica neste âmbito. Criou um modelo de localização de infra-estruturas inovador adaptado ao caso concreto estudado e, complementarmente, desenvolveu de uma ferramenta informática com base em folha de cálculo que permite analisar a eficiência da localização em redes de pequena e média dimensão. Para permitir o estudo de redes de maior dimensão, foi efectuado o procedimento de análise de redes de modo faseado, utilizando uma técnica de *clusters*. Permitiu identificar a especificidade dos detentores de pneus usados situados na parte nordeste da ilha, pretendendo-se fazer no próximo capítulo uma proposta concreta de melhoria da eficiência do actual sistema. Por fim, levanta a questão do envio de pneus usados exclusivamente para valorização energética e quais as razões que lhe estão subjacentes.

Após tratados os dados obtidos com recurso a ferramentas informáticas SIG disponíveis online e à folha de cálculo *Microsoft Office Excel 2007*, com implementação do suplemento *Risk Solver Platform V10.0*, foi possível efectuar a aplicação das metodologias identificadas no capítulo anterior e chegar aos resultados anteriormente apresentados. Tendo por base os ensinamentos teóricos enunciados e o quadro conceptual identificado, pretende-se seguidamente tirar conclusões dos resultados encontrados.

CAPITULO VI

Conclusões

6. Conclusões

Os recursos são escassos e o não respeito pela sustentabilidade ambiental pode pôr em causa a própria existência humana. Neste contexto, assume primordial relevância a existência de políticas integradas de gestão de resíduos com o objectivo de minimizar a quantidade e perigosidade dos resíduos enviados para eliminação assim como a maximização das quantidades recuperadas para valorização. Com a publicação em 2001 de legislação nacional específica sobre a gestão dos pneus e pneus usados, Portugal transpôs para território nacional os princípios emanados pela UE assim como atribuiu especial relevo a este tipo de resíduo.

A consciencialização da população em geral para o problema ambiental, o forte incremento da produção e do consumo, levando ao acervo de quantidades crescentes de resíduos, assim como o aproveitamento do potencial económico dos artigos em fim de vida útil e a necessidade de criar diferenciação junto de clientes, são alguns dos factores que mais têm contribuído para o desenvolvimento da logística inversa enquanto ferramenta privilegiada rumo à sustentabilidade ambiental.

Na procura da eficiência logística e de processos mais amigos do ambiente, as organizações que desenvolvem actividades no âmbito da logística inversa devem de dar especial relevância à escolha da localização das suas infra-estruturas.

Da análise da configuração da cadeia logística inversa para a recolha e tratamento dos pneus usados existente, com especial relevo para a eficiência da localização dos centros de recolha existentes ou a criar, é possível deduzir algumas conclusões.

Na primeira hipótese colocada, verifica-se que nem sempre o centro geográfico coincide com o centro eficiente numa rede. Torna-se pois necessário ter em consideração factores como a sua distribuição no terreno ou a diferença de peso dos diversos pontos constituintes. No caso específico da ilha de São Miguel, o facto dos detentores se concentrarem na área da cidade de Ponta Delgada e o cais de embarque de contentores ser na mesma região, deslocou a mediana para a zona ribeirinha daquela cidade. Na avaliação da actual localização do centro de recolha, pode dizer-se que não é eficiente. Mas, face à reduzida distância do actual centro de recolha ao ponto mediano e o facto deste ponto se encontrar no interior da cidade, o que dificultaria a movimentação

das viaturas de transporte de pneus usados, nomeadamente as pesadas, pode considerar-se que a localização do actual centro de recolha não é óptima, mas correcta.

Em resposta à hipótese H2, apesar da assimetria de tamanhos dos dois centros, verifica-se que o modelo com dois centros de recolha seria mais eficiente que apenas considerando um ponto, sendo que o valor total do modelo melhora de 16.098,28 para 14.024,42. A criação de um segundo centro de recolha por parte do operador logístico, para além da eficiência global do sistema, iria implicar uma redução dos custos actualmente suportados pelos detentores mas um aumento dos custos do operador logístico. Face ao exposto, deveriam os cinco detentores identificados como utilizadores do segundo centro de recolha, equacionar a forma de englobarem cargas entre si. Esta solução para além de reduzir a distância percorrida pelo conjunto dos intervenientes permitiria obter redução de custos pelo tipo de transporte a utilizar.

Da análise feita ao contexto onde se insere a terceira hipótese, não foi possível identificar razão técnica que inviabilize, a título permanente, o envio de pneus oriundos dos Açores para reciclagem. Tendo presente o princípio da preferência tendencial da reciclagem sobre a recuperação energética prevista em lei, considera-se que para além de uma avaliação económica devem ser tidos em conta os benefícios ambientais do aumento do volume da reciclagem em detrimento da valorização energética. Tomando por base a informação de ruptura de capacidade por parte das entidades que actualmente efectuam a valorização por reciclagem, esta é uma limitação operacional que explica o actual procedimento apenas em termos temporários. A falta de dados referentes a custos e proveitos envolvidos, não permite obter uma resposta conclusiva à questão enunciada.

Em sùmula, pode afirmar-se que:

- O SGPU implementado na ilha de São Miguel não é eficiente, face à localização das suas infra-estruturas, no entanto, face à teia urbana onde está inserido o centro de recolha e a sua distância ao ponto mediano, considera-se correcta a sua localização;
- A criação de um segundo ponto de recolha traria eficiência ao sistema na sua totalidade, propondo-se o englobamento de cargas por parte dos cinco detentores abrangidos;
- O actual procedimento de envio da totalidade dos pneus produzidos nos Açores para valorização energética não se baseia em pressupostos técnicos permanentes, carecendo de análise económica e ambiental mais aprofundada.

