

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



***Backhauling* colaborativo nas cadeias de abastecimento alimentares**

Xavier Oliveira Marques

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientadora: Prof. Sara Martins

Co-orientadora: Maria João Santos

28 de Julho de 2020

Resumo

Com a proliferação de novas técnicas de melhoria de logística interna, grande parte dos custos operacionais das organizações são inerentes ao transporte dos produtos sendo a colaboração na área dos transportes cada vez mais considerada uma abordagem rentável para minimizar os custos envolvidos. Das vantagens de cadeias logísticas colaborativas destacam-se a maior sustentabilidade ambiental e económica além de benefícios sociais. O objetivo deste estudo reside em compreender como é que a colaboração nas operações de transporte de um conjunto de entidades pertencentes à mesma Cadeia de abastecimento (neste caso, um retalhista, um operador logístico e um conjunto de fornecedores) pode ser realizada. Para que o objetivo fosse alcançado, desenvolveu-se um Modelo Matemático que compara dois cenários distintos: um associado ao *Vehicle Routing Problem* (cenário sem colaboração) e outro ligado ao *Vehicle Routing Problem with Backhauls* (cenário com colaboração). A comparação dos dois cenários permitiu avaliar o potencial da colaboração em termos económicos e ambientais. Procurou-se estudar diferentes tipos de distribuição de clientes e diversas análises de sensibilidade foram desenvolvidas para perceber quais os parâmetros que têm mais impacto na promoção da colaboração. Verificou-se que a distribuição geográfica de clientes e a distância entre os fornecedores e o operador logístico têm um impacto bastante significativo na colaboração. Além disto, também se estudaram diferentes mecanismos de partilha de benefícios, derivados da colaboração, tendo escolhido um que levou a que a colaboração fosse estável (todas as entidades têm lucros). Este trabalho almeja ser um contributo para a realização de novas abordagens de transporte colaborativo nas cadeias de abastecimento, pretendendo consciencializar da importância da sustentabilidade económica e ambiental na área da logística.

Palavras-Chave: *Backhauling*, Colaboração, Partilha de Benefícios, *Vehicle Routing Problem*, *Vehicle Routing Problem with Backhauls*.

Abstract

With the proliferation of new techniques for improving internal logistics, much of the operational costs of organisations are inherent to the transport of products and collaboration in the area of transport is increasingly considered a cost-effective approach to minimising the costs involved. The advantages of collaborative logistics chains include greater environmental and economic sustainability and also social benefits. The objective of this study is to understand how collaboration in the transport operations of a set of entities belonging to the same Supply Chain (in this case, a retailer, a logistics operator and a set of suppliers) can be carried out. In order to achieve the objective, a Mathematical Model was developed that compares two different scenarios: one associated to the Vehicle Routing Problem (scenario without collaboration) and the other linked to the Vehicle Routing Problem with Backhauls (scenario with collaboration). The comparison of the two scenarios made it possible to assess the potential of collaboration considering the economic and environmental perspective. We tried to study different types of customer distribution and several sensitivity analyses were developed to understand which parameters have more impact in promoting collaboration. It was found that the geographical distribution of customers and the distance between suppliers and the logistics service provider have a very significant impact on collaboration. In addition, different benefit-sharing mechanisms derived from the collaboration were also studied, and one that led to stable collaboration (all entities have profits) was chosen. This work intends to be a contribution to the implementation of new approaches to collaborative transport in the supply chains, aiming to raise awareness of the importance of economic and environmental sustainability in the logistics area.

Key words: Backhauling, Benefit Sharing, Collaboration, Vehicle Routing Problem, Vehicle Routing Problem with Backhauls.

Agradecimentos

Queria aproveitar esta secção da dissertação para agradecer a um conjunto de pessoas que ao longo do curso foram essenciais para que conseguisse concluir o mesmo com sucesso. Com a noção de que poderei estar a não mencionar todas as pessoas que foram importantes neste meu percurso académico agradeço:

- À Professora Doutora Sara Sofia Baltazar Martins por toda a sua notável orientação prestada, apoio, compreensão e total disponibilidade para atender às minhas solicitações e dúvidas.
- À Maria João Santos pelas suas intervenções, ao longo do tempo de desenvolvimento desta dissertação, sempre oportunas e eficazes na busca dos melhores resultados possíveis.
- A todos os docentes do Mestrado Integrado de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, anos letivos 2015/2020, por contribuírem para o meu crescimento pessoal, profissional e académico.
- Aos meus pais por todo o apoio, compreensão e orientação ao longo destes 5 anos.
- Aos meus familiares pela sua ajuda preciosa e apoio incondicional na busca da excelência.
- Ao meu irmão gémeo por toda a cumplicidade, carinho e ajuda disponibilizada.
- Aos meus amigos, nomeadamente os meus colegas de curso que foram sempre muito agradáveis comigo e me aceitaram sempre como sou.

Xavier Oliveira Marques

*“Coming together is a beginning,
staying together is progress,
and working together is success”*

Henry Ford

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Motivação	2
1.2	Objetivos	3
1.3	Estrutura da dissertação	3
2	Estado de Arte	5
2.1	Cadeia de Abastecimento	5
2.1.1	Gestão Colaborativa na CA	7
2.1.2	Métodos Colaborativos na CA	8
2.2	Partilha dos Benefícios da Colaboração	11
2.3	<i>Vehicle Routing Problem with Backhauls</i> (VRPB)	13
2.4	Considerações Finais	17
3	Definição do Problema	19
3.1	Cenário sem colaboração entre entidades	19
3.2	Cenário com colaboração entre entidades	20
4	Solução Proposta	23
4.1	Modelo Matemático desenvolvido	23
4.2	Implementação do Modelo	26
4.2.1	Tipos de Distribuição geográfica	27
4.3	Validação do Modelo	28
4.4	Partilha de Benefícios	29
4.4.1	Exemplo Prático relativo à Partilha de Benefícios	30
5	Descrição e análise dos resultados obtidos	33
5.1	Definição do mecanismo de partilha de benefícios	34
5.2	Impacto da distância dos fornecedores ao operador logístico	36
5.3	Impacto do número de fornecedores	38
5.4	Influência do tipo de distribuição geográfica de clientes	40
5.5	Impacto da procura dos clientes de <i>linehaul</i>	43
5.6	Análise à poupança do retalhista com a colaboração	45
6	Conclusões e Trabalho Futuro	47
A	Validação do Modelo matemático implementado	49
B	Análise ao impacto da distância entre os fornecedores e o operador logístico - Explicação relativa ao número de instâncias base	51

C	Análise ao impacto do número de fornecedores - Explicação relativa ao número de instâncias base	53
D	Análise à influência do tipo de distribuição geográfica de clientes - Explicação relativa ao número de instâncias base	55
E	Análise ao impacto da procura dos clientes de <i>linehaul</i> - Explicação relativa ao número de instâncias base	57
	Referências	59

Lista de Figuras

2.1	Fases de uma Cadeia de Abastecimento (Adaptada de [1])	6
2.2	Um exemplo do VRPB clássico vs VRPB misto (Adaptada de [2])	15
3.1	Percursos associados ao cenário sem colaboração	20
3.2	Percurso associado ao cenário com colaboração	21
4.1	Programa desenvolvido para a obtenção das rotas a serem realizadas pelo retalhista	26
4.2	Distribuições de clientes utilizadas	27
4.3	Atribuição do posicionamento do entreposto e dos clientes de <i>linehaul</i> e <i>backhaul</i> para uma distribuição específica	28
4.4	Posicionamento do fornecedor	29
5.1	Gráfico de dispersão para a distribuição geográfica <i>Random</i> com posicionamento de clientes desde a posição 0 a 50	41
5.2	Gráfico de dispersão para a distribuição geográfica <i>Cluster</i> com posicionamento de clientes desde a posição 65 a 100	42
5.3	<i>Boxplots</i> relativos à poupança do retalhista para cada grupo de instâncias com diferentes números de clientes	45
5.4	<i>Boxplots</i> relativos à poupança do retalhista por cada distribuição geográfica . . .	46

Lista de Tabelas

4.1	Responsabilidades a suportar por cada uma das entidades (Exemplo de uma instância)	30
4.2	Distribuição dos benefícios e variação líquida dos lucros da colaboração (Exemplo de uma instância)	31
5.1	Responsabilidades a suportar por cada uma das entidades (Instância com 2 fornecedores)	35
5.2	Distribuição dos benefícios e variação líquida dos lucros da colaboração (Exemplo de uma instância com 2 fornecedores)	35
5.3	Responsabilidades a suportar por cada uma das entidades (Instância com 3 fornecedores)	36
5.4	Distribuição dos benefícios e variação líquida dos lucros da colaboração (Exemplo de uma instância com 3 fornecedores)	36
5.5	Resultados associados ao impacto da distância dos fornecedores ao operador logístico	37
5.6	Médias e diferenças e entre valores máximos e mínimos de BEC e BAC para cada m	38
5.7	Resultados associados ao impacto do número de fornecedores	39
5.8	Médias dos lucros finais de cada entidade para as instâncias de 2 e 3 fornecedores	39
5.9	Médias e diferença entre valor máximo e mínimo de BAC para as instâncias de 2 e 3 fornecedores	40
5.10	Resultados associados à influência do tipo de distribuição geográfica de clientes	41
5.11	Médias de BEC e BAC para cada distribuição geográfica de clientes	42
5.12	Resultados associados ao impacto da procura dos clientes de <i>linehaul</i>	44
5.13	Médias e diferenças entre valores máximos e mínimos de BEC e BAC para cada tipo de procura	44
A.1	Instâncias associadas à validação do cenário VRP, fonte original: [3]	49
A.2	Instâncias associadas à validação do cenário VRPB, fonte original: [4]	50

Abreviaturas e Símbolos

CA	Cadeia de Abastecimento
CPFR	<i>Collaborative Planning Forecasting Replenishment</i>
CTM	<i>Collaborative Transportation Management</i>
ECR	<i>Efficient Consumer Response</i>
EPM	<i>Equal Profit Method</i>
FSMVRPB	<i>The Fleet Size and Mixed Vehicle Routing Problem with Backhauls</i>
GEE	Gases de Efeito de Estufa
SV	<i>Shapley Value</i>
VMI	<i>Vendor Management Inventory</i>
VRP	<i>Vehicle Routing Problem</i>
VRPB	<i>Vehicle Routing Problem with Backhauls</i>

Capítulo 1

Introdução

The amateurs discuss tactics. The Professionals discuss Logistics. Tal como *Napoleon Bonaparte* referia, o papel que a logística desempenha em todos os setores da nossa sociedade é vital. Posto isto, emerge esta dissertação com vista a investigar e desenvolver metodologias inovadoras de gestão de processos logísticos que contribuam para cadeias de abastecimento sustentáveis do ponto de vista económico e ambiental.

O setor dos transportes de mercadoria é altamente competitivo, logo as empresas desta área procuram ter elevados níveis de eficiência para continuarem a ser lucrativas. Além disto, as expectativas cada vez mais exigentes dos consumidores pressionam as empresas a serem cada vez mais exigentes na gestão das suas operações de distribuição. Com vista ao aumento de eficiência dos recursos empregues, as empresas podem estabelecer colaborações em que parte das operações logísticas das empresas são planeadas, em conjunto [5] [6]. Das operações mencionadas o transporte de retorno (*Backhauling*) pode ser das mais apelativas. De facto, os transportes de retorno em vazio representam cerca de 25% da distância total percorrida pelos veículos na Europa [7]. Dado que as distâncias em vazio representam apenas custos para a empresa, é imperativo rentabilizar as viagens de retorno.

A colaboração entre os diversos agentes da cadeia logística é uma opção utilizada pelas empresas para maximizar a eficiência dos transportes e diminuir as viagens em vazio, sendo fundamental para uma cadeia de abastecimentos eficaz. Por vezes, a colaboração permite também reduzir o número de veículos utilizados no transporte. Colaborar é particularmente crítico nas cadeias de abastecimentos orientadas pela procura, em que se exige que as organizações participantes respondam rapidamente às mudanças na procura, particularmente quando a mesma é volátil e imprevisível [8].

As vantagens de cadeias logísticas colaborativas prendem-se com: maior sustentabilidade económica (redução dos custos operacionais), contribuição para uma cadeia sustentável do ponto de vista ambiental (redução de emissão dos gases de efeito de estufa) e benefícios sociais (rotatividade reduzida de motoristas) [9]. No entanto, a colaboração não é consideravelmente empregada nas operações logísticas, existindo vários estudos demonstrativos das limitações que existem na colaboração entre as entidades da mesma cadeia de abastecimentos. Um grande obstáculo na co-

laboração é o facto de não existir um modelo de tomada de decisão adequado [10]. Assim sendo, para que a colaboração seja profícua deve existir um acordo entre os diversos agentes que colaboram relativamente à partilha de benefícios da mesma de forma a que estabilidade seja atingida (todas as entidades da colaboração têm lucros económicos).

A motivação deste trabalho, bem como os principais objetivos, são descritos de seguida.

1.1 Motivação

No setor agroalimentar, grande parte dos custos operacionais são inerentes ao transporte dos produtos e a cooperação logística é cada vez mais considerada uma abordagem viável para reduzir custos e aumentar os níveis de serviço. Assim sendo, esta dissertação emerge com o propósito de estudar o planeamento de cadeias de abastecimento colaborativas, debruçando-se no estudo do transporte colaborativo entre um retalhista, um operador logístico e um conjunto de fornecedores.

Na indústria agroalimentar, uma estratégia colaborativa bem delineada é essencial dada a perecibilidade dos produtos, pois estes precisam de ser entregues no destino o mais rapidamente possível, nas condições necessárias (por exemplo, existem por vezes requisitos de temperatura) e ao menor custo, a fim de evitar desperdícios. Adicionalmente, a emissão de gases poluentes com efeito de estufa no transporte de produtos até ao consumidor final assume grande preponderância, sendo cada vez mais importante para as empresas da cadeia de abastecimentos, tornar a cadeia eficiente do ponto de vista económico, mas também ambiental. Logo, torna-se evidente a necessidade de definir um modelo de transporte colaborativo eficiente e eficaz que funcione como um meio facilitador de otimização de recursos e minimização de riscos, com vista à sustentabilidade.

A literatura existente explorou empiricamente os benefícios da colaboração e os seus impactos no desempenho das operações logísticas, mas ainda faltam estudos que explicam o desenvolvimento da colaboração na cadeia de abastecimentos [11]. Assim, como o número de trabalhos nas áreas de colaboração e *backhauling* ainda não é muito significativo, existe muito potencial de crescimento nestas áreas, tanto do ponto de vista académico como do ponto de vista empresarial.

A colaboração abordada neste trabalho envolve três tipos de entidades: um retalhista, um operador logístico e um conjunto de fornecedores. Uma vez que estas entidades operam em diferentes níveis da Cadeia de Abastecimento (CA), a colaboração é dita vertical. Por envolver três entidades de diferentes níveis da CA e com objetivos totalmente distintos, este trabalho acaba por ser diferenciador e disruptivo comparando com a maioria dos trabalhos anteriores descritos na literatura.

Os temas abordados neste trabalho (gestão da cadeia de abastecimentos, colaboração na área dos transportes e sustentabilidade) são bastante atuais e pertinentes. Assim, esta dissertação pretende explorar estes conteúdos e apresentar uma proposta que visa contribuir para o desenvolvimento destas temáticas.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é estudar o planeamento de transporte colaborativo entre um retalhista, um operador logístico e um conjunto de fornecedores que operam na mesma cadeia de abastecimento e nas mesmas áreas geográficas. Assim sendo, o trabalho de investigação procura contribuir para o desenvolvimento de novas abordagens de transporte colaborativo entre empresas que se encontram em níveis da cadeia de abastecimento diferentes, levando a que o potencial do transporte de retorno seja aproveitado.

Os objetivos específicos da dissertação são:

- Caracterização geral das entidades envolvidas na colaboração;
- Desenvolvimento de um modelo matemático geral para o *backhauling* colaborativo;
- Identificação das vantagens e limitações resultantes da colaboração entre as entidades envolvidas;
- Realização da análise de sensibilidade aos diversos parâmetros do problema;
- Estudo de uma metodologia de partilha de benefícios coerente e justa.

O cumprimento destes objetivos permitirá determinar o impacto da colaboração vertical do ponto de vista económico e ambiental, bem como os ganhos gerais para a rede e ganhos individuais de cada entidade.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação é constituída por seis Capítulos. No Capítulo 2 é apresentado o estado de arte que aborda as seguintes temáticas: definição de CA, planeamento e gestão colaborativa na CA, métodos colaborativos na CA, *Collaborative Transport Management* (CTM), Partilha de benefícios da colaboração na gestão logística e *Vehicle Routing Problem with Backhauls* (VRPB). No Capítulo 3, é definido o problema, onde são estudados os cenários sem colaboração e com colaboração entre entidades. Adicionalmente, é realizada uma clarificação dos passos necessários por parte das várias entidades, para a realização da colaboração. No Capítulo 4 é proposta uma solução para resolver o problema. Assim, foi elaborado um modelo como meio viabilizador do transporte colaborativo, que procura dar respostas aos objetivos predefinidos. Através deste modelo consegue-se realizar uma comparação entre o cenário de colaboração e o cenário sem colaboração. Posteriormente, no Capítulo 5 é feita uma análise e descrição dos resultados alcançados, procurando-se perceber o impacto que os diferentes parâmetros da colaboração têm no resultado da mesma. Por fim, no Capítulo 6 realizou-se as conclusões do estudo, além de se ter clarificado as limitações deste e algumas recomendações/sugestões para futuras investigações.

Capítulo 2

Estado de Arte

Neste capítulo estão patentes os resultados do estado de arte efetuado no âmbito desta dissertação. O estado de arte focou-se nos métodos colaborativos na CA, com destaque para as iniciativas colaborativas na logística dos transportes. Também foi realizado o estudo sobre quais os métodos mais utilizados na partilha de benefícios em problemas logísticos e quais as vantagens e desvantagens de cada um. Além disto, estudou-se o *Vehicle Routing Problem with Backhauls* (VRPB).

A primeira Secção (2.1) aborda a temática das Cadeias de Abastecimento, focando-se também no Planeamento e Métodos Colaborativos na CA. Na Secção 2.2 foram estudados os métodos usados na partilha de benefícios (alocação de custos) entre as entidades da colaboração. A Secção 2.3 explora a temática do *Vehicle Routing Problem with Backhauls* (VRPB), problema central nesta dissertação, pois através do VRPB conseguem-se identificar as rotas realizadas no cenário com colaboração.

2.1 Cadeia de Abastecimento

Uma Cadeia de Abastecimento (CA) consiste no conjunto de todas as partes envolvidas, direta ou indiretamente, no atendimento de uma solicitação do cliente. A cadeia de abastecimentos inclui não apenas o fabricante e os fornecedores, mas também transportadores, distribuidores, retalhistas e até os próprios clientes [1]. Uma questão importante ao projetar uma ótima cadeia de abastecimentos é determinar a maneira como os produtos são movidos da fábrica para o cliente. A área da Logística estuda este movimento de mercadorias ao longo da cadeia de abastecimentos [12]. A *Association for Operations Management* define logística como “a arte e a ciência de obter, produzir e distribuir material e produto no local apropriado e em quantidades adequadas”. Neste âmbito, é relevante explorar ao máximo esta arte de modo a que a cadeia de abastecimentos funcione de forma profícua. A Figura 2.1 mostra as diferentes fases de uma cadeia de abastecimentos.

