



Sergio Ramírez López

**Escolha de uma metodologia de cálculo da pegada
de carbono de serviços de distribuição urbana:
aplicação do método híbrido AHP-TOPSIS**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Hugo Miguel Varela Repolho

Co-orientador: Prof^a. Maria Fátima Ludovico de Almeida

Rio de Janeiro
Março de 2017



Sergio Ramirez López

**Escolha de uma metodologia de cálculo da pegada
de carbono de serviços de distribuição urbana:
aplicação do método híbrido AHP-TOPSIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Hugo Miguel Varela Repolho

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Maria Fátima Ludovico de Almeida

Co-orientadora

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PósMQI - PUC-Rio

Prof. Rodrigo Flora Calili

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PósMQI - PUC-Rio

Prof. Daniel Ramos Louzada

Programa de Pós-Graduação em Metrologia - PósMQI - PUC-Rio

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 31 de março de 2017

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização do autor, do orientador e da universidade.

Sergio Ramírez López

Graduou-se em Engenharia Industrial na UNAL Manizales (Universidad Nacional de Colombia sede Manizales) em 2014. Sua área de pesquisa envolve sistemas de transporte e logística com foco na logística verde ou logística sustentável.

Ficha Catalográfica

Ramírez López, Sergio

Escolha de uma metodologia de cálculo da pegada de carbono de serviços de distribuição urbana : aplicação do método híbrido AHP-TOPSIS / Sergio Ramírez López ; orientador: Hugo Miguel Varela Repolho ; co-orientador: Maria Fátima Ludovico de Almeida. – 2017.

129 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2017.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Logística verde. 3. Logística sustentável. 4. Métodos de apoio à tomada de decisão multicritério. 5. Pegada de carbono. 6. PAS 2050. I. Repolho, Hugo Miguel Varela. II. Almeida, Maria Fátima Ludovico de. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

Para minha família e amigos, meu motor de vida.

Agradecimentos

A Deus em primeiro lugar, pelo compromisso e bênçãos concedidas no meu destino.

A minha irmã, Catalina, por acreditar na realização desse sonho e por todo amor, apoio, e dedicação incondicionais sempre.

Aos meus pais, Beatriz e Richard, pela boa educação e apoio em todas as decisões que já tomei na minha vida, que me tornaram uma pessoa melhor.

Aos meus familiares e amigos, por sempre torcerem por mim e comemorarem minhas vitórias ao meu lado.

A minha namorada, Caroline Pompeu, pelo apoio, amor, motivação e companhia nesta última etapa do mestrado.

Aos meus orientadores Hugo e Fátima, pela oportunidade conferida, aprendizado proporcionado e dedicação ao trabalho.

Ao Alexandre Messina, por permitir desenvolver a pesquisa na empresa Ecolivery Courriers Ltda. e fornecer os dados, essenciais para obter os resultados esperados.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio, pela qualidade do ensino e boa infraestrutura, essenciais para a execução do curso de mestrado.

Ao CNPq, à CAPES e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não teria sido realizado.

Resumo

López, Sergio Ramírez; Repolho, Hugo Miguel Varela (Orientador); Maria Fatima Ludovico de Almeida (Co-orientadora). **Escolha de uma metodologia de cálculo da pegada de carbono de serviços de distribuição urbana: aplicação do método híbrido AHP-TOPSIS**. Rio de Janeiro, 2017. 129p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A recente conscientização global tem influenciado em grande medida as diferentes atividades empresariais e por isto que, a Logística Verde tem um papel importante na contemporaneidade. O propósito deste trabalho é utilizar métodos de apoio à tomada de decisão multicritério como o AHP e o TOPSIS para escolher a metodologia mais apropriada para realizar a estimativa de Pegada de Carbono de um serviço de entregas de uma empresa de distribuição, neste caso, se aplicou o estudo à Courrieros, que utiliza bicicletas como veículo de transporte na cidade do Rio de Janeiro, e assim, compará-la com o mesmo serviço de entrega realizado com veículos convencionais, como a moto, demonstrando o impacto no meio ambiente. Os resultados indicaram que a metodologia PAS 2050 é a mais recomendada para realizar o cálculo de emissões de GEE deste serviço. De tal forma, calculou-se que ao empregar a motocicleta como veículo de transporte, se produziram 5102,55 kg de CO₂e de emissões de GEE no mês de dezembro, ou seja, 10,89 vezes mais emissões do que a empresa Courrieros que ao utilizar a bicicleta, produz somente 468,48 kg de CO₂e no mesmo período. Além disso, calculou-se, que é necessário o plantio de três (3) árvores para compensar as emissões geradas pelas bicicletas da empresa Courrieros, diferenciando-se amplamente das motocicletas da empresa alternativa, a qual o número aumenta drasticamente para 36 árvores.

Palavras-chave

Logística Verde; Logística Sustentável; Métodos de apoio à tomada de decisão multicritério; Pegada de Carbono; PAS 2050.

Abstract

López, Sergio Ramírez; Repolho, Hugo Miguel Varela (Advisor); Maria Fatima Ludovico de Almeida (Co-advisor). **Selection of a carbon footprint estimation method for urban distribution services: application of an hybrid AHP-TOPSIS method.** Rio de Janeiro, 2017. 129p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The recent global awareness has influenced the different business activities on a large scale and for this reason, the Green Logistics plays an important role in the contemporaneity. The aim of this work is to use methods to support multicriteria decision making such as AHP and TOPSIS to choose the most appropriate methodology to carry out the estimate of the Carbon Footprint for a distribution company, on this case Courrieros, which uses bicycles as a transportation vehicle in the city of Rio de Janeiro, and thus, compare it with the same delivery service using conventional vehicles, as motorcycle, and demonstrating the impact on the environment. Results indicated that the PAS 2050 methodology is the most recommended to perform the calculation of GHG emissions for this service. Therefore, it was estimated that when using a motorcycle as a transport vehicle, 5102.55 kg of CO₂e of GHG emissions were produced in December, that is, 10.89 times more emissions than Courrieros using the bicycle, which produced only 468.48 kg of CO₂e in the same period. In addition, it has been estimated that three (3) trees need to be planted to compensate for the emissions generated by Courrieros bicycles, differing widely from the bikes of the alternative company, which increases sharply to 36 trees.

Keywords

Green Logistics; Sustainable Logistics; Methods to support multicriteria decision making; Carbon Footprint; PAS 2050.

Sumário

1	Introdução	16
1.1	Motivação	18
1.2	Objetivos	19
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
1.3	Estrutura do trabalho	19
2	Logística Verde	21
2.1	Elementos da Logística Verde	22
2.1.1	Transporte verde	22
2.1.2	Armazenamento verde	23
2.1.3	Carga e descarga verde	23
2.1.4	Distribuição verde	23
2.1.5	Empacotamento verde	24
2.1.6	Informação verde	24
2.1.7	Reciclagem	24
2.2	Melhores práticas	25
2.2.1	<i>Vehicle Routing Problem (VRP)</i>	25
2.2.2	<i>City Logistics</i>	32
3	Metodologias de Cálculo de Pegada de Carbono	41
3.1	Norma ISO/TS 14067:2013 Pegada de Carbono do Produto	42
3.2	<i>Ecological Footprint (EF)</i>	46
3.3	<i>Product Life Cycle Accounting and Reporting Standards GHG protocol</i>	49
3.4	<i>BPX 30-323 French Environmental Footprint</i>	53
3.5	<i>Product Carbon Footprint: Public Available Standard (PAS 2050)</i>	56
4	Escolha da metodologia de cálculo de Pegada de Carbono	59
4.1	Métodos de apoio à tomada de decisão multicritério	60
4.1.1	<i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i>	61
4.1.2	<i>Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution (TOPSIS)</i>	68
4.2	Critérios para avaliação de sistemas de sustentabilidade	71
4.2.1	Limite do sistema/inventário	71
4.2.2	Avaliação de impacto/Seleção do tema	72
4.2.3	Agregação/interpretação	74
4.2.4	Desenho do método	76
4.2.5	Restrições organizacionais	77
4.3	Seleção de critérios e aplicação das metodologias AHP e TOPSIS	77
4.3.1	Critérios e subcritérios selecionados para o estudo	78

4.3.2	Aplicação dos métodos de apoio à tomada de decisão multicritério	90
4.4	Processo de cálculo da pegada de carbono através da PAS 2050	94
4.4.1	Mapeamento do processo	94
4.4.2	Coleta de Dados	97
4.4.3	Cálculo da pegada de carbono do produto	98
4.4.4	Incertezas	98
5	Estudo de caso - Estimativa de pegada de carbono da empresa de distribuição Courrieros	99
5.1	A empresa	99
5.1.1	Localização da empresa e áreas de atendimento	100
5.1.2	Serviços	101
5.2	Estimativa de pegada de carbono utilizando a metodologia PAS 2050	103
5.2.1	Unidade funcional	103
5.2.2	Mapeamento do processo	104
5.2.3	Fronteiras, priorização e dados.	106
5.2.4	Cálculo da pegada de carbono	107
5.3	Resultados	111
5.3.1	Emissões da empresa Courrieros	111
5.3.2	Emissões de uma empresa alternativa tradicional (com motocicleta)	112
5.4	Compensações de emissões de GEE	114
6	Conclusões e trabalhos futuros	115
7	Referências bibliográficas	119

Lista de Figuras

Figura 1 - Economia circular da Logística Verde	21
Figura 2 - Elementos da Logística Verde	22
Figura 3 - Evolução do VRP ao longo do tempo	27
Figura 4 - Tipos de Veículos na <i>Cyclelogistics</i>	37
Figura 5 - Ligação entre o cálculo da pegada de carbono e a comunicação	45
Figura 6 - Definição dos escopos 1, 2 e 3 segundo o <i>GHG Protocol</i>	51
Figura 7 - Exemplo de estrutura hierárquica de problemas de decisão (em três níveis)	62
Figura 8 - Exemplo de matriz de julgamentos para o método AHP	63
Figura 9 - Técnica para o ordenamento das preferências pela similaridade à solução ideal	68
Figura 10 - Etapas do mapa do processo (em detalhe) para produtos <i>business-to-consumer</i>	95
Figura 11 - Logo da empresa Courrieros	100
Figura 12 - Preços em função da distância	102
Figura 13 - Preços por tempo de espera	102
Figura 14 - Mapeamento do processo de entregas da empresa Courrieros	105
Figura 15 - Mapa do processo com identificação do tipo de dados e itens excluídos do cálculo	106
Figura 16 - Emissões de GEE da empresa Courrieros	112
Figura 17 - Emissões de GEE da empresa alternativa utilizando a moto como veículo	113
Figura 18 - Árvores necessárias para compensar as emissões mensais por tipo de veículo	114

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Comparação dos estudos no ano 2011 e 2015	40
Tabela 2 - Índice randômico	67
Tabela 3 - Julgamento dos critérios de primeiro nível	90
Tabela 4 - Julgamento dos subcritérios pertencentes ao Critério 1	91
Tabela 5 - Julgamento dos subcritérios pertencentes ao Critério 2	91
Tabela 6 - Julgamento dos subcritérios pertencentes ao Critério 3	91
Tabela 7 - Julgamento dos subcritérios pertencentes ao Critério 4	91
Tabela 8 - Julgamento dos subcritérios pertencentes ao Critério 5	91
Tabela 9 - Ponderação dos critérios e subcritérios.	92
Tabela 10 - Pesos dos subcritérios W_{ij}	92
Tabela 11 - Escala de atendimento ao critério utilizado no TOPSIS	92
Tabela 12 - Matriz de decisão (A)	93
Tabela 13 - Matriz de decisão normalizada A_n	93
Tabela 14 - Elementos A+ (benefícios) e A- (custos)	93
Tabela 15 - Cálculo dos elementos $d^+ = j = 1nwj(pj + -pij)^2$	93
Tabela 16 - Cálculo dos elementos $d^- = j = 1nwj(pj - -pij)^2$	93
Tabela 17 - Resultado da metodologia TOPSIS	94
Tabela 18 - Potencial de Aquecimento Global	98
Tabela 19 - Número de entregas diárias	104
Tabela 20 - Quantidades de entregas por tipo de serviço	107
Tabela 21 - Contabilização do consumo de energia	108
Tabela 22 - Contabilização do consumo de água	109
Tabela 23 - Quantidade de papel utilizado	109
Tabela 24 - Contabilização do consumo de papel	109
Tabela 25 - Contabilização das emissões ao utilizar as barcas no trajeto (Rio-Niterói)	110
Tabela 26 - Contabilização das emissões ao utilizar carro	110
Tabela 27 - Consumo de combustível ao utilizar a moto	111
Tabela 28 - Contabilização das emissões ao utilizar a moto para realizar as entregas	111
Tabela 29 - Contabilização de emissões por fonte da empresa Courrieros	112
Tabela 30 - Contabilização de emissões por fonte da empresa alternativa	113
Tabela 31 - Diferença entre as emissões por tipo de veículo	114

Lista de Quadros

Quadro 1 - Estudos sobre o uso de bicicletas de carga no contexto da <i>City Logistics</i>	35
Quadro 2 - Referências normativas da ISO 14067	44
Quadro 3 - Referências normativas da <i>Ecological Footprint</i>	48
Quadro 4 - Referências normativas do GHG <i>Protocol</i>	51
Quadro 5 - Referências normativas da BPX 30-323	55
Quadro 6 - Referências normativas da PAS 2050	57
Quadro 7 - Escala para padronizar os julgamentos de valor pelo método AHP	62
Quadro 8 - Critérios e subcritérios escolhidos	78
Quadro 9 - Abordagem da ISO 14067 para o Critério 1: Limite do Sistema	79
Quadro 10 - Abordagem da <i>Ecological Footprint</i> para o Critério 1: Limite do Sistema	79
Quadro 11 - Abordagem da GHG <i>Protocol</i> para o Critério 1: Limite do Sistema	80
Quadro 12 - Abordagem da BPX 30-323 para o Critério 1: Limite do Sistema	80
Quadro 13 - Abordagem da PAS 2050 para o Critério 1: Limite do Sistema	80
Quadro 14 - Abordagem da ISO 14067 para o Critério 2: Avaliação de Impacto	81
Quadro 15 - Abordagem da <i>Ecological Footprint</i> para o Critério 2: Avaliação de Impacto	81
Quadro 16 - Abordagem da GHG <i>Protocol</i> para o Critério 2: Avaliação de Impacto	82
Quadro 17 - Abordagem da BPX 30-323 para o Critério 2: Avaliação de Impacto	82
Quadro 18 - Abordagem da PAS 2050 para o Critério 2: Avaliação de Impacto	83
Quadro 19 - Abordagem da ISO 14067 para o Critério 3: Agregação /Interpretação	83
Quadro 20 - Abordagem da <i>Ecological Footprint</i> para o Critério 3: Agregação /Interpretação	84
Quadro 21 - Abordagem da GHG <i>Protocol</i> para o Critério 3: Agregação /Interpretação	84
Quadro 22 - Abordagem da BPX 30-323 para o Critério 3: Agregação /Interpretação	85

Quadro 23 - Abordagem da PAS 2050 para o Critério 3: Agregação /Interpretação	85
Quadro 24 - Abordagem da ISO 14067 para o Critério 4: Desenho do método	85
Quadro 25 - Abordagem da <i>Ecological Footprint</i> para o Critério 4: Desenho do método	86
Quadro 26 - Abordagem da BPX 30-323 para o Critério 4: Desenho do método	86
Quadro 27 - Abordagem da GHG <i>Protocol</i> para o Critério 4: Desenho do método	87
Quadro 28 - Abordagem da PAS 2050 para o Critério 4: Desenho do método	87
Quadro 29 - Abordagem da ISO 14067 para o Critério 5: Restrições organizacionais	88
Quadro 30 - Abordagem da <i>Ecological Footprint</i> para o Critério 5: Restrições organizacionais	88
Quadro 31 - Abordagem da GHG <i>Protocol</i> para o Critério 5: Restrições organizacionais	89
Quadro 32 - Abordagem da BPX 30-323 para o Critério 5: Restrições organizacionais	89
Quadro 33 - Abordagem da PAS 2050 para o Critério 5: Restrições organizacionais	89

Glossário

GEE	Gases Efeito Estufa
CD	Centro de Distribuição
VRP	<i>Vehicle Routing Problem</i>
GVRP	<i>Green Vehicle Routing Problem</i>
PRP	<i>Polluting Routing Problem</i>
VRPRL	<i>Vehicle Routing Problem in Reverse Logistics</i>
EMVRP	<i>Energy Minimizing Vehicle Routing Problem</i>
CVRP	<i>Capacited Vehicle Routing Problem</i>
LR	Logística Reversa
CE	Comissão Europeia
GPS	<i>Global Position System</i>
BC	Bicicletas de Carga
BC-E	Bicicletas de Carga Elétricas
PVE	Pequenos Veículos Elétricos
PME	Pequenas e Médias Empresas
PC	Pegada de Carbono
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
EF	<i>Ecological Footprint</i>
PAS	<i>Public Available Standards</i>
BSI	<i>British Standards International</i>
DEFRA	<i>Department for Environment, Food and Rural Affairs</i>
IPCC	<i>International Panel on Climate Change</i>
FE	Fator de Emissão
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution</i>
IC	Índice de Consistência
RC	Razão de Consistência
IR	Índice Randômico
PIS	<i>Positive Ideal Solution</i>
NIS	<i>Negative Ideal Solution</i>

Por un futuro mejor (*Espanhol*).