Finalmente, como perspectiva de um trabalho futuro, sugere-se a aplicação do modelo criado ao SGPU no seu todo. Avaliando-se a localização dos centros de recolha não só em função dos custos de transporte a montante mas também dos custos existentes a jusante. Neste caso será expectável a necessidade de aplicação do modelo de modo faseado, utilizando a técnica de *clusters* testada.

Outra oportunidade de estudo será a análise da implantação nos Açores de uma instalação para efectuar a reciclagem dos pneus usados produzidos na região, eliminando assim a necessidade do seu envio para o território continental.

Por último, a análise do SGPU em termos dinâmicos, perspectivando o seu futuro com base em dados históricos e exame das tecnologias de tratamento dos pneus usados existentes e vindouras.

APÊNDICE A

Características diferenciadoras dos modelos de localização

APÊNDICE A - Características diferenciadoras dos modelos de localização

Característica	Divisão	Subdivisão
Espaço físico de aplicação	Contínuo	
	Discreto ou descontínuo	Discretos Discretos em rede
Espaço temporal considerado	Estático Dinâmico	
Objectivo	Minimização distâncias	
	Cobertura	Minimizar infra-estruturas mantendo cobertura Maximizar cobertura com p infra-estruturas
Natureza do objectivo	Público Privado	
Quantidade de objectivos	Objectivo único	
	Vários objectivos	Minimizar os custos Orientação para a procura Maximização dos proveitos Preocupações ambientais ...
Número de infra-estruturas a localizar	Singular Várias facilidades	
Relacionamento entre infra-estruturas	Hierarquizadas Não hierarquizadas	
Redundância de infra-estruturas	Com redundância Sem redundância	
Características das infra-estruturas	Com capacidade Sem capacidade	
Métodos de resolução face aos dados disponíveis	Determinísticos	
	Estocásticos	Probabilísticas Planeamento de cenários
Métodos de resolução face à sua complexidade	Exactos Heurísticos	

[\(Voltar texto\)](#)

APÊNDICE B

Dados obtidos e sua análise estatística

APÊNDICE B - Dados obtidos e sua análise estatística

Dados obtidos:

Produtor	Qt. entregue (Kg)	Produtor	Qt. entregue (Kg)
P01	2.092	P34	2.140
P02	8.300	P35	25.950
P03	4.150	P36	588
P04	3.120	P37	5.830
P05	8.520	P38	4.420
P06	4.060	P39	20.100
P07	1.020	P40	53
P08	6.120	P41	12.270
P09	510	P42	34.670
P10	888	P43	1.120
P11	15.940	P44	13.020
P12	440	P45	8.860
P13	24.020	P46	8.560
P14	28.050	P47	1.200
P15	1.774	P48	1.140
P16	8.540	P49	103.490
P17	3.330	P50	13.140
P18	1.100	P51	43.640
P19	280	P52	165.530
P20	8.850	P53	71.664
P21	320	P54	1.380
P22	108.330	P55	6.740
P23	9.020	P56	3.280
P24	1.000	P57	5.626
P25	360	P58	2.540
P26	1.420	P59	25.660
P27	1.080	P60	96
P28	580	P61	8.500
P29	240	P62	31.320
P30	8.583	P63	60
P31	39.300	P64	11.976
P32	800	P65	540
P33	580	P66	21.490

Análise estatística dos dados:

Estatísticas descritivas					
	N	Minímo	Máximo	Média	Desvio-padrão
Pesos	66	53	165530	14535,00	28300,874
N válidos	66				

[\(voltar texto\)](#)

APÊNDICE C

Identificação dos nós e suas coordenadas geográficas

APÊNDICE C - Identificação dos nós e suas coordenadas geográficas

Nós	Nós iniciais	Coordenadas geográficas	Peso
A00	P00 (actual ponto de recolha)	37.737876,-25.691611	0,010
A01	P02	37.819222,-25.527420	8,300
A02	P03	37.746208,-25.573623	4,150
A03	P04	37.831423,-25.680734	3,120
A04	P10, P12, P25	37.741600,-25.667771	1,688
A05	P11	37.761599,-25.728581	15,940
A06	P13	37.780215,-25.694911	24,020
A07	P14	37.866670, -25.733330	28,050
A08	P17, P58, P65	37.744138,-25.667344	6,410
A09	P18	37.903065,-25.770996	1,100
A10	P19	37.777430,-25.564541	0,280
A11	P20, P16, P63	37.748316,-25.665440	17,450
A12	P22	37.742730,-25.585530	108,330
A13	P23, P05, P07, P15, P32	37.748636,-25.656263	21,134
A14	P24	37.741316,-25.675538	1,000
A15	P26	37.765891,-25.640804	1,420
A16	P27	37.767216,-25.607654	1,080
A17	P29	37.739881,-25.666172	0,240
A18	P30, P38	37.747861,-25.244541	13,003
A19	P34, P54	37.831813,-25.687232	3,520
A20	P35	37.816470,-25.594598	25,950
A21	P36	37.751279,-25.599563	0,588
A22	P37	37.764425,-25.241976	5,830
A23	P39	37.778176,-25.592248	20,100
A24	P41, P01, P21, P31	37.752353,-25.655707	53,982