Como uma CA é composta por vários agentes e pelas ligações que têm uns com os outros, o desempenho da CA depende de todos os elementos e não apenas do desempenho de cada um em separado. Para gerir a cadeia como um todo, é preciso definir um planeamento integrado, com preocupações de coordenação e controlo de todos os processos e atividades de negócio dentro da

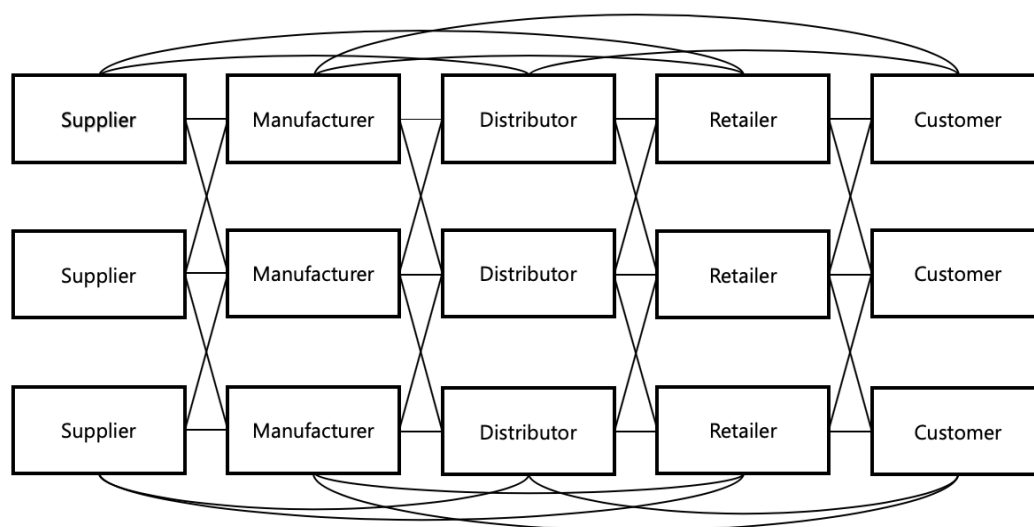


Figura 2.1: Fases de uma Cadeia de Abastecimento (Adaptada de [1])

CA de longo prazo, de médio prazo e de curto prazo (planeamento estratégico, planeamento tático e planeamento operacional, respetivamente). Estes planeamentos estão separados por hierarquias consoante o horizonte temporal para o qual são planeados [1].

O planeamento estratégico refere-se a todas as decisões estratégicas tomadas tendo em consideração o longo prazo (de um a cinco anos). Durante esta fase, uma empresa decide como estruturar a CA nos próximos anos. As decisões estratégicas tomadas pelas empresas incluem a escolha do local e das capacidades das instalações de produção e armazenamento, a definição dos produtos a serem fabricados ou armazenados em vários locais, além da escolha dos modos de transporte a serem utilizados [1].

Relativamente ao Planeamento tático, as decisões tomadas consideram o horizonte temporal de um trimestre a um ano. O objetivo do planeamento tático é maximizar o excedente da CA que pode ser gerado no horizonte de planeamento, dadas as restrições estabelecidas durante a fase estratégica ou de projeto. O planeamento inclui a tomada de decisões sobre quais mercados serão fornecidos, a subcontratação de certas funções e a definição das políticas de *stock* a serem seguidas [1].

Considerando o Planeamento operacional o horizonte de tempo aqui é semanal ou diário. Durante esta fase, as empresas tomam decisões sobre pedidos individuais de clientes. O objetivo deste planeamento é lidar com os pedidos recebidos dos clientes da melhor maneira possível. Como as decisões operacionais são tomadas no curto prazo (minutos, horas ou dias), há menos incerteza sobre as informações de procura [1].

De forma a que consigam exponenciar os seus lucros, as empresas devem ter por base o planeamento num horizonte temporal alargado e a importância da colaboração nos transportes. Além disto, ao maximizarem a utilização dos seus ativos de transporte irão contribuir para a redução de emissões de gases de efeito de estufa (GEE) para a atmosfera, contribuindo para a sustentabilidade do nosso planeta.

2.1.1 Gestão Colaborativa na CA

Atualmente, a literatura sobre os métodos colaborativos, bem como os benefícios recorrentes da sua implementação, ainda se encontram em estado embrionário. Assim, surge a necessidade de clarificar determinados conceitos importantes para a compreensão desta dissertação, tais como Colaboração, Colaboração na CA e Gestão Colaborativa da CA.

Diversos autores definiram a colaboração na CA como o processo pelo qual duas ou mais empresas que compõem a cadeia trabalham em conjunto para alcançarem objetivos comuns, com o intuito de fazer com que o planeamento e a execução das operações dentro da CA sejam mais eficientes, acrescentando valor ao consumidor final através da satisfação das suas necessidades mais emergentes. Além disto, estes defendem que a colaboração é o ponto de partida para uma gestão da cadeia de abastecimentos eficaz, sendo necessária para que as empresas continuem competitivas [13] [14] [15]. No entanto, para a colaboração ser uma realidade são necessários grandes níveis de compromisso e de envolvimento de todas as partes colaborantes, o que na prática por vezes é complexo de se obter. Por exemplo, nas operações de transporte, a colaboração geralmente envolve apenas alguns parceiros, porque à medida que o número de parceiros cresce, a cooperação torna-se mais problemática e onerosa [16]. Apesar disso, convém ressaltar que o aumento do número de participantes na colaboração tende a aumentar o benefício global da mesma.

De acordo com [17], uma CA colaborativa significa simplesmente que duas ou mais empresas ou departamentos independentes trabalham em conjunto para planejar e executar operações da CA com maior sucesso do que quando atuam isoladamente. No entanto, apesar de a colaboração se basear num objetivo mútuo, é um processo de interesse próprio no qual as empresas só participarão se contribuir para a sua própria sobrevivência.

Em [18] é clarificado que a colaboração exige um trabalho conjunto entre as diversas entidades compartilhando processos, tecnologias e informação para tentar maximizar o valor para todo o grupo e seus clientes. Neste trabalho os autores desenvolveram uma pesquisa sobre se a colaboração está a ter benefícios para as organizações, concluindo que existem proveitos económicos da colaboração entre empresas, no entanto, os gestores devem fazer mais para obter ganhos a longo prazo formalizando os relacionamentos [18].

A noção de partilha de informação é frequentemente promovida como um elemento essencial da colaboração. Na verdade, é a explosão de novas possibilidades de partilha que está a ocorrer devido à evolução das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) nos últimos anos que muitos autores atribuem como um elemento-chave no aumento da desejabilidade da colaboração [19]. De acordo com [20] muitos têm estudado a implantação e utilização de aplicações informáticas que facilitam a colaboração através do intercâmbio de informações entre organizações. No entanto, apesar do amplo reconhecimento do valor das TIC na literatura sobre a cadeia de abastecimento, os aspetos tecnológicos das aplicações TIC são raramente discutidos. Por exemplo, pouco se sabe sobre que combinações de aplicações de TIC podem facilitar a colaboração num contexto logístico e de transporte e como essas aplicações devem ser integradas [21]. Uma exceção notável é encontrada em [22], que recomendam a integração de diferentes aplicações informáticas para

permitir a integração das funções de armazenamento e transporte na cadeia de abastecimento.

Existem três tipos de colaboração na CA, dependentes da relação entre as entidades: Horizontal (entre entidades do mesmo nível da CA), Vertical (entre entidades de diferentes níveis), e Lateral (que combina os benefícios e partilha de capacidades de ambas) [17]. O presente trabalho é focado numa colaboração Vertical, visto que a colaboração é entre entidades em diferentes níveis da CA (operador logístico, retalhista e fornecedores), além disto, as entidades da colaboração possuem modelos de negócio distintos e objetivos diferentes.

A Gestão Colaborativa na CA, tem sido continuamente reconhecida na literatura por viabilizar desempenhos superiores na qualidade, no tempo, no custo e na utilização dos ativos da CA. Isto deve-se ao facto de a Gestão Colaborativa incentivar a cooperação, a participação e a resolução conjunta de problemas entre parceiros, através do planeamento conjunto e da definição de objetivos comuns [15]. Neste contexto, os métodos colaborativos tornam-se relevantes para alcançar a colaboração entre as empresas numa mesma CA tornando as empresas mais sustentáveis do ponto de vista económico e ambiental.

Em [23] desenvolve-se o estudo de parcerias entre empresas de transporte. São desenvolvidos 4 esquemas colaborativos, tendo-se concluído que a colaboração leva a uma redução dos custos para as empresas envolvidas.

Contudo, diversos estudos sugerem que as características e os conceitos subjacentes aos métodos colaborativos possuem um carácter generalista, fazendo com que as empresas estejam relutantes na aplicação destes métodos. Não existe atualmente um suporte suficientemente fidedigno e consistente na literatura que encoraje as empresas a colocá-los em prática, tal como é sucintamente explanado no ponto seguinte, onde são descritos alguns métodos.

2.1.2 Métodos Colaborativos na CA

Tal como referido anteriormente, na prática, as vantagens e desvantagens dos métodos colaborativos não são facilmente mensuráveis, impossibilitando análises tangíveis e suficientemente consistentes relativamente à eficácia da implementação destes métodos.

A despeito de todas as condicionantes encontradas e tendo em consideração a importância das relações de colaboração na CA, algumas práticas e métodos foram desenvolvidos com o objetivo de integrar as atividades das empresas, realizar a troca de informações, melhorar os seus processos internos e o fluxo dos produtos. Esses métodos, conhecidos como programas de resposta rápida (PRR) são formas pelas quais as empresas integram e partilham as suas informações com os membros da CA, proporcionando uma tomada de decisão mais clara e eficaz [24].

Segundo a literatura, os métodos de colaboração mais abordados na prática dizem respeito a colaborações verticais:

- i. *Vendor Management Inventory (VMI)* - é uma das iniciativas de colaboração mais discutidas para melhorar a eficiência da cadeia de abastecimentos de várias empresas. Também conhecido como reabastecimento contínuo, foi popularizado no final dos anos 80 pela *WalMart* e *Procter & Gamble* [25]. Um desafio no VMI é que tanto o vendedor quanto o comprador

tentam alcançar o menor nível de *stock* possível, portanto, é difícil gerir a coordenação de inventário entre eles [26]. Este método envolve que o retalhista confie no fornecedor, uma vez que o fornecedor pode-se aproveitar do retalhista ao colocar mais produtos do lado deste para venda [27]. Ou seja, a confiança é o alicerce dos métodos colaborativos.

- ii. *Efficient Consumer Response* (ECR) - surgiu com o compromisso de diminuir os custos de inventário e proporcionar uma maior oferta de produtos ao cliente em termos de variedade, qualidade e menor custo [27]. Em [28] os autores apresentam o método ECR como o método pioneiro a partir dos anos 90 no Reino Unido, onde as práticas colaborativas focavam-se na redução de inventários e numa maior agilidade do fluxo de informações. Segundo [29] o ECR envolve reengenharia, redesenho e informatização da cadeia de abastecimentos e visa fornecer o maior valor possível ao consumidor. Assim, este método está preocupado em transformar um sistema *push* num sistema *pull*, em que os parceiros comerciais formam novas relações de aliança e o reabastecimento dos produtos da loja é iniciado através dos dados do ponto de venda [30]. Portanto, é um método muito focado nas necessidades dos clientes.
- iii. *Collaborative Planning Forecasting Replenishment* (CPFR) - surgiu em 1995, através de uma parceria entre a *WalMart*, a *Warner-Lambert*, a *Surgency* e as companhias de software *SAP* e *Manugistics*. O objetivo do CPFR é fazer com que a incerteza relativamente à procura e fornecimento seja eliminada, por meio de comunicações aprimoradas entre os parceiros da CA [31]. Segundo [32], o CPFR agrega valor à CA através da redução do *stock* e aumento do nível de serviço ao cliente, alcançando melhor correspondência entre procura e oferta. No entanto, a implementação bem-sucedida do CPFR não é uma tarefa superficial. Requer recursos organizacionais mais intensivos que o VMI, além da necessidade de confiança mútua entre os diversos parceiros comerciais. Consequentemente, a literatura revela o facto de que a adaptação de níveis mais altos de colaboração entre membros de uma cadeia de abastecimentos cria maiores benefícios. Por outro lado, também vemos que os custos operacionais e de desenvolvimento de uma colaboração altamente integrada são mais altos. Ou seja, enquanto o CPFR elimina a maioria dos problemas encontrados nos programas VMI, os custos de investimento e operação do CPFR são substancialmente mais altos, além de ter maiores dificuldades de implementação. De facto, essas dificuldades podem explicar o facto de muitos dos programas CPFR não irem além de um número limitado de categorias de produtos ou de um pequeno conjunto de parceiros comerciais [33]. Portanto, existe um *trade-off* entre os benefícios e as dificuldades de implementação aquando da utilização deste método, logo, caso as empresas queiram utilizar este método de colaboração, é necessário que determinem o nível certo de colaboração nas suas cadeias de abastecimento.

Embora todas estas iniciativas colaborativas incidam essencialmente na gestão de inventários, estas também poderão ser aproveitadas para otimizar a CA ao nível dos transportes de mercadorias. Como hoje em dia o mercado é muito competitivo e o consumidor atual está cada vez mais atento e informado, tentar implementar uma iniciativa colaborativa na CA por si só não é suficiente. É

necessário que esta colaboração entre entidades da mesma CA promova a sustentabilidade das empresas envolvidas e da sociedade a que todos pertencemos.

Posto isto, um dos campos de atuação do CPFR é na gestão do transporte de mercadorias, fazendo emergir um novo conceito utilizado no campo dos transportes, logística e gestão da CA: *Collaborative Transportation Management* (CTM).

O CTM é de certa forma uma extensão do método de colaboração CPFR, simplesmente com maior foco na área dos transportes. Ou seja, o CPFR baseia-se principalmente na colaboração entre compradores e vendedores, enquanto o conceito de CTM adiciona um *loop* à relação de colaboração para incluir prestadores de serviços de transporte, agregando valor a todo o processo de colaboração.

Os resultados da investigação presentes em [34] revelam que o CTM pode reduzir significativamente os custos totais do retalhista e melhorar o seu nível de serviço. Neste artigo é referida também a importância de os parceiros de negócios colaborarem para fortalecer a comunicação, partilhar informações e garantir a eficiência da entrega física. É por isso que a colaboração entre parceiros numa CA tornou-se um tópico de grande interesse para muitos e um elemento essencial da estratégia das empresas.

O uso do CTM nos processos de negócios tem em vista a proliferação da eficiência nos processos de planeamento e uma melhor execução da atividade de transporte. No entanto, de acordo com [35] o que falta no modelo de CTM é uma compreensão real do valor que pode oferecer a todos os agentes que estão envolvidos na colaboração. Este estudo empírico enfatiza também como os agentes aprendem com a sua experiência nos processos de colaboração [35]. Este tópico é interessante, pois a aprendizagem dos agentes ao longo do processo de colaboração levará a que a mesma tenha resultados mais interessantes no futuro.

De acordo com [36] o CTM não é apenas uma nova estratégia entre os fornecedores e os transportadores, mas também um novo modelo de negócio. Esse modelo inclui o transportador como um parceiro estratégico para a partilha de informações na CA. A aplicação do CTM promete reduzir os tempos de trânsito e os custos totais para o retalhista e seus fornecedores, aumentando a utilização de ativos para as transportadoras. Os programas beneficiam as três partes envolvidas: o retalhista, o fornecedor e a transportadora.

Atualmente, é importante que as empresas trabalhem juntas para eliminar ineficiências, reduzir custos e garantir a excelência na movimentação de mercadorias. Em [37] é salientado que para alcançar os resultados positivos do CTM, os processos entre as empresas participantes devem ser em tempo real, extensíveis, automatizados e com boa relação custo-benefício. Outra contribuição do CTM, apresentada por [38], é o auxílio na eliminação de incertezas do abastecimento e da procura através da melhoria na comunicação e colaboração entre os parceiros da CA. Além disto, os sistemas de CTM proporcionam visibilidade do estado dos carregamentos (em espera, em execução etc.). Isto facilita a gestão do serviço do transportador ao possibilitar ações proativas e, assim, conseguem-se reduções nos custos de recursos humanos e melhoria no nível de serviço oferecido aos clientes.

Em [39] explora-se o conceito de CTM e discute-se especificamente o papel da tecnologia da informação nos processos de CTM, bem como seus benefícios subjetivos e quantificáveis. Um caso de estudo descritivo de um fornecedor de sistemas CTM é empregado para investigar os processos e benefícios do CTM. Os autores concluíram que a implementação do CTM requer sistemas que possibilitem a colaboração interorganizacional de maneira econômica e tecnologicamente compatível. Sem esses sistemas, as empresas que tentam aplicar o CTM podem achar esta iniciativa ineficaz e difícil de gerir. Uma limitação desta pesquisa, no entanto, é que é de natureza descritiva e oferece evidências dos benefícios do CTM com base em dados agregados. Portanto, os autores salientam que é necessário desenvolver modelos que meçam e quantifiquem os benefícios do CTM de uma forma mais precisa.

Apesar dos benefícios deste método, não existe uma definição exata do método na literatura que providencie um conjunto de passos a seguir. No entanto, vários investigadores fazem referência à necessidade de um planeamento que tenha em vista um horizonte temporal alargado, para que se verifiquem melhorias na eficácia e eficiência na colaboração da CA.

2.2 Partilha dos Benefícios da Colaboração

Na revisão de literatura efetuada sobre colaboração ficou claro que para que a colaboração na área dos transportes produza resultados satisfatórios, é necessária a clarificação de como os benefícios entre as entidades da colaboração são partilhados. Assim sendo, em [40] é definido que as poupanças com a colaboração são consideráveis geralmente na faixa de 5 a 15%. Mas os benefícios podem ser muito superiores (na ordem dos 30%) [41]. No entanto, há várias questões a serem acordadas antes que qualquer planeamento colaborativo possa ser usado na prática. Uma questão fundamental é definir como os benefícios económicos (na forma de redução de custos ou aumento das receitas) devem ser distribuídos entre os participantes.

Na literatura existem vários métodos de partilha de benefícios, no entanto, destaca-se o *Shapley Value* (SV) pela sua utilização recorrente. Em [40] é referido que o SV é baseado em quatro axiomas formulados por *Shapley* em 1953. Estes axiomas expressam que uma solução de alocação de custos deve satisfazer as propriedades de eficiência (a soma dos valores de *Shapley* de todos os agentes é igual ao valor da colaboração, de modo que todo o ganho é distribuído entre os agentes), simetria (afirma que todos os agentes que trazem exatamente o mesmo benefício para a colaboração devem receber os mesmos pagamentos), propriedade *dummy* (sintetiza que participantes fictícios recebam um pagamento igual ao valor exato que eles alcançam por conta própria) e aditividade. O SV fornece-nos uma alocação de custos única. No entanto, não há garantia geral de que seja estável, por exemplo, não satisfaz necessariamente a racionalidade individual de cada um dos participantes na colaboração [40].

No artigo [42] propõe-se outra maneira de introduzir os pesos dos participantes no SV, chamado de valor ponderado modificado de *Shapley* (MWSV). A principal desvantagem deste trabalho é que ele pode alocar *payoffs* negativos, portanto não estáveis.

Em [43] os autores investigam um problema de colaboração entre transportadoras e propõem vários mecanismos de alocação de lucro combinando o conceito de solução principal com o SV, alocação proporcional e alocação baseada em contribuição. Inspirados neste trabalho, em [10] os autores propõem um valor ponderado de contribuição e poder, que leva em consideração o *bargaining power* dos participantes (definido de acordo com diferentes pesos atribuídos a cada jogador), o SV e a estabilidade do núcleo. A este novo método deram o nome de *Contribution-and-power weighted value* (CPWV).

Em [44] compara-se o SV com um novo método específico de problemas denominado de *Cost of non-delivery weighted cost allocation method*. Provou-se que um método adequado de alocação de custos pode fornecer um incentivo para que cada parceiro se comporte de uma maneira que beneficie a colaboração. Se um parceiro perceber que a sua parcela alocada no custo da colaboração é muito alta ou que a parcela dos lucros é muito baixa, poderá deixar de colaborar [44]. No entanto, este método (*Cost of non-delivery weighted cost allocation method*) apesar de ser mais interessante que o SV no que concerne principalmente a permitir que os parceiros da colaboração se comportem de uma forma mais flexível, como é aplicado a um problema que permite que um ou mais clientes não sejam visitados, não pode ser aplicado a este caso de estudo.