Para um futuro melhor (*Português*).

For a better future (*Inglês*).

Melius futurum (*Latim*).

για ένα καλύτερο μέλλον (*Grego*).

1

Introdução

A bicicleta tal e como a conhecemos hoje é produto de um grande número de invenções que começaram a partir do século XIX, junto ao progresso das cidades. No ano de 1861 pelo Pierre Michaux, na cidade de Paris, se apresentou o primeiro velocípede, conhecido como “cavalo de ferro”. Assim nasceu, como um dos símbolos do progresso da época, e foi adotada pelos entusiastas da modernidade. Seu uso provocou uma verdadeira revolução na mobilidade social do período de transição do século XIX para o XX. Principal substituta do cavalo como meio de transporte individual, ela permitiu maior autonomia na mobilidade das pessoas e contribuiu com o apogeu da industrialização tanto como produto quanto como meio de transporte para os operários industriais (SCHETINO, 2008).

Artefatos de luxo na época de seu surgimento, pouco a pouco foram aparecendo novas fábricas resultando em sua produção em massa, diminuindo seu preço e sendo mais acessível para as classes mais baixas. Em Paris seu uso se popularizou rapidamente devido às linhas de crédito para trabalhadores e o incentivo das fábricas para que seus operários as adotassem como meio transporte no percurso casa-trabalho.

O Brasil começou a construir sua história com a bicicleta no mesmo período, devido à forte influência do estilo de vida europeu, em especial o estilo francês, vivido no processo de modernização do país. Quando o ciclismo começou a se tornar prática cultural e a bicicleta deixou de ser considerada somente um produto, houve modificações na estrutura física das cidades (MACEDO, 2011). Assim, no final do século XX, as bicicletas começaram a ser adaptadas a meio de transporte e, consequentemente, se vivenciou o revestimento de calçadas,

construção de ciclovias, uso dos bicicletários e a modificação de ruas e estradas (SCHETINO, 2008).

Hoje a bicicleta é vista como um dos principais ícones da sustentabilidade, principalmente quando o assunto é mobilidade urbana devido ao baixíssimo, praticamente inexistente, impacto ambiental que ela produz se comparando aos veículos motorizados.

Leve, econômica, ágil, saudável, eficiente, socializadora e silenciosa, a bicicleta permite maior fluidez do tráfego, favorecendo os transportes coletivos e permitindo maior autonomia, eficácia e eficiência em deslocamentos de distâncias curtas, além de mais economia de tempo, nos custos de aquisição e na manutenção. Ela possui um impacto positivo sobre a qualidade de vida e melhoria da saúde de seus usuários. Também facilita o contato entre as pessoas e gera um clima de convivência entre cidadãos proporcionando a humanização do trânsito. Com tantos benefícios individuais e coletivos, a bicicleta tornou-se uma excelente opção de mobilidade social e é um importante instrumento no processo de pensar e agir em prol de um mundo cada vez mais justo social e ambientalmente (BINATTI, 2016). A bicicleta tem vindo a ganhar também um papel de destaque na procura de modelos logísticos mais sustentáveis.

Recentemente, o conceito de Logística Verde, definido como a modificação integral dos diferentes componentes da logística para a criação de processos integrando os fatores econômicos, sociais e ambientais de maneira sustentável (THIELL et al., 2011), tem recebido a atenção dos governos e das organizações. A importância do conceito advém do fato de que as estratégias de produção e distribuição tradicionais não são sustentáveis a longo prazo. Desse modo, os efeitos ambientais, ecológicos e sociais são levados em consideração quando se desenham as políticas de logística, além dos custos econômicos convencionais. A própria política de logística sensível ao meio ambiente requer mudar o esquema de transporte, enviando-o a uma rede de distribuição sustentável com menos impactos negativos sobre o meio ambiente pelo fato de que o transporte corresponde em média a 2/3 dos custos logísticos (BALLOU, 1993).

Tentando se diferenciar e utilizando o conceito de sustentabilidade como pilar, surgiram várias empresas de entregas, que utilizam o transporte alternativo (bicicletas) para realizá-las nas grandes metrópoles como São Paulo e Rio de Janeiro, principalmente. Ao utilizar bicicletas, evita-se a emissão de poluentes e

economizam-se combustíveis de fontes não renováveis, ajudando a ter uma cidade mais limpa e saudável, além de menos ruidosa. Sem deixar de ser eficiente em diferentes aspectos como ao se deslocar e estacionar, a bicicleta é de fácil manutenção e não corre o risco de ter problemas elétricos ou hidráulicos. Ela é, sem dúvida, um dos meios de transporte mais eficientes em cidades como São Paulo e Rio de Janeiro. A bicicleta, inclusive, venceu a moto em velocidade no último Desafio Intermodal de 2014.

Numa cidade como Rio de Janeiro onde os engarrafamentos conflitam entre a pontualidade das entregas e a satisfação do cliente, as empresas transportadoras, os centros de distribuição e todas as organizações de transporte de bens estão destinadas a implementação de métodos de distribuição mais complexos que estão diretamente ligados com os altos preços de desenvolvimento.

No ano de 2014 a empresa Courrieros surgiu com uma proposta diferente: realizar serviço de entregas em determinados bairros da cidade de maneira eficaz e sem produzir nenhuma emissão de Gases Efeito Estufa (GEE), gerando um valor agregado ao serviço atingindo todos os níveis de sustentabilidade e integrando os pilares econômico, social e ambiental. Esta empresa baseia as suas operações de distribuição no modal ciclovitário.

1.1

Motivação

Esta dissertação insere-se na linha de pesquisa de Transporte e Logística e pertence ao tema de Logística verde, encaminhada no contexto organizacional da empresa Courrieros situada na cidade do Rio de Janeiro.

A Logística Verde (como outros conceitos associados à sustentabilidade) é considerada como um tema recente, que surge como consequência da imensurável produção em massa e do uso de recursos naturais em excesso, que hoje são vivenciados com as mudanças climáticas e a falta de matérias primas. Isso é percebido tanto na destruição da camada de ozônio quanto na extinção de diferentes espécies.

Deste modo, nasce a motivação em realizar este trabalho de dissertação, que tenta reduzir esses impactos, demonstrando uma perspectiva logística que se encontra em harmonia com o meio ambiente e apoiando a empresa Courrieros que está alinhada com esta tendência verde.

1.2

Objetivos

Os objetivos desta dissertação de mestrado são apresentados em dois níveis. O primeiro deles contém o objetivo geral. No segundo nível são apontados os objetivos específicos.

1.2.1

Objetivo geral

Utilizar métodos de apoio à tomada de decisão multicritério para escolher a metodologia mais apropriada para realizar a estimativa de pegada de carbono de um serviço de entregas de uma empresa de distribuição.

1.2.2

Objetivos específicos

- Identificar e analisar as principais metodologias associadas ao cálculo da pegada de carbono de produtos e serviços.
- Definir critérios para selecionar a metodologia de avaliação de sustentabilidade mais apropriada e, assim, estimar a pegada de carbono do serviço de entregas.
- Selecionar, com base em método de apoio à tomada de decisão multicritério, a melhor metodologia que pode ser adotada para estimar a pegada de carbono de serviços de entrega.
- Descrever a metodologia que vai ser adotada e caracterizar o serviço de entrega que será objeto do estudo de caso.
- Desenvolver estudo de caso da empresa Courrieros com aplicação da metodologia selecionada para a estimativa da pegada de carbono e comparar os resultados com o mesmo serviço, utilizando meios de transporte convencionais.
- Propor recomendações para as empresas de serviços de entrega que desejam operar segundo os princípios da Logística Verde.

1.3

Estrutura do trabalho

O trabalho de dissertação foi estruturado da seguinte maneira:

A Seção 1 refere-se à parte introdutória da dissertação e inclui a motivação para seu desenvolvimento e os objetivos da pesquisa.

Na Seção 2, encontram-se a definição da Logística Verde e os elementos que fazem parte dela. Em seguida, se adicionaram temas de grande relevância da Logística Verde, pertencentes ao *Vehicle Rounting Problem* e *City Logistics*, que ocupam uma parte importante nos avanços logísticos da atualidade.

Na Seção 3 define-se o conceito de Pegada de Carbono e se realiza a análise das cinco metodologias selecionadas para realizar a estimativa.

A Seção 4 refere-se à seleção dos critérios para avaliar as metodologias nomeadas anteriormente e se utilizam os métodos de apoio à tomada de decisões multicritério para selecionar a metodologia mais apropriada para o cálculo de emissões de Gases Efeito Estufa (GEE) do serviço de entregas. Também se realiza uma descrição dos passos da metodologia escolhida.

Na Seção 5 apresenta-se a empresa Courrieros e descrevem os serviços de entregas que são realizados. Em seguida é calculada a Pegada de Carbono segundo a metodologia selecionada. Também se apresentam os resultados do cálculo e faz-se a comparação entre o uso de diferentes veículos de transporte para realizar o serviço.

Por último, a Seção 6 inclui as considerações finais do estudo e apresenta sugestões de trabalhos futuros.

2 Logística Verde

A Logística Verde ou *Green Logistics*, é definida como a transformação integral das estratégias de logística, estruturas, processos e sistemas para organizações e redes organizacionais servindo para criar processos de logística ambientalmente racionais e para o uso eficaz dos recursos (THIELL et al., 2011).

O sistema verde de logística é realizado através do equilíbrio entre a eficiência econômica e ecológica e a criação de valor sustentável para seus acionistas, olhando e avaliando os prazos como médios ou longos. Essa é a principal premissa da logística atualmente. Esta nova tendência está baseada em fazer o melhor uso dos recursos logísticos e, assim, impulsionar o desenvolvimento da economia criando uma economia circular (figura 1), concentrando-se no uso das matérias primas, armazenagem verde, transporte ecológico, processamento, reciclagem, entre outros.



Figura 1 - Economia circular da Logística Verde
Fonte: THIELL et al., (2011)

As atividades logísticas incluem aspectos básicos como armazenagem, transporte de carga e descarga, empacotamento, distribuição, entre outras. Nestas atividades é inevitável causar dano ao meio ambiente, principalmente em aspectos como: transporte, distribuição, armazenagem, carga e descarga, embalagens e reciclagem (ZHANG et al., 2010).

2.1

Elementos da Logística Verde

A otimização da utilização dos recursos disponíveis é um dos elementos mais essenciais da Logística Verde e, também, um dos princípios para o desenvolvimento dela. Por meio da integração de recursos existentes e a otimização da atribuição deles, as empresas podem melhorar sua utilização e reduzir seu consumo, tanto como os resíduos gerados. A Logística Verde é composta por sete elementos principais ilustrados na figura 2 (DA SILVA SANTOS et al., 2015). Em seguida descreve-se cada um dos sete elementos.



Figura 2 - Elementos da Logística Verde
Fonte: DA SILVA SANTOS et al., (2015)

2.1.1

Transporte verde

O transporte verde, primeiramente, se encarrega do planejamento para a configuração dos pontos de venda e os Centros de Distribuição (CDs), para o transporte adequado de mercadorias. A implementação de unidades que minimizem as emissões contaminantes geradas pelos GEE ou que utilizem outra

fonte de energia alternativa limpa, estão incluídos dentro do transporte verde. Rotas mais curtas e a diminuição da taxa dos veículos vazios, podem economizar energia e combustível, reduzindo significativamente as emissões de GEE. O transporte verde também promove a melhoria da tecnologia do motor de combustão interna, e/ou o uso de combustíveis mais limpos visando melhorar a eficiência energética. Também é considerada a excelência da manutenção dos equipamentos para evitar o vazamento de substâncias.

2.1.2

Armazenamento verde

O armazenamento verde deve dispor de uma boa infraestrutura que permita o fácil deslocamento dos produtos, assim como o carregamento. Por exemplo: Realizar de forma mais simples o transporte dentro do armazém, reduzindo os custos e a contaminação; maximizar o uso de luz natural; instalar painéis solares nos tetos dos depósitos e, também, sensores de presença no interior dos mesmos que só são ativadas se alguém circular pelo setor; uso de água natural e materiais de construção do tipo *green*, ou seja, que em algum momento seu uso seja justificado pela redução de impactos em comparação aos materiais convencionais.

2.1.3

Carga e descarga verde

A carga e descarga verde evitam danos aos bens, assim como o desperdício de recursos e a poluição do meio ambiente através dos resíduos gerados. Pressupõe a eliminação dos processos ineficazes, melhorando a flexibilidade de manipulação e o uso razoável de maquinário moderno para manter o equilíbrio entre esses três pilares da sustentabilidade.

2.1.4

Distribuição verde

A distribuição verde considera dois canais de distribuição. No primeiro tenta-se fazer o processo mais eficiente desde a fábrica ao CD, transfere-se o processamento centralizado ao processamento de distribuição, melhorando o uso de recursos aumentando a eficiência e reduzindo a poluição ambiental; enquanto que o segundo canal corresponde ao processo dos resíduos gerados dos mesmos. O consumo de combustível e a emissão de CO₂ associados são duas das

principais preocupações da distribuição verde. A otimização combinatória é uma ferramenta chave para o desenvolvimento de modelos que ajudem significativamente a minimizar os diferentes impactos sociais, econômicos e ambientais.

2.1.5

Empacotamento verde

O empacotamento verde se encarrega de diminuir o material para embalagem. Também promove a utilização de materiais biodegradáveis que não afetam o ciclo biológico. Assim, a adoção da embalagem verde economiza recursos e protege o meio ambiente, fomentando a reciclagem e diminuindo o ciclo de degradação deles, sem danos aos seres humanos e aos sistemas biológicos.

2.1.6

Informação verde

A logística não é apenas a transferência da mercadoria de um lugar para outro. Nela, se inclui, também, de maneira relevante, a coleta de informações, agrupamento, armazenamento e utilização da mercadoria. A Logística Verde exige que as informações relacionadas devam ser precisas e recolhidas de maneira eficiente, processadas e prontamente aplicadas à gestão de logística, que irá promovê-las para se tornarem mais verdes. A informação verde significa ter o controle total da informação para evitar o desperdício de papel e/ou energia elétrica, além de tornar mais eficientes os processos minimizando tempo e espaço. Assim pode saber se os processos estão sendo realizados adequadamente com os padrões necessários.

2.1.7

Reciclagem

A reciclagem faz parte da Logística Reversa (LR), que é definida como o processo de planificação, implementação e controle da eficiência, do fluxo de matérias-primas, estoques de processo, de produtos acabados e a informação relevante do ponto de utilização até o ponto de origem com o objetivo de recapturar o seu valor ou adequar o seu destino assegurando, ao mesmo tempo, uma utilização eficaz e ambiental dos recursos (DEKKER et al. 2013). Assim, um

grande número de resíduos tem sério impacto sobre o meio ambiente. A coleta deve ser organizada de maneira seletiva para garantir que os produtos passíveis de serem reciclados sejam devolvidos à produção completando o ciclo de vida adequadamente. Os resíduos gerados durante o processo devem ser trazidos de volta ao início para serem reutilizados ou reciclados.

2.2

Melhores práticas

Na atualidade, há incontáveis práticas de Logística Verde no mundo. Nesta seção são introduzidas duas áreas de estudo diretamente relacionadas com Logística Verde, contribuindo para o seu desenvolvimento a consciencialização da sociedade, são *Vehicle Routing Problem* e *City Logistics*.