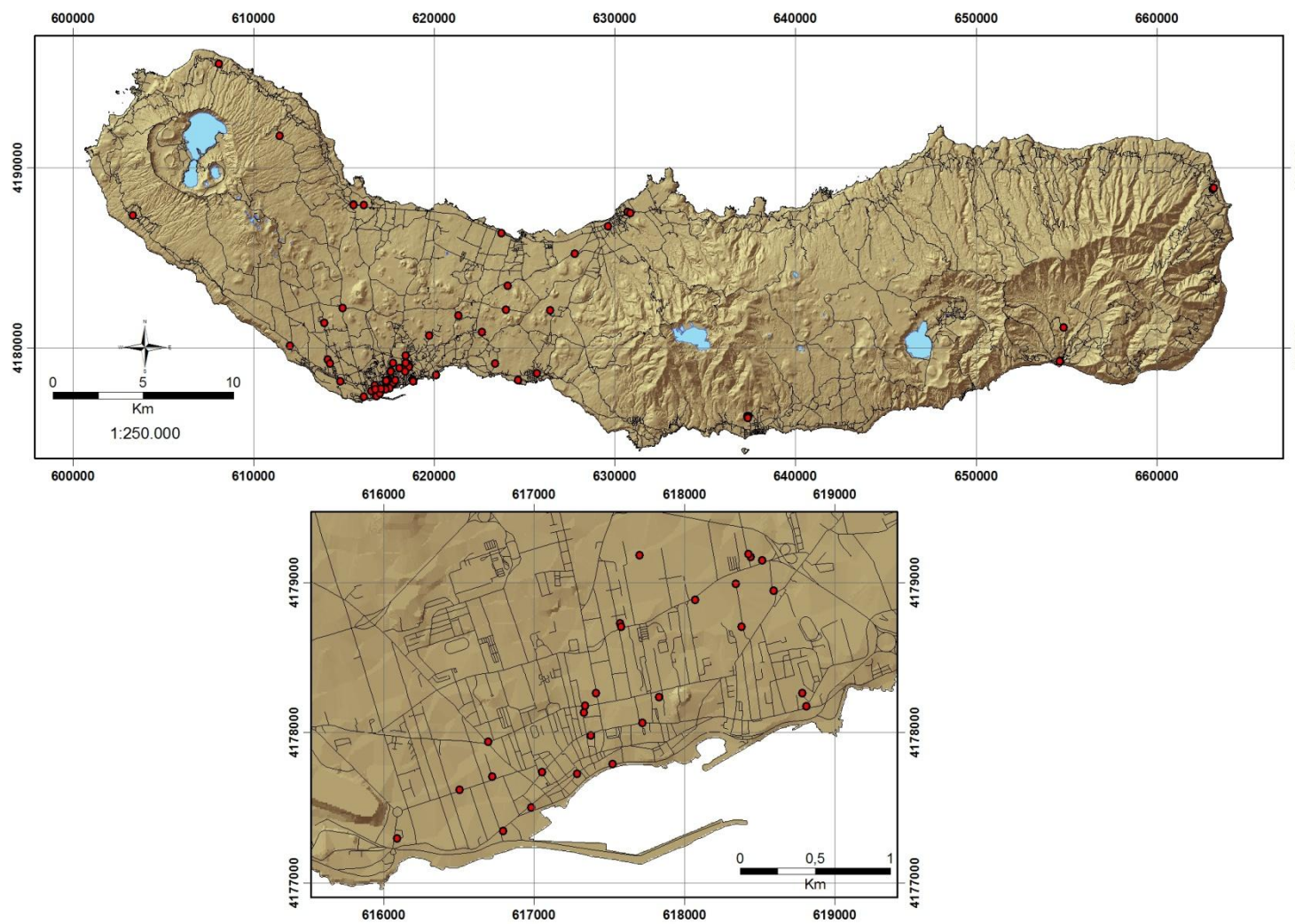
APÊNDICE C (continuação)

Nós	Nós iniciais	Coordenadas geográficas	Peso
A25	P42	37.805574,-25.548521	34,670
A26	P43	37.749649,-25.659763	1,120
A27	P44	37.775689,-25.622225	13,020
A28	P47	37.739328,-25.668847	1,200
A29	P48	37.828012,-25.826085	1,140
A30	P49, P46	37.832727,-25.145783	112,050
A31	P50	37.746014,-25.636960	13,140
A32	P51	37.735593,-25.682508	43,640
A33	P52, P45	37.752440,-25.703424	174,390
A34	P53, P08	37.743180,-25.651517	77,784
A35	P55, P06	37.737316,-25.672352	10,800
A36	P56	37.743849,-25.662621	3,280
A37	P57	37.743535,-25.697063	5,626
A38	P59	37.772715,-25.706543	25,660
A39	P60	37.739444,-25.671511	0,096
A40	P61	37.790238,-25.590841	8,500
A41	P62, P09, P28	37.722278,-25.441337	32,410
A42	P64, P40	37.739233,-25.675276	12,029
A43	P66, P33	37.825488,-25.513309	22,070