Em [45] mostra-se que existem diferenças significativas entre os métodos de alocação e examina-se o impacto da definição de ganho, definindo a partilha de ganhos a curto prazo (diário) ou a longo prazo (mensalmente). Também se define que em vez de dividir o ganho da colaboração entre os parceiros, a colaboração também pode concordar em partilhar o custo total. Nesse caso, é usado um método de alocação de custos.

Em [46] procura-se conceber mecanismos de alocação de custos que garantam a sustentabilidade da colaboração. Desenvolveu-se, primeiro, mecanismos de alocação de custos com propriedades bem conhecidas da literatura, tais como equilíbrio orçamental (*budget balance*), estabilidade e monotonicidade cruzada (*cross-monotonicity*). Depois, definiu-se um conjunto de novas propriedades, associadas ao problema em questão, e propuseram-se vários regimes de afetação de custos que poderiam conduzir a soluções implementáveis.

No artigo [45] clarifica-se que o ganho de uma sub-colaboração nunca pode exceder o ganho total da colaboração. Nesse caso, uma sub-colaboração com melhor desempenho poderia ser formada deixando de fora alguns parceiros. Neste artigo também se afirma que ao escolher um método de partilha de benefícios, um certo incentivo é dado aos parceiros da colaboração. Porque se eles puderem melhorar as características levadas em consideração pelo método de alocação, um ganho maior poderá ser alocado para esse parceiro.

Se o método *Volume-based allocation* for escolhido, os parceiros que enviarem grandes volumes de carga são favorecidos, embora os seus envios possam não ser tão eficientes para a colaboração. Este método, portanto, incentiva o crescimento [45].

O *Alternative cost avoided method* (ACAM) produz resultados semelhantes ao SV. Estes dois métodos enfatizam bastante a eficiência, levando em consideração o custo marginal dos diferentes parceiros em cada (sub) colaboração. Aqui, a eficiência de um único parceiro (por exemplo, o parceiro está a participar bastante) é recompensada [45].

O *Nucleolus* refere-se à estabilidade a longo prazo. Portanto, nenhum parceiro sente o incentivo para abandonar a colaboração. Afirma-se, portanto, que o *Nucleolus* incentiva a estabilidade dos parceiros [45].

O método *Equal profit method* (EPM) só pode ser calculado se a colaboração for estável. É possível observar que, devido ao facto de o EPM usar poupanças relativas, os parceiros com um alto custo total independente, portanto ineficientes, são favorecidos às custas dos eficientes. Pode-se argumentar que isso pode resultar numa alocação injusta se os parceiros diferirem significativamente [45].

No artigo [47] é analisado um caso de estudo em que se procura estabelecer uma colaboração entre empresas produtoras de vacinas. Os autores estabelecem quatro regras proporcionais de alocação de custos que poderão levar a uma colaboração estável. Estas quatro regras são bastantes simples, fáceis de implementar e comunicar. Portanto, são muito usadas na prática. Neste trabalho irão ser usadas três das quatro regras de alocação de custos definidas neste artigo.

2.3 Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB)

O *Vehicle Routing Problem* (VRP) visa construir rotas para um conjunto de veículos homogêneos, a fim de atender um conjunto de clientes, e foi introduzido na literatura por [48]. Cada cliente é visitado uma vez por um veículo, cada rota de um veículo começa e termina no entreposto e algumas restrições laterais são satisfeitas. O VRP está entre os problemas mais estudados nos domínios da investigação operacional e da otimização combinatória. A sua relevância deriva da sua aplicação direta nos sistemas do mundo real que distribuem bens e prestam serviços vitais para as economias modernas [49]. Refletindo a grande variedade de condições presentes nesses sistemas, a literatura de VRP está dispersa por dezenas de variantes [3]. Por exemplo, existem variantes que consideram janelas temporais, depósitos múltiplos, frota de veículos mistos, entregas divididas, recolhas e entregas, precedentes, restrições de carga complexas, etc.

Uma extensão do VRP é o *Vehicle Routing Problem with Backhauls* (VRPB). No VRPB, o conjunto de clientes é dividido em clientes que exigem entregas (*linehaul customers*) e clientes de retorno que exigem recolhas (*backhaul customers*). Todas as rotas devem conter pelo menos um *linehaul customer*. Todas as entregas devem ser carregadas no entreposto e todas as recolhas devem ser transportadas para o entreposto [50] [4].

O VRPB visa determinar um conjunto de rotas de veículos de modo a que:

- i. cada rota de um veículo comece e termine no entreposto;
- ii. cada veículo execute exatamente uma rota;
- iii. cada cliente é visitado por exatamente um veículo;
- iv. em cada rota, primeiramente são visitados os *linehaul customers* e de seguida são visitados os *backhaul customers*;
- v. a carga levada por cada veículo, em cada rota, não pode exceder a sua capacidade;

- vi. o custo total de viagem é minimizado;
- vii. não podem ser criadas rotas apenas com *backhaul customers*.

Em [2] é clarificada a diferença entre o VRPB clássico (*classical VRPB*) e o VRPB misto (*mixed VRPB*). No VRPB clássico que é o caso explorado neste trabalho, os clientes de *backhaul* só podem ser visitados após os clientes de *linehaul* terem sido todos servidos. No VRPB misto, o objetivo e as limitações são os mesmos que no VRPB clássico, à exceção do facto de os *backhauls* poderem ser servidos antes de todos os clientes de *linehaul*. Isto torna o problema misto mais complicado do que o do VRPB clássico, devido à carga flutuante. No VRPB clássico é suficiente verificar se a carga total dos clientes de *linehaul* e a carga total dos clientes de *backhaul* para cada rota não excederem separadamente a capacidade máxima do veículo. No VRPB misto, a carga do veículo pode diminuir ou aumentar após a visita a cada cliente, dependendo se o veículo entrega ou recolhe carga, respetivamente. Por conseguinte, é necessário verificar constantemente se a capacidade do veículo não é excedida em qualquer arco ao longo do percurso. O VRPB misto não tem recebido tanta atenção na literatura como o VRPB clássico, pelo facto de que em muitas situações práticas, os clientes de *linehaul* terem precedência sobre os clientes de *backhaul* [51].

Na Figura 2.2 mostra-se como um cliente de *backhaul* pode estar posicionado de forma diferente dependendo se o problema é o VRPB clássico ou o VRPB misto. Por exemplo, na solução clássica o cliente de *backhaul* B1 é forçado a ser servido após a visita dos quatro clientes de *linehaul*, o que significa que o veículo passa perto de B1 mas não pode visitá-lo antes do cliente L5 ser servido. Por conseguinte, o veículo é forçado a afastar-se de B1 e depois, para visitar este cliente, tem de regressar a um ponto próximo dos clientes que ocorre muito mais cedo ao longo do percurso. A solução mista permite a visita ao cliente B1 após o cliente L2 e antes do cliente L3, o que origina um percurso muito mais curto [2].

Uma outra extensão do VRPB é o VRPB com *pickup and delivery* em que se assume que os clientes de *linehaul* são os mesmos de *backhaul* [52]. Contrariamente, no VRPB clássico e misto, os *linehaul* e *backhaul* são entidades diferentes. Esta dissertação foca-se no VRPB clássico.

Em [53] investigam o FSMVRPB (*The Fleet Size and Mixed Vehicle Routing Problem with Backhauls*) que é uma variante do VRPB que considera a frota de veículos heterogénea. Este problema tem ampla aplicabilidade para as empresas de logística que desejam determinar a composição de sua frota de veículos, além de operar as rotas de entrega com eficiência a fim de obter vantagem competitiva.

Em [4] estabelece-se que a importância do problema VRPB é relativa ao esforço contínuo para reduzir os custos de distribuição, aproveitando a capacidade não utilizada de um veículo vazio que volta para o centro de distribuição. Neste artigo é proposta uma metodologia de solução do VRPB dividida em duas fases. Na primeira fase, é gerada uma solução inicial viável de alta qualidade, baseada em curvas de preenchimento de espaço. Na segunda fase, esta solução é melhorada com base na otimização dos sub-problemas identificados num modelo matemático desenvolvido para resolver o problema em questão.

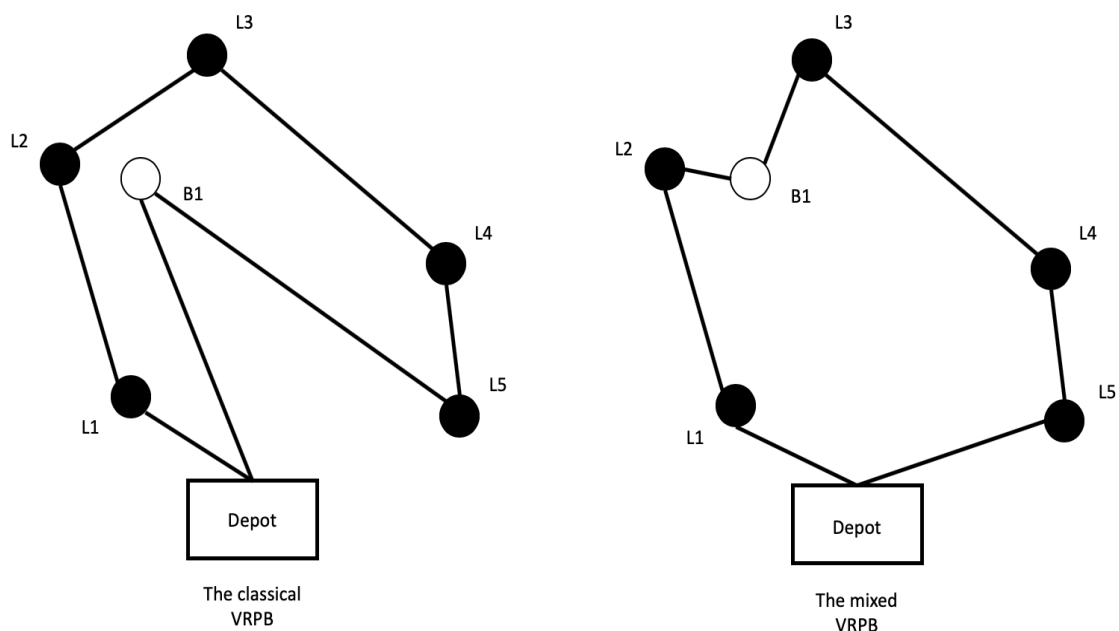


Figura 2.2: Um exemplo do VRPB clássico vs VRPB misto (Adaptada de [2])

No artigo [54] propõem uma formulação de programação linear inteira mista para o VRPB, baseada na generalização do *Open Vehicle Routing Problem* (OVRP). O OVRP difere do VRP porque os veículos não precisam de voltar ao entreposto. Portanto, as rotas dos veículos não são caminhos fechados, mas abertos [55]. Assim, em [54] procuram eliminar a possibilidade de gerar soluções formadas por *subtours* utilizando um conjunto de novos constrangimentos centrados na obtenção de soluções válidas formadas por caminhos Hamiltonianos e ligadas por *tie-arcs*. Os resultados computacionais mostram que a formulação proposta é competitiva em relação aos métodos exatos mais avançados da literatura para casos de VRPB.

Em [56] os autores descrevem duas heurísticas construtivas que geram soluções iniciais rapidamente. As soluções iniciais são então aprimoradas por uma meta-heurística *Reactive Tabu Search*. O conceito reativo é usado de uma nova maneira para acionar a alternância entre diferentes estruturas de vizinhança para as fases de intensificação e diversificação da pesquisa. Os resultados obtidos mostram que a meta-heurística proposta é robusta e competitiva com as melhores abordagens da literatura.

No artigo [57] é apresentada uma formulação de programação inteira que resolve o VRPB clássico. É descrito um procedimento que calcula um limite inferior válido para o custo ótimo da solução, combinando diferentes métodos heurísticos. Os testes computacionais realizados mostram a eficácia dos algoritmos propostos na solução de problemas até 100 clientes [57].

Mais recentemente neste artigo [58] descreve-se um novo algoritmo de busca local iterativo determinístico que visa resolver o VRPB. O algoritmo usa um mecanismo de intensificação quando encontra uma solução melhor que a atual ou identifica uma nova melhor solução. Este método foi testado usando um grande número de problemas de *benchmark* escolhidos na literatura. Os

testes computacionais realizados provaram que este algoritmo compete com os algoritmos mais conhecidos em termos de qualidade das soluções e, ao mesmo tempo, é mais simples e rápido.

Em [59] é desenvolvido uma heurística unificada capaz de lidar com a maioria das variantes do VRPB. Os autores concluíram que a combinação de muitas vizinhanças torna mais fácil para a heurística de pesquisa local explorar o espaço de soluções. Os resultados alcançados são muito promissores, pois os autores encontraram uma nova melhor solução para 67% dos problemas testados.

Vários estudos que exploram o VRPB foram aplicados a problemas reais e obtiveram resultados interessantes, conseguindo-se ter um impacto relevante na sociedade [50]. Por exemplo, em [60] os autores modelaram o VRPB como um problema de *set covering* e desenvolveram um algoritmo de ramificação e limite para a sua solução. Após a aplicação do método a quantidade de redistribuição foi reduzida e o orçamento de transporte reduzido em US \$ 450.000. Além disso, o programa está a ser executado de forma bastante eficaz por um funcionário com experiência limitada em computadores pessoais. Recentemente, em [61] estudou-se o VRPB misto com carga heterogênea e janelas de tempo sendo desenvolvido um algoritmo *ant colony*. Foram utilizadas as principais características deste tipo de sistemas, como a robustez de busca. O algoritmo foi então aplicado a um caso de estudo, resolvendo um problema de transporte com 84 nós para os Correios na província de Guangzhou na China. Os autores usaram dados de expedição do centro de distribuição Wusan para otimizar o tipo de veículo, o número do veículo e as rotas. O método conseguiu reduzir o custo total até 9% em comparação com o plano de roteamento atual.

No artigo [41], a diminuição de emissão de GEE é avaliada utilizando o VRPB com janelas de tempo, considerando a energia necessária para cada rota e estimando a carga e a distância entre clientes. Utilizando o método evolucionário *scatter search*, foram analisados problemas da literatura com um máximo de 100 clientes distribuídos aleatoriamente. Os resultados indicam que a distância percorrida e os custos de transporte aumentam à medida que a energia necessária diminui, mas a quantidade de combustível consumida também diminui; portanto, a emissão de GEE também diminui. Portanto, é um exemplo de como o VRPB pode contribuir para a sustentabilidade ambiental das CA.

O problema de VRPB foi resolvido no máximo até 100 clientes. Acima deste valor de clientes conseguem-se aproximações à solução ótima utilizando metaheurísticas, tal como demonstrado nos trabalhos anteriores. O estudo dos algoritmos associados ao VRPB tem potencial de desenvolvimento nos próximos anos. Considerando os avanços nos algoritmos heurísticos e exatos para VRPs, bem como a tecnologia de computadores, há espaço para progressos significativos nos modelos e métodos de solução [50].

Nesta dissertação utilizar-se-á programação linear inteira para resolver o problema de VRPB delineado, visto que, o número de clientes será inferior a 100, em todas as instâncias testadas.

2.4 Considerações Finais

Os conceitos explorados ao longo do estado da arte foram essenciais para desenvolver uma solução pertinente para o problema que a presente dissertação procura solucionar. Esta solução teve como fundamento a definição simplificada do que se entende por CA e por colaboração na CA. O estudo da gestão colaborativa na CA permitiu perceber que para as entidades colaborarem é necessário um conjunto de pressupostos serem satisfeitos tais como: sistemas de TIC robustos, empenho dos diversos agentes da colaboração e elevados níveis de confiança e compromisso entre as entidades da colaboração.

Relativamente ao modo como as empresas colaboram (integração horizontal, vertical ou lateral), o presente trabalho incidiu numa colaboração vertical, uma vez que se trata da colaboração entre entidades em diferentes níveis da CA (operador logístico, retalhista e fornecedores). Também foram identificados os métodos colaborativos na CA mais comumente referenciados na literatura.

Como se pretende que todos os participantes da colaboração sintam que a mesma é próspera economicamente, foram estudados diversos mecanismos de partilha de benefícios. Dado que os métodos proporcionais de partilha de benefícios são usualmente empregues na prática, serão estes os investigados na dissertação.

Por fim, dado que se pretende resolver um problema em que se utiliza o transporte de retorno (*Backhauling*), desenvolveu-se um estudo profundo sobre o VRPB. Foi realizado um enquadramento sobre as metodologias mais frequentemente utilizadas para resolver o VRPB, procurando também referir alguns casos em que a investigação do VRPB implicou a resolução de um problema real. O estudo do VRPB permitiu desenvolver um modelo matemático adequado ao problema em análise nesta dissertação. Este é indispensável, pois os resultados obtidos com o mesmo servem de base para a análise efetuada no Capítulo 5.

Capítulo 3

Definição do Problema

O problema que esta dissertação aborda focaliza-se nas operações de transporte de uma CA genérica, tentando-se analisar o potencial de colaboração no transporte de retorno em diferentes cenários.

Neste capítulo é apresentada a definição do problema, estabelecendo-se os procedimentos associados aos cenários sem e com colaboração entre entidades. O problema a ser atacado na presente dissertação foi motivado pelo retalho alimentar, no entanto, pode ser aplicado noutras indústrias. Ou seja, na definição do problema desta dissertação procurou-se ser o mais genérico possível de forma a que diversas empresas consigam aplicar as metodologias explicitadas.

Primeiramente define-se o estado atual da cadeia de abastecimento em estudo (cenário sem colaboração) na Secção 3.1. As possíveis interações entre entidades num cenário de colaboração são descritas na Secção 3.2.

O método de resolução deste problema tem em vista tentar definir como será feita a colaboração entre as seguintes entidades da mesma CA: um retalhista, um operador logístico e um conjunto de fornecedores. Para uma melhor compreensão do problema em estudo é importante perceber como as diferentes entidades interagem nos diferentes cenários propostos.

3.1 Cenário sem colaboração entre entidades

Neste cenário é considerado um conjunto de práticas comuns às atividades de transporte realizadas nas CA. No cenário em que não existe colaboração entre entidades o que se verifica é que duas entidades realizam as suas operações de transporte de forma independente, ou seja, o retalhista abastece as suas lojas através dos seus centros de distribuição e os fornecedores entregam a mercadoria individualmente no entreposto do retalhista. Neste cenário o operador logístico não participa nem nas operações do retalhista nem nas atividades de transporte dos fornecedores.

Assim sendo, o retalhista entrega a mercadoria nas suas lojas, ou seja, o objetivo neste cenário é a construção de rotas para um conjunto de veículos, a fim de atender um conjunto de clientes. Cada cliente é visitado uma vez por um veículo, cada rota de um veículo começa e termina no entreposto.

Aos clientes (lojas) é entregue mercadoria. No entanto, o transporte de retorno (*backhauling*) é realizado em vazio. Ou seja, não se aproveita o potencial que este transporte poderia ter.

Por outro lado, um conjunto de fornecedores que se encontram relativamente distanciados do retalhista, transportam os seus produtos individualmente para o entreposto do mesmo. Este transporte é usualmente externalizado e o seu custo incluído no preço da mercadoria paga pelo retalhista. Na Figura 3.1 demonstram-se os dois percursos associados aos cenários sem colaboração. De referir que o percurso do retalhista sem colaboração (à esquerda) está associado ao VRP, sendo importante realçar que na figura está exemplificada apenas uma rota.