2.2.1

Vehicle Routing Problem (VRP)

Existe uma grande variedade de problemas relativos ao transporte verde, tais como promoção de combustíveis alternativos (biodiesel, eletricidade, etanol, gás natural e energia solar), veículos elétricos, sistemas de transporte inteligente verde¹ e outras infraestruturas ecológicas.

Neste contexto, a concepção de uma rede de distribuição verde por meio de modelos de roteamento de veículos é uma das principais tarefas. Diferentes autores especificaram a estreita interação e contribuição dos métodos de pesquisas operacionais para a gestão ambiental, e abordaram questões relacionadas com o roteamento de veículos e a logística reversa para a recuperação de produtos e da coleta de resíduos (BLOEMHOF et al. 1995 e DANIEL, 1997).

Os estudos dos problemas de roteamento de veículos referem-se, fundamentalmente, à distribuição de bens desde a fábrica até os CDs ou aos próprios clientes. Ballou (2001) define o VRP como a atividade que tem por fim buscar os melhores trajetos que um veículo deve fazer através de uma malha para visitar determinados clientes. Esta busca, que geralmente tem como objetivo minimizar o tempo ou a distância, é uma decisão frequente na logística empresarial. No VRP tradicional, o foco está concentrado no impacto econômico das rotas dos veículos para a empresa que realiza o serviço de distribuição. A

¹ Programa de pesquisa de classe mundial focado em abordar graves preocupações ambientais e de segurança através de uma abordagem integradora que engloba todo o paradigma de transporte automotivo

consideração de objetivos e restrições operacionais mais abrangentes que estão preocupados com as questões de logística sustentável, geram novos modelos de roteamento de veículos e novos cenários de aplicação o que, naturalmente, leva a problemas de otimização combinatória mais complexos.

Lin et al. (2014) fornecem um estado da arte dos VRP (figura 3), onde se concentram na natureza do problema e aplicação do VRP. Sendo uma vantagem desse esquema devido a que permite uma classificação aprofundada do problema, dividindo-o em diferentes subcategorias de cada classe, o que proporciona um horizonte mais amplo para o progresso científico deste problema.

Desde sua aparição, o VRP definido por Dantzig e Ramser (1959), tem desfrutado de uma atenção de pesquisa especial há mais de 50 anos. Diversos documentos de pesquisa foram publicados em diferentes momentos para relatar o estado da arte até a data. Com sua grande relevância para aplicações da vida real e sua crescente complexidade sujeita a restrições operacionais, as preocupações com o VRP ainda estão crescendo em paralelo com os esforços para desenvolver modelos matemáticos mais práticos e algoritmos de maior desempenho. Lin et al. (2014) identificaram várias classes de VRP e cada uma delas foram alvos de diferentes estudos científicos. Ressalta que algumas novas variantes de VRP, como *Multi-Echelon* VRP, VRP com restrições de carregamento, e entre outras, surgiram recentemente. Esse tipo de VRP incorporam novas considerações operacionais ao problema, algumas das quais até alteram a estrutura da natureza do problema e são estudados individualmente.

Embora as variantes do VRP ao longo do tempo tenham coberto diferentes temas, poucos problemas investigam o impacto ambiental e ecológico do roteamento de veículos que é causado na vida real. Assim aparece o GVRP vem sendo, principalmente, investigado desde o ano de 2006 e é dividido em três categorias principais que são: (i) *Green* VRP, (ii) *Polluting Routing Problem* (PRP) e (iii) *VRP in Reverse Logistics* (VRPLR). Cada uma delas será definida a seguir.

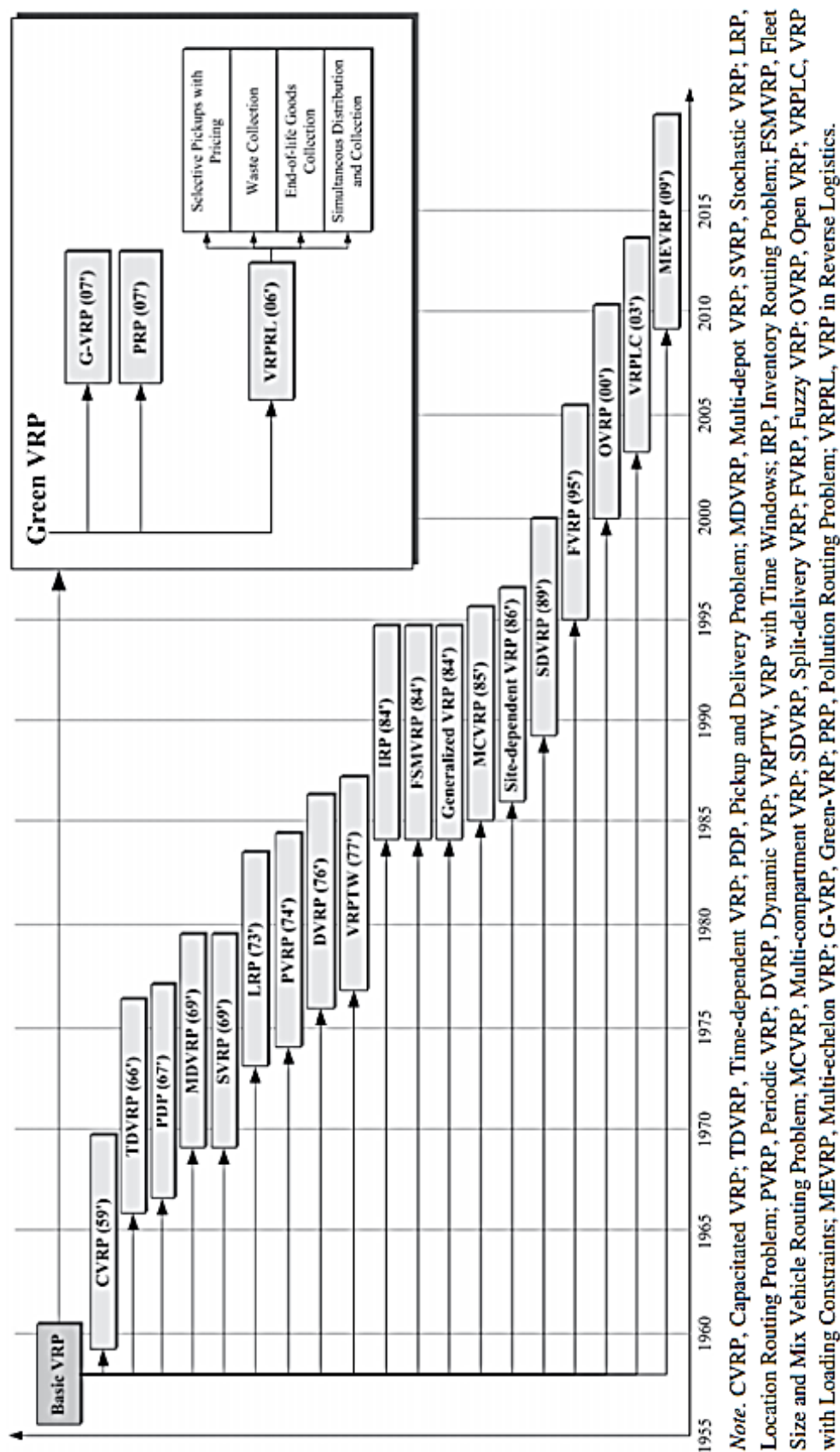


Figura 3 - Evolução do VRP ao longo do tempo
Fonte: Lin et al. (2014)

2.2.1.1

Green Vehicle Routing Problem (GVRP)

A Logística Verde lida com atividades de medição dos efeitos ambientais de diferentes estratégias de distribuição, redução do consumo de energia, reciclagem de resíduos e gestão de eliminação de resíduos (SBIHI et al. 2007). Com base nestas atividades dominantes, se denota o conhecido *Green Vehicle Routing Problem* (GVRP), que é caracterizado por buscar o equilíbrio dos custos ambientais e econômicos através da implementação de rotas eficientes para satisfazer as preocupações ambientais e os índices financeiros (ERDOĞAN et al. 2012). Ultimamente houve um crescimento nos estudos relacionados ao GVRP por meio de contribuições teóricas e aplicações reais.

Nos últimos anos, as preocupações ambientais têm sido abordadas em estudos de VRP. Estes estudos são denominados em geral como GVRP e associam restrições ou parcelas à função objetivo relacionadas com a quantidade de emissões de gases tóxicos para a atmosfera. Alguns dos estudos mais relevantes referentes ao GVRP são apresentados no quadro 1.

Quadro 1 - Estudo relevantes referentes ao GVRP

Autor	Ano	Abordagem	Contribuição
Kara et al.	2007	EMVRP	Consideram custos de transporte mais realistas ao tomar em consideração a carga do veículo para além da distância percorrida. Esse problema foi definido como EMVRP e é uma extensão do CVRP, adicionando o novo objetivo de custo, que está em função da carga total do veículo (incluindo o peso do veículo vazio) e a distância do arco.
Kuo et al.	2010	TDVRP	Além da distância e do peso do veículo, adicionam a velocidade de transporte ao modelo de cálculo de consumo de combustível no TDVRP, no qual os veículos têm restrições de tempo para realizar a distribuição, que são abordados em outros estudos encontrados na literatura.
Erdoğan et al.	2012	GVRP	Formulam um modelo onde os veículos movidos a combustível alternativo podem ser reabastecidos antes de voltar ao depósito já que o combustível é muito limitado por ser, na maioria, veículos de pequeno porte.
Xiao et al.	2012	CVRP	Os veículos tem um limite de capacidade para realizar a distribuição das mercadorias, com o objetivo de minimizar o consumo de combustível e identificando fatores que causam a variação no consumo

Também Mckinnon et al. (2015), Sbihi et al. (2007), Demir et al. (2014) e Lin et al. (2014) examinam exaustivamente questões ambientais relacionadas ao roteamento e programação de veículos.

2.2.1.2

Polluting Routing Problem (PRP)

As crescentes preocupações sobre tais impactos negativos dos transportes no ambiente exigem planejar, novamente, as redes de transportes e o fluxo,

considerando explicitamente as emissões de GEE (BEKTAŞ et al., 2011). Colocar o VRP no centro de planejamento de transporte abre oportunidades para a redução das emissões, incluindo objetivos mais abrangentes que refletem os custos ambientais. O PRP tem como objetivo escolher um esquema para o envio de veículos com menos poluição.

No entanto, estudos relacionados sobre o VRP a partir da perspectiva de minimizar as emissões, são raramente encontrados na literatura. O objetivo tradicional do VRP é reduzir a distância total que, implicitamente, contribui com a diminuição de consumo de combustível e as emissões ambientais poluentes, mas essa relação precisa ser medida diretamente utilizando formulações mais precisas. Outros estudos relevantes ao PRP são encontrados no quadro 2.

Quadro 2 - Estudos relevantes referentes ao PRP

Autor	Ano	Abordagem	Contribuição
Pronello et al.	2000	VRP	Sugere que os modelos confiáveis para medir a poluição gerada pelas rotas dos veículos precisam levar em conta mais fatores como o tempo da viagem quando o motor está em aquecimento. Adicionando estes benefícios ambientais aos modelos do VRP, eles podem ser quantificados.
Sbihi et al.	2007	TDVRP	Consideram o TDVRP no contexto de congestionamento veicular. A quantidade de poluição é menor quando os veículos circulam com velocidades otimizadas.
Palmer	2007	VRPTW	Desenvolve um modelo integrado de roteamento de veículos e emissões de CO ₂ emitidos durante a viagem, sem deixar de lado o tempo da viagem e a distância. Analisando a forma como a velocidade afeta a redução das emissões de CO ₂ em diferentes cenários de congestionamento com janelas.
Maden et al.	2010	TDVRP	Apresentam um TDVRP com congestionamento e relatam uma redução de 7% nas emissões de CO ₂ com base em uma função de medição de emissões.
Bauer et al.	2010	VRP	Tem como objetivo explicitamente a minimização dos GEE em um modelo de transporte intermodal de mercadorias, mostrando o potencial do transporte intermodal para reduzir as emissões de GEE.
Fagerholt et al.	2010	VRPTW	Otimização da velocidade tendo em conta as vias de transporte fixas e as janelas de tempo, a velocidade de cada segmento de um percurso é otimizado, a fim de se obter uma economia no uso de combustível.
Ubeda et al.	2011	VRP	Realizam um estudo de caso. Os resultados revelaram que os retornos parece mais eficaz no controle das emissões. Isto sugere que os retornos poderia ser iniciado pelas empresas para aumentar a eficiência do consumo de energia e reduzir o impacto ambiental.
Bektaş et al.	2011	PRP	Propõem um PRP com e sem janelas de tempo e desenvolveram uma função objetivo que integra a minimização do custo das emissões de carbono, juntamente com os custos operacionais dos motoristas e o consumo de combustível.
Faulin et al.	2011	CVRP	Apresentam o CVRP com critérios ambientais e consideraram impactos mais complexos. Além da tradicional medição dos custos econômicos e ambientais que são causados pelas emissões poluentes, o ruído, o congestionamento e o desgaste na infraestrutura.

2.2.1.3

Vehicle Routing Problem in Reverse Logistics (VRPRL)

Na atualidade, a Logística Reversa (LR) tem recebido mais atenção por ser uma das partes mais importantes na área da Logística Verde. Esta é definida como

o processo de planificação, implementação e controle da eficiência, fluxo de matérias-primas e estoques de processo, produtos acabados e informação relevante do ponto de utilização até o ponto de origem com o objetivo de recapturar o seu valor ou adequar o seu destino assegurando, ao mesmo tempo, uma utilização eficaz e ambiental dos recursos (DEKKER et al. 2013).

Lin et al. (2014) subdividem o VRPRL em quatro categorias: (I) Coleta Seletiva com Preço (*Selective Pickups with Pricing*), (II) Coleta de Resíduos (*Waste Collection*), (III) Coleta de produtos ao final de sua vida útil (*End-of-life Goods Collection*) e (IV) Distribuição e Coleta Simultânea (*Simultaneous Distribution and Collection*).

(I) Coleta Seletiva com Preço (*Selective Pickups with Pricing*)

A Coleta Seletiva com Preço, na LR, é caracterizada pela escolha de pontos rentáveis em termos econômicos para visita, fazendo com que a operação da coleta seja a mais rentável possível. Este problema é incorporado ao VRP com entregas e coletas com preço (FEILLET et al. 2005). No quadro 3 se apresentam alguns dos estudos relevantes deste problema.

Quadro 3 - Estudos relevantes referentes à coleta seletiva com preço

Autor	Ano	Abordagem	Contribuição
Privé et al.	2006	VRPLR	Analisa o VRP fazendo entregas de bebidas para lojas de conveniência e a devida coleta das garrafas vazias e latas de alumínio. O problema foi descrito com o objetivo de minimizar o custo restando o lucro produzido pela coleta de garrafas e latas recicladas.
Gribovskaia et al.	2008	VRPRL	Examinam um problema similar ao anterior, diferenciando-o porque era permitido aos veículos visitar duas vezes cada cliente.
Aras et al.	2011	MDVRP	Apresenta o <i>Selective Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Pricing</i> , onde a visita dependia de alguns fatores como: se seria rentável; se o espaço do veículo seria suficiente para carregar os produtos reciclados; e, também, não seria permitido dividir a coleta.

(II) Coleta de Resíduos (*Waste Collection*)

Os aumentos amplamente reconhecidos da produção de resíduos sólidos, junto com o aumento das preocupações ambientais, levaram os governos e organizações a dedicar recursos para planificar as políticas de coleta de resíduos sólidos (SBIHI et al. 2007). A gestão dos resíduos, incluindo sua prevenção, reuso e reciclagem, é o processo chave para a proteção do meio ambiente e conservação dos recursos. Essas políticas têm como resultado um progresso significativo na gestão desses processos, particularmente nos países mais desenvolvidos.