APÊNDICE D

Localização geográfica dos nós iniciais

APÊNDICE D - Localização geográfica dos nós iniciais

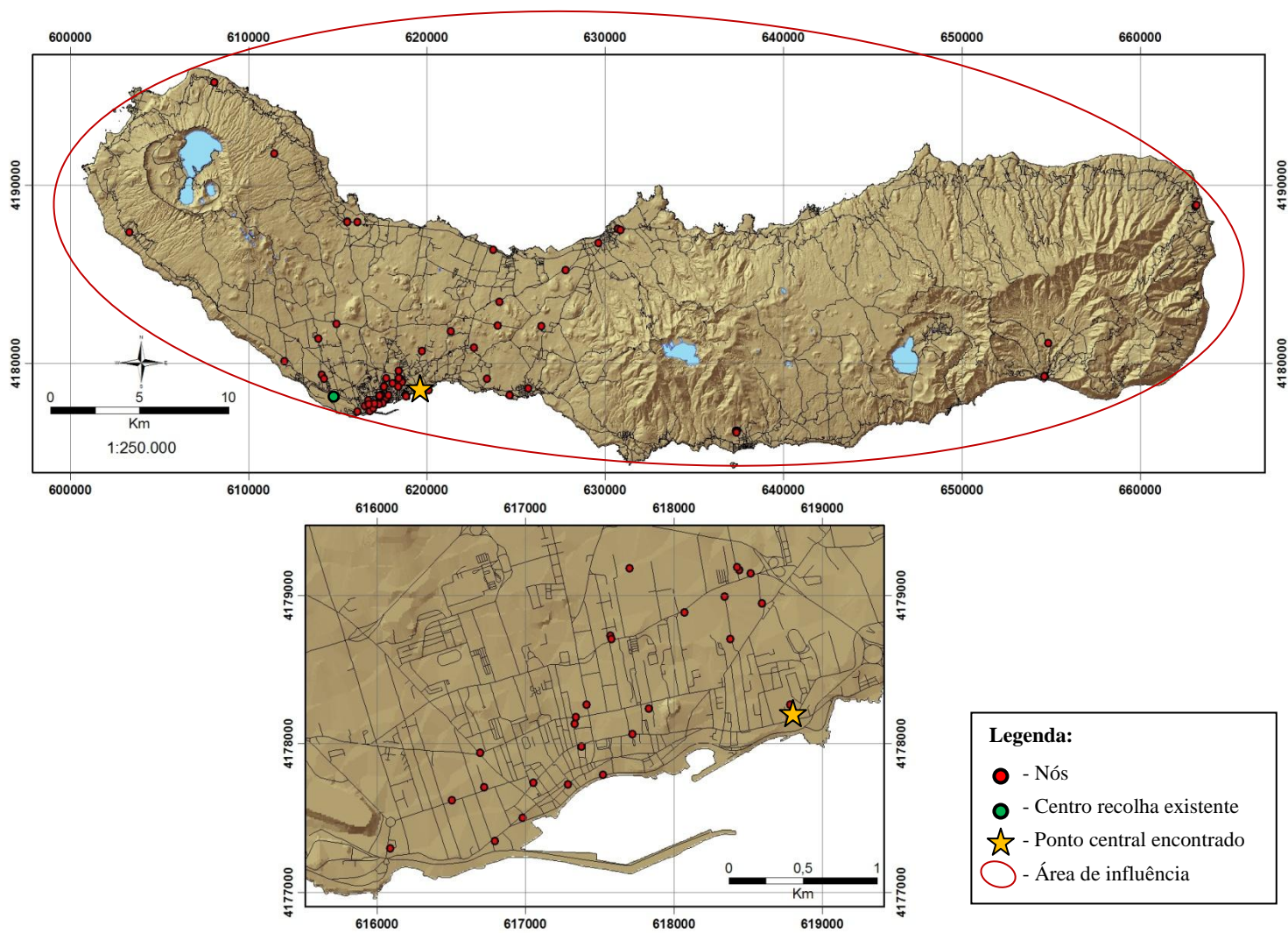


APÊNDICE E

Resolução gráfica das diversas simulações

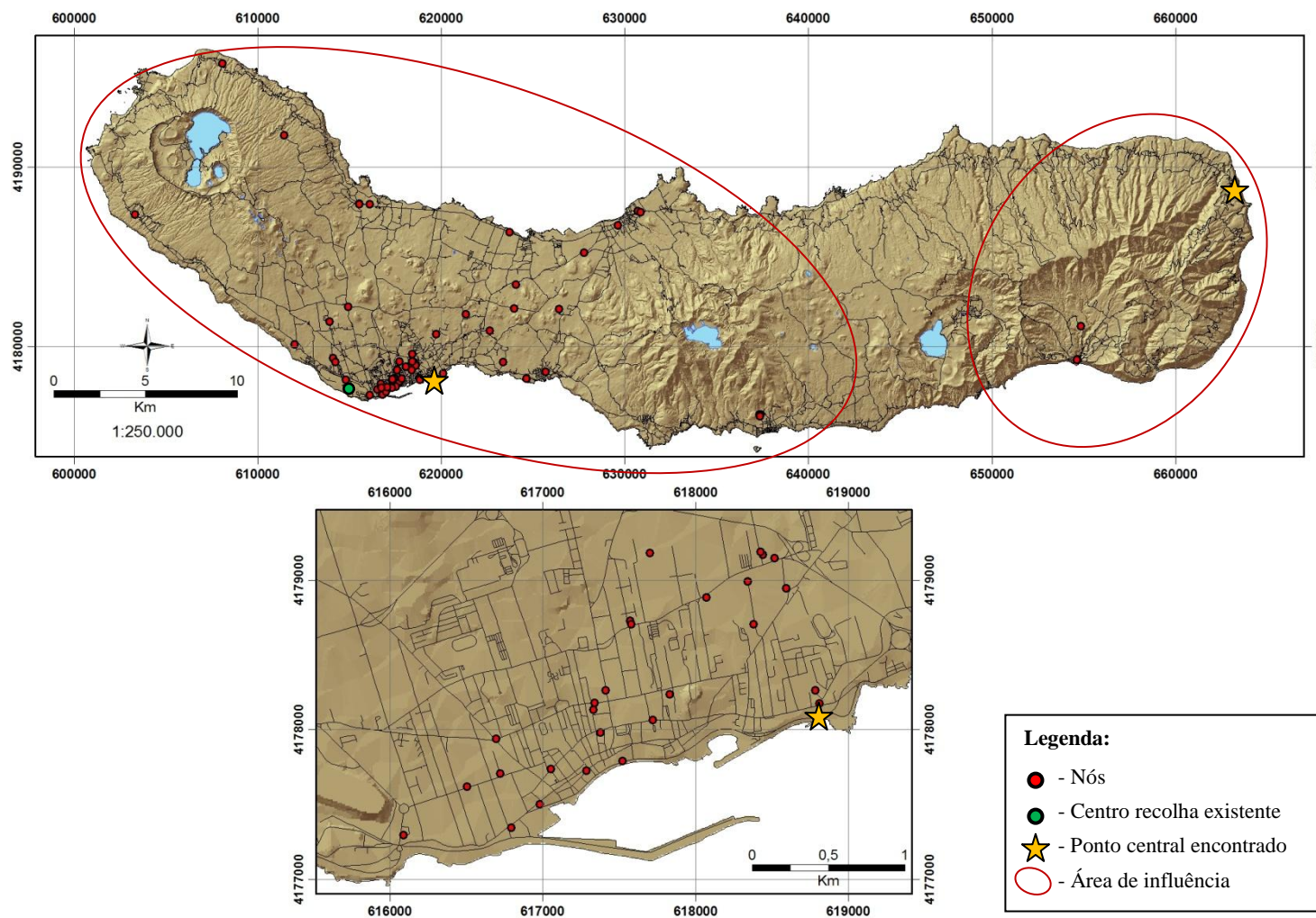
APÊNDICE E - Resolução gráfica das diversas simulações