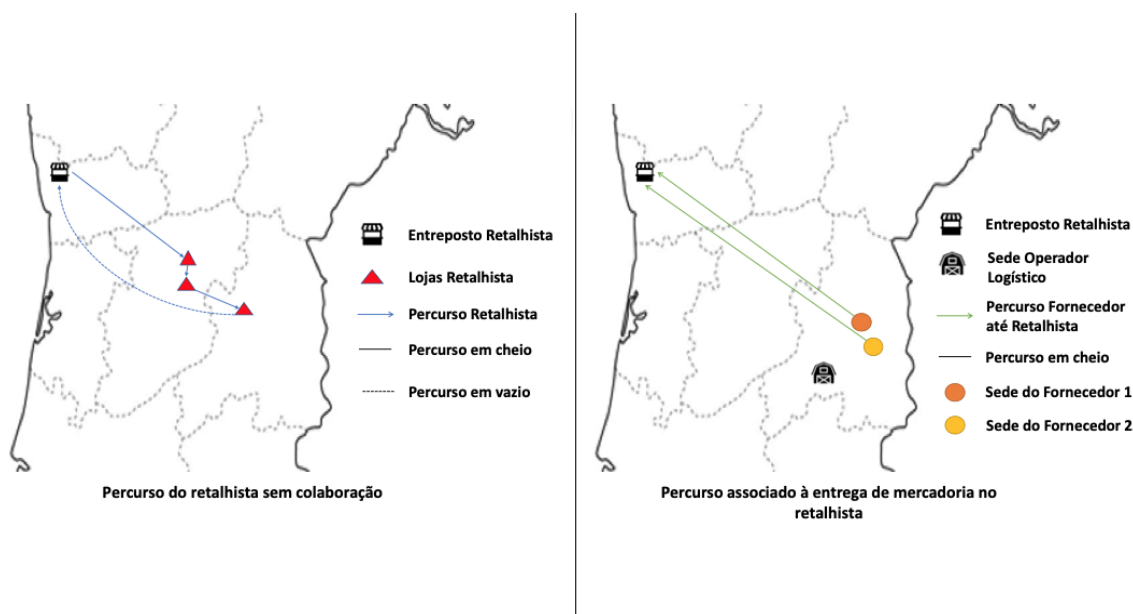


Figura 3.1: Percursos associados ao cenário sem colaboração

Ao descrever as operações do retalhista, evidencia-se a existência de rotas realizadas em vazio que poderiam ser aproveitadas com o intuito de diminuir custos e/ou aumentar lucros, através duma colaboração entre entidades. Esta atividade de transporte dentro de uma CA é considerada uma das mais importantes e cruciais operações. Neste âmbito, o transporte de mercadorias não deve ser gerido de forma isolada, mas sim em colaboração entre todas as entidades da CA. Logo, pretende-se estudar como é que uma colaboração vertical no planeamento dos transportes, entre um retalhista, fornecedores e um operador logístico, pode ser despoletada, preservando os interesses de todas as partes envolvidas.

3.2 Cenário com colaboração entre entidades

No cenário em que as entidades colaboram, é assumido que o retalhista já não realiza o transporte de retorno (*backhauling*) em vazio, pois além de entregar a mercadoria nas lojas, faz a recolha de mercadoria na Sede do operador logístico, voltando maioritariamente cheio ao entreposto.

Assim, neste cenário consegue-se aproveitar o potencial do *backhauling*, sendo uma solução interessante para as empresas pelos potenciais benefícios económicos e ambientais que proporciona. Para que a recolha de mercadoria seja possível, os fornecedores têm de entregar os seus produtos na Sede do operador logístico. Esta entrega é individual, estando cada fornecedor responsável pela sua mercadoria. O operador logístico armazena a mercadoria até ao retalhista fazer a recolha da mesma.

De salientar que este cenário está associado a um problema de VRPB na perspetiva do retalhista, visto que, o conjunto de clientes é dividido em clientes que exigem entregas (*linehaul customers*) e clientes de retorno que exigem a recolha (*backhaul customers*). O problema em estudo apenas considera um único *backhaul customer* que é o operador logístico. Este tipo de problema baseia-se num processo de *backhauling* que está exemplificado na Figura 3.2 em que só se apresenta uma rota do VRPB.

O objetivo deste estudo reside em compreender em que condições a colaboração pode ser benéfica para todas as entidades envolvidas na mesma.

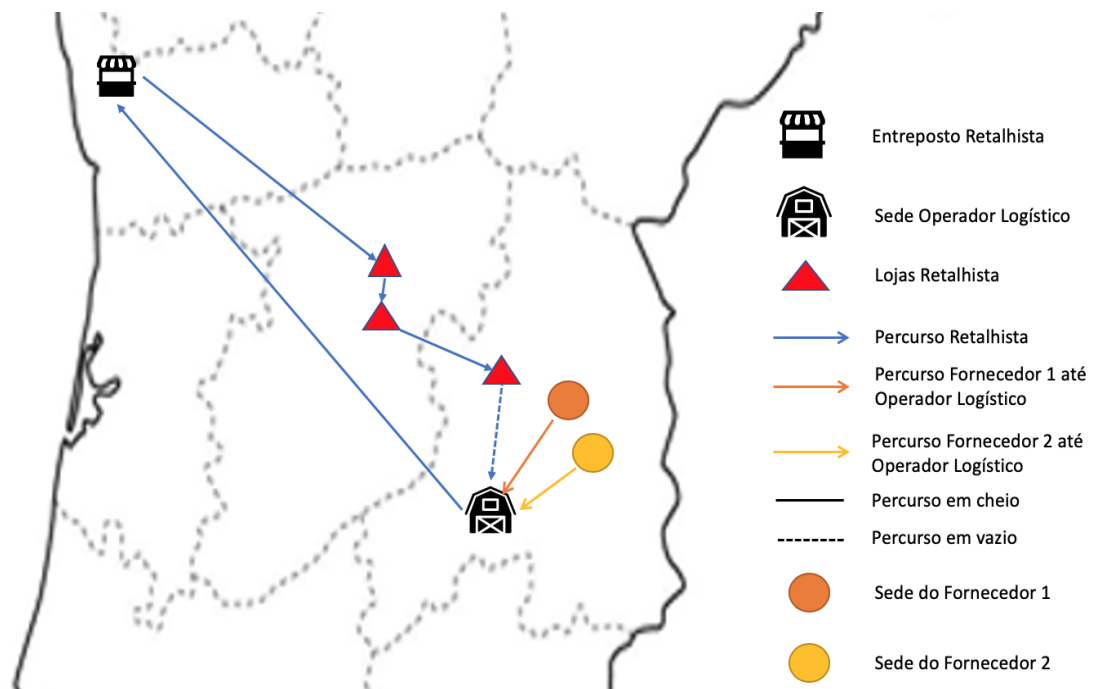


Figura 3.2: Percurso associado ao cenário com colaboração

Capítulo 4

Solução Proposta

A solução proposta para atacar o problema abordado nesta dissertação, descrito no capítulo anterior, é fundamentada no estado de arte.

O Modelo Matemático desenvolvido é descrito na Secção 4.1 e os parâmetros da sua implementação são descritos na Secção 4.2. A validação do modelo é descrita na Secção 4.3 e por fim, na Secção 4.4 são definidos os métodos de partilha de benefícios investigados nesta dissertação.

4.1 Modelo Matemático desenvolvido

O modelo matemático elaborado baseia-se no modelo desenvolvido em [53], sendo utilizado para resolver o FSMVRPB (*The Fleet Size and Mixed Vehicle Routing Problem with Backhauls*). O modelo original é aplicado a uma frota de veículos heterogénea. No presente trabalho, esse modelo foi adaptado para considerar uma frota de veículos homogénea. Assim, o parâmetro que define o número de tipo de veículos foi fixado a 1. O modelo original foi também adaptado ao VRP, para se estudar o cenário sem colaboração. Por fim, foi introduzido o parâmetro z que toma o valor 1 caso se realize o VRPB e 0 caso se realize o VRP. Assim, com este modelo consegue-se comparar o cenário sem colaboração (VRP) com o cenário em que as entidades colaboram (VRPB).

Notações

- L Conjunto de clientes de *linehaul* indexado de $1, \dots, l$, (entrepósito é indexado a 0).
- B Conjunto de clientes de *backhaul* indexado de $l + 1, \dots, n$.
- n Número total de clientes.
- Q Capacidade dos veículos.
- d_i Procura do cliente i ($i = 1, \dots, n$).
- c_{ij} Custo de viagem do nó i para o nó j .

NV Número total de veículos.

z Parâmetro que define se se realiza o cenário sem colaboração ou o cenário com colaboração (1 se VRPB e 0 se VRP).

M Número que tende para infinito.

Variáveis de decisão

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se o arco (i,j) é atravessado por um veículo} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

ψ_{ij} = Carga do veículo no arco do cliente i para o cliente j.

Função objetivo

$$\min \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n c_{ij} x_{ij} \quad (4.1)$$

Restrições

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, l \quad (4.2)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, l \quad (4.3)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ij} = z \quad j = l+1, \dots, n \quad (4.4)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ij} = z \quad i = l+1, \dots, n \quad (4.5)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ip} = \sum_{j=0}^n x_{pj} \quad p = 0, \dots, n \quad (4.6)$$

$$\sum_{i=0}^l \psi_{ij} = \sum_{l=0}^n \psi_{jl} + d_j \quad j = 1, \dots, l \quad (4.7)$$

$$\sum_{l=l+1}^n \psi_{jl} + \psi_{j0} = \sum_{i=1}^n \psi_{ij} + z \times d_j \quad j = 0 \text{ e } j = l+1, \dots, n \quad (4.8)$$

$$\psi_{ij} = 0 \quad i = 0, \dots, l \quad j = 0 \text{ e } j = l+1, \dots, n \quad (4.9)$$

$$\psi_{ii} = 0 \quad i = 0, \dots, n \quad (4.10)$$

$$\sum_{i=l+1}^n \psi_{i0} = z \sum_{i=l+1}^n d_i \quad (4.11)$$

$$\sum_{j=1}^l \psi_{0j} = \sum_{j=1}^l d_j \quad (4.12)$$

$$x_{0j} = 0 \quad j = l+1, \dots, n \quad (4.13)$$

$$x_{ij} = 0 \quad i = l + 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, l \quad (4.14)$$

$$\psi_{ij} \leq x_{ij} \times Q \quad i \neq j = 0, 1, \dots, n \quad (4.15)$$

$$\sum_{i=1}^l x_{0j} \leq NV \quad (4.16)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i = 0, \dots, n \quad j = 0, \dots, n \quad (4.17)$$

$$\psi_{ij} \geq 0 \quad i = 0, \dots, n \quad j = 0, \dots, n \quad (4.18)$$

O objetivo do modelo, representado pela função objetivo (Equação 4.1), é minimizar o custo total de transporte que depende da distância percorrida.

As restrições (4.2) e (4.3) garantem que cada cliente de *linehaul* é visitado exatamente uma vez e apenas por um veículo. As restrições (4.4) e (4.5) asseguram que cada cliente de *backhaul* é visitado exatamente uma vez e apenas por um veículo se se pretender realizar um VRPB. As restrições (4.6) garantem que o veículo sai de cada nó que visita. Enquanto que as restrições (4.7) e (4.8) representam o fluxo de carga ao longo da rota e garantem a eliminação de *subtours*.

Considerando as restrições (4.9), estas confirmam que a carga de todos os arcos dos clientes de *linehaul* para os clientes de *backhaul* ou para o entreposto é 0 (os veículos estão vazios nesses arcos). As restrições (4.10) garantem que não há carga no arco (i, i) enquanto que a restrição (4.11) impõe que a carga total de todos os veículos que retornam dos clientes de *backhaul* ao entreposto seja exatamente igual à soma da procura dos clientes de *backhaul*. Da mesma forma, a restrição (4.12) assegura que a carga total de todos os veículos que saem do entreposto seja igual à soma da procura dos clientes de *linehaul*. As restrições (4.13) impedem que qualquer rota comece do entreposto para qualquer cliente de *backhaul* e em (4.14) garante-se que nenhum veículo passa de um cliente de *backhaul* para um cliente de *linehaul*.

As restrições (4.15) restringem a carga do veículo de exceder a capacidade do veículo usando o arco (i, j) e a restrição (4.16) assegura que o número de veículos máximo não é ultrapassado.

Por fim, as restrições (4.17) e (4.18) definem o domínio das variáveis de decisão.

O modelo desenvolvido considera unicamente o transporte do retalhista. A abordagem seguida foi a comparação entre os cenários de VRP (sem colaboração) e VRPB (com colaboração entre as entidades operador logístico, fornecedores e retalhista). Assim, calculou-se o valor da função objetivo para o VRPB (definindo z com valor 1) e para o VRP (definindo z com o valor 0). De seguida, calculou-se o Benefício Económico da Colaboração (BEC) através da seguinte fórmula:

$$BEC = CTFR + CTVRP - CTA - CTFOL - CTVRPB \quad (4.19)$$

CTFR define os custos de transporte dos fornecedores até ao retalhista no cenário sem colaboração. CTVRP diz respeito ao custo de transporte realizado dos retalhistas para os clientes estando associado ao VRP (resultado do valor da função objetivo para o VRP). CTA corresponde ao custo de armazenamento da mercadoria no operador logístico e CTFOL representa o custo de

transporte dos fornecedores até ao operador logístico. Por fim, CTVRPB corresponde ao custo de transporte associado ao VRPB (resultado do valor da função objetivo para o VRPB). De forma a que a colaboração seja profícua economicamente pretende-se que o valor de BEC seja alto.

Caso se realize o VRPB, os ganhos económicos da colaboração são partilhados entre todas as entidades de acordo com um dos mecanismos de partilha de benefícios explicitados na Secção 4.4.

Tendo em conta o exposto em [23], através do valor de BEC calculou-se o valor do Benefício Ambiental da Colaboração (BAC). Realizou-se uma conversão direta entre a distância - consumo de combustível - Gases de Efeito de Estufa (GEE). Esta não é a melhor abordagem para determinar o impacto ambiental (por exemplo, não tem em conta a carga dos veículos) no entanto, muitos trabalhos da literatura demonstram a importância do seu uso. Assim sendo, calculou-se BAC através da seguinte fórmula:

$$BAC = \frac{BEC + CTA}{CVTRQ} \times CQ \times GEEPL \quad (4.20)$$

CVTRQ é o custo variável de transporte por quilómetro (considerou-se 0,8 euros por quilómetro). CQ representa o combustível gasto por quilómetro (assumiu-se 0,469 litros por quilómetro de acordo com [23]) e GEEPL representa a quantidade de GEE emitidos para a atmosfera por litro de combustível gasto (definiu-se 2,79 Kg por litro considerando [23]). De salientar que a unidade de BAC é em Kg e este representa a poupança da quantidade de GEE emitidos para a atmosfera que se consegue com a colaboração. Portanto, o valor de BAC deve ser o maior possível de forma a que se consiga um impacto ambiental significativo com a colaboração.

4.2 Implementação do Modelo

Para a implementação do modelo foi elaborado um programa que resolve o modelo matemático desenvolvido com recurso ao *solver software Gurobi* (versão 9.0.1). A linguagem utilizada para desenvolvimento do modelo foi *Python*. A Figura 4.1 ilustra o funcionamento do programa.



Figura 4.1: Programa desenvolvido para a obtenção das rotas a serem realizadas pelo retalhista

O modelo é alimentado com dados provenientes de um ficheiro que contém as distribuições referentes ao posicionamento dos clientes e operador logístico. Estas distribuições podem ser de 3 tipos (*Random*, *Cluster* e *Random_Cluster*) tal como explicitado na Subsecção 4.2.1. Assim, com este ficheiro consegue-se ter acesso às distâncias entre todas as lojas e entrepostos do retalhista e operador logístico. Além disto, o modelo também é alimentado com outro tipo de dados como a procura de cada loja. O programa retorna um ficheiro com todos os dados considerados relevantes, tais como o valor das variáveis de decisão, a diferença de custos entre VRP e VRPB, o valor de BEC, os custos de transporte de cada fornecedor até ao operador logístico, o custo de armazenagem da mercadoria e os custos de transporte de cada fornecedor até ao retalhista, além de outros dados associados ao impacto ambiental como poupança no combustível e nas emissões, por exemplo.

4.2.1 Tipos de Distribuição geográfica

Optou-se por usar 3 tipos de distribuição geográfica de clientes, que permitissem estudar qual a disposição de clientes que promove melhores valores de BEC e BAC. As distribuições usadas foram a *Random*, a *Cluster* e a *Random_Cluster* e são do artigo [62]. Na distribuição *Random* os clientes estão dispostos aleatoriamente, enquanto na distribuição *Cluster* os clientes estão agrupados em grupos relativamente separados uns dos outros. A distribuição *Random_Cluster* é uma mistura das distribuições *Random* e *Cluster*. A Figura 4.2 ilustra as 3 distribuições utilizadas.

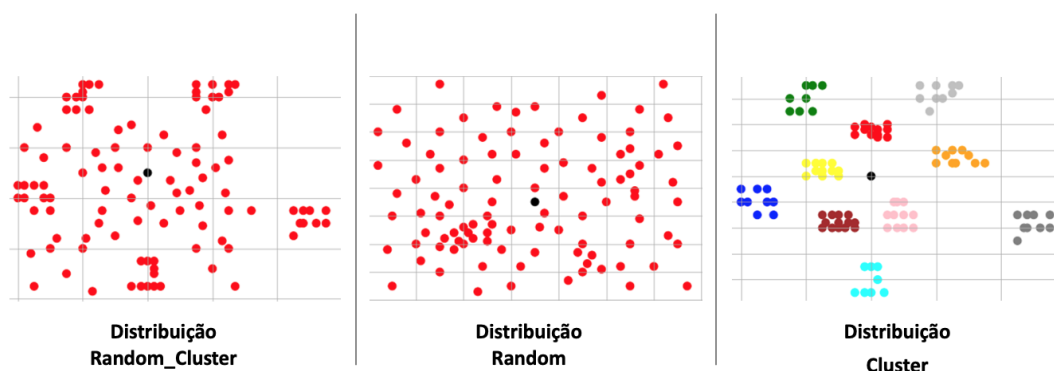


Figura 4.2: Distribuições de clientes utilizadas

De salientar que a preto está representado o entreposto do retalhista e com as outras cores representam-se os clientes de *linehaul* ou *backhaul* utilizados. Cada uma das distribuições tem 100 clientes. Relativamente à distribuição *Cluster* optou-se por definir cores diferentes para cada um dos *Clusters* de forma a conseguir diferenciar cada grupo.

Cada ponto de cada uma das distribuições está associado a um valor no eixo x e a um valor no eixo y. Com estes valores calculou-se a distância euclidiana entre dois pontos através da seguinte fórmula:

$$\text{distância euclidiana} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (4.21)$$

Em que x_1 corresponde à posição x do ponto 1, x_2 corresponde à posição x do ponto 2, y_1 corresponde à posição y do ponto 1 e y_2 corresponde à posição y do ponto 2.

O problema associado a este caso de estudo vai ser analisado com diferentes números de clientes portanto, gerou-se amostras mais pequenas a partir da população utilizada. Ou seja, outro aspeto muito importante a considerar é como escolher a localização das entidades deste problema. Considerando os clientes de *linehaul* e *backhaul* além do entreposto poderiam ser tomadas diversas abordagens, no entanto, optou-se por definir a localização destas entidades de acordo com a Figura 4.3 em que n corresponde ao número total de clientes.

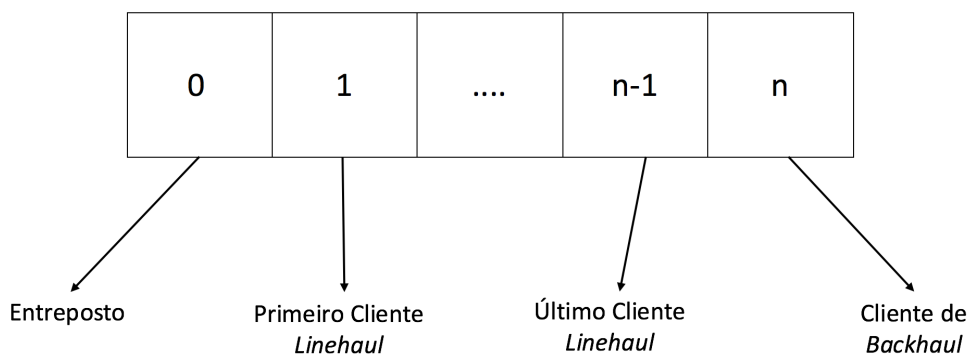


Figura 4.3: Atribuição do posicionamento do entreposto e dos clientes de *linehaul* e *backhaul* para uma distribuição específica

Ou seja, o ficheiro de entrada possui um conjunto de localizações ordenadas de 0 a 100 para cada tipo de distribuição (*Cluster*, *Random* e *Random_Cluster*). Assim, numa instância com n clientes definiu-se que o entreposto corresponderia sempre à posição 0, os clientes de *linehaul* estariam localizados entre 1 e $n-1$ e à posição n corresponderia o cliente de *backhaul*. Esta foi a metodologia aplicada no que concerne à escolha do posicionamento do entreposto e dos clientes de *linehaul* e *backhaul*, tendo sido empregada em todos os testes realizados.