Quadro 4 - Estudos relevantes referentes à coleta de resíduos

Autor	Ano	Abordagem	Contribuição
Beltrami et al.	1974	VRPLR	Desenvolvem um dos primeiros modelos de VRP relacionado com a Coleta de Resíduos. Atualmente, a Coleta de Resíduos é considerada como uma das partes mais importantes da LR.
Ramos et al.	2011	MDVRP	Reciclagem de resíduos
Mar-Ortiz et al.	2011	LRP	Reciclagem de resíduos

(III) Coleta de Produtos ao Final da Vida Útil (*End-of-life Goods Collection*)

A coleta de alguns componentes de produtos ao final da sua vida útil pode beneficiar o fabricante original, já que os materiais ou componentes utilizados podem ser funcionais após sua eliminação ou refabricação. No quadro 5 se apresentam alguns dos estudos mais relevantes.

Quadro 5 - Estudos relevantes referentes à coleta de produtos ao final da vida útil

Autor	Ano	Abordagem	Contribuição
Schultmann et al.	2006	VRPLR	Investigam a LR de componentes de veículos ao final de sua vida útil na Alemanha. A <i>Tabu Search</i> foi utilizada para minimizar a distância e, assim, conseguir visitar mais de 1000 desmontadores repartidos em todo o país.
Le Blanc et al.	2006	VRPLR	O objetivo era otimizar a rede logística de recipientes que são utilizados para entregar esses componentes (ou materiais) a partir dos pontos de desmantelamento na Holanda.
Krikke et al.	2008	IRP	Consideram o <i>Inventory Routing Problem</i> na coleta de materiais que são desmantelados dos veículos ao final de sua vida útil. Utilizando a informação do inventário, os seus níveis foram observados e utilizados para construir o plano de coleta.
Kim et al.	2009 2011	VRPLR	O modelo define que cada depósito de reciclagem tenha um número fixo de veículos idênticos e adiciona como restrição uma distância máxima de percurso para cada veículo. No ano 2011 desenvolveu o multi depósito.

(IV) Distribuição e coleta simultânea (*Simultaneous Distribution and Collection*)

Os estudos que se referem a este tipo de problema, utilizam o modelo do VRP para entregas e coletas simultâneas para formular o processo de distribuição da LR. Dell'Amico et al. (2006) definem um modelo de programação linear binário e estudaram a aplicação da técnica *Branch and Price* para obter sua solução. Alshamrani et al. (2007) examinam um problema real sobre a distribuição de sangue e coleta dos seus respectivos recipientes onde existia o custo de penalização quando os recipientes não eram coletados. Além disso, foi considerada, no modelo proposto, demanda estocástica e visitas periódicas.

2.2.2

City Logistics

O problema gerado pela movimentação de mercadorias em áreas urbanas nunca foi considerado no planejamento de transporte urbano. Nos últimos anos essa visão vem mudando rapidamente devido à crescente conscientização dos governos e organizações a respeito dos grandes problemas gerados como consequência.

Taniguchi et al. (2001), um dos máximos expoentes da *City Logistics*, a define como o processo para a completa otimização das atividades logísticas e de transportes pelas companhias privadas em áreas urbanas, considerando o aumento e o congestionamento do trânsito e o consumo de combustível dentro de uma estrutura de economia de mercado.

Crainic et al. (2009) define alguns objetivos que a *City Logistics* busca atingir: Reduzir congestionamentos e aumentar a mobilidade por meio do controle do número dos veículos de certa dimensão que operam dentro da cidade; reduzir consideravelmente a quilometragem percorrida pelos veículos; e o aumentar a eficiência da movimentação de carregamentos; diminuir a poluição e os níveis de ruído, contribuindo para o Protocolo de Quioto.

Assim, no começo do último século, se percebeu a necessidade da *City Logistics* como nova área no planejamento de transportes com o fim de encontrar o equilíbrio entre a eficiência requerida pelo transporte urbano de cargas e os custos sociais associados, produto do congestionamento do trânsito, impactos ambientais e conservação de energia (ROBINSON, 2002).

Assim, pode-se dizer que o objetivo da *City Logistics* é a otimização geral dos sistemas logísticos dentro da área urbana considerando custos e benefícios para os setores públicos e privados. Como já se sabe, as empresas do setor privado e transportadores de carga objetivam reduzir seus custos, enquanto o setor público tenta aliviar o congestionamento do trânsito e os problemas ambientais. Desta forma, os sistemas logísticos otimizados oferecem vantagens.

A movimentação de carga envolve um grande número de participantes, cada um com necessidades e aspirações distintas. A *City Logistics* visa a colaboração e parceria entre os principais agentes chave como atacadistas, varejistas, clientes, administradores e transportadores de carga, dentro de um mercado baseado na economia facilitando a gestão de transporte de mercadoria urbana (figura 4).

Também promove o desenvolvimento e a aplicação de modelos que fazem previsões dos projetos e seus consequentes efeitos. Assim, é requerida a modelagem da rede de transportes, o nível de serviços e os impactos (THOMPSON, 2003).

Um trabalho desenvolvido pela Comissão Europeia (CE), com o objetivo de identificar técnicas e estratégias em transportes, especificamente para a movimentação de cargas, abordou algumas “áreas chave”, das quais se podem esperar ganhos ambientais e de competitividade para as companhias envolvidas nesse processo (EUROPEAN COMMISSION, 2000). Assim foram destacadas:

- Motores menos poluentes;
- Treinamento de pessoal (motoristas);
- Adoção de meios de transporte ambientalmente mais favoráveis;
- Redução do número de veículos circulando;
- Emprego dos conceitos de *City Logistics*.

Assim, no começo do último século, se percebeu a necessidade da City Logistics como nova área no planejamento de transportes com o fim de encontrar o equilíbrio entre a eficiência requerida pelo transporte urbano de cargas e os custos sociais associados, produto do congestionamento do trânsito, impactos ambientais e conservação de energia.

2.2.2.1

Gestão de transporte urbano de mercadorias

O procedimento de Gestão de Transporte Urbano de Mercadorias pode ser dividido em quatro fases: (a) Projeto, (b) Verificação, (c) Implementação, (d) Avaliação. É adotado o ciclo “*Plan, Do, Check and Act*” PDCA (TANIGUCHI, 2014).

A fase do Projeto inclui: identificação dos problemas e suas causas; estabelecimento de metas; descrição dos deslocamentos dos veículos de carga; e a combinação de abordagem e medidas. Na fase de Verificação, geralmente se planeja um projeto piloto para determinar se o projeto pode causar efeitos colaterais. Na fase de Implementação, a colaboração entre as autoridades públicas e as empresas privadas é fundamental, uma vez que o sucesso das medidas de gestão de transporte urbano de mercadorias depende da compreensão mútua e da cooperação de partes interessadas. Na fase de Avaliação, vários critérios são

necessários para avaliar as políticas consideradas, incluindo: custos de frete, impactos ambientais, segurança e consumo de energia. Os principais indicadores de desempenho em termos de qualidade de vida, desenvolvimento econômico, acessibilidade e eficiência dos transportes, realizam um papel importante para a avaliação dessas políticas. Se os resultados não forem bons no processo de retroalimentação (*feedback*), o processo deve ser retomado desde o começo, sendo a chave para atingir metas no ciclo PDCA.

As cidades precisam identificar novas estratégias para aumentar a qualidade de vida dos cidadãos, mantendo a competitividade econômica. Sem mudanças no sistema, a tendência da urbanização é causar maiores congestionamentos e aumentar os níveis de poluição, assim como uma série de novos desafios causados pela alta densidade populacional (GRIMM et al. 2008). Apesar dos crescentes desafios como consequência disto, as cidades precisam garantir a qualidade de vida dos cidadãos, mantendo o bom acesso aos bens e serviços. Neste contexto a mobilidade urbana desempenha um papel chave na promoção do desenvolvimento sustentável de uma cidade. Em particular, um sistema de transporte de mercadorias eficaz é necessário uma vez que desempenha um papel significativo na competitividade de uma área urbana e representa um elemento importante para a economia local em relação ao emprego e renda que gera (RUSSO et al. 2010).

Embora o transporte de mercadorias e a logística sejam fundamentais para a cidade, o setor enfrenta desafios econômicos e ambientais alimentados pela tendência de rápido crescimento do *e-commerce* e a utilização de caminhões de pequeno porte (*vans*) para atender a demanda. Soluções sustentáveis da *City Logistics* são necessárias para resolver esses problemas nos centros das cidades (RUSSO et al. 2012).

2.2.2.2

O uso das bicicletas como veículos para o transporte urbano de mercadorias

Atualmente, existem poucos trabalhos sobre o uso de bicicletas de carga no contexto da *City Logistics* (DE DECKER, 2012). Schliwa et al. (2015) condensa os estudos, como apresentado na quadro 6. Pode-se perceber que eles são limitados ao contexto europeu, onde o principal foco é identificar o potencial de mercado no setor de logística e realizar estudos de casos específicos para cidades

ou empresas. Paris e Londres servem como grandes exemplos do uso de bicicletas para o transporte de cargas (CONWAY et al. 2011).

Quadro 6 - Estudos sobre o uso de bicicletas de carga no contexto da *City Logistics*

Objeto da pesquisa	Autor(es)	Principais conclusões
Small electric vehicles (SEV)	Melo et al. (2014)	SEV são uma solução viável para satisfazer os Stakeholders tanto públicos como privados quando os custos operacionais e externos estão totalmente contabilizados. Portugal.
Electric cargo bikes (E-CB)	Gruber, Ehrler, and Lenz (2013); Gruber et al. (2014)	19%-48% das milhas percorridas por veículos com motor de combustão da logística de courier, podem ser substituídas por bicicletas de carga elétrica. Berlin, Alemanha.
Bikes for urban freight	Lenz and Riehle (2013); Riehle (2012)	Elevado potencial para o setor de comidas e o mercado Courier, Express and Parcel (CEP). A percepção das bicicletas de carga (Cargo Bikes) como um modo adequado de transporte e sua aceitação com clientes (potenciais). Europa.
Freight tricycles for urban micro-consolidation (UMC) and last mile	Conway et al. (2011)	Os fretes podem ser deslocados por triciclos sem aumentar os custos econômicos e, ao mesmo tempo, reduzir os sociais. Apoio público financeiro para UMCs, servindo para operações simples ou múltiplo transportadoras que poderiam ser justificadas pelo tráfego e melhorias ambientais e de criação de empregos. Londres, Paris e NYC
Bicycle messengers e Bike couriers	Maes and Vaneland	Mercado específico para Bike Couriers existe. Obstáculo: dúvida sobre profissionalismo e ligações com a rede logística. Bélgica, Holanda,
Trends and innovation in city logistics	Taniguchi et al., 2014 e Balm et al., 2014	Triciclos eletricamente assistidos juntamente com os veículos elétricos pequenos reconhecidos como tendência e inovação em City Logistics. Estudo de caso em Bruxelas.
City logistics, sustainable city logistics	Russo and Comi, 2010 e 2012, Taniguchi et al., 2014	Três elementos são essenciais para promover a City Logistics: (A) Aplicação das TIC, (B) Mudança na mentalidade dos gestores logísticos, e C) Parcerias Público Privadas; do ponto de vista de utilidade pública, o aspecto mais importante é promover uma estratégia de desenvolvimento sustentável. Europa.
Role of urban consolidation centres in use with electric vehicles and electric cargo cycles	Browne et al. (2011)	Distância total percorrida e CO2 por parcela entregue caiu 14% e 55%, como resultado deste sistema de entrega; teste bem sucedido do ponto de vista da empresa nos três setores: transporte, ambiental e financeiro. Portanto, decidiram continuar com a operação. Londres, UK
"Ich ersetze ein auto" (i.e. "I substitute a car")	Institute of Transport Research at DLR	E-CB é mais aceito por Bike Messengers do que os usuários de autos; Disponível em: www.ich-ersetze-ein-auto.de . Alemanha (8 cidades).
"Cyclelogistics"	FGM, AMOR, Outspoken, ECF, CTC	Em média, 51% de todas as viagens motorizadas nas cidades europeias que envolvem transporte de mercadorias, poderia ser feito com motos ou bicicletas de carga; Disponível em: http://cyclelogistics.eu . Europa.
"Pro E-bike"	Energy Institute Hrvoje Požar (project coordinator)	Promovendo "E-bikes" para entrega de mercadorias e de passageiros, informação individual e conclusões disponíveis em: www.pro-e-bike.org . Atualmente 30 empresas piloto em 8 cidades europeias.
"Cyclelogistics Ahead"	Cycle logistics Federation	O objetivo principal é reduzir o consumo de energia e as emissões do transporte de mercadorias em áreas urbanas pelo desencadeamento de aplicações logísticas com quase zero emissões em toda Europa. Europa.

Esses estudos fazem distinções claras entre as bicicletas de carga (*Cargo Bikes*), bicicletas de carga elétricas (*Electric-Cargo Bikes*) e Veículos Elétricos Pequenos (*Small Electric Vehicle*). Os estudos constataram que o uso de bicicletas para a movimentação de carga representa uma solução viável para o transporte urbano.

O resultado recente do projeto europeu de *Cyclelogistics*, afirma que 51% de todas as viagens motorizadas nas cidades europeias que envolvem transporte de mercadorias, poderiam ser feitas com Bicicletas de Carga (BC) (WRIGHTON et al. 2016). Em uma análise quantitativa dos custos operacionais e externos, Melo et al. (2014) sugerem que os Veículos Elétricos Pequenos (VEP) são uma solução viável para satisfazer as partes interessadas tanto públicos como privados. Uma

consideração operacional importante é que as Bicicletas de Carga Elétricas (BC-E) se encontram posicionadas em um nível mais alto do que as bicicletas, mas menor que o dos carros. Em termos de custo, capacidade de carga e alcance, elas se tornam adequadas para desafios logísticos específicos (LENZ et al. 2013). As bicicletas têm áreas específicas de aplicação e mercados que incluem: correio; serviço de correio expresso e encomendas; e entrega de produtos básicos. Também existe um potencial significativo para efetuar entregas com pequeno volume e pouco peso. Em termos de diminuição das emissões de carbono, um estudo de caso em Londres, conclui que a distância total percorrida e as emissões de CO₂ por parcela entregue, caíram em 20% e 55%, respectivamente, como resultado de um sistema de entrega utilizando PVE e Triciclos de Carga (BROWNE et al. 2011). BC e BC-E têm maior potencial em áreas urbanas, devido às suas capacidades de evadir o congestionamento e a facilidade de acesso a diferentes áreas com restrições de período de tempo ou de entrega (LENZ et al. 2013).

Antigamente, a maioria das empresas logísticas que utilizavam bicicletas operava em pequena escala e, raramente, estavam ligadas a outras empresas de logística. Maes et al. (2012) afirma que muitas empresas acreditam que os *Bike Courriers* estão ligados a uma rede global, mas que são do tipo local ou até regional oferecendo entregas no mesmo dia, onde o *e-commerce* está fortemente situado. No entanto, recentemente, grandes empresas de logística passaram a considerar, cada vez mais, a utilização de bicicletas como uma solução logística, assim as Pequenas e Medias Empresas (PME) do Reino Unido começaram a trabalhar com empresas como DHL e similares que indicam uma mudança dentro da indústria (ARMSTRONG, 2015). Nas cidades europeias, qualquer decisão de planejamento que aumente os custos diretos ou indiretos de condução ou de estacionamento de carros e *vans* em cidades, ajuda a incentivar a adoção de bicicletas de carga como modo de transporte de mercadorias (REITER et al., 2014). Gruber et al. (2014) reconhece que o maior obstáculo para a aceitação mais ampla das bicicletas de carga é a falta de reconhecimento entre os usuários e clientes como uma forma adequada de transporte. Apesar de vários estudos de caso recentes concluírem que a mudança do uso de veículos motorizados para realizar as entregas utilizando bicicletas é uma opção viável para o transporte de mercadorias em áreas urbanas, a captação comercial dos negócios de logística

referente ao uso de bicicletas, ainda não encontrou o caminho para se consolidar. Essas questões coincidem com as principais conclusões da investigação sobre a *City Logistics*, onde o aspecto mais importante é promover uma estratégia de desenvolvimento sustentável, monitorando e controlando os diferentes custos gerados pelo transporte de mercadorias em áreas urbanas, e que uma mudança na mentalidade dos gestores de logística, tanto como parcerias público privadas, são essenciais para promover uma *City Logistics* sustentável (RUSSO et al., 2012).