Resolução gráfica para um ponto mediano ($p = 1$)



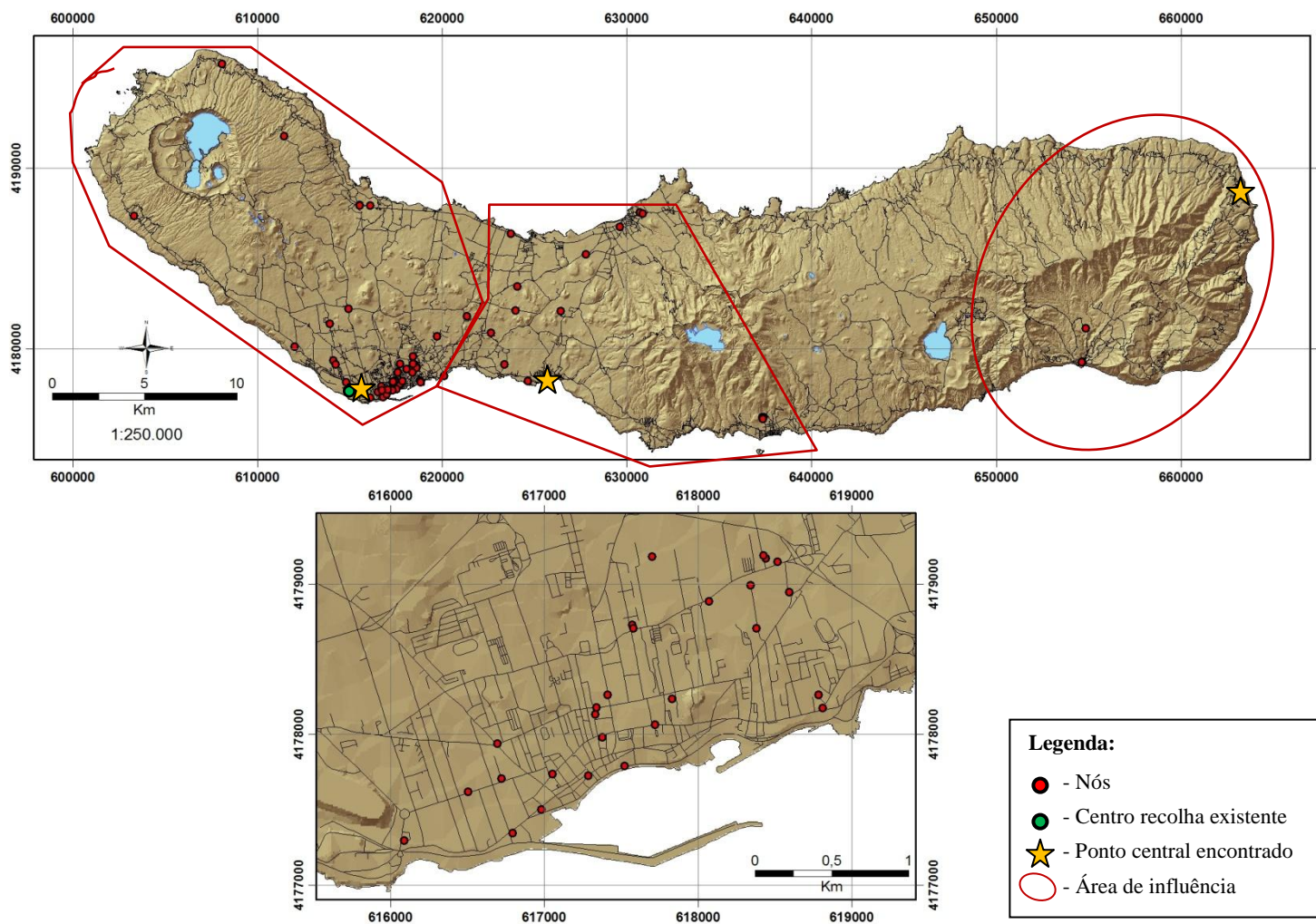
APÊNDICE E (continuação)

Resolução gráfica para dois pontos medianos ($p = 2$)