Relativamente ao posicionamento do fornecedor o objetivo era analisar cenários nos quais este tivesse próximo do cliente de *backhaul* (operador logístico). Assim, definiu-se uma extensão de quilómetros (representada a laranja) através da qual o fornecedor poderia estar posicionado, exemplificada na Figura 4.4.

Deste modo, de acordo com a Figura 4.4, o fornecedor poderia estar distanciado do operador logístico no máximo $\sqrt{2} \times m$ quilómetros. O valor de m escolhido é sempre pequeno não ultrapassando os 15 quilómetros. No capítulo seguinte, clarificam-se os valores de m utilizados.

4.3 Validação do Modelo

Neste tipo de problemas em que se elabora um modelo matemático deve-se validar o modelo desenvolvido, quando possível. Este processo de validação consiste no teste de instâncias de referência (*benchmark*) mencionadas na literatura deste tipo de problemas. Para cada instância

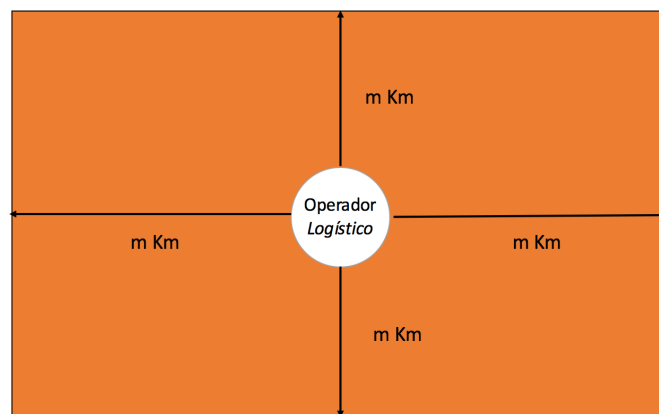


Figura 4.4: Posicionamento do fornecedor

são conhecidas as soluções ótimas, quando possível, ou as melhores até ao momento. Se o valor de solução do teste efetuado for igual a este valor então a implementação do modelo fica validada. Neste trabalho, comparam-se dois cenários (VRP e VRPB). Como existem muitas instâncias de *benchmark* para este tipo de problemas foi possível confirmar se os resultados alcançados em cada um dos cenários eram iguais aos expectáveis.

No caso da validação do cenário de VRP foram testadas algumas instâncias referidas em [49]. A fonte original das instâncias testadas é [3]. Foram testadas 8 instâncias, sendo que os resultados obtidos encontram-se no Anexo A. Relativamente à validação do VRPB, consideraram-se as instâncias apresentadas em [54], sendo a fonte original das instâncias o artigo [4]. Foram testadas 34 instâncias, encontrando-se os resultados no Anexo A.

Em suma, conclui-se que o Modelo implementado está validado, pois, tanto nas instâncias associadas ao VRP como nas instâncias associadas ao VRPB verificou-se que o valor da solução obtido foi sempre igual ao resultado expectável.

4.4 Partilha de Benefícios

Os benefícios alcançados com a colaboração devem de ser partilhados por todas as entidades participantes, de forma a que a mesma seja estável (colaborando todas as entidades têm lucros económicos). Assim sendo, neste capítulo procede-se à explicitação dos três mecanismos (regras) de partilha de benefícios estudados ao longo desta dissertação. Estes três mecanismos estão referidos em [47], sendo que a quarta regra (PSR4) referida neste artigo não foi utilizada por exigir a elaboração de um modelo de otimização.

- Regra de Partilha de Benefícios 1 (PSR 1) - Distribuir uniformemente os lucros coletivos da colaboração entre todos os participantes;
- Regra de Partilha de Benefícios 2 (PSR 2) - Inicialmente distribuir uniformemente os lucros coletivos da colaboração. Depois disso, reembolsar os participantes que tenham uma

perda líquida a custo de uma diminuição uniforme do valor a atribuir aos participantes que apresentem ganhos líquidos;

- Regra de Partilha de Benefícios 3 (PSR 3) - Primeiramente, reembolsar os participantes que tenham tido perdas líquidas e de seguida, distribuir os lucros restantes uniformemente por todas as entidades;

4.4.1 Exemplo Prático relativo à Partilha de Benefícios

Para ilustrar o funcionamento das três regras de partilha de benefícios decorrentes da colaboração demonstra-se um exemplo prático de uma possível colaboração entre 4 entidades: fornecedor 1, fornecedor 2, retalhista e operador logístico.

A instância considerada no exemplo apresentava: 50 clientes (da posição 0 à 50), distribuição geográfica de clientes *Random_Cluster*, valor de m igual a 10 quilómetros e 2 fornecedores.

O custo de armazenamento era 25,3 €, o custo de transporte do fornecedor 1 até ao operador logístico era 4 € e o custo de transporte do fornecedor 2 até ao operador logístico era 4,8 €. Assim sendo, tínhamos uma situação em que cada uma das entidades teria custos individuais com a colaboração que estão manifestados na Tabela 4.1. De referir que, o retalhista não tem custos a suportar com a colaboração.

Tabela 4.1: Responsabilidades a suportar por cada uma das entidades (Exemplo de uma instância)

Entidade	Custo a suportar	Valores (€)
fornecedor 1	Custo de transporte do fornecedor 1 até ao operador logístico	4
fornecedor 2	Custo de transporte do fornecedor 2 até ao operador logístico	4,8
operador logístico	Custo de armazenagem	25,3

No entanto, com esta colaboração existiriam também benefícios, pois os fornecedores deixariam de entregar a sua mercadoria no entreposto do retalhista. Estes benefícios terão de ser partilhados entre todas as entidades de acordo com o racional de cada uma das regras. Os benefícios a partilhar por todas as entidades da colaboração calculam-se tendo em conta a seguinte fórmula:

$$GC = CTFR - (CTVRPB - CTVRP) \quad (4.22)$$

Em que GC representam os ganhos económicos a partilhar por todas as entidades da colaboração. Como para esta instância o custo de transporte da mercadoria dos fornecedores até ao retalhista (CTFR) era 60,81 € e a diferença entre os custos de VRPB e VRP (CTVRPB

- CTVRP) era 0,73 €, o valor de GC é 60,08 €. Tendo em conta este valor, a aplicação de cada uma das regras originaria uma distribuição dos benefícios demonstrada na Tabela 4.2:

Tabela 4.2: Distribuição dos benefícios e variação líquida dos lucros da colaboração (Exemplo de uma instância)

Regras	Distribuição dos benefícios (€)				Variação líquida dos lucros (€)			
	fornecedor 1	fornecedor 2	retalhista	operador logístico	fornecedor 1	fornecedor 2	retalhista	operador logístico
PSR1	15,02	15,02	15,02	15,02	11,02	10,22	15,02	-10,28
PSR2	11,59	11,59	11,59	25,30	7,59	6,79	11,59	0
PSR3	6,50	10,50	11,30	31,80	6,50	6,50	6,50	6,50

Cada linha da Tabela 4.2 está associada a uma regra. Existem quatro colunas associadas à distribuição dos benefícios e quatro referentes à variação líquida dos lucros (ganhos líquidos ou perdas que cada um dos participantes tem com a colaboração). A variação líquida dos lucros de cada entidade (VL) é calculada através da seguinte fórmula:

$$VL = VD - CS \quad (4.23)$$

VD é o valor a distribuir e CS representa o custo a suportar.

Na aplicação da PSR1, dividiu-se uniformemente os ganhos da colaboração levando a que cada participante receba $\frac{60,08}{4} = 15,02 \text{ €}$. De facto, os lucros do operador logístico aplicando esta regra são negativos, logo esta regra desencadeia uma colaboração instável (pelo menos um dos participantes tem prejuízos com a colaboração).

Considerando PSR2, inicialmente distribui-se uniformemente os lucros por todos os participantes, no entanto, como neste caso o operador logístico apresenta lucros negativos, de acordo com esta regra deve-se reembolsar o operador logístico através da diminuição dos lucros das outras três entidades. O resultado final, mesmo assim não é muito interessante para o operador logístico, pois não tem incentivo nem desincentivo para participar na colaboração, visto que, apresenta lucros de 0 €. De facto, se o valor de custos a suportar de qualquer um dos participantes, for superior ou igual aos ganhos da colaboração a dividir pelo número de participantes (neste caso este valor é 15,02 €), então aplicando PSR2 vai existir sempre uma entidade que apresentará lucros iguais a 0 €.

Aplicando PSR3, primeiramente reembolsou-se todos os participantes que tinham custos e de seguida distribuiu-se o restante dos ganhos da colaboração por todos os participantes. Nesta situação, isto envolve distribuir $60,08 - 25,30 - 4,80 - 4,00 = 25,98 \text{ €}$ por todos os participantes. Ou seja, cada entidade que participa na colaboração receberá 6,5 €.

No capítulo seguinte, proceder-se-á a uma análise sobre qual a regra, das três explicitadas, que melhor se aplica ao contexto deste problema.

Capítulo 5

Descrição e análise dos resultados obtidos

Neste capítulo é feita a descrição e análise dos resultados obtidos provenientes do modelo matemático apresentado na Secção 4.1. Ao longo do capítulo é abordado o impacto que alguns fatores deste problema têm no resultado da colaboração. Os fatores avaliados são:

- a distância dos fornecedores ao operador logístico;
- o número de fornecedores;
- o tipo de distribuição geográfica dos clientes;
- a procura dos clientes de *linehaul*.

Variando estes diferentes fatores tentou-se perceber em que situações a sustentabilidade económica da colaboração é alcançável. Além disto, também se explorou a sustentabilidade ambiental procurando medir a poupança na quantidade de gases de efeito de estufa (GEE) emitidos que se consegue optando pelo cenário de colaboração.

Foram testadas instâncias com 25, 35 e 50 clientes, de forma a abranger diferentes números de clientes, podendo assim retirar conclusões mais ricas deste estudo. Os testes foram efetuados em dois computadores com os seguintes processadores: Intel Core i5 a 2,3 GHz e Intel Core i5 a 2,4 GHz. Tal como referido na Secção 4.2.1 foram usados 3 tipos de distribuição geográfica de clientes (*Random*, *Random_Cluster*, e *Cluster*) com uma população de 100 clientes. Com base nesses 100 clientes criaram-se quatro instâncias de 25 clientes (posição 0 à posição 25, posição 25 à 50, posição 50 à 75 e posição 75 à 100), três instâncias de 35 clientes (posição 0 à 35, posição 35 à 70 e posição 65 à 100) e duas instâncias de 50 clientes (posição 0 à 50 e posição 50 à 100).

Para todas as instâncias testadas foram considerados os seguintes parâmetros:

- Custo variável de transporte igual a 0,8 euros por quilómetro;
- Custo de armazenagem de mercadoria no operador logístico de 1,15 euros por palete;

- Capacidade dos veículos igual a 33 paletes;
- A quantidade de combustível gasto pelos veículos é, em média, 46,9 litros por 100 quilómetros, de acordo com [23];
- Procura de cada cliente de *linehaul* definida aleatoriamente pelo programa podendo variar entre 1 e 10 paletes;
- Quantidade de GEE emitidos igual a 2,79 Kg por litro, de acordo com o definido em [23];
- Distância entre qualquer entidade do problema (clientes de *linehaul*, cliente de *backhaul*, retalhista e fornecedores) calculada tendo em conta a fórmula da distância euclidiana referida na Subsecção 4.2.1;
- Foram considerados 2 ou 3 fornecedores;
- Posicionamento dos fornecedores de acordo com o explicitado na Subsecção 4.2.1, em que o valor de m pode ser de 5, 10 ou 15 quilómetros;
- Procura do cliente de *backhaul* (operador logístico) igual a 22 paletes nas instâncias de 2 fornecedores e 33 paletes nas instâncias de 3 fornecedores (cada fornecedor entrega 11 paletes no operador logístico).

Nas instâncias de 25 e 35 clientes conseguiu-se obter a solução ótima em tempos inferiores a 30 minutos na maior parte dos casos, no entanto, pelo facto de tal não se ter verificado nas instâncias de 50 clientes, optou-se por definir um limite máximo de tempo para estas instâncias de 30 minutos. Apesar disto, o gap obtido em todas as instâncias de 50 clientes foi sempre pequeno (inferior a 3%).

Neste capítulo, primeiramente procedeu-se à análise do mecanismo de partilha de benefícios que mais se adequa a este problema na Secção 5.1. Nas quatro secções seguintes é analisada a influência que diversos fatores do problema têm no BEC (impacto económico) e no BAC (impacto ambiental). Por fim, na Secção 5.6 examina-se a poupança que o retalhista pode alcançar com a colaboração uma vez que é este que pode despoletar a mesma.

5.1 Definição do mecanismo de partilha de benefícios

Tal como explicitado na Secção 4.4, quando diversas entidades colaboram com vista a diminuir os custos ou aumentar os lucros de um determinado processo, é essencial que ocorra uma partilha dos benefícios dessa colaboração justa e congruente de forma a que a colaboração seja estável (todas as entidades têm lucros económicos com a colaboração). Assim sendo, foram analisadas três regras explicitadas na Secção 4.4.

Relativamente às instâncias de 2 fornecedores considerou-se uma instância que apresentava: os clientes da posição zero à 25, 2 fornecedores, valor de m associado à distância entre o operador logístico e os fornecedores de 5 quilómetros e distribuição geográfica de clientes *Random_Cluster*.

Na Tabela 5.1 mostram-se os custos a suportar por cada uma das entidades considerando esta instância. De referir que neste caso, o valor de GC que representa sempre o custo de transporte dos fornecedores ao retalhista menos a diferença de custos entre VRPB e VRP, foi de 68,43 €. Tal como referido na Secção 4.4 o retalhista não tem custos a suportar com a colaboração.

Tabela 5.1: Responsabilidades a suportar por cada uma das entidades (Instância com 2 fornecedores)

Entidade	Custo a suportar	Valores (€)
fornecedor 1	Custo de transporte do fornecedor 1 até ao operador logístico	1,8
fornecedor 2	Custo de transporte do fornecedor 2 até ao operador logístico	1,8
operador logístico	Custo de armazenagem	25,3

A Tabela 5.2 apresenta a distribuição dos benefícios e variação líquida dos lucros da colaboração. Aplicando a regra PSR1 ocorre a distribuição uniforme de GC. O valor que o operador logístico recebe é inferior ao custo de armazenamento, portanto, através da PSR1 o operador logístico apresenta lucros negativos. A PSR2 evita que o operador logístico obtenha prejuízo. No entanto, como apenas reembolsa o prejuízo, o operador logístico não obtém qualquer lucro. Logo, com as regras PSR1 e PSR2, o operador logístico não tem qualquer motivação para participar na colaboração. De salientar que em todas as instâncias com 2 fornecedores aplicando a PSR1 o operador logístico tem prejuízos e aplicando a PSR2 o operador logístico tem lucros nulos. Em oposição, a PSR3 permite uma partilha de custos de forma a que todas as entidades obtenham lucro. Esta regra, é portanto, aquela mais promissora para uma partilha justa e coerente, nas instâncias com 2 fornecedores.

Tabela 5.2: Distribuição dos benefícios e variação líquida dos lucros da colaboração (Exemplo de uma instância com 2 fornecedores)

Regras	Distribuição dos benefícios (€)				Variação líquida dos lucros (€)			
	fornecedor 1	fornecedor 2	retalhista	operador logístico	fornecedor 1	fornecedor 2	retalhista	operador logístico
PSR1	17,1	17,1	17,1	17,1	15,3	15,3	17,1	-8,2
PSR2	14,4	14,4	14,4	25,3	12,6	12,6	14,4	0,0
PSR3	11,7	11,7	9,9	35,2	9,9	9,9	9,9	9,9

Relativamente às instâncias de 3 fornecedores, considerou-se a seguinte instância: os clientes da posição zero à 25, 3 fornecedores, valor de m associado à distância entre o operador logístico e os fornecedores de 15 quilómetros e distribuição geográfica de clientes *Random_Cluster*.

Na Tabela 5.3 mostram-se os custos a suportar por cada uma das entidades. De referir que neste caso, o valor de GC foi de 121,198 €.

A Tabela 5.4 apresenta a distribuição dos benefícios e variação líquida dos lucros da colaboração. Aplicando a regra PSR1 ocorre a distribuição uniforme de GC. O valor que o operador

Tabela 5.3: Responsabilidades a suportar por cada uma das entidades (Instância com 3 fornecedores)

Entidade	Custo a suportar	Valores (€)
fornecedor 1	Custo de transporte do fornecedor 1 até ao operador logístico	7,40
fornecedor 2	Custo de transporte do fornecedor 2 até ao operador logístico	7,55
fornecedor 3	Custo de transporte do fornecedor 3 até ao operador logístico	4,31
operador logístico	Custo de armazenagem	37,95

logístico recebe é inferior ao custo de armazenamento (37,95 €), portanto, através da PSR1 o operador logístico apresenta lucros negativos. A PSR2 origina a que o operador logístico tenha lucros nulos. Assim, com as regras PSR1 e PSR2, o operador logístico não tem qualquer motivação para participar na colaboração. De salientar que em todas as instâncias com 3 fornecedores aplicando a PSR1 o operador logístico tem prejuízos e aplicando a PSR2 o operador logístico tem lucros nulos. Por outro lado, a PSR3 permite uma partilha de custos de forma a que todas as entidades obtenham lucro. Esta regra, é portanto, aquela mais promissora para uma partilha justa e coerente, nas instâncias com 3 fornecedores.

Tabela 5.4: Distribuição dos benefícios e variação líquida dos lucros da colaboração (Exemplo de uma instância com 3 fornecedores)

Regras	Distribuição dos benefícios (€)					Variação líquida dos lucros (€)				
	fornecedor 1	fornecedor 2	fornecedor 3	retalhista	operador logístico	fornecedor 1	fornecedor 2	fornecedor 3	retalhista	operador logístico
PSR1	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	16,9	16,7	19,9	24,2	-13,7
PSR2	20,8	20,8	20,8	20,8	38,0	13,4	13,3	16,5	20,8	0,0
PSR3	20,2	20,4	17,1	12,8	50,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8

Os resultados de ambos, com 2 e 3 fornecedores, demonstram que PSR3 é a única regra que resultou numa variação líquida dos lucros positiva para todas as entidades da colaboração. Ou seja, PSR3 garante a estabilidade da colaboração, e portanto foi a regra escolhida para a partilha de benefícios aplicada ao caso de estudo.

5.2 Impacto da distância dos fornecedores ao operador logístico

Relativamente ao parâmetro distância dos fornecedores ao operador logístico pretendeu-se perceber qual o impacto deste fator nos benefícios económicos e ambientais da colaboração. De forma a estudar esta realidade, foi construída uma instância base da qual derivam três instâncias em que todos os parâmetros são iguais, exceto a distância dos fornecedores ao operador logístico (valores de m a variar entre 5,10 e 15 quilómetros).

Foram testadas 54 instâncias base, tal como explicado no Anexo B. Além disto, nesta análise, foram considerados 2 e 3 fornecedores. A Tabela 5.5 mostra os resultados alcançados, demonstrando o valor mínimo e máximo do BEC e do BAC para cada valor de m , além da média do BEC e BAC e da percentagem de instâncias com BEC positivo (BEC pos (%)).