2.2.2.3

Cyclelogistics

Existe um potencial significativo no uso de bicicletas de carga para substituir veículos motorizados. No entanto, um dos principais obstáculos identificados é a percepção deste meio como um modo adequado para o transporte urbano de mercadorias e sua aceitação por parte de potenciais clientes de forma *Busissnes-to-Busissnes* (B2B) e *Busissnes-to-Consumer* (B2C). Isto pode ser porque mesmo sendo um meio de transporte inventado há mais de 200 anos, é um campo de estudo recente. Atualmente há uma grande variedade de definições e termos utilizados para descrever o uso das bicicletas de carga para o transporte de mercadoria urbana que, na realidade, tem pouca coerência na forma como são utilizadas (LENZ et al., 2013). Isso indica que uma linguagem bem utilizada pode desempenhar um papel relevante para conseguir uma maior divulgação.

O termo *Cyclelogistics* inclui todo tipo de *Cycles* e veículos que utilizam pedais, independentemente do número de rodas, se são eletricamente assistidas ou não. Schliwa et al. (2015) apresenta, na figura 4, três tipos de veículos diferentes para os *Cyclelogistics* encontrados na literatura.

Cyclelogistics tipos de veículos		
Bicicletas	Bicicletas de carga	Triciclos de carga
<i>Propriedades:</i> 2 pneus, sem cesto, assistidas eletricamente ou não	<i>Propriedades:</i> 2 pneus, com cesto, assistidas eletricamente ou não	<i>Propriedades:</i> 3 pneus, com cesto, assistidas eletricamente ou não

Figura 4 - Tipos de Veículos na *Cyclelogistics*
Fonte: Schliwa et al., (2015)

Dentro da *City Logistics*, se identificou um serviço chamado Última Milha (*Last Mile*) para fornecer um mercado à *Cyclelogistics*. Nele, aproveitam-se as vantagens econômicas deste tipo de transporte. A logística da última milha

envolve itens que vão ser entregues partindo de um depósito para um destino final, com uma distância curta. Algumas empresas fazem distinções ao se referir à Última Milha que pode ser até 10 quilômetros a partir do depósito. Para distinguir Última Milha dos serviços mais personalizados, o termo de serviço no mesmo dia é frequentemente utilizado por operadores de *Cyclelogistics*. Eles recebem uma ordem para levar um item a partir da localização de um ponto A para um destino B em um determinado dia ou até dentro de um horário determinado. O termo de entregas Expressas é frequentemente utilizado para este tipo de serviço (SOUSA, 2016).

Como é descrito no quadro 6, as cidades europeias poderiam reduzir mais de 50% das viagens utilizando bicicletas em vez de veículos de motor. Isto reduziria consideravelmente o congestionamento, o consumo de energia e a poluição sonora e do ar, aumentando a qualidade de vida, sustentabilidade, entre outros benefícios. A seguir se apresentam as vantagens de utilizar as bicicletas como meio de transporte de mercadorias.

- Não são suscetíveis a ficar presas no trânsito;
- Podem utilizar ambas as infraestruturas: linha dos carros e ciclovias;
- Não estão associadas às emissões de GEE e ruído;
- Requer menos espaços do que as *vans*;
- São rentáveis;
- Representam menos perigo para outros usuários;
- Não precisam de carteira de motorista;
- São bem aceites na sociedade.

Algumas desvantagens também podem ser ressaltadas como: furo dos pneus, probabilidade de roubo e susceptibilidade a chuva.

A situação da América é diferente da Europa. Grandes diferenças tanto culturais como geográficas, limitam a participação conjunta entre os países para resolver problemas referentes à logística e assim, ajudar na redução de emissões de GEE. No entanto a promoção do transporte alternativo é incentivada na maioria dos países da América, seja por empresas do setor público como do privado. Algumas delas seguem o exemplo de empresas da França, as quais incentivam o uso da bicicleta dando bonificações aos trabalhadores que vão de bicicleta para o serviço o que significa um grande avanço para um futuro melhor.

Em termos de logística, as bicicletas são muito utilizadas no setor de entregas, a maior parte se concentra no setor de alimentos e entregas geradas pelo *e-commerce* na Última Milha (*Last Mile*), no qual o produto vai da loja ao consumidor final. E sofrendo o mesmo preconceito da Europa, de não ser um meio de transporte “formal”, são deslocadas para um segundo plano.

Principalmente utilizadas pelo setor de alimentos, têm como principal premissa chegar a tempo e, assim, não perder a venda. No Rio de Janeiro o uso de bicicletas na logística urbana é muito comum, assim como em todo o Brasil e em cidades Latino Americanas.

A organização Transporte Ativo (2015), realizou levantamentos sobre o assunto nos anos de 2011 e 2015, trabalhos que renderam prêmios e diversas apresentações em conferências ao redor do mundo. Apenas no Bairro de Copacabana, na pesquisa de 2011, foram encontradas mais de 700 bicicletas em serviço e em empregos diretos, que realizam mais de 10 mil entregas (entrega é considerada como uma viagem de ida e outra de volta) por dia, gerando diversos benefícios, como economia de emissões, de espaço e de ruídos. No ano de 2015, a pesquisa utilizou um menor número de estabelecimentos baseando-se no quilômetro quadrado mais denso, conservando a mesma proporção do estudo anterior (2011). A pesquisa foi estendida a outros bairros como: Centro, Tijuca, Ilha do Governador, entre outros. Os tipos de veículos utilizados se encontram na mesma proporção nos dois estudos: 40% Bicicleta Normal, 30% Bicicletas de Carga e 30% Triciclos de Carga. O peso carregado das entregas vai até 250 kg. Mendonça et al. (2011) afirma que utilizando as bicicletas como veículo de transporte de carga se economiza 286,5 toneladas de CO₂ anualmente, o que é realmente significativo. A tabela 1 resume os dois estudos feitos no bairro de Copacabana nos anos de 2011 e 2015.

Tabela 1 - Comparação dos estudos no ano 2011 e 2015

Tipo	Nº De Estabelecimentos		Nº Entregas		Nº Bicletas	
	2011	2015	2011	2015	2011	2015
Farmácias	42	16	2377	740	124	57
Padarias	38	7	1307	185	68	13
Material elétrico e construção	36	16	768	218	56	22
Lanchonetes e Sucos	35	15	844	530	51	24
Restaurantes	32	30	724	466	58	41
Lavanderias	32	21	557	283	42	27
Supermercados	29	21	1398	983	79	61
Distr. de Bebidas	22	10	1812	389	90	30
Pet Shops	20	14	489	385	42	24
Quiosques	11	--	96	--	14	--
Bares	11	--	68	--	15	--
Autônomos	9	--	160	--	9	--
Lojas de Colchões	9	7	68	39	9	7
Açougues	9	5	378	95	17	9
Oficinas de Eletrônicos	6	--	52	--	8	--
Vídeo Locadoras	5	--	91	--	8	--
Lojas de Auto Peças	4	--	40	--	4	--
Floriculturas	3	2	50	30	5	4
Marcenarias	2	--	34	--	4	--
Lojas de Material de Limpeza	2	--	26	--	4	--
Sapateiros	2	--	22	--	3	--
Lojas de Luminárias	--	4	--	29	--	6
Chaveiros	--	3	--	11	--	3
Lojas de Produtos Naturais	--	2	--	5	--	2
Outros	13	14	180	207	22	33
TOTAL	372	187	11541	4595	732	363

Fonte: Transporte Ativo

Porém, todos esses esforços não são levados em consideração devido a pouca importância demonstrada pelos clientes finais em relação ao veículo de entrega utilizado para transportar o produto. No entanto, a pegada de carbono pode ajudar neste sentido de conscientização ambiental. No capítulo 3 se abordam as metodologias reconhecidas pela Comissão Europeia para realizar a estimativa de pegada de carbono.

Atualmente, existem poucas empresas na cidade do Rio de Janeiro dedicadas ao serviço de entregas que utilizam bicicletas como meio de transporte. Uma dessas empresas é a Courrieros cuja operação será descrita no capítulo 5.

3

Metodologias de Cálculo de Pegada de Carbono

No contexto da crescente conscientização global sobre a mudança climática, o conceito de pegada de carbono é amplamente utilizado como ferramenta de marketing para mobilizar o segmento público e privado. Existem diferentes metodologias com grande aceitação na sociedade porque conseguem atender diferentes exigências em contextos distintos e, além disso, têm grande aceitabilidade internacional.

O conceito de *Carbon Footprint* ou Pegada de Carbono corresponde ao total de emissões de CO₂ e de quaisquer outros gases (GEE), expressos em termos de carbono equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e) para um sistema definido ou atividade. Assim, mede-se o total da contribuição para a mudança climática e identificam-se em que parte os maiores impactos de carbono e os potenciais custos/ganhos ocorrem.

A Pegada de Carbono é a soma do conteúdo das emissões de GEE, em massa de CO₂ equivalente de todos os materiais, energia e resíduos gerados nas atividades do ciclo de vida do produto, multiplicadas pelos respectivos fatores de emissão.

A Comissão Europeia criou um documento com o título “*Análise das existentes metodologias sobre pegada de carbono para produtos e organizações*” com a intenção de fornecer uma análise detalhada das metodologias selecionadas como base para formular orientações e requisitos e, assim, definir uma metodologia europeia comum sobre a Pegada de Carbono (CHOMKHAMRSRI, 2011). Esse documento serviu de base para selecionar a metodologia de cálculo de pegada de carbono a utilizar no presente estudo tendo em conta que existem outras

metodologias que não são reconhecidos ao nível internacional e por isto foram descartados. Para tal, foram consideradas as seguintes alternativas metodológicas:

- ISO 14067: *Carbon Footprint of Product*
- *Ecological footprint*
- *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard, Greenhouse Gas Protocol* (WRI/ WBCSD)
- *French Environmental Footprint* (BPX 30-323)
- *Product Carbon footprint* (PAS 2050)

Em seguida cada uma das metodologias de cálculo de pegada de carbono selecionadas é apresentada de acordo com o seguinte roteiro:

- Breve histórico da criação da metodologia;
- Objetivos da metodologia;
- Conceitos adotados;
- Referências normativas;
- Benefícios da aplicação da metodologia;
- Passos da metodologia;
- Princípios básicos (se aplicáveis).

3.1

Norma ISO/TS 14067:2013 Pegada de Carbono do Produto

3.1.1

Breve histórico da criação da metodologia

Em 2013, foi publicada a Norma ISO 14067, que especifica os princípios, requisitos e orientações para a quantificação e comunicação da pegada de carbono de um produto. Ela foi elaborada com base em normas internacionais sobre a avaliação do ciclo de vida (ISO 14040 e ISO 14044) para quantificação e nos rótulos ambientais e declarações (ISO 14020, ISO 14024 e ISO 14025) para comunicação.

Sempre que os resultados de um estudo de pegada de carbono de um produto são relatados de acordo com a ISO/TS 14067:2013, os procedimentos são fornecidos para certificar transparência e credibilidade e, também, para permitir escolhas informadas.

A Norma também prevê o desenvolvimento de regras de categoria de pegada de carbono do produto ou a adoção de regras de categoria do produto, que foram desenvolvidos de acordo com a norma ISO 14025 e que são consistentes com a Norma ISO/TS 14067:2013.

3.1.2

Objetivos da metodologia

Estabelecer os princípios, requisitos e orientações para a quantificação e comunicação da Pegada de Carbono de Produtos, com base em normas internacionais de avaliação do ciclo de vida para a certificação (ISO 14040 e ISO 14044) e declarações e rotulagem ambiental (ISO 14020, ISO 14024 e ISO 14044). Adicionalmente, fornecer os requisitos e orientações para a quantificação e comunicação de uma Pegada de Carbono Parcial de um Produto.

3.1.3

Conceitos adotados

A série ISO 14000 é um conjunto de normas que tratam de aspectos do meio ambiente, de produtos e organizações, destacando a norma ISO 14001 que se refere ao estabelecimento de um Sistema de Gestão Ambiental eficaz publicado em 1996, após o sucesso da série de normas ISO 9000 para a gestão da qualidade.

A série de normas ISO 14000 apresentam duas vertentes:

- A certificação do SGA - assim as empresas recebem o certificado.
- O rótulo ambiental, por meio do qual os produtos serão certificados com o “Rótulo Verde”.

3.1.4

Referências normativas

As referências normativas que a ISO 14067 segue se apresentam no quadro 2.

Quadro 7 - Referências normativas da ISO 14067

Norma	Nome
ISO 14020 (2000)	<i>Environmental labels and declarations — General principles</i>
ISO 14024 (1999)	<i>Environmental labels and declarations — Type I environmental labelling — Principles and procedures</i>
ISO 14025 (2006)	<i>Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures</i>
ISO 14040 (2006)	<i>Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework</i>
ISO 14044 (2006)	<i>Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines</i>

3.1.5

Benefícios da aplicação da metodologia

Esta especificação espera beneficiar organizações, governos, comunidades e outras partes interessadas para fornecer clareza e coerência na quantificação e comunicação da PC de Produtos. Especificamente usando a Análise do Ciclo de Vida (ACV) de acordo com esta especificação técnica, utiliza-se a mudança climática como única categoria de impacto que pode oferecer benefícios como:

- Facilitar a rastreabilidade do desempenho na redução das emissões de GEE;
- Ajudar na criação de procedimentos eficazes e consistentes para fornecer informação da PC de Produtos às partes interessadas;
- Fornecer um melhor entendimento da PC de Produtos para identificar oportunidades de redução de GEE;
- Fornecer informação da PC de Produtos para promover mudanças no comportamento dos consumidores que podem contribuir à redução de GEE, através de melhores aquisições, decisões de uso e fim da vida útil;
- Proporcionar a comunicação correta e consistente da PC de Produtos para comparar produtos em um mercado livre e aberto;
- Destacar a credibilidade, consistência e transparência da quantificação, notificação e comunicação da PC de Produtos.

A PCP realizada de acordo com a especificação ISO 14067, contribuem com os objetivos de políticas e/ou regimes relacionados com os GEE. Uma organização poderia comunicar publicamente a PC de Produtos por diferentes razões tais como:

- Proporcionar informação aos consumidores para propósitos de tomada de decisões;
- Fomentar a consciência de mudança climática e o compromisso do consumidor com os temas ambientais;
- Apoiar a implementação de políticas sobre a gestão de mudança climática.

3.1.6

Descrição da metodologia

Os passos para realizar a quantificação e comunicação da PC de Produtos estão ilustrados no fluxograma da figura 5 (ISO, 2013).

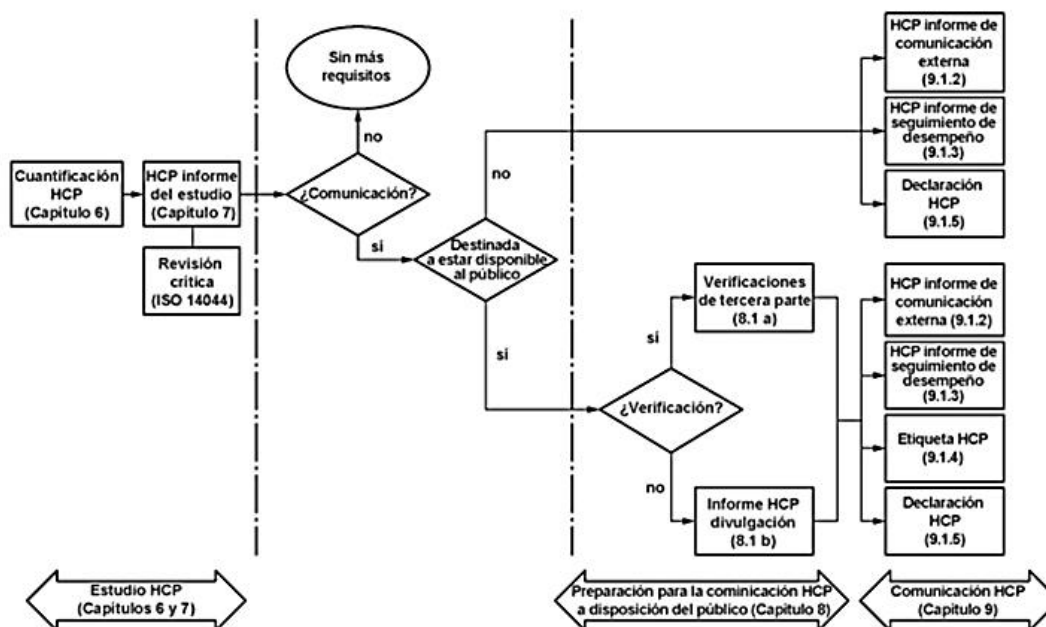


Figura 5 – Ligação entre o cálculo da pegada de carbono e a comunicação
Fonte: ISO 14067

3.1.7

Princípios básicos (se aplicáveis)

A Norma ISO 14067 baseia-se nos princípios de:

- Relevância;
- Integridade;
- Consistência;
- Precisão;
- Transparência.