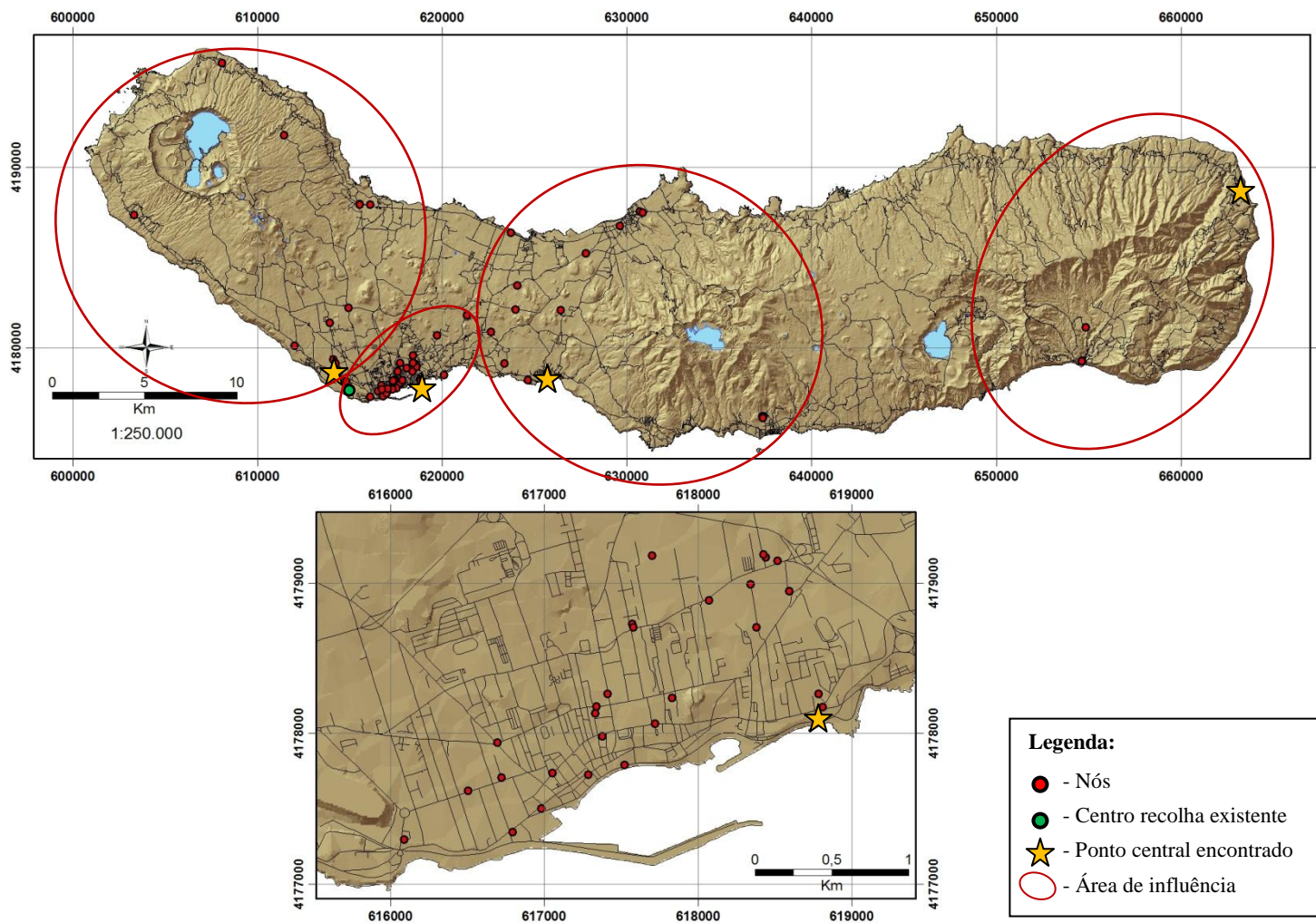
APÊNDICE E (continuação)

Resolução gráfica para três pontos medianos ($p = 3$)



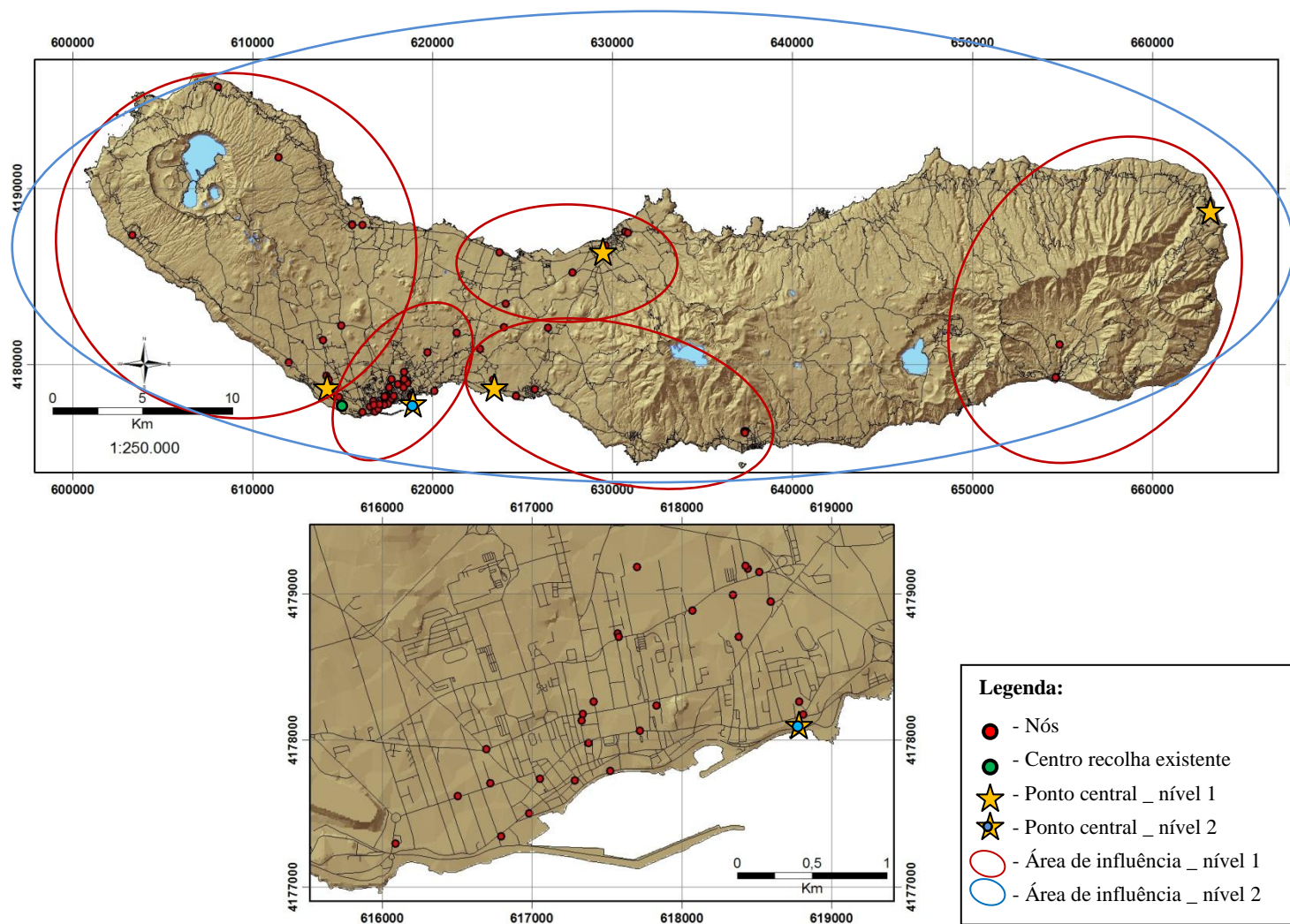
APÊNDICE E (continuação)