Tabela 5.5: Resultados associados ao impacto da distância dos fornecedores ao operador logístico

<i>m</i> (Km)	Instância	Distribuição	BEC (€)			BAC (Kg)			BEC pos (%)
			Min.	Méd.	Máx	Min.	Méd.	Máx	
5	25 Clientes	<i>Cluster</i>	-23,06	2,56	37,48	3,66	55,91	123,38	50
		<i>Random</i>	-7,19	4,35	14,7	40,73	58,84	79,99	75
		<i>Random_Cluster</i>	-8,92	30,13	62,79	26,79	101,00	164,77	75
	35 Clientes	<i>Cluster</i>	6,80	25,79	40,32	52,50	93,91	128,02	100
		<i>Random</i>	-9,33	8,98	35,73	26,12	66,41	120,51	66,67
		<i>Random_Cluster</i>	-16,17	0,77	23,73	14,93	52,99	100,89	50
	50 Clientes	<i>Cluster</i>	-4,73	15,84	31,63	53,84	77,64	113,81	75
		<i>Random</i>	-18,21	-4,99	15,39	11,60	43,57	87,24	50
		<i>Random_Cluster</i>	-7,2	11,35	35,28	29,60	70,29	119,78	50
10	25 Clientes	<i>Cluster</i>	-33,19	-8,19	29,4	-8,03	38,33	89,47	25
		<i>Random</i>	-15,1	-4,52	6,84	16,68	44,33	66,77	37,5
		<i>Random_Cluster</i>	-18,19	17,67	56,43	11,63	80,63	154,37	75
	35 Clientes	<i>Cluster</i>	-4,43	14,43	21,36	34,13	75,33	97,01	83,33
		<i>Random</i>	-20,11	3,81	32,46	15,40	57,96	115,16	66,67
		<i>Random_Cluster</i>	-27,07	-13,95	-0,06	-2,89	28,90	61,97	0
	50 Clientes	<i>Cluster</i>	-15,78	4,7	24,92	30,57	59,41	102,83	50
		<i>Random</i>	-22,37	-7,21	-0,82	4,79	39,93	60,73	0
		<i>Random_Cluster</i>	-19,87	3,83	37,89	8,88	57,99	124,05	50
15	25 Clientes	<i>Cluster</i>	-43,74	-11,20	35,88	-30,16	33,41	120,76	37,5
		<i>Random</i>	-17,56	-6,25	13,38	12,65	41,50	63,27	25
		<i>Random_Cluster</i>	-39,49	21,70	66,79	-12,02	87,22	171,30	75
	35 Clientes	<i>Cluster</i>	-1,81	18,23	38,31	38,42	81,54	124,73	83,33
		<i>Random</i>	-26,68	-2,04	12,46	18,42	48,39	82,45	50
		<i>Random_Cluster</i>	-26,47	-13,60	4,65	-1,91	29,48	69,68	16,67
	50 Clientes	<i>Cluster</i>	-22,73	2,88	28,72	24,89	56,44	109,05	50
		<i>Random</i>	-40,91	-16,35	-6,18	-4,84	24,98	51,96	0
		<i>Random_Cluster</i>	-23,22	3,54	34,38	3,40	57,52	118,31	50

Analisando a Tabela 5.5 verifica-se que o melhor caso considerando as médias do BEC e do BAC é quando se colabora com *m* igual a 5, com 25 clientes e distribuição geográfica *Random_Cluster*. Enquanto o pior caso é com distribuição geográfica *Random*, 50 clientes e *m* igual a 15.

Outra conclusão que se retira da Tabela 5.5 é que a diferença entre os valores máximos e mínimos de BEC e BAC é muito elevada, em todos os grupos de instâncias. Assim sendo, deve-se ter em conta que sendo o intervalo de valores de BEC e BAC grande este cobre valores positivos e negativos de BEC e BAC em quase todos os casos considerados.

De seguida, procedeu-se à elaboração da Tabela 5.6 para estudar qual o valor de *m* que conduz a uma maior sustentabilidade económica e ambiental da colaboração. De referir que MBEC e MBAC correspondem à média do BEC e do BAC, respetivamente.

Analisando a Tabela 5.6 verifica-se que *m* igual a 5 parece originar resultados mais sustentáveis do ponto de vista económico e ambiental pois o grupo de instâncias com *m* igual a 5 apresenta média do BEC e do BAC mais altas que os grupos de instâncias com *m* igual a 10 e 15. Além disto, salienta-se que a diferença entre o valor máximo e mínimo tanto para o BEC como para o BAC é inferior nas instâncias com *m* igual 5 comparando com as instâncias com *m* igual a 10

Tabela 5.6: Médias e diferenças e entre valores máximos e mínimos de BEC e BAC para cada m

m (Km)	MBEC (€)	máximo - mínimo (BEC) (€)	MBAC (Kg)	máximo - mínimo (BAC) (Kg)
5	11,08	85,85	69,85	161,11
10	1,31	89,62	53,87	162,40
15	0,18	110,53	48,69	201,46

e 15. Portanto, verifica-se que a sustentabilidade da colaboração do ponto de vista económico e ambiental é maior quando o valor de m é mais pequeno.

Tendo em conta a fórmula do BEC expressa na Secção 4.1 estes resultados são expectáveis, pois caso a distância entre os fornecedores e o operador logístico aumente, o custo de transporte dos fornecedores até ao operador logístico aumentará levando a que o BEC diminua.

No entanto, convém salientar que a média do BEC apenas nos diz os ganhos que se obtém com a colaboração. Ou seja, outra análise realizada foi procurar saber que tipo de instâncias promovem mais a formação da colaboração, independente do seu valor de sinergia. Assim, analisando a percentagem de instâncias com BEC positivo expressa na Tabela 5.5, verifica-se que nenhum grupo de instâncias com m igual a 5 apresenta valores da percentagem de BEC positivo inferiores a 50 %, enquanto que com m igual a 10 e 15 existem casos em que esta percentagem é 0 %. Portanto, comprova-se que as instâncias com valores mais baixos de distância entre operador logístico e fornecedores promovem a formação de colaboração de forma mais frequente.

É de salientar também que as conclusões que se retiram do ponto de vista económico e ambiental são sempre iguais, uma vez que o cálculo das emissões está muito correlacionado com a distância, tal como explicado na Secção 4.1.

5.3 Impacto do número de fornecedores

Considerando o parâmetro número de fornecedores, foi assumido que poderiam existir 2 ou 3 fornecedores com cada um deles a entregar 11 paletes no operador logístico. Na análise ao impacto que este parâmetro tem na sustentabilidade económica da colaboração procedeu-se ao mesmo racional que no parâmetro distância dos fornecedores ao operador logístico, ou seja, uma instância base gerava duas instâncias: uma com dois fornecedores e outra com os mesmos dois fornecedores mais um. Assim, conseguiu-se perceber o impacto que o número de fornecedores tem no BEC e BAC.

Nesta análise foram testadas 54 instâncias base, tal como explicado no Anexo C tendo sido considerados dois valores de m : 5 e 10 quilómetros. A Tabela 5.7 mostra os resultados associados ao impacto do número de fornecedores. De referir que NF representa o número de fornecedores.

Na análise da tabela constata-se que o melhor caso, considerando a média do BEC e BAC ocorre com 25 clientes, distribuição geográfica *Random_Cluster* e 3 fornecedores. Enquanto que o pior caso ocorre com 35 clientes, distribuição geográfica *Random_Cluster* e 2 fornecedores.

Tabela 5.7: Resultados associados ao impacto do número de fornecedores

NF	Instância	Distribuição	BEC (€)			BAC (Kg)			BEC pos (%)
			Min.	Méd.	Máx	Min.	Méd.	Máx	
2	25 Clientes	Cluster	-22,83	-2,96	25,18	4,02	36,54	82,57	37,5
		Random	-8,92	3,97	13,07	26,79	47,87	62,76	62,5
		Random_Cluster	-14,54	18,02	39,27	17,60	70,86	105,61	75
	35 Clientes	Cluster	-8,73	13,16	29,75	27,10	62,91	90,04	66,67
		Random	-12,90	-0,89	19,32	20,28	39,93	72,98	50
		Random_Cluster	-10,75	-4,95	-0,67	23,80	33,28	40,28	0
	50 Clientes	Cluster	-17,87	8,81	27,91	12,15	55,79	87,03	50
		Random	-13,35	-4,66	-0,63	19,55	33,76	40,35	0
		Random_Cluster	-20,67	0,06	26,46	7,57	41,48	84,66	50
3	25 Clientes	Cluster	-24,07	-0,6	42,84	22,70	61,09	132,14	37,5
		Random	-11,29	5,98	19,13	43,61	71,85	93,36	62,5
		Random_Cluster	-12,00	32,66	62,52	42,45	115,49	164,33	75
	35 Clientes	Cluster	17,81	32,17	44,54	91,20	114,65	134,92	100
		Random	-13,55	5,39	33,77	39,91	70,88	117,31	50
		Random_Cluster	-15,29	0,72	18,51	37,06	63,25	92,35	33,33
	50 Clientes	Cluster	-15,09	18,70	42,31	37,39	92,66	131,28	75
		Random	-14,67	-2,95	3,82	38,08	57,25	68,32	25
		Random_Cluster	-28,54	1,43	39,60	15,39	64,41	126,84	50

Também se verifica, tal como no caso anterior, que a diferença entre os valores mínimos e máximos de BEC e BAC é elevada para todos os grupos de instâncias. Além disto, nesta análise é importante salientar que a melhor medida para se perceber se compensa colaborar com mais fornecedores não é a média do BEC mas sim o lucro final que cada entidade vai ter com a colaboração, pois com 3 fornecedores a partilha de benefícios da colaboração é entre 5 entidades (fornecedor 1, fornecedor 2, fornecedor 3, retalhista e operador logístico) enquanto que com 2 fornecedores existe menos um fornecedor com quem partilhar os benefícios económicos da colaboração. Posto isto, após a aplicação de PSR3 para partilhar os ganhos económicos da colaboração, foi analisada a média dos lucros finais de cada entidade após a colaboração, tendo sido este o fator a considerar na análise económica do impacto do número de fornecedores. A Tabela 5.8 mostra a média dos lucros finais de cada entidade para as instâncias de 2 e 3 fornecedores. De referir que MLFE representa a média dos lucros finais de cada entidade.

Tabela 5.8: Médias dos lucros finais de cada entidade para as instâncias de 2 e 3 fornecedores

Número de fornecedores	MLFE (€)
2	0,99
3	2,23

Analisando a Tabela 5.8 verifica-se que MLFE é superior nas instâncias de 3 fornecedores relativamente às instâncias de 2 fornecedores. Assim sendo, conclui-se que o aumento do número de fornecedores leva ao aumento do valor da colaboração, nomeadamente através da redução de custos.

Além disto considerando a percentagem de instâncias com BEC positivo (ver Tabela 5.7) verifica-se que existem grupos de instâncias com todos os BEC negativos (percentagem de BEC positivos igual a 0%) nos grupos de instâncias com 2 fornecedores enquanto que com 3 fornecedores as percentagens são maiores, não tendo nenhuma com 0%. Portanto, comprova-se que as instâncias com 3 fornecedores promovem mais a formação de colaboração comparando com as instâncias de 2 fornecedores.

Na perspetiva ambiental foram analisadas as médias e diferença entre o valor máximo e mínimo de BAC nas instâncias com 2 e 3 fornecedores. Os resultados estão presentes na Tabela 5.9.

Tabela 5.9: Médias e diferença entre valor máximo e mínimo de BAC para as instâncias de 2 e 3 fornecedores

Número de fornecedores	MBAC (Kg)	máximo-mínimo (BAC) (Kg)
2	47,12	101,59
3	80,32	148,94

Os resultados alcançados demonstram que a média do BAC é superior nas instâncias de 3 fornecedores, no entanto, a diferença entre o valor máximo e mínimo é maior neste grupo de instâncias. Portanto, considerando a média de BAC compensa colaborar com 3 fornecedores na perspetiva ambiental, mas é de salientar a elevada gama de valores que se pode obter no BAC quando se colabora com 3 fornecedores.

5.4 Influência do tipo de distribuição geográfica de clientes

Neste problema foram utilizadas 3 distribuições geográficas de clientes (*Cluster*, *Random* e *Random_Cluster*) tal como explicado na Subsecção 4.2.1. Como cada distribuição está associada a um posicionamento geográfico diferente dos clientes de *linehaul* e *backhaul*, estudar a influência que a distribuição tem no BEC e BAC é de bastante relevância.

Foram testadas 36 instâncias base, tal como explicado no Anexo D. Nesta análise, foram considerados 2 e 3 fornecedores e o valor de m poderia ser 5 ou 10. Os resultados tanto, na perspetiva ambiental como económica são apresentados na Tabela 5.10.

Primeiramente, verifica-se que a diferença entre os valores máximo e mínimo para o BEC e BAC é significativa. Além disto, constata-se que o grupo de instâncias com distribuição geográfica *Random* e 50 clientes apresentou a média de BEC e BAC mais baixa e percentagem de instâncias com BEC positivo de 25 %. Assim, este grupo de instâncias parece causar poucos benefícios económicos e ambientais às entidades da colaboração.

Tabela 5.10: Resultados associados à influência do tipo de distribuição geográfica de clientes

Distribuição	Instância	BEC (€)			BAC (Kg)			BEC pos (%)
		Min.	Méd.	Máx	Min.	Méd.	Máx	
<i>Cluster</i>	25 Clientes	-30,61	-4,88	40,16	4,49	43,74	127,76	25
	35 Clientes	-7,78	24,31	48,76	28,66	91,49	141,83	83,33
	50 Clientes	-10,96	11,29	43,24	33,5	70,19	132,80	62,5
<i>Random</i>	25 Clientes	-19,20	2,89	17,58	9,98	56,45	90,83	68,75
	35 Clientes	-12,49	4,61	32,33	22,67	59,27	114,95	41,67
	50 Clientes	-16,97	-7,02	7,45	17,01	40,24	68,84	25
<i>Random_Cluster</i>	25 Clientes	-23,83	24,54	68,75	20,98	91,86	174,52	68,75
	35 Clientes	-10,64	-1,24	19,92	23,98	49,70	94,65	25
	50 Clientes	-18,93	6,37	35,13	10,42	62,15	119,53	50

Os resultados alcançados para este grupo de instâncias podem ser justificados tendo em conta que um dos posicionamentos de clientes (desde a posição 0 à 50) deste grupo de instâncias apresentou valores BEC negativos em todas as instâncias. Tal se verificou, pois, o entreposto do retalhista e os fornecedores estão muito próximos o que leva a que os custos associados ao cenário sem colaboração sejam baixos. Como os custos do cenário sem colaboração são baixos, o BEC fica muito pequeno. A Figura 5.1 demonstra o posicionamento de clientes desde a posição 0 à 50 da distribuição geográfica *Random*. De referir que os fornecedores estão próximos do operador logístico (cliente de *backhaul*).

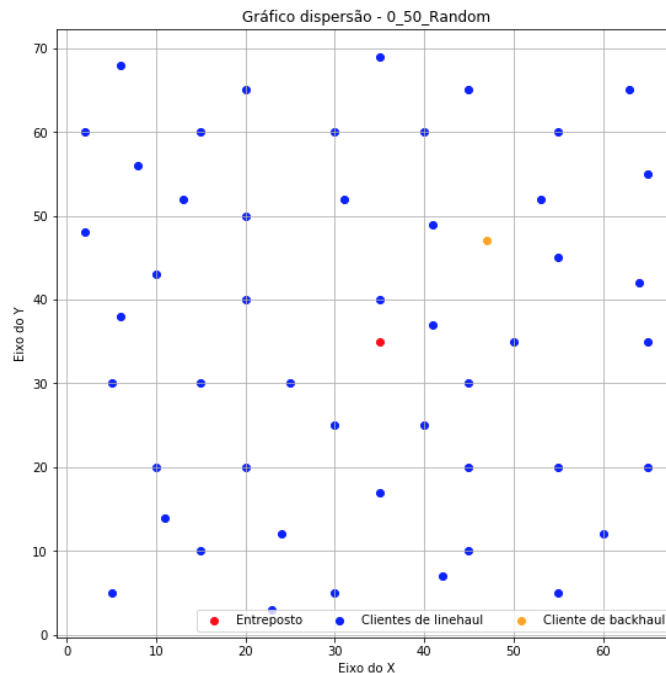


Figura 5.1: Gráfico de dispersão para a distribuição geográfica *Random* com posicionamento de clientes desde a posição 0 a 50

Também se verifica, analisando a Tabela 5.10 que o melhor caso tendo em conta a percentagem de BEC positivos ocorre no grupo de instâncias com 35 clientes e distribuição geográfica

Cluster. Verificou-se que um posicionamento de clientes (desde a posição 65 à 100) deste grupo de instâncias obteve valores de BEC sempre acima de 30 €. A Figura 5.2 mostra o posicionamento de clientes desde a posição 65 à 100 da distribuição geográfica *Cluster*.

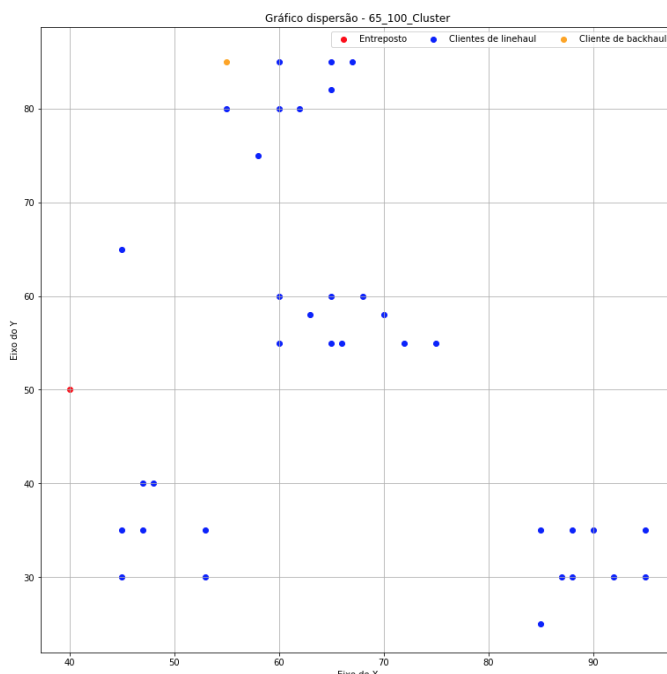


Figura 5.2: Gráfico de dispersão para a distribuição geográfica *Cluster* com posicionamento de clientes desde a posição 65 a 100

Analisando a Figura 5.2, verifica-se que apesar de a distância entre o operador logístico (cliente de *backhaul*) e o entreposto do retalhista não ser muito elevada, existem nas proximidades do operador logístico diversos clientes de *linehaul*, o que faz com que os custos com a colaboração sejam baixos, nomeadamente o custo da diferença entre o VRPB e o VRP. De facto, a média obtida para os custos de diferença entre VRPB e VRP neste posicionamento de clientes foi 2,3 €, um valor muito baixo comparando com outros casos, levando a que os valores de BEC obtidos sejam elevados.

Por outro lado, analisou-se globalmente os tipos de distribuição geográfica, para perceber qual deles originava os melhores valores de BEC e BAC. A Tabela 5.11 mostra os resultados alcançados. De referir que DTR representa os tipos de distribuição.

Tabela 5.11: Médias de BEC e BAC para cada distribuição geográfica de clientes

DTR	MBEC (€)	MBAC (Kg)
<i>Cluster</i>	8,44	65,53
<i>Random</i>	1,26	53,79
<i>Random_Cluster</i>	11,91	71,20

Os resultados alcançados mostram valores mais altos da média de BEC e da média de BAC para a distribuição *Random_Cluster*. A justificação para estes resultados centra-se na distância entre o operador logístico e o entreposto do retalhista.