3.2

Ecological Footprint (EF)

3.2.1

Breve histórico da criação da metodologia

A *Ecological Footprint* (EF) ou Pegada Ecológica é uma metodologia de contabilidade ambiental que avalia a pressão do consumo das populações humanas sobre os recursos naturais.

Expressa em Hectares Globais (gha), permite comparar diferentes padrões de consumo e verificar se estão dentro da capacidade ecológica do planeta. Um hectare global significa um hectare de produtividade média mundial para terras e águas produtivas em um ano. Já a biocapacidade representa a capacidade dos ecossistemas em produzir recursos úteis e absorver os resíduos gerados pelo ser humano.

Sendo assim, a Pegada Ecológica contabiliza os recursos naturais biológicos renováveis (grãos e vegetais, carne, peixes, madeira e fibras, energia renovável etc.), segmentados em Agricultura, Pastagens, Florestas, Pescaria, Área Construída, Energia e Absorção de Dióxido de Carbono (CO₂).

Lançado em 1990 por Mathis Wackernagel e William Ress na *University of British Columbia*, a Pegada Ecológica lançou o movimento mais abrangente da Pegada, incluindo a Pegada de Carbono.

Já no ano 2003 foi fundada *Global Footprint Network* uma organização sem fins lucrativos. A *Global Footprint Network* é amplamente utilizada por cientistas, governos, indivíduos e instituições que trabalham para monitorar recursos ecológicos e promover o desenvolvimento sustentável do planeta baseados na Pegada Ecológica.

3.2.2

Objetivos da metodologia

- Utilizar como ferramenta de contabilidade de recursos que mede disponibilidade de recursos na natureza, o quanto usamos e quem usa o quê.

- Documentar se estamos vivendo dentro do nosso “orçamento ecológico” ou consumindo recursos disponíveis mais rapidamente do que o planeta pode renová-los.
- Provocar um diálogo global sobre o futuro do planeta como um todo e como podemos atuar de maneira sustentável globalmente, promovendo um futuro mais estável e próspero.
- Fornecer ferramentas e programas que podem ajudar os países a prosperar em um mundo com recursos limitados, voltados para países e regiões.
- Estender programas de “Pegada Ecológica” relevantes e práticos para cidades, empresas e instituições financeiras.
- Desenvolver padrões internacionais de “Pegada”, promovendo a integridade e comparabilidade em todo o mundo.

3.2.3

Conceitos adotados

Biocapacidade: Representa as áreas de terra biologicamente produtivas do planeta, incluindo florestas, pastagens, terras agrícolas e áreas pesqueiras. Pode ser comparada com a demanda da humanidade pela natureza: nossa “Pegada Ecológica”.

Pegada Ecológica: Representa a área produtiva necessária para fornecer os recursos renováveis que a humanidade está usando e para absorver seus resíduos. A área produtiva atualmente ocupada por infraestrutura humana também está incluída nesse cálculo, uma vez que a mesma não está disponível para a regeneração de recursos.

Pegada de Carbono: Mede as emissões de CO₂ associadas ao uso de combustíveis fósseis. Na contabilidade da Pegada Ecológica, estas quantidades são convertidas em áreas biologicamente produtivas necessárias para a absorção de CO₂. É adicionada à Pegada Ecológica porque é um uso competitivo do espaço bioprodutivo uma vez que o aumento das concentrações de CO₂ na atmosfera é considerado como um acúmulo de dívida ecológica.

3.2.4

Referências normativas

As referências normativas que a *Ecological Footprint* segue se apresentam no quadro 3.

Quadro 8 - Referências normativas da *Ecological Footprint*

Norma	Nome
CLUM	Matriz de uso de terras para consumo – (<i>Consumption Land Use Matrix</i>)
P-LCA	<i>Process-based Life-cycle assessment</i>
EEIO-LCA	<i>Environmentally extended input life cycle assessment</i>
ISO 14040 (2006)	<i>Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework</i>
ISO 14044 (2006)	<i>Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines</i>

3.2.5

Benefícios da aplicação da metodologia

- Fornece dados abrangentes sobre a demanda da humanidade pela natureza.
- Abrangem mais de 200 países, territórios e regiões do planeta.
- Acesso gratuito a um novo pacote de dados públicos, que inclui os últimos resultados de Pegada Ecológica per capita e biocapacidade para 186 países.
- Recursos: Relatório ERISC (*Environmental Risk in Sovereign Credit Analysis/Risco Ambiental de Análise de Crédito Soberano*) que preenche lacuna de metodologia explorando até que ponto riscos ecológicos e de recursos podem afetar a economia de uma nação e como esses fatores afetam a capacidade da mesma de pagar suas dívidas / *Rankings* ERISC disponíveis para mais de 130 países.
- Recursos Adicionais: *The Working Guidebook National Footprint Accounts* 2014 (Guia de Trabalho para as Contas Nacionais de Pegada) fornece descrição detalhada de cada parte do caderno de exercícios e também de cálculos e fontes de dados / *The National Footprint Atlas* 2010 (Atlas da Pegada Ecológica) explica o propósito por trás da contabilidade da Pegada Ecológica, abordando questões de pesquisa e conceitos básicos, bem como ciência subjacente dos cálculos.
- Relatório ERISC: *New Angle on Sovereign Credit Risk* que descreve o raciocínio e a metodologia usados para fundamentar o caso de negócios

para instituições financeiras e as agências de classificação de risco e inclui critérios ecológicos como componentes chave da análise de risco do país.

3.2.6

Descrição da metodologia

A calculadora de pegada ecológica utiliza recurso de um questionário de perguntas do teste online para saber quanto é o consumo como pessoa individual como núcleo de família, ou país (www.footprintnetwork.org). Assim baseados nas diferentes bases de dados dependendo do país em que se realize o cálculo se obtém o resultado em gha. O resultado sai no momento em que se termina o teste.

3.2.7

Princípios básicos (se aplicáveis)

A Pegada Ecológica segue os princípios de:

- Comparabilidade
- Padronização
- Integridade
- Abrangência
- Equivalência

Assim, busca promover a aceleração do uso da Pegada Ecológica, uma ferramenta de contabilidade de recursos que mede quanta natureza temos, o quanto dela usamos e quem usa o quê.

A Pegada Ecológica tenta influenciar os tomadores de decisão para gerenciarem com sabedoria seus capitais ecológicos, agora e para o futuro, ajudando-os a reconhecerem o impacto do Déficit Ecológico Global (*Global Ecological Overshoot*) em suas políticas, investimentos e projetos.

3.3

Product Life Cycle Accounting and Reporting Standards GHG protocol

3.3.1

Breve histórico da criação da metodologia

Lançado em outubro de 2011 pelo *World Resources Institute* (WRI), baseia-se nas Normas ISO 14040:2009, ISO 14044:2009 e PAS 2050. Pretende ser complementar ao método já existente de contabilização de emissões corporativas *GHG Protocol*.

Ele permite que as empresas contabilizem também as emissões ao longo de sua cadeia de suprimento e de seus produtos, não somente dentro de seus portões, a fim de gerenciar riscos e oportunidades.

Com um propósito semelhante ao *GHG Protocol*, a quantificação e publicação do inventário de emissões e remoções de GEE, que estão atrelados a um determinado produto, deverão embasar as tomadas de decisões referentes à redução dos impactos das emissões.

3.3.2

Objetivos da metodologia

O objetivo principal da norma é fornecer um quadro geral para que as empresas realizem escolhas baseadas nessa informação para reduzir os GEE nos diferentes escopos dos produtos (bens ou serviços), que fabricam, vendem, compram ou utilizam.

À medida que a conscientização sobre as mudanças climáticas aumenta e as preocupações crescem, os investidores estão exigindo mais transparência e os consumidores buscam maior clareza sobre a responsabilidade social e ambiental. As empresas recebem cada vez mais pedidos das partes interessadas para medir e divulgar seus inventários de GEE.

3.3.3

Conceitos adotados

The Corporate Value Chain e *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standards* foram publicados em outubro de 2011, após um processo de desenvolvimento das partes interessadas de três anos. Estas novas normas incluem requisitos e orientações sobre o cálculo e a contabilidade do ciclo de vida do produto e o relatório das emissões Escopo 3 da organização, ou seja, as emissões indiretas das corporações, além dos já contabilizados no Escopo 2 a partir da geração de energia comprada. Estas duas novas normas são baseadas na abordagem do ciclo de vida. O Escopo 3 é um suplemento para o *Corporate Standard*, enquanto o *Product Standard* baseia-se na série ISO 14040 de normas.

O *GHG Protocol* define diferentes escopos para toda a cadeia de suprimentos. Eles se definem como (figura 6):

- Escopo 1: Emissões diretas
- Escopo 2: Compra de energia elétrica e térmica
- Escopo 3: Emissões indiretas

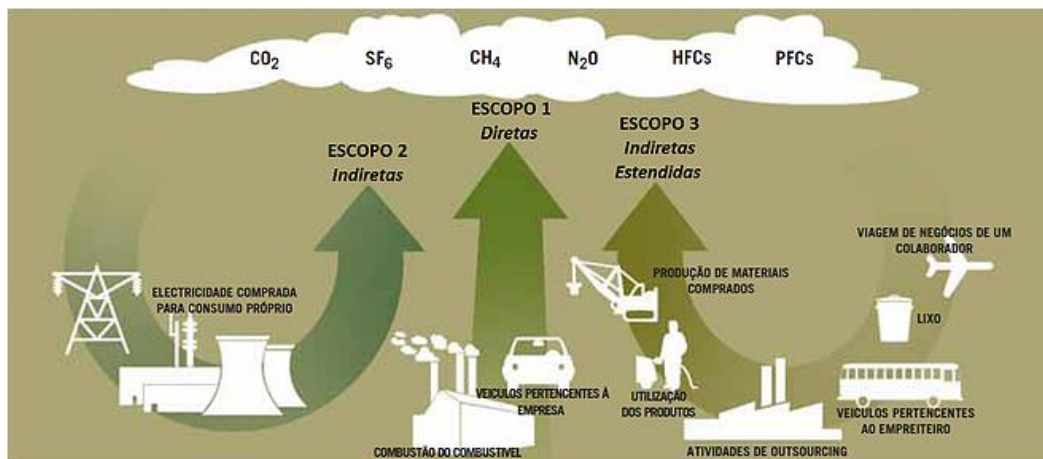


Figura 6 - Definição dos escopos 1, 2 e 3 segundo o *GHG Protocol*
Fonte: *GHG Protocol*

3.3.4

Referências normativas

As referências normativas que a *GHG Protocol* segue se apresentam no quadro 4.

Quadro 9 - Referências normativas do *GHG Protocol*

Norma	Nome
PAS 2050	<i>Product Carbon Footprint.</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO 14025	<i>Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures</i>
ISO 14040 (2006)	<i>Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework</i>
ISO 14044 (2006)	<i>Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines</i>

3.3.5

Benefícios da aplicação da metodologia

Gestão das alterações climáticas:

- Identificar novas oportunidades de mercado e incentivos regulatórios.
- Identificar riscos físicos e regulatórios relacionados ao clima no ciclo de vida de um produto.

- Avaliar os riscos decorrentes das flutuações nos custos de energia e disponibilidade de materiais.

Acompanhamento de desempenho:

- Concentrar esforços em melhorias de eficiência e oportunidades de redução de custos através de reduções de GEE ao longo do ciclo de vida de um produto.
- Definir metas de redução de GEE relacionadas ao produto e desenvolver estratégias para atingir os objetivos.
- Medir e relatar o desempenho de GEE ao longo do tempo.
- Acompanhar melhorias de eficiência ao longo do ciclo de vida do produto e do tempo.

Gerenciamento de fornecedores e clientes:

- Parceria com fornecedores para alcançar reduções de GEE.
- Avaliar o desempenho do fornecedor nos aspectos de GEE e fomentar os esforços de compra verde.
- Lançar uma campanha de educação ao cliente para incentivar ações que reduzam as emissões de GEE.

Diferenciação do produto:

- Alcançar vantagem competitiva ao buscar oportunidades de redução de GEE e economia de custos para criar um produto de baixa emissão.
- Redesenhar um produto para responder às preferências do cliente.
- Fortalecer a imagem da marca em relação ao desempenho em GEE.
- Reforçar a reputação e a responsabilidade corporativa através da divulgação pública de relatório de GEE.

3.3.6

Descrição da metodologia

Os passos básicos para o cálculo da pegada de carbono de qualquer bem ou serviço segundo a metodologia que oferece o *GHG Protocol*:

1. Definir o objetivo.
2. Definir o escopo.
3. Estabelecer o limite.
4. Coletar dados e avaliar a qualidade deles.
5. Melhorar a alocação dos dados (se necessário).

6. Avaliar a incerteza.
7. Calcular os resultados do inventário e verificá-los.
8. Reportar os resultados do inventário.
9. Definir os objetivos de redução de emissões.

3.3.7

Princípios básicos (se aplicáveis)

O GHG *Protocol* também utiliza os princípios básicos que devem ser seguidos para o cálculo da pegada de carbono

- Relevância
- Precisão
- Integridade
- Consistência
- Transparência

3.4

BPX 30-323 *French Environmental Footprint*

3.4.1

Breve histórico da criação da metodologia

O repositório das boas práticas, BPX 30-323, foi preparado sob a lei francesa chamada “*Grenelle de l’Environnement*”, que estabelece a possibilidade de comunicação reguladora da informação relativa ao produto. Este documento foi desenvolvido com mais de 300 organizações que representam as partes interessadas, setores e ONGs reunidas na *Agence de l’environnement et de la maîtrise de l’énergie* (ADEME)/ *Association française de normalisation* (AFNOR).

A BPX 30-323 está alinhada às Normas ISO 14040 e ISO 14044. Ela define os princípios para a elaboração de guias específicos metodológicos para categorias de produtos. Esses guias metodológicos são desenvolvidos pelas partes interessadas de diferentes setores e são validados pela plataforma ADEME/AFNOR. Os pontos principais desta plataforma são:

- A pegada de carbono do produto é requerida em todas as categorias;
- Os indicadores ambientais são os mesmos em cada categoria (definidos pela mesma unidade funcional);

- O número de indicadores por categoria é limitado;
- O formato de comunicação tem que estar ordenado para facilitar a comparação;
- ADEME desenvolveu uma base de dados secundários pública para simplificar as avaliações.

3.4.2

Objetivos da metodologia

O BPX 30-323 tem por objetivo definir os principais princípios para a elaboração de guias metodológicos específicos para as Regras de Categorias de Produtos. Estes guias metodológicos são desenvolvidos pelas partes interessadas relevantes de diferentes setores e são validados pela plataforma ADEME/AFNOR. Ele fornece informações aos consumidores permitindo a comparação de produtos.

3.4.3

Conceitos adotados

As Regras das Categorias de Produtos são vitais para o conceito de declarações ambientais. As Regras dão transparência no desenvolvimento de Declarações Ambientais e a comparabilidade entre produtos.

Para que as Declarações Ambientais cumpram com as expectativas do mercado, elas devem respeitar e cumprir rigorosos pré-requisitos específicos e metodológicos. Essas expectativas incluem a possibilidade de adicionar as informações da ACV baseado na cadeia de fornecimento e comparar Declarações Ambientais diferentes. Para atingir este objetivo, regras de cálculo comuns e harmonizadas devem ser estabelecidas para assegurar que procedimentos semelhantes serão usados na criação de Declarações Ambientais.

No entanto, grupos de produtos, geralmente diferem em seu desempenho ambiental inerente, o que exige normas específicas para o grupo de produtos. Este conjunto de regras é chamado pela norma ISO 14025 de Regras das Categorias de Produtos.

As RCP devem ser consideradas como complementares aos requisitos gerais dos programas de Declarações Ambientais contemplados nas normas ISO já mencionadas.

3.4.4

Referências normativas

As referências normativas que a BPX 30-323 segue apresentam-se no quadro 5.