Resolução gráfica para quatro pontos medianos ($p = 4$)



APÊNDICE E (continuação)

Resolução gráfica para cinco pontos medianos ($p = 5$)



APÊNDICE F

Exemplo de impressão da folha de cálculo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adlmaier, D., & Sellitto, M. A. (2007). Embalagens retornáveis para transporte de bens manufaturados: um estudo de caso em logística reversa. *Produção*, Vol.17, nº.2.
- Andrietta, A. J. (Out de 2002). *Pneus e meio ambiente: um grande problema requer uma grande solução*. Obtido em 26 de Dez de 2009, de <http://www.reciclarepreciso.hpg.ig.com.br/recipneus.htm>
- Ballou, R. (2006). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos – Planejamento, Organização e Logística Empresarial* (5ª ed.). Bookman.
- Barroso, A. P., & Machado, V. H. (2005). A Gestão Logística dos Resíduos em Portugal. *Investigação Operacional*, Vol.25, pp.179-194.
- Black, P. E. (2009). *Simulated annealing*. (U.S. National Institute of Standards and Technology) Obtido em 12 de Junho de 2010, de Dictionary of Algorithms and Data Structures: <http://www.itl.nist.gov/div897/sqg/dads/HTML/simulatedAnnealing.html>
- Câmara Municipal de Ponta Delgada. (2010). *Geoportal SIG*. Obtido em 2010, de <http://sigweb.mpdelgada.pt/geoportal/GeoPortal/MapForm.aspx?WMID=27&width=756&height=488>
- Chaves, G. L., & Batalha, M. O. (2006). Os consumidores valorizam a coleta de embalagens recicláveis? Um estudo de caso da logística reversa em uma rede de hipermercados. *Gestão & Produção*, Vol.13, nº.3, pp.423-434.
- Chiyoshi, F., & Galvão, R. D. (2000). A statistical analysis of simulated annealing applied to the p-median problem. *Annals of Operations Research*, Vol.96, pp.61-74.
- Cortes, J. M., & Paula Júnior, G. G. (2001). Uma abordagem estratégica para localização de facilidades. *XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP 2001)*.
- Council of Supply Chain Management Professionals. (2010). *CSCMP Supply Chain Management Definitions*. Obtido em 30 de Mar de 2010, de <http://cscmp.org/aboutcscmp/definitions.asp>
- Current, J., Min, H., & Schilling, D. (1990). Multiobjective analysis of facility location decisions - Invited review. *European Journal of Operational Research*, nº.49, pp.295-307.
- Daskin, M. S., & Dean, L. K. (2004). Location of health care facilities. In F. Sainfort, M. Brandeau, & W. Pierskalla (Edits.), *Operations research and Health Care: A Handbook of Methods and Applications* (pp. 44-75). Kluwer's International Series.
- De Brito, M. P. (2003). *Managing Reverse Logistics or Reversing Logistics Management?* Erasmus University Rotterdam.
- De Brito, M. P., & Dekker, R. (2003). *A Framework for Reverse Logistics*. Erasmus University Rotterdam.
- Debo, L., Savaskan, C., & Wassenhove, L. N. (2002). Coordination in Closed-Loop Supply Chains. In R. Dekker, K. Inderfurth, L. V. Wassenhove, & M. Fleischmann, *Quantitative Approaches to Reverse Logistics*.

- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Beullens, P., & Dekker, R. (2002). Reverse Logistics Network Design. In R. Dekker, K. Inderfurth, L. v. Wassenhove, & M. Fleischmann, *Quantitative Approaches to Reverse Logistics*.
- Fleischmann, M., Krikkea, H. R., Dekkerb, R., & Flapper, S. D. (2000). A characterisation of logistics networks for product recovery. *OMEGA - The International Journal of Management Science*, nº. 28, pp.653-666.
- Fortes, R. R., Lima Júnior, O. F., & Sanches Júnior, P. F. (2004). Os objetivos econômicos e ambientais da logística reversa. *Congresso RIRL 2004 (Rencontre Internationale de Recherche Logistique)*. Fortaleza, 23 a 25 de Agosto de 2004.
- French, M. L. (2002). Closed-loop supply chains in process industries: An exploratory study of re-use practices. *Dissertação de Doutorado*. Graduate School of Clemson University.
- Galvão, R. D. (1981). Modelos e algoritmos para problemas de localização em redes. *Pesquisa Operacional*, Vol.1, nº.1, pp.03-22.
- Galvão, R. D. (2004). Uncapacitated facility location problems: contributions. *Pesquisa Operacional*, Vol.24, nº.1, pp.7-38.
- Galvão, R. D., Nobre, F. F., & Vasconcellos, M. M. (1999). Modelos matemáticos de localização aplicados à organização espacial de unidades de saúde. *Revista de Saúde Pública*, Vol.33, nº.4, pp.422-434.
- Goodyear. (2010). *Historic Overview*. Obtido em 03 de Jan de 2010, de http://www.goodyear.com/corporate/history/history_overview.html
- Governo dos Açores. (2010). *IDeIA – Infra-estrutura de dados espaciais interactiva dos Açores*. Obtido em 2010, de <http://ideia.azores.gov.pt/sigenda/default.aspx?ID=422471&IL=42&CN=4204&FR=420405>
- Guarnieri, P., Dutra, D. d., Pagani, R. N., Hatakeyama, K., & Pilatti, L. A. (2006). Obtendo competitividade através da logística reversa: estudo de caso de uma madeireira. *Journal of Technology Management & Innovation*, Vol. 1, Issue 4, pp.121-130.
- Hakimi, S. (1964). Optimum locations of switching centres and the absolute centres and medians of a graph. *Operations Research*, nº.12, pp.450-459.
- Hakimi., S. L. (1965). Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. *Operations Research*, nº.13, pp.462-475.
- Historic UK magazine. (2010). *Scotland's Forgotten Inventor – Robert William Thomson*. Obtido em 28 de Abril de 2010, de <http://www.historic-uk.com/HistoryUK/Scotland-History/RobertWilliamThomson.htm>
- Kariv, O., & Hakimi, S. L. (1979). Algorithmic approach to network location problems II: The p-medians. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, Vol.37, nº.3, pp.539-560.
- Lacerda, L. (1998). *Considerações sobre o estudo de localização de instalações*. Obtido em 22 de Fev de 2010, de http://www.ilos.com.br/site/index.php?option=com_content&task=view&id=1074&It...
- Lacerda, L. (2002). Logística reversa: uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais. *Revista de tecnologias*, Ano VI, nº. 74.