Tal como explicado na Subsecção 4.2.1, o entreposto representa sempre a posição 0 e o operador logístico a posição n. Portanto, o entreposto do retalhista é fixo, no entanto, o operador logístico pode ir mudando de posição. Assim, calculou-se a média das distâncias entre o operador logístico e o entreposto do retalhista tendo-se obtido 31,40 Km para a distribuição geográfica de clientes *Cluster*, 27,41 Km para *Random* e 36,78 Km para *Random_Cluster*. Logo, percebe-se que pelo facto de a distribuição geográfica de clientes *Random* ter predominantemente distâncias mais baixas entre o operador logístico e o retalhista, origina a que os fornecedores (estão próximos do operador logístico) tenham que percorrer menos quilómetros para entregar a mercadoria ao retalhista fazendo com que os custos sem colaboração sejam baixos, levando a que os valores de BEC e BAC também sejam baixos. Por outro lado, a distância média para as instâncias com distribuição geográfica *Random_Cluster* é a maior fazendo com que os valores de BEC e BAC para estas instâncias sejam superiores aos verificados nas instâncias com distribuição geográfica *Cluster* e *Random*.

5.5 Impacto da procura dos clientes de *linehaul*

Outra análise importante que foi realizada neste trabalho foi perceber se a variação da procura dos clientes de *linehaul* geraria resultados económicos e ambientais diferentes. Assim sendo, foi construída uma instância base da qual derivam duas instâncias em que a única diferença entre elas é a quantidade de paletes a entregar aos clientes de *linehaul*: uma instância com quantidade de paletes a entregar aos clientes de *linehaul* acima da média esperada (chamada instância de "procura alta") e outra com quantidade de paletes a entregar aos clientes de *linehaul* abaixo da média esperada (chamada de instância de "procura baixa").

Nesta análise foram testadas 108 instâncias base, tal como explicado no Anexo E. A Tabela 5.12 mostra os resultados alcançados.

Primeiramente, destaca-se a grande gama de valores de BEC e BAC (a diferença entre o valor máximo e mínimo de BEC e BAC em todos os grupos de instâncias é significativa).

O pior grupo de instâncias tendo em conta a média do BEC, a média do BAC e a percentagem de BEC positivos é o grupo de instâncias com procura dos clientes de *linehaul* baixa, distribuição geográfica *Random_Cluster* e 35 clientes. Enquanto que o melhor caso tendo em conta a média do BEC e BAC é o grupo de instâncias com distribuição geográfica *Random_Cluster*, 25 clientes e procura dos clientes de *linehaul* alta.

Analisando a percentagem de instâncias com BEC positivo expressa na Tabela 5.12, verifica-se que em nenhum caso passando de procura dos clientes de *linehaul* baixa para alta a percentagem

Tabela 5.12: Resultados associados ao impacto da procura dos clientes de *linehaul*

Procura	Instância	Distribuição	BEC (€)			BAC (Kg)			BEC pos (%)
			Min.	Méd.	Máx	Min.	Méd.	Máx	
P.baixa	25 Clientes	Cluster	-35,35	-1,86	43,63	4,25	48,68	133,43	37,5
		Random	-30,04	2,39	15,32	12,94	55,64	87,13	62,5
		Random_Cluster	-14,16	25,66	65,09	25,17	93,70	168,54	81,25
	35 Clientes	Cluster	-9,92	22,53	41,52	25,16	88,58	129,98	91,67
		Random	-23,47	5,68	32,92	23,68	61,02	115,92	58,33
		Random_Cluster	-21,85	-8,05	27,52	9,66	38,56	107,08	8,33
	50 Clientes	Cluster	-3,82	16,78	45,56	35,13	79,17	136,59	75
		Random	-8,81	-0,81	10,09	34,29	50,40	78,58	25
		Random_Cluster	-18,89	9,69	38,97	10,48	67,58	125,81	50
P.alta	25 Clientes	Cluster	-35,35	-1,20	43,89	4,25	49,76	133,86	43,75
		Random	-29,25	3,27	16,00	14,23	57,07	88,24	75
		Random_Cluster	-13,31	26,51	69,33	25,17	95,09	175,47	81,25
	35 Clientes	Cluster	-6,75	24,54	42,23	30,34	91,86	131,14	91,67
		Random	-18,35	7,70	35,76	28,47	64,32	120,56	66,67
		Random_Cluster	-20,07	-6,72	29,82	17,84	40,73	110,85	8,33
	50 Clientes	Cluster	-2,61	19,25	45,98	37,11	83,21	137,28	87,5
		Random	-6,55	1,17	13,53	35,47	53,64	84,20	37,5
		Random_Cluster	-15,54	10,55	39,12	15,96	68,98	126,06	50

de BEC diminuiu, tendo aumentando em 55,55 % dos grupos de instâncias. Portanto, comprova-se que as instâncias com procura dos clientes de *linehaul* mais alta promovem a formação de colaboração de forma mais frequente.

De forma a perceber se o aumento da procura dos clientes de *linehaul* origina um crescimento nos valores de BEC e BAC procedeu-se à realização da Tabela 5.13. De referir que P representa o tipo de procura dos clientes de *linehaul*.

Tabela 5.13: Médias e diferenças entre valores máximos e mínimos de BEC e BAC para cada tipo de procura

P	MBEC (€)	máximo - mínimo (BEC) (€)	MBAC (Kg)	máximo - mínimo (BAC) (Kg)
Baixa	8,02	100,44	64,85	164,29
Alta	9,36	104,68	67,04	171,22

Analisando a Tabela 5.13 constata-se que a diferença entre os valores máximo e mínimo de BEC para procura baixa e procura alta é muito elevada. Além disto, conclui-se que existe um crescimento da média do BEC de 16,71 % passando de procura baixa para procura alta, enquanto que na média do BAC este crescimento foi de 3,38 %. São crescimentos modestos, por isso, este é dos fatores analisados aquele que tem menos impacto na sustentabilidade económica e ambiental da colaboração. Mesmo assim, é de salientar os resultados mais altos da média do BEC e BAC com procura dos clientes de *linehaul* alta comparando com a baixa.

Este crescimento do BEC associado a um aumento da procura verifica-se, pois, com procura dos clientes *linehaul* superior vão ser necessários mais camiões para entregar a mercadoria nas lojas, levando a que na realização do VRPB (cenário em que existe colaboração) existam mais

camiónes predispostos a visitar o cliente de *backhaul*, logo o custo do VRPB não aumenta tanto como o custo do VRP.

5.6 Análise à poupança do retalhista com a colaboração

No caso de estudo apresentado, o retalhista é o mais interessado em despoletar a colaboração pelo facto de suportar a totalidade dos custos no cenário sem colaboração. Assim, realizar uma análise de quanto é que o retalhista poupa com a colaboração é primordial.

A poupança do retalhista, em percentagem, é calculada para cada instância através da seguinte fórmula:

$$\text{Poupança do retalhista (\%)} = \frac{LR}{CVRP + CTFR} \quad (5.1)$$

em que LR representa os lucros do retalhista após a aplicação da regra PSR3, CVRP é o custo do VRP e CTFR retrata os custos de transporte dos fornecedores até ao retalhista.

De seguida, procedeu-se ao cálculo da média da poupança do retalhista, considerando unicamente os casos em que existia colaboração. O valor alcançado foi de 1,07%. Este valor apesar de pequeno, não deixa de ser uma poupança interessante, pois é relativa unicamente aos custos de transporte de mercadoria. Além do mais, tal como referido na Secção 5.3 se se colaborasse com mais fornecedores, este valor de poupança poderia ser superior.

Posteriormente, analisou-se qual o número de clientes, dos 3 considerados, que levaria a valores maiores na poupança do retalhista (em %). A Figura 5.3 contém os *boxplots* com as poupanças do retalhista para cada grupo de instâncias com 25, 35 e 50 clientes. De ressaltar que só foram considerados os valores de poupança acima de 0%.

Boxplots relativos à poupança do retalhista para cada grupo de instâncias com diferentes números de clientes

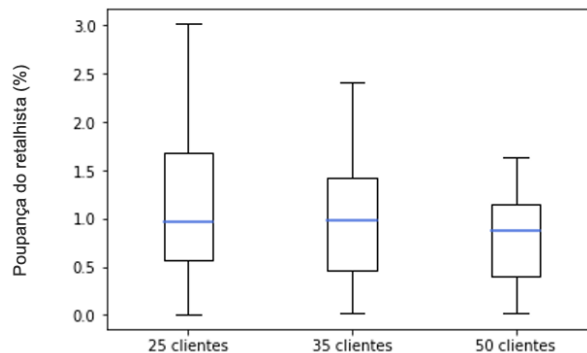


Figura 5.3: *Boxplots* relativos à poupança do retalhista para cada grupo de instâncias com diferentes números de clientes

Através da análise da Figura 5.3 conclui-se que o valor de poupança para as instâncias de 25 clientes varia mais que nos outros casos. Além disto, a mediana para os 25 clientes é 0,97 %,

para os 35 clientes é 0,98 % e para os 50 clientes é 0,87 %. Pelo facto de o terceiro quartil para as instâncias de 50 clientes ser significativamente inferior aos outros dois casos, conclui-se que a colaboração com 50 clientes leva a poupanças inferiores para o retalhista. De salientar que em 75% dos casos a poupança obtida nas instâncias de 25 clientes é igual ou superior a 0,56%. Este valor é 0,46% para as instâncias de 35 clientes e 0,40% para as instâncias de 50 clientes. De referir também que como a mediana não se situa no centro do retângulo em nenhum dos casos, pode-se considerar os 3 conjuntos de dados assimétricos.

Por fim, foi estudado o impacto que cada tipo de distribuição geográfica de clientes possui na poupança do retalhista (%). A Figura 5.4 ilustra o *boxplot* de todas as poupanças do retalhista, em percentagem, consideradas nesta análise. Tal como no caso anterior só foram considerados os valores de poupança acima de 0%.

Boxplots relativos à poupança do retalhista para cada distribuição geográfica

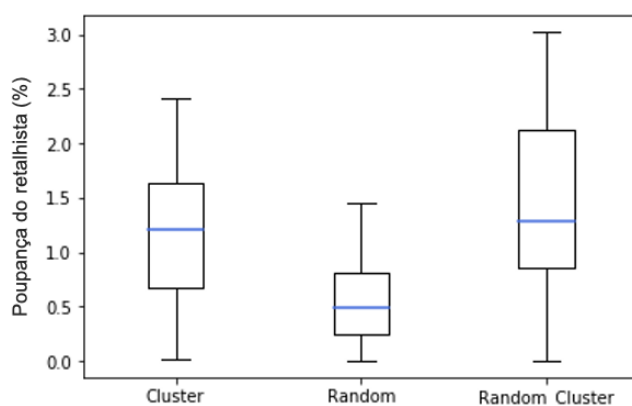


Figura 5.4: *Boxplots* relativos à poupança do retalhista por cada distribuição geográfica

Verifica-se que, dos 3 tipos de distribuição geográfica de clientes, a distribuição *Random* é aquela que origina poupanças do retalhista inferiores pois em 75% dos casos a percentagem que o retalhista poupa é inferior ou igual a 0,80% . Este valor encontra-se muito abaixo dos outros casos: 1,63% para *Cluster* e 2,12% para *Random_Cluster*. Também se verifica que o conjunto de dados associado às instâncias *Random* é simétrico (a mediana está no centro do retângulo), ao contrário dos outros dois casos. Além disto, constata-se que entre a distribuição geográfica *Random_Cluster* e a *Cluster* a *Random_Cluster* gera poupanças mais interessantes para o retalhista, visto que, em 75% dos casos a poupança do retalhista nas instâncias *Random_Cluster* é igual ou superior a 0,85% enquanto que nas instâncias com distribuição geográfica *Cluster* este valor é 0,67%.

Em suma, conclui-se que apesar dos valores da poupança do retalhista em todos os casos estudados não serem muito elevados, estes são relativos unicamente ao transporte de mercadorias. Ou seja, tendo em conta que o transporte de mercadorias pode ser realizado numa base diária, se tivermos em consideração um horizonte temporal alargado a poupança que o retalhista pode ter com a colaboração pode tomar valores expressivos.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo são salientadas as conclusões do problema analisado, além de se enfatizar as limitações do mesmo e as sugestões/recomendações para trabalhos futuros.

Foram analisadas três regras de partilha de benefícios da colaboração (alocação de custos) tendo-se concluído que no caso de estudo considerado deve-se aplicar a PSR3 por ser a única regra que leva à estabilidade da colaboração (todas as entidades da colaboração têm lucros económicos).

Também se realizou análises aos fatores que mais influenciam a sustentabilidade económica e ambiental da colaboração. Conclui-se que a colaboração origina mais proveitos quanto:

- menor for a distância dos fornecedores ao operador logístico;
- mais fornecedores participarem na colaboração;
- mais próxima a distribuição geográfica dos clientes for da distribuição *Random_Cluster*;
- maior for a procura dos clientes de *linehaul*.

Dos fatores analisados aquele que tem menor impacto na colaboração é a procura dos clientes de *linehaul*. Enquanto, os fatores que mais influenciam a colaboração são o tipo de distribuição geográfica dos clientes e a distância dos fornecedores ao operador logístico. No entanto, convém ressaltar que se fossem considerados mais fornecedores o potencial de redução de custos e GEE poderia aumentar consideravelmente. Assim sendo, existe a necessidade de estudar qual o impacto económico e ambiental da inclusão de mais fornecedores na colaboração.

Relativamente ao impacto ambiental, constata-se que segue sempre a mesma tendência que o impacto económico, porque se usou uma conversão direta entre distância - consumo de combustível - GEE. Embora esta não seja a melhor estratégia para determinar o impacto ambiental, muitos trabalhos na literatura demonstram a importância do seu uso. Apesar disto, salienta-se a utilidade de estudar outros métodos que permitam analisar a performance ambiental da colaboração.

Por fim, examinou-se a poupança do retalhista porque esta é a entidade que tem mais interesse em desencadear a colaboração. Foram calculadas as poupanças do retalhista em todos os casos em que as entidades colaboram (quando o BEC é positivo). Os resultados permitiram concluir que a a distribuição geográfica de clientes *Random_Cluster* leva a poupanças do retalhista mais

significativas. Também se concluiu que as instâncias com 50 clientes conduzem a menores valores de poupança que nos outros dois casos (25 e 35 clientes).

Além do salientado anteriormente, ao longo deste estudo deparámo-nos com diversas limitações. Algumas delas foram limitações temporais, no entanto, é de ressaltar que a análise feita considera apenas a perspectiva do retalhista. Portanto, existe a necessidade de estudar a perspectiva de outras entidades da colaboração. Além disto, não foram tidos em conta os custos de operação no operador logístico e fornecedores. Como trabalho futuro também se enfatiza a necessidade de incorporar o conceito de *cross-docking* no estudo do *Backhauling* colaborativo nas cadeias de abastecimento, além de ser relevante introduzir versões mais complexas do VRPB como VRPB com janelas temporais e SVRPB (*Stochastic Vehicle routing problem with Backhauls*), que contempla variáveis estocásticas como as condições da estrada. Como o desenvolvimento tecnológico hoje em dia é uma realidade, desenvolver processos de comunicação em tempo real para tornar o processo colaborativo mais inteligente também pode acrescentar valor a este tipo de problemas.

Anexo A

Validação do Modelo matemático implementado

Neste anexo, estão representadas as tabelas com os resultados que validam o modelo implementado, tanto na perspectiva do VRP como na perspectiva do VRPB.

No caso da validação do cenário de VRP só foram testadas algumas instâncias referidas em [49]. As instâncias testadas correspondem à série A em que os clientes e o entreposto estão posicionados de forma aleatória. Numa instância definida como A-n32-k5, temos 32 clientes e 5 rotas, por exemplo. A fonte original destas instâncias é [3]. No entanto, a comparação de resultados é feita tendo em conta os valores referidos em [49].

Relativamente à validação do VRPB consideraram-se as instâncias apresentadas em [54]. As instâncias com 90 ou mais clientes não foram testadas, dado o esforço computacional que requerem. A fonte original das instâncias é [4]. Contudo, a comparação é feita tendo em conta os resultados apresentados em [54].

As Tabelas que validam o modelo implementado são apresentadas de seguida:

Tabela A.1: Instâncias associadas à validação do cenário VRP, fonte original: [3]

Instância	Resultado obtido	Resultado esperado
A-n32-k5	784	784
A-n33-k5	661	661
A-n33-k6	742	742
A-n34-k5	778	778
A-n36-k5	799	799
A-n37-k5	669	669
A-n38-k5	730	730
A-n39-k6	831	831

Tabela A.2: Instâncias associadas à validação do cenário VRPB, fonte original: [4]

Instância	Resultado obtido	Resultado esperado
GA1	229884	229884
GA2	180117	180117
GA3	163402	163402
GA4	155795	155795
GB1	239077	239077
GB2	198045	198045
GB3	169368	169368
GC1	250557	250557
GC2	215019	215019
GC3	199344	199344
GC4	195365	195365
GD1	322533	322533
GD2	316711	316711
GD3	239482	239482
GD4	205834	205834
GE1	238830	238830
GE2	212262	212262
GE3	206658	206658
GF1	263175	263175
GF2	265214	265214
GF3	241121	241121
GF4	238861	238861
GG1	306304 (não ótimo)	306304 (não ótimo)
GG2	245441	245441
GG3	229506	229506
GG4	232519	232519
GG5	221731	221731
GG6	213457	213457
GH1	268933	268933
GH2	253366	253366
GH3	247449	247449
GH4	250221	250221
GH5	246121	246121
GH6	249136	249136

Anexo B

Análise ao impacto da distância entre os fornecedores e o operador logístico - Explicação relativa ao número de instâncias base

Neste anexo encontra-se a explicação relativa às instâncias base consideradas na análise ao impacto da distância entre os fornecedores e o operador logístico. Nesta análise foram considerados: 2 valores para o número de fornecedores (2 e 3) e 3 distribuições geográficas de clientes (*Cluster*, *Random* e *Random_Cluster*). Além disto, poderiam existir: 4 posicionamentos de clientes nas instâncias de 25 clientes (posição 0 à 25, posição 25 à 50, posição 50 à 75 e posição 75 à 100), 3 posicionamentos de clientes nas instâncias de 35 clientes (posição 0 à 35, posição 35 à 70 e posição 65 à 100) e 2 posicionamentos de clientes nas instâncias de 50 clientes (posição 0 à 50 e posição 50 à 100). Logo, o número de instâncias base com 25 clientes é 4 posicionamentos de clientes $\times$ 3 distribuições geográficas de clientes $\times$ 2 valores para o número de fornecedores = 24 instâncias, o número de instâncias base com 35 clientes é 3 posicionamentos de clientes $\times$ 3 distribuições geográficas de clientes $\times$ 2 valores para o número de fornecedores = 18 instâncias e com 50 clientes é 2 posicionamentos de clientes $\times$ 3 distribuições geográficas de clientes $\times$ 2 valores para o número de fornecedores = 12 instâncias. Assim sendo, o número de instâncias base total é $24 + 18 + 12 = 54$ instâncias. Cada linha da Tabela 5.5 associada às instâncias de 25 clientes tem 4 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores para o número de fornecedores = 8 instâncias. Enquanto que cada linha da Tabela 5.5 associada às instâncias de 35 clientes tem 3 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores para o número de fornecedores = 6 instâncias e para as linhas de 50 clientes existem 2 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores para o número de fornecedores = 4 instâncias.