Quadro 10 - Referências normativas da BPX 30-323

Norma	Nome
ISO 14025 (2006)	<i>Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures</i>
ISO 14040 (2006)	<i>Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework</i>
ISO 14044 (2006)	<i>Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines</i>

3.4.5

Benefícios da aplicação da metodologia

A lei “*Grenelle de l’Environnement*” foi elaborada com diferentes fins e busca beneficiar em diferentes aspectos tais como:

- Afrontar as alterações climáticas e controlar a demanda de energia.
- Preservar a biodiversidade e os recursos naturais.
- Criar um ambiente respeitoso à saúde.
- Adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo.
- Construção de uma democracia ecológica.
- Promoção de modos ecológicos de desenvolvimento favorável ao emprego e à competitividade.

3.4.6

Princípios básicos (se aplicáveis)

A ADEME criou uma base de dados pública. Este comitê emite pareceres sobre as regras de integração e gerenciamento de dados (questões de formulários) e sobre novas integrações de dados (questões de substância). Os pareceres emitidos são sobre:

- Consistência;
- Qualidade e revisão crítica;
- Representatividade geográfica, tecnológica, e relativa ao tempo;
- Completude dos fluxos elementares;
- Precisão e incerteza;
- Reprodutibilidade;

- Conformidade com os métodos;
- Clareza;
- Reconhecimento e transparência;
- Formato;
- Atualizações.

3.5

Product Carbon Footprint: Public Available Standard (PAS 2050)

3.5.1

Breve histórico da criação da metodologia

Nas últimas décadas, surgiu uma tendência principalmente por parte dos varejistas e de algumas outras organizações da Cadeia de Suprimentos de realizar uma aplicação de alto nível da estimativa dos GEE gerados pelos diferentes produtos (bens e serviços) na ACV dos produtos. *Publicly Available Specification* (PAS 2050:2008) consiste numa especificação para a avaliação das emissões de gases efeito estufa do ciclo de vida de produtos e serviços. A PAS 2050 foi desenvolvida em 2008 pela BSI (*British Standards Institution*), patrocinado pela DEFRA (*Department for Environment, Food and Rural Affairs*) e pelo *Carbon Trust*.

A PAS 2050 está baseada na guia da ACV e os requisitos são articulados na ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, adotando uma abordagem de ciclo de vida para a avaliação de emissões e a unidade funcional (PAS 2050:2008, 4.1) como base de qualquer relatório. Também, a PAS 2050 reúne os princípios chave desses documentos com outros métodos e abordagens relevantes no campo da avaliação de GEE, incluindo ISO 14064:2006, as publicações do *International Panel on Climate Change* (IPCC 2006, 2007) e do *GHG Protocol* (WRI/WBCSD 2004).

O guia foi atualizado no ano de 2011 e especifica os requisitos para a avaliação do ciclo de vida das emissões dos GEE associados com o ciclo de vida de bens e serviços, baseados nas técnicas e princípios da avaliação do ciclo de vida (ISO 14040/44). Os requisitos estão especificados para identificar os limites do sistema, as fontes de emissões de GEE que estão dentro dos limites, os dados exigidos para a realização da análise e o cálculo dos resultados. Também inclui os seis GEE identificados no Protocolo de Quioto.

3.5.2

Objetivos da metodologia

PAS 2050 é uma especificação disponível publicamente para avaliar o ciclo de vida das emissões de GEE de bens e serviços na perspectiva de fornecer uma base comum de quantificação, que permitirá a análise e a implementação de um programa efetivo de redução de GEE nas organizações.

Ele é um padrão independente, desenvolvido com a contribuição significativa das partes interessadas e especialistas internacionais através de duas consultas formais e vários grupos de trabalho técnico.

O método foi testado com as empresas através de um conjunto diversificado de tipos de produtos, cobrindo uma ampla gama de setores, incluindo: bens e serviços, fabricantes, varejistas e comerciantes.

3.5.3

Conceitos adotados

A PAS 2050 adota os mesmos conceitos abordados anteriormente como Pegada de Carbono (PC), Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e Emissões de GEE. Também caracteriza as emissões em escopos 1, 2 e 3 como na metodologia elaborada pelo *GHG Protocol*.

3.5.4

Referências normativas

As referências normativas que a PAS 2050 segue se apresentam na quadro 6.

Quadro 11 - Referências normativas da PAS 2050

Norma	Nome
GHG Protocol	<i>Corporate Accounting and Reporting Standard</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO 14040 (2006)	<i>Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework</i>
ISO 14044 (2006)	<i>Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines</i>

3.5.5

Benefícios da aplicação da metodologia

Para Empresas e consumidores:

- Avaliação interna das emissões de GEE no ciclo de vida dos produtos;
- Referência para medir e comunicar reduções de emissões;
- Suporte para comparação de emissões de GEE utilizando um modelo comum reconhecido e uma abordagem padronizada;
- Suporte para responsabilidade corporativa ao relatar impactos sociais e ambientais de seus produtos;
- A confiança de que as emissões de GEE do ciclo de vida do produto estão sendo reportadas baseadas em um método padronizado e robusto;
- Maior entendimento de como a sua compra impacta nas emissões de GEE, oferecendo poder de decisão ao consumidor.

3.5.6

Descrição da metodologia

Há cinco passos básicos para o cálculo da pegada de carbono de qualquer bem ou serviço:

1. Construir um mapa de processo (fluxograma)
2. Identificar os limites do sistema e critérios de corte
3. Coletar os dados
4. Calcular a pegada de carbono utilizando os dados multiplicando-o pelo Fator de Emissão (FE) tendo em consideração as unidades.
5. Verificar a Incerteza

3.5.7

Princípios básicos (se aplicáveis)

O PAS 2050 também frisa os princípios básicos que devem ser seguidos para o cálculo da pegada.

- Relevância
- Integridade
- Consistência
- Precisão
- Transparência

4

Escolha da metodologia de cálculo de Pegada de Carbono

Todas as metodologias descritas no capítulo 3 servem para realizar a estimativa da PC de produtos e serviços, dificultando a escolha de qual é a mais adequada. Porém, Zijp et al. (2015) fez uma revisão da literatura com o fim de produzir um levantamento dos critérios mais relevantes para realizar a seleção de Métodos de Avaliação de Sustentabilidade, principalmente porque cada metodologia tem diferenças significativas, por exemplo, em relação à sua abrangência e reconhecimento internacional. Ao fazer uma escolha sem fundamentos, pode-se perder o objetivo do estudo. É por isto que foram utilizados os métodos de apoio à tomada de decisão multicritério AHP e TOPSIS para realizar a escolha.

O método AHP é utilizado em situações que demandam um consenso e envolvem múltiplos decisores com opiniões conflitantes, porque permite compará-las sistematicamente, determinando as prioridades para cada critério e subcritério. Este modelo propõe que o problema seja decomposto em diversos níveis e estruturados de maneira hierárquica com critérios e subcritérios associados (KLUCZEK et al., 2015). Alves et al. (2015) destacam que o método AHP baseia-se em comparações paritárias entre critérios e subcritérios frente a uma meta de decisão, e, comparações paritárias entre as alternativas à luz dos critérios e subcritérios. De acordo com Saaty et al. (2012), através das comparações por pares as prioridades avaliadas pelo método AHP capturam medidas subjetivas e objetivas, e demonstram a intensidade de domínio de uma alternativa sobre outra.

Quanto ao método TOPSIS, este se destaca pela simplicidade dos procedimentos matemáticos, que contribuem para facilidade de implementação e aplicação, e permite avaliar uma quantidade não limitada de alternativas,

diferentemente de abordagens comparativas. De acordo com o TOPSIS, a melhor alternativa seria aquela que é a mais próxima da solução ideal positiva e a mais distante da solução ideal negativa. A solução ideal positiva é uma solução que maximiza os critérios de “benefício” e minimiza os critérios de “custo”; já a solução ideal negativa maximiza os critérios de “custo” e minimiza os critérios de “benefício”. Portanto, a solução ideal positiva é composta de todos os melhores valores atingíveis dos critérios de “benefício”; já a solução ideal negativa consiste em todos os piores valores atingíveis dos critérios de “custo” (BHUTIA et al., 2012).

Nesta seção apresentam-se os métodos de apoio à tomada de decisão multicritério AHP e TOPSIS respectivamente. Em seguida mostram-se os cinco critérios para avaliação de sistemas de sustentabilidade elaborados por Zijp et al., (2015), com os respectivos subcritérios. Logo depois se realiza a seleção dos critérios para a aplicação dos métodos AHP para a ponderação dos critérios e em seguida o uso da ferramenta TOPSIS para escolha de metodologia e, assim, realizar a estimativa da pegada de carbono; por último, os passos para fazer a estimativa de pegada de carbono com a metodologia selecionada. Por último, descrevem-se os passos da metodologia escolhida (PAS 2050) para realizar a Pegada de Carbono de produtos e serviços.

4.1

Métodos de apoio à tomada de decisão multicritério

Para determinar qual é a melhor metodologia para realizar a estimativa de PC do serviço, foram utilizados dois métodos de apoio à tomada de decisão multicritério para refinar o processo. Primeiramente se utilizou o método AHP para elaborar a devida ponderação dos critérios, em seguida se usou o método TOPSIS para realizar a escolha da metodologia baseando-se na distância euclidiana das alternativas. Os métodos foram fortemente recomendados, devido ao grande sucesso no uso deles em diferentes trabalhos orientados.

O TOPSIS evita o número elevado de comparações paritárias das alternativas, possibilita uma avaliação através de um cálculo objetivo dos pesos dos critérios encontrados com o AHP e possui recurso de priorização para gerar uma ordenação das alternativas (OZTAYSI, 2014). Se por um lado, uma das limitações do método AHP se refere à complexidade dos seus cálculos quando

utilizados muitos critérios, hierarquias e um número elevado de alternativas, o elevado número de comparações paritárias torna o processo exaustivo (ISHIZAKA et al., 2011). O TOPSIS, de outra forma, requer uma especificação de pesos para os critérios de forma apropriada e consistente (LAFLEUR, 2011). O AHP tem como característica notável a sua flexibilidade para se integrar com diferentes métodos de priorização, sendo, portanto, utilizado para auxiliar decisores a determinar a importância relativa dos pesos dos critérios de forma sistemática e com consistência lógica, antes de realizar a ordenação das alternativas, característica de destaque do TOPSIS (RAO, 2013).

4.1.1

Analytic Hierarchy Process (AHP)

O Processo Analítico Hierárquico ou *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é uma técnica estruturada para tratar decisões complexas. Em vez de prescrever a decisão “correta”, o AHP ajuda aos tomadores de decisão a encontrar a melhor solução que se ajusta às necessidades e a compreensão do problema. Esta ferramenta, baseada em cálculos e análise, foi desenvolvida por Saaty (1977), tem sido estudada e refinada extensivamente até agora. O método AHP fornece um marco referencial abrangente e racional para estruturar um problema como: representar e quantificar seus elementos, relacionar esses elementos com as metas globais, e avaliar as soluções alternativas (SAATY 1977, 1991 e 2012).

O método AHP compreende quatro etapas, de acordo com a descrição de Saaty (1991) e Costa (2006):

- Organização da estrutura hierárquica, através da identificação do foco principal, dos critérios e subcritérios (quando existirem) e das alternativas, refletindo as relações existentes entre eles;
- Aquisição dos dados e coleta de julgamentos de valor, através da comparação dos elementos dois a dois e estabelecimento das matrizes de comparações;
- Análise das matrizes de comparações geradas na fase anterior, que indicarão a prioridade de cada alternativa em relação ao foco principal;
- Análise dos indicadores de desempenho derivados, como índices de consistência, por exemplo.

No AHP, os elementos de uma hierarquia para a resolução de problemas de decisão são o foco principal (ou meta), o conjunto de alternativas viáveis e o conjunto de critérios, de acordo com o ilustrado na figura 7.

O foco principal é o objetivo global, o que a resolução do problema trará. As alternativas viáveis são as possibilidades de escolha dentro do problema para que a decisão seja tomada. Por fim, os critérios são as características ou propriedades a partir das quais as alternativas devem ser avaliadas.

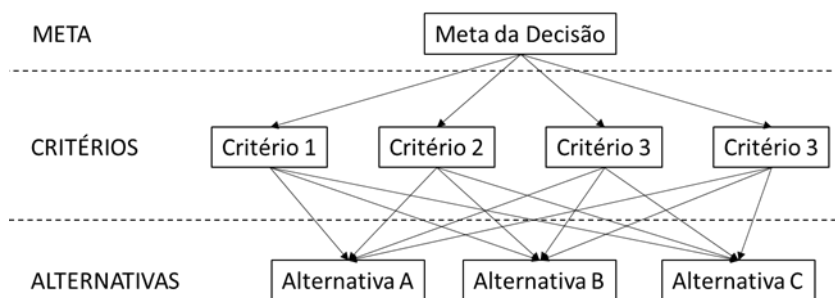


Figura 7 - Exemplo de estrutura hierárquica de problemas de decisão (em três níveis)
Fonte: Saaty, 1991.

Após a hierarquização, o método aponta para os julgamentos de valor, onde o avaliador deve comparar os elementos dois a dois à luz de um determinado critério. O julgamento é então a representação numérica dessa relação e o grupo de todos os julgamentos, considerando a comparação de todos os elementos em relação a um critério específico, pode ser representado através de uma matriz quadrada (SAATY, 1991).

Para o estabelecimento do processo de julgamento, Saaty (1990) definiu uma escala específica para padronizar os julgamentos de valor, escala essa que capta a subjetividade natural existente em variáveis qualitativas. O quadro 7 apresenta essa escala.

Quadro 12 - Escala para padronizar os julgamentos de valor pelo método AHP

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre as duas definições.

Fonte: Saaty, 1991.

O julgamento consiste no reflexo de duas perguntas: qual dos dois elementos é o mais importante, à luz do objetivo pretendido, e com qual intensidade ele é mais importante, utilizando-se a escala de 1 a 9 apresentada no quadro 7.

Para o elemento mais importante, é utilizado um valor inteiro, enquanto que o menos importante recebe o inverso dessa unidade, como ilustrado no exemplo didático da figura 8.

Matriz A

	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Figura 8 - Exemplo de matriz de julgamentos para o método AHP
Fonte: Saaty, 1991.

As letras A, B, C e D representam os elementos a serem comparados dois a dois. A diagonal da matriz recebe sempre 1 pois é a comparação do elemento com ele mesmo. Para o preenchimento dos outros campos, são feitos os julgamentos para determinar a intensidade de importância, utilizando a escala determinada por Saaty (1977). Para as comparações inversas, ou seja, o que está na parte inferior esquerda da matriz, são adicionados os valores recíprocos referentes à cada julgamento, que estão na parte superior direita da mesma.

Com as matrizes recíprocas devidamente estruturadas, obtém-se o vetor de prioridades, ou pesos, a partir do cálculo do autovetor normalizado do máximo autovalor. Existem métodos específicos para o cálculo aproximado desses valores (SAATY, 1991). Tais aproximações foram desenvolvidas por limitações computacionais da época em que o método foi desenvolvido, sendo custoso o cálculo de autovetores e autovalores para matrizes de ordem elevada.

Para fins deste trabalho, será utilizado o valor preciso de ambas as grandezas, que são denotadas matricialmente por:

$$Aw = \lambda_{max}w \quad (1)$$

Onde:

- A : Matriz de julgamentos (quadrada, recíproca e positiva);
 w : Autovetor principal de A ;
 λ_{max} : Autovalor principal de A .

Com as características das matrizes de julgamentos em mãos, através do teorema de Perron-Frobenius, Saaty (1991) afirma que a solução tem um único maior autovalor que corresponde a um autovetor de componentes estritamente positivos. Os teoremas e as provas acerca das características envolvendo as matrizes geradas, a partir da avaliação de especialistas, são apresentados em seu trabalho. E, computados os autovalores das respectivas matrizes, é necessário realizar análise da consistência dos julgamentos para avaliar o quão afastado da consistência os julgamentos estão. Utiliza-se uma medida para avaliar a probabilidade dos julgamentos terem sido realizados puramente ao acaso e esta medida é chamada Razão de Consistência (RC). Por exemplo, um $RC = 0,3$ diz que há 30% de chance do especialista responder as perguntas aleatoriamente, já no caso de $RC = 0,1$ indicaria um resultado mais coerente.

Saaty (1991) apresenta um desenvolvimento simples e intuitivo para compreender a análise de consistência. Vamos supor uma matriz consistente, onde as comparações são baseadas em medidas exatas, isto é, os pesos já são conhecidos, então:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (2)$$

Como o julgamento é perfeito para todas as comparações, tem-se que $a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk}$ para qualquer i, j, k , variando de 1 até n , sendo n a ordem da matriz.

Também vale a afirmativa:

$$a_{ij} = \frac{w_j}{w_i} = \frac{1}{w_i/w_j} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (3)$$

Dessa forma caracteriza-se uma matriz consistente de comparações paritárias.

Considerando $x = (x_1, \dots, x_n)$ e $y = (y_1, \dots, y_n)$ pode-se escrever em notação matricial $A \cdot x = y$, onde A é a matriz de julgamentos:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_1}{w_1} & & \frac{w_n}{w_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Algebricamente essa operação pode ser representada por:

$$\sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot x_i = y_i \quad (5)$$

para $i = 1, \dots, n$

Como $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$, obtém-se:

$$a_{ij} \frac{w_j}{w_i} = 1 \quad (6)$$

para $i, j = 1, \dots, n$

Consequentemente:

$$\sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot w_j \frac{1}{w_i} = n \quad (7)$$

para $i = 1, \dots, n$

Ou

$$\sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot w_j = nw_i \quad (8)$$

para $i = 1, \dots, n$

Que é equivalente à equação matricial:

$$Aw = nw \quad (9)$$

Em álgebra linear, esta última equação expressa o fato de que w é autovetor de A com autovalor n .

Na prática a_{ij} são os pesos atribuídos pelo julgamento dos especialistas, baseado na escala fundamental, e de certa forma subjetivos. Assim os valores a_{ij} irão se afastar do “ideal” w_i/w_j , fazendo com que a equação $Aw = nw$ não seja mais válida.

Se $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ são os números que satisfazem a equação $Aw = \lambda w$, então λ é autovalor de A e, se $a_{ij} = 1$ para todo i , então:

$$\sum_{i=0}^n \lambda_i = n \quad (10)$$

Assim, se $Aw = nw$ é válida, somente um dos autovalores é diferente de zero e valerá n , sendo o maior autovalor de A .

Caso os elementos de uma matriz recíproca positiva sofrerem pequenas variações, seus respectivos autovalores também variarão em pequenas quantidades.

Utilizando os resultados apresentados juntamente com o axioma acima, pode-se dizer que caso a diagonal principal de uma matriz possuir os elementos iguais a 1 e for consistente, pequenas variações nos elementos a_{ij} farão com que o autovalor máximo λ_{max} permaneça próximo de n e os outros autovalores próximos de zero. Sendo $\lambda_{max} \geq n$.

Portanto, para calcular o autovetor de prioridades de uma matriz de comparações paritárias A , deve-se encontrar o vetor que satisfaça a equação $Aw = \lambda_{max} w$.

O valor de interesse para o desenvolvimento da metodologia é o autovetor normalizado, de forma que a soma de w seja igual a 1. Para isso cada elemento w_i é dividido pelo seu somatório.

Uma medida de consistência, chamada Índice de Consistência (IC), é utilizada para calcular o desvio de λ_{max} em relação à n , uma vez que a utilização da escala para os julgamentos geram variações em a_{ij} , alterando λ_{max} .

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (11)$$

É comum as avaliações realizadas pelos especialistas gerarem inconsistências, pois faz parte do julgamento humano, mas deseja-se que sejam as menores possíveis. Para verificar a coerência utiliza-se, como citado anteriormente, a Razão de Consistência (RC), tendo como definição:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (12)$$

Índice Randômico (IR) é o índice de consistência de uma matriz recíproca gerada randomicamente, baseada na escala de 1 a 9, com recíprocas forçadas (SAATY et al., 2012). Este valor é tabelado e varia de acordo com a ordem da matriz. Na tabela 2 é apresentado o valor de IR para matrizes de ordem 1 até 10.

Tabela 2 - Índice randômico

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de SAATY et al., 2012.

A avaliação final da coerência do julgamento se dá ao comparar o valor de RC. Para o presente desenvolvimento faz-se as seguintes considerações:

a) $RC \leq 0,1$ consiste em um julgamento coerente, premissa básica do método em relação a análise de coerência, proposta inicialmente para julgar uma avaliação como satisfatória;

b) $0,1 < RC < 0,2$ = Julgamento questionável, considerado para que especialista reveja seus julgamentos da respectiva etapa, analisando a matriz construída e busque melhorar alguma(s) comparação(ões) que tenha(m) sido inconsistente(s). Porém não é obrigatório que se altere algum julgamento;

c) $RC \geq 0,2$ = Julgamento incoerente, indica que as comparações pareadas daquela etapa geraram um alto índice de inconsistência e o especialista é obrigado a refazer seus julgamentos.

Uma vez alcançada a consistência no julgamento, são calculados os vetores de prioridades, ou seja, os pesos relativos de cada elemento do problema. Este cálculo é realizado através da multiplicação das matrizes de prioridades. Em outras palavras, para cada alternativa, o cálculo consiste na soma ponderada da importância relativa de cada atributo pelo nível de preferência de determinada alternativa em relação ao respectivo critério (Souza, 2013). No AHP cada alternativa receberá uma pontuação através de uma função de valor aditiva. As alternativas com maior valor serão as preferíveis. Formalizando, a função de valor para cada alternativa será:

$$F(a) = \sum_{j=1}^n w_j v_j(a) \quad (13)$$

Onde:

- $F(a)$: Valor final de alternativa a ;
 w_j : Peso do j -ésimo critério;
 v_j : Desempenho da alternativa em relação ao j -ésimo critério.

4.1.2

Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution (TOPSIS)

Os problemas de tomada de decisão multicritério são geralmente caracterizados por ter um número finito de alternativas e por múltiplos critérios (atributos) muitas vezes conflitantes e por um vetor de pesos indicando a importância de cada critério. Muitos esforços e avanços significativos foram feitos para o desenvolvimento de várias metodologias para solucionar diversos problemas de tomada de decisão multicritério.

Uma técnica de tomada de decisão bastante usada, conhecida como TOPSIS (do inglês: *Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution*) é uma técnica para avaliar o desempenho das alternativas através da similaridade com a solução ideal (Hwang e Yoon, 2012). De acordo com essa técnica (figura 9), a melhor alternativa seria aquela que é a mais próxima da solução ideal positiva e a mais distante da solução ideal negativa. Esta seção descreve o método TOPSIS, conforme proposto por Hwang e Yoon (2012).

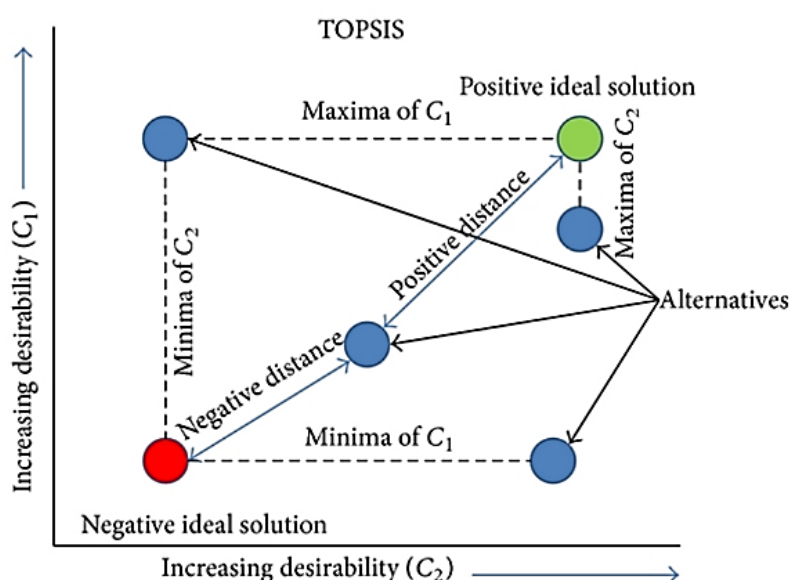


Figura 9 - Técnica para o ordenamento das preferências pela similaridade à solução ideal

A ferramenta TOPSIS foi utilizada para escolher a metodologia mais adequada para realizar a estimativa da pegada de carbono do serviço de entregas da empresa *Courrieros*.

Basicamente, a técnica compreende as seguintes etapas:

- Construção da matriz do problema ou matriz de decisão, que traz as alternativas e critérios selecionados juntamente com as notas e avaliações;
- Cálculo da matriz normalizada, utilizando normalização linear ou por vetor;
- Cálculo da matriz com os respectivos pesos de cada critério, definidos previamente por um ou mais decisores;
- Identificação da *Positive Ideal Solution* (PIS) e da *Negative Ideal Solution* (NIS);
- Cálculo das distâncias entre a PIS e cada alternativa e entre a NIS e cada alternativa;
- Cálculo da similaridade para a posição ideal positiva, que vai definir a hierarquização das alternativas estudadas.

A matriz de decisão A composta por alternativas e critérios é apresentada abaixo:

$$A = \begin{matrix} & C_1 & \cdots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ \cdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Onde A_1, A_2, \dots, A_m são alternativas viáveis e C_1, C_2, \dots, C_n são critérios; x_{ij} indica o desempenho da alternativa A_i segundo o critério C_j .

O vetor de peso $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ composto pelos pesos individuais para cada critério C_j na metodologia original é calculado por entropia. Neste trabalho de dissertação é utilizado o AHP para realizar a ponderação que satisfaz:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (2)$$

Os dados da matriz A têm origens distintos, devendo ser normalizada com o objetivo de transformá-la em uma matriz adimensional e com isso proceder a uma comparação entre os vários critérios. Para fins de aplicação nesta pesquisa, a

matriz A deve ser normalizada para cada critério C_j , de acordo com a seguinte fórmula:

$$p_{ij} = x_{ij} / \text{Max } x_{ij} \quad (3)$$

com $i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$.

Assim, uma matriz de decisão normalizada A_n representa o desempenho relativo das alternativas e pode ser descrita por:

$$A_n = (p_{ij})_{m \times n}, \text{ com } i = 1, \dots, m \text{ e } j = 1, \dots, n. \quad (4)$$

O algoritmo para calcular a melhor alternativa segundo a técnica TOPSIS compreende os seguintes passos (Krohling e Souza, 2011):

Passo 1: Cálculo das soluções ideais positivas A^+ (benefícios) e das soluções ideais negativas A^- (custos) da seguinte forma:

$$A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_m^+) \quad (5)$$

$$A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_m^-) \quad (6)$$

onde

$$p_j^+ = (\max_i \cdot p_{ij}, j \in J_1; \min_i \cdot p_{ij}, j \in J_2) \quad (7)$$

$$p_j^- = (\min_i \cdot p_{ij}, j \in J_1; \max_i \cdot p_{ij}, j \in J_2) \quad (8)$$

onde J_1 e J_2 representam respectivamente o critério benefício e custo.

Passo 2: Cálculo das distâncias Euclidianas entre A_i e A^+ (benefícios) e entre A_i e A^- (custos) da seguinte forma:

$$d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^+ - p_{ij})^2}, \text{ com } i = 1, \dots, m \quad (9)$$

$$d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^- - p_{ij})^2}, \text{ com } i = 1, \dots, m \quad (10)$$

Passo 2: Cálculo da proximidade relativa ξ_i para cada alternativa A_i em relação à solução ideal positiva A^+ conforme:

$$\xi_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (11)$$

4.2

Crêterios para avaliação de sistemas de sustentabilidade

Zijp et al. (2015) definem 5 cr terios de avaliação de métodos de sustentabilidade. Cada um dos cr terios   composto por subcr terios, num total de dezenove. A definição dos subcr terios   feita através de uma questão e respectiva resposta.

4.2.1

Limite do sistema/inventário

O cr terio de limite do sistema/inventário inclui como subcr terios: objetivo, foco espacial, foco temporal e abordagem do ciclo de vida da metodologia.

4.2.1.1

Objetivo

Qual   o objetivo da avaliação? Serviço de entregas

Geralmente os métodos são especializados para um objetivo específico. Muitos deles são flexíveis neste sentido, porém, ao ajustá-los, eles podem ser aplicados a outros temas. Ainda assim, acredita-se que o objeto   um cr terio chave para a seleção do método. O objeto determina o tipo de inventário que se requer.

4.2.1.2

Foco espacial

Qual   o foco espacial da atividade? A atividade   avaliada em micro ou macro escala, e qual   o tipo de macro: local, regional ou global?

Os métodos têm restrições claras no foco espacial que devem respeitar. O Inventário do Ciclo de Vida tem como foco o micro nível, a Análise Custo-Benefício e a análise *Input-Output* sobre o nível médio (Organizacional ou setorial) ou macro nível enquanto a avaliação de risco se concentra no nível local ou regional.

4.2.1.3

Foco Temporal

Qual   o foco temporal da avaliação? A atividade   avaliada como retrospectiva ou prospectiva?

O foco temporal (retrospectivo, atual ou prospectivo), determina o tipo de dados (inventário) que se requer. Muitos dos métodos que são marcados como retrospectivos ou atuais podem ser utilizados de forma prospectiva, utilizando dados de uma análise de cenário em vez de medições do passado.

4.2.1.4

Abordagem do ciclo de vida

Quais partes do ciclo de vida ou da cadeia de abastecimento estão incluídas na avaliação?

A perspectiva da Abordagem do Ciclo de Vida não é exclusiva para fazer trabalhos como: a Análise do Ciclo de Vida (ACV), Custo do Ciclo de Vida (CCV) ou Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-Social), a Abordagem do Ciclo de Vida também pode aplicar-se dentro de qualquer metodologia. Geralmente se requer muita modelagem e perspectiva do banco de dados e, por isso, acredita-se que este é um critério chave para a seleção do método. A forma de aplicar o conceito da abordagem do Ciclo de Vida não depende do objetivo ou do foco espacial da avaliação. A Avaliação do Ciclo de Vida pode ser realizada sobre produtos e processos.

4.2.2

Avaliação de impacto/Seleção do tema

O critério de avaliação de impacto ou seleção do tema inclui como subcritérios: o que deve ser sustentado, seleção do tema e o indicador, e aos focos temporal e espacial de impacto da metodologia.

4.2.2.1

O que deve ser sustentado

O que se deve manter? O foco ambiental, financeiro ou social?

A resposta à questão determina os temas a serem selecionados. A quantificação dos temas não é desenvolvida uniformemente para os diferentes tipos de receptores (social, ambiental, cultural, econômico). Em geral há mais experiência na quantificação dos indicadores ambientais e econômicos do que nos indicadores sociais e culturais. Indiretamente, o foco do receptor pode determinar a escolha do método por meio da seleção do tema.

4.2.2.2

Seleção do tema e o indicador

Quais temas são selecionados? O método é transparente da seleção e uso dos indicadores? Qual é o lugar que os indicadores ocupam na cadeia da causa do efeito?

Os temas que são selecionados têm influência sobre a escolha do método porque nem todos os temas podem ser quantificados com cada metodologia. O casamento entre a seleção de tema e a seleção do método é realizado no final do processo de identificação e, por conseguinte, não faz parte de uma sub-identificação. No entanto, o que faz parte da identificação chave são as características dos temas.

4.2.2.3

Foco espacial do impacto

Qual é a dimensão espacial dos impactos que devem ser levados em consideração? A avaliação visa à sustentabilidade interna ou externa? Em que escala os impactos são levados em conta? Eles são dependentes ou independentes?

O foco das avaliações de impacto pode ser o objeto específico, dentro dos limites do local onde se realiza a atividade, ou pode ser mais ampla, levando em conta os impactos causados pela atividade em outros locais. Por exemplo, as substâncias tóxicas emitidas em uma região podem “viajar” e assim causar efeitos externos em outra região. Além disso, para determinar os impactos, existem duas abordagens: (i) local dependente, que determina o impacto com base nas características de um dado local; ou (ii) independente do sítio de estimativa de impacto, que determina o impacto independentemente de onde a atividade ocorre.

4.2.2.4

Foco temporal do impacto

Qual é a dimensão temporal dos impactos que devem ser levados em consideração? A avaliação inclui impactos intrageracionais? O prazo deve ser incluído para os impactos?

Para ter ciência do impacto em outras gerações, é comum utilizar a parte ambiental da análise de sustentabilidade. Por exemplo, em alguns métodos da