- Leite, P. R. (2000). Canais de distribuição reversos: Fatores de influência sobre as quantidades recicladas de materiais. *III SIMPOI - Simposio de administração da produção, logística e operações internacionais*. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas.
- Lorena, L. A. (s.d.). *Problema de Localização de Facilidades de Máxima Cobertura*. Obtido em 04 de Mar de 2010, de Projeto ARSIG2 [Integrações ao ArcView]: http://www.lac.inpe.br/~lorena/marcos/public_html/arsig2/maxcobARSIG2.htm
- Lourenço, H. R., & Soto, J. P. (2002). Reverse Logistics Models and Applications: A Recoverable Production Planning Model.
- Marianov, V., & Serra, D. (2004). *New trends in facility location modeling*. Economics and Business Working Paper No. 755, Universitat Pompeu Fabra.
- Moura, B. (2006). *Logística: Conceitos e tendências*. Vila Nova de Famalicão: Centro Atlântico Lda.
- Mueller, C. F. (2005). Logística Reversa Meio-ambiente e Produtividade. *Grupo de estudos logísticos*. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Organização das Nações Unidas, World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future (The Brundtland Report)*. Obtido em 26 de Abril de 2010, de UN Documents: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- Owen, S., & Daskin, M. (1998). Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*, nº.111, pp.423-447.
- Plastria, F. (2005). 4-point Fermat location problems revisited. New proofs and extensions of old results. *MOSI - Vrije Universiteit Brussel*.
- Porter, M. E. (1998). Clusters and the New Economics of Competition, Nov/Dez de 1998. *Harvard Business Review*.
- Quesada, I. F. (2003). The concept of reverse logistics - a review of literature. *Annual Conference for Nordic Researchers in Logistics - NOFOMA' 03*. Oulu (Finlândia).
- Reese, J. (2005). Methods for Solving the p-Median Problem: An Annotated Bibliography.
- ReVelle, C. S., Williams, J. C., & Boland, J. J. (2002). Counterpart models in facility location science and reserve selection science. *Environmental Modeling and Assessment*, nº.7, pp.71-80.
- Reverse Logistics Executive Council. (2010). *Differences Between Forward and Reverse Logistics*. Obtido em 31 de Mar de 2010, de <http://www.rlec.org/>
- Reverse Logistics Executive Council. (2010). *Reverse Logistics Executive Council*. Obtido em 21 de Fev. de 2010, de <http://www.rlec.org/glossary.html>
- Rodrigues, D. F., Rodrigues, G. G., Leal, J. E., & Pizzolato, N. D. (2002). Logística inversa - conceitos e componentes do sistema. *XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Curitiba.
- Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (2001). An examination of reverse logistics practices. *Journal of Business Logistics*, vol.22, nº. 2, pp.129-148.

- Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. S. (1998). *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. Reno: Center for Logistics Management da University of Nevada, Reverse Logistics Executive Council.
- Rosário, R. R., Carnieri, C., & Steiner, M. T. (2002). Proposta de solução para o problema das p-medianas na localização de unidades de saúde 24 horas. *ENEGEP 2002 - XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Curitiba.
- Sapo. (2010). *SAPO Mapas*. Obtido em 2010, de <http://www.mapas.sapo.pt>
- Sato, F. R. (2002). Problemas e métodos decisórios de localização de empresas. *RAE-eletrônica*, Vol.1, nº.2.
- Sohn Filho, L. (2005). A Logística Reversa de Pneus Inservíveis: O Problema da Localização dos Pontos de Coleta. *Dissertação de Mestrado*. Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Soto Z., J. P. (2005). *Reverse Logistics: Models and applications*. Universitat Pompeu Fabra.
- Souza, J. C. (2008). *Reciclagem e sustentabilidade - a importância da logística*. Rio de Janeiro: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Tibben-Lembke, R. S. (2002). Life after death: Reverse logistics and the product life cycle. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol.32, nº.3, pp. 223-244.
- Tzu, S. (1974). *A arte da guerra*. (P. A. Cardoso, Trad.) Lisboa: Editorial Futura.
- Valorpneu. (2008). *Relatório anual & contas 2008*.
- Weber, A. (1909). *Über den Standort der Industrien*. (C. J. Friedrich (1929), Trad.) Alfred Weber's Theory of the Location of Industries, Chicago, Illinois: University of Chicago Press.
- Weisstein, E. W. (2010). *NP-Hard problem*. Obtido em 15 de Junho de 2010, de MathWorld - A Wolfram Web Resource: <http://mathworld.wolfram.com/NP-HardProblem.html>