Anexo C

Análise ao impacto do número de fornecedores - Explicação relativa ao número de instâncias base

Neste anexo encontra-se a explicação relativa às instâncias base consideradas na análise ao impacto do número de fornecedores. Nesta análise foram considerados: 2 valores de m (cinco e dez) e 3 distribuições geográficas de clientes (*Cluster*, *Random* e *Random_Cluster*). Além disto, poderiam existir: 4 posicionamentos de clientes nas instâncias de 25 clientes (posição 0 à 25, posição 25 à 50, posição 50 à 75 e posição 75 à 100), 3 posicionamentos de clientes nas instâncias de 35 clientes (posição 0 à 35, posição 35 à 70 e posição 65 à 100) e 2 posicionamentos de clientes nas instâncias de 50 clientes (posição 0 à 50 e posição 50 à 100). Logo, o número de instâncias base com 25 clientes é 4 posicionamentos de clientes $\times$ 3 distribuições geográficas de clientes $\times$ 2 valores de $m = 24$ instâncias, o número de instâncias base com 35 clientes é 3 posicionamentos de clientes $\times$ 3 distribuições geográficas de clientes $\times$ 2 valores de $m = 18$ instâncias e com 50 clientes é 2 posicionamentos de clientes $\times$ 3 distribuições geográficas de clientes $\times$ 2 valores de $m = 12$ instâncias. Assim sendo, o número de instâncias base total é $24 + 18 + 12 = 54$ instâncias. Cada linha da Tabela 5.7 associada às instâncias de 25 clientes tem 4 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores de $m = 8$ instâncias. Enquanto que cada linha da Tabela 5.7 associada às instâncias de 35 clientes tem 3 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores de $m = 6$ instâncias e para as linhas de 50 clientes existem 2 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores de $m = 4$ instâncias.

~~54~~ *Análise ao impacto do número de fornecedores - Explicação relativa ao número de instâncias base*

Anexo D

Análise à influência do tipo de distribuição geográfica de clientes - Explicação relativa ao número de instâncias base

Neste anexo encontra-se a explicação relativa às instâncias base consideradas na análise à influência do tipo de distribuição geográfica de clientes. Nesta análise foram considerados: 2 valores de m (cinco e dez) e 2 valores relativos ao número de fornecedores (2 e 3). Além disto, poderiam existir: 4 posicionamentos de clientes nas instâncias de 25 clientes (posição 0 à 25, posição 25 à 50, posição 50 à 75 e posição 75 à 100), 3 posicionamentos de clientes nas instâncias de 35 clientes (posição 0 à 35, posição 35 à 70 e posição 65 à 100) e 2 posicionamentos de clientes nas instâncias de 50 clientes (posição 0 à 50 e posição 50 à 100). Logo, o número de instâncias base com 25 clientes é 4 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores relativos ao número de fornecedores $\times$ 2 valores de $m = 16$ instâncias, o número de instâncias base com 35 clientes é 3 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores relativos ao número de fornecedores $\times$ 2 valores de $m = 12$ instâncias e com 50 clientes é 2 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores relativos ao número de fornecedores $\times$ 2 valores de $m = 8$ instâncias. Assim sendo, o número de instâncias base total é $16 + 12 + 8 = 36$ instâncias. Cada linha da Tabela 5.10 associada às instâncias de 25 clientes tem 4 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores de $m \times$ 2 valores relativos ao número de fornecedores = 16 instâncias. Enquanto que cada linha da Tabela 5.10 associada às instâncias de 35 clientes tem 3 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores de $m \times$ 2 valores relativos ao número de fornecedores = 12 instâncias e para as linhas de 50 clientes existem 2 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores de $m \times$ 2 valores relativos ao número de fornecedores = 8 instâncias.

Anexo E

Análise ao impacto da procura dos clientes de *linehaul* - Explicação relativa ao número de instâncias base

Neste anexo encontra-se a explicação relativa às instâncias base consideradas na análise ao impacto da procura dos clientes de *linehaul*. Nesta análise foram considerados: 2 valores de m (cinco e dez), 2 valores relativos ao número de fornecedores (2 e 3) e 3 distribuições geográficas de clientes (*Cluster*, *Random* e *Random_Cluster*). Além disto, poderiam existir: 4 posicionamentos de clientes nas instâncias de 25 clientes (posição 0 à 25, posição 25 à 50, posição 50 à 75 e posição 75 à 100), 3 posicionamentos de clientes nas instâncias de 35 clientes (posição 0 à 35, posição 35 à 70 e posição 65 à 100) e 2 posicionamentos de clientes nas instâncias de 50 clientes (posição 0 à 50 e posição 50 à 100). Logo, o número de instâncias base com 25 clientes é 4 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores relativos ao número de fornecedores $\times$ 2 valores de $m \times$ 3 distribuições geográficas de clientes = 48 instâncias, o número de instâncias base com 35 clientes é 3 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores relativos ao número de fornecedores $\times$ 2 valores de $m \times$ 3 distribuições geográficas de clientes = 36 instâncias e com 50 clientes é 2 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores relativos ao número de fornecedores $\times$ 2 valores de $m \times$ 3 distribuições geográficas de clientes = 24 instâncias. Assim sendo, o número de instâncias base total é $48 + 36 + 24 = 108$ instâncias. Cada linha da Tabela 5.12 associada às instâncias de 25 clientes tem 4 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores de $m \times$ 2 valores relativos ao número de fornecedores = 16 instâncias. Enquanto que cada linha da Tabela 5.12 associada às instâncias de 35 clientes tem 3 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores de $m \times$ 2 valores relativos ao número de fornecedores = 12 instâncias e para as linhas de 50 clientes existem 2 posicionamentos de clientes $\times$ 2 valores de $m \times$ 2 valores relativos ao número de fornecedores = 8 instâncias.

Referências

- [1] Sunil Chopra e Peter Meindl. *Supply chain management : strategy, planning, and operation*. Pearson, 5ª edição, 2013.
- [2] A. C. Wade e S. Salhi. An investigation into a new class of vehicle routing problem with backhauls. *Omega*, 30(6):479–487, 2002. doi:10.1016/S0305-0483(02)00056-7.
- [3] Philippe Augerat, José Manuel Belenguer, Enrique Benavent, Angel Corberán, D. Naddef, e Giovanni Rinaldi. Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem. 01 1995.
- [4] Marc Goetschalckx e Charlotte Jacobs-Blecha. The vehicle routing problem with backhauls. *European Journal of Operational Research*, 42(1):39–51, 1989. doi:10.1016/0377-2217(89)90057-X.
- [5] Margaretha Gansterer e Richard F. Hartl. Collaborative vehicle routing: A survey. *European Journal of Operational Research*, 268(1):1–12, 2018. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.10.023>, arXiv:1706.05254, doi:10.1016/j.ejor.2017.10.023.
- [6] Angel A Juan, Javier Faulin, Elena Pérez-Bernabeu, e Nicolas Jozefowicz. Horizontal Cooperation in Vehicle Routing Problems with Backhauling and Environmental Criteria. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111:1133–1141, 2014. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.148>, doi:10.1016/j.sbspro.2014.01.148.
- [7] European-Commission. Road transport policy: Open roads across Europe. página 12, 2006. URL: <https://op.europa.eu/s/n8Rn>.
- [8] Paulo Mendes, José Eugênio Leal, e Antônio Márcio Tavares Thomé. A maturity model for demand-driven supply chains in the consumer product goods industry. *International Journal of Production Economics*, 179:153–165, 2016. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.06.004>, doi:10.1016/j.ijpe.2016.06.004.
- [9] Samsul Islam. Empty truck trips problem at container terminals: A review of causes, benefits, constraints and solution approaches. *Business Process Management Journal*, 23(2):248–274, 2017. doi:10.1108/BPMJ-06-2015-0086.
- [10] Xiaozhou Xu, Shenle Pan, e Eric Ballot. Game theoretic contribution to horizontal cooperation in logistics. *4th international conference on information systems, logistics and supply chain - ILS 2012*, 2012.
- [11] Maomao Chi, Rui Huang, e Joey F. George. Collaboration in demand-driven supply chain: Based on a perspective of governance and IT-business strategic alignment. *International Journal of Information Management*, 52(April 2019):102062, 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.102062>, doi:10.1016/j.ijinfomgt.2019.102062.

- [12] Robert F. Jacobs e Richard B. Chase. *Operations and Supply Chain*. McGraw-Hill Education, 3ª edição, 2018.
- [13] Robert E. Spekman, John W. Kamauff, e Niklas Myhr. An empirical investigation into supply chain management: A perspective on partnerships. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 28(8):630–650, 1998. doi:10.1108/09600039810247542.
- [14] S. Dani. Supply Chain Project Management – a structured collaborative and measurable approach 2nd edition, by J. B. Ayers. *International Journal of Production Research*, 49(21):6587–6588, 2011. URL: <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.534583>, doi:10.1080/00207543.2010.534583.
- [15] Mei Cao e Qingyu Zhang. Supply chain collaboration: Impact on collaborative advantage and firm performance. *Journal of Operations Management*, 29(3):163–180, 2011. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jom.2010.12.008>, doi:10.1016/j.jom.2010.12.008.
- [16] S. Lozano, P. Moreno, B. Adenso-Díaz, e E. Algaba. Cooperative game theory approach to allocating benefits of horizontal cooperation. *European Journal of Operational Research*, 229(2):444–452, 2013. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.02.034>, doi:10.1016/j.ejor.2013.02.034.
- [17] Togar M. Simatupang e R. Sridharan. The Collaborative Supply Chain. *The International Journal of Logistics Management*, 13(1):15–30, 2002. doi:10.1108/09574090210806333.
- [18] Patricia J. Daugherty, R. Glenn Richey, Anthony S. Roath, Soonhong Min, Haozhe Chen, Aaron D. Arndt, e Stefan E. Genchev. Is collaboration paying off for firms? *Business Horizons*, 49(1):61–70, 2006. URL: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:bushor:v:49:y:2006:i:1:p:61-70>, doi:10.1016/j.bushor.2005.06.002.
- [19] Robert Mason, Chandra Lalwani, e Roger Boughton. Combining vertical and horizontal collaboration for transport optimisation. *Supply Chain Management*, 12(3):187–199, 2007. doi:10.1108/13598540710742509.
- [20] Paul Buijs e J. C.(Hans) Wortmann. Joint operational decision-making in collaborative transportation networks: The role of IT. *Supply Chain Management*, 19(2):200–210, 2014. doi:10.1108/SCM-08-2013-0298.
- [21] Alessandro Perego, Sara Perotti, e Riccardo Mangiaracina. ICT for logistics and freight transportation: A literature review and research agenda. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 41(5):457–483, 2011. doi:10.1108/09600031111138826.
- [22] Scott J. Mason, P. Mauricio Ribera, Jennifer A. Farris, e Randall G. Kirk. Integrating the warehousing and transportation functions of the supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 39(2):141–159, 2003. doi:10.1016/S1366-5545(02)00043-1.
- [23] Thomas Chabot, Florence Bouchard, Ariane Legault-Michaud, Jacques Renaud, e Leandro C. Coelho. Service level, cost and environmental optimization of collaborative transportation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 110(June 2017):1–14, 2018. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.11.008>, doi:10.1016/j.tre.2017.11.008.

- [24] Wanke. *Logística para MBA em 12 lições*. Atlas, 1^o edição, 2010.
- [25] Matt Waller, M Johnson, e Tom Davis. Vendor-managed inventory in the retail supply chain. *Journal of business logistics*, 20(1):183, 1999.
- [26] Jialin Han, Jie Lu, e Guangquan Zhang. Tri-level decision-making for decentralized vendor-managed inventory. *Information Sciences*, 421:85–103, 2017. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2017.08.089>, doi:10.1016/j.ins.2017.08.089.
- [27] José Crespo de Carvalho, Alcibades Paulo Guedes, Amílcar José Martins Arantes, Ana Paula Barbosa Póvoa, Cristina Alves Luís, Eurico Brilhante Dias, João Carlos Quaresma Dias, João C. Rosmaninho de Menezes, Luís Miguel Domingues Fernandes Ferreira, Maria do Sameiro Carvalho, Rui Carvalho Oliveira, Susana Garrido Azevedo, e Tânia Ramos. *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. Edições Sílabo, 2^o edição, 2017.
- [28] Kate Bailey e Mark Francis. Managing information flows for improved value chain performance. *International Journal of Production Economics*, 111(1):2–12, 2008. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.11.017>, doi:10.1016/j.ijpe.2006.11.017.
- [29] Ritu Lohtia, Frank Tian Xie, e Ramesh Subramaniam. Efficient consumer response in Japan. Industry concerns, current status, benefits, and barriers to implementation. *Journal of Business Research*, 57(3):306–311, 2004. URL: [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(01\)00326-5](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(01)00326-5), doi:10.1016/S0148-2963(01)00326-5.
- [30] John K. Harris, Paula M.C. Swatman, e Sherah Kurnia. Efficient consumer response (ECR): A survey of the Australian grocery industry. *Supply Chain Management*, 4(1):35–42, 1999. doi:10.1108/13598549910255077.
- [31] Mohsen Attaran e Sharmin Attaran. Collaborative supply chain management: The most promising practice for building efficient and sustainable supply chains. *Business Process Management Journal*, 13(3):390–404, 2007. doi:10.1108/14637150710752308.
- [32] Gene Fliedner. CPFR: An emerging supply chain tool. *Industrial Management and Data Systems*, 103(1-2):14–21, 2003. doi:10.1108/02635570310456850.
- [33] Kazim Sari. On the benefits of CPFR and VMI: A comparative simulation study. *International Journal of Production Economics*, 113(2):575–586, 2008. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.10.021>, doi:10.1016/j.ijpe.2007.10.021.
- [34] Felix T.S. Chan e T. Zhang. The impact of collaborative transportation management on supply chain performance: A simulation approach. *Expert Systems with Applications*, 38(3):2319–2329, 2011. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.020>, doi:10.1016/j.eswa.2010.08.020.
- [35] Liane Okdinawati, Togar M. Simatupang, e Yos Sunitiyoso. Value Co-creation Map in Collaborative Transportation. *Procedia Manufacturing*, 4(Iess):71–78, 2015. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.016>, doi:10.1016/j.promfg.2015.11.016.
- [36] J. C. Tyan, F. K. Wang, e T. Du. Applying collaborative transportation management models in global third-party logistics. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 16(4-5):283–291, 2003. URL: <https://doi.org/10.1080/0951192031000089183>, doi:10.1080/0951192031000089183.

- [37] Elliot Rabinovich. Consumer Direct Fulfillment Performance in Internet Retailing: Emergency Transshipments and Demand Dispersion. *Journal of Business Logistics*, 26:79–112, 2005. doi:10.1002/j.2158-1592.2005.tb00195.x.
- [38] Cees De Snoo e Wout Van Wezel. Simulation of collaborative planning processes-an agent-oriented approach. *13th International Annual EurOMA Conference*, páginas 701–710, 2008.
- [39] Terry L. Esper e Lisa R. Williams. The value of collaborative transportation management (CTM): Its relationship to CPFR and information technology. *Transportation Journal*, 42(4):55–65, 2003.
- [40] M. Frisk, M. Göthe-Lundgren, K. Jörnsten, e M. Rönnqvist. Cost allocation in collaborative forest transportation. *European Journal of Operational Research*, 205(2):448–458, 2010. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2010.01.015>, doi:10.1016/j.ejor.2010.01.015.
- [41] Lorena Pradenas, Boris Oportus, e Víctor Parada. Mitigation of greenhouse gas emissions in vehicle routing problems with backhauling. *Expert Systems with Applications*, 40(8):2985–2991, 2013. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.014>, doi:10.1016/j.eswa.2012.12.014.
- [42] Guillaume Haeringer. A new weight scheme for the Shapley value. *Mathematical social sciences*, 52(1):88–98, 2006. doi:10.1016/j.mathsocsci.2006.03.001.
- [43] Bo Dai e Haoxun Chen. Profit allocation mechanisms for carrier collaboration in pickup and delivery service. *Computers and Industrial Engineering*, 62(2):633–643, 2012. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2011.11.029>, doi:10.1016/j.cie.2011.11.029.
- [44] Christof Defryn, Kenneth Sörensen, e Trijntje Cornelissens. The selective vehicle routing problem in a collaborative environment. *European Journal of Operational Research*, 250(2):400–411, 2016. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.09.059>, doi:10.1016/j.ejor.2015.09.059.
- [45] Christof Defryn, Christine Vanovermeire, e Kenneth Sörensen. Gain sharing in horizontal logistic co-operation: A case study in the fresh fruit and vegetables sector. Em *Contributions to Management Science*, páginas 75–89. Springer, 2016. doi:10.1007/978-3-319-17419-8_4.
- [46] Okan Örsan Özener e Özlem Ergun. Allocating costs in a collaborative transportation procurement network. *Transportation Science*, 42(2):146–165, 2008. doi:10.1287/trsc.1070.0219.
- [47] Brian J. Lunday e Matthew J. Robbins. Collaboratively-developed vaccine pricing and stable profit sharing mechanisms. *Omega (United Kingdom)*, 84:102–113, 2019. URL: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.04.007>, doi:10.1016/j.omega.2018.04.007.
- [48] G. B. Dantzig e J. H. Ramser. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1):80–91, 1959. URL: <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>, doi:10.1287/mnsc.6.1.80.
- [49] Eduardo Uchoa, Diego Pecin, Artur Pessoa, Marcus Poggi, Thibaut Vidal, e Anand Subramanian. New benchmark instances for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 257(3):845–858, 2017. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2016.08.012>, doi:10.1016/j.ejor.2016.08.012.

- [50] Çağrı Koç e Gilbert Laporte. Vehicle routing with backhauls: Review and research perspectives. *Computers and Operations Research*, 91:79–91, 2018. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.11.003>, doi:10.1016/j.cor.2017.11.003.
- [51] Paolo Toth e Daniele Vigo. A heuristic algorithm for the vehicle routing problem with backhauls. páginas 585–608, 1996. doi:10.1007/978-3-642-85256-5_26.
- [52] Sophie N. Parragh, Karl F. Doerner, e Richard F. Hartl. A survey on pickup and delivery problems. *Journal fur Betriebswirtschaft*, 58(1):21–51, 2008. doi:10.1007/s11301-008-0033-7.
- [53] Said Salhi, Niaz Wassan, e Mutaz Hajararat. The Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Backhauls: Formulation and Set Partitioning-based Heuristics. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 56:22–35, 2013. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2013.05.005>, doi:10.1016/j.tre.2013.05.005.
- [54] Mauricio Granada-Echeverri, Eliana M. Toro, e Jhon Jairo Santa. A mixed integer linear programming formulation for the vehicle routing problem with backhauls. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 10(2):295–308, 2019. doi:10.5267/j.ijiec.2018.6.003.
- [55] D. Sariklis e S. Powell. A heuristic method for the open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 51(5):564–573, 2000. doi:10.1057/palgrave.jors.2600924.
- [56] Ibrahim H. Osman e Niaz A. Wassan. A reactive tabu search meta-heuristic for the vehicle routing problem with back-hauls. *Journal of Scheduling*, 5(4):263–285, 2002. doi:10.1002/jos.122.
- [57] Aristide Mingozzi e Roberto Baldacci. Exact method for the vehicle routing problem with backhauls. *Transportation Science*, 33(3):315–329, 1999. doi:10.1287/trsc.33.3.315.
- [58] José Brandão. A deterministic iterated local search algorithm for the vehicle routing problem with backhauls. *Top*, 24(2):445–465, 2016. doi:10.1007/s11750-015-0404-x.
- [59] Stefan Ropke e David Pisinger. A unified heuristic for a large class of Vehicle Routing Problems with Backhauls. *European Journal of Operational Research*, 171(3):750–775, 2006. doi:10.1016/j.ejor.2004.09.004.
- [60] Candace Arai Yano, Thomas J. Chan, Lori Kaplan Richter, Theodore Cutler, Katta G. Murty, e David McGettigan. Vehicle Routing At Quality Stores. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 17(2):52–63, 1987. doi:10.1287/inte.17.2.52.
- [61] Weiqin Wu, Yu Tian, e Tongdan Jin. A label based ant colony algorithm for heterogeneous vehicle routing with mixed backhaul. *Applied Soft Computing Journal*, 47:224–234, 2016. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2016.05.011>, doi:10.1016/j.asoc.2016.05.011.
- [62] Marius M. Solomon. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research*, 35:254–265, 1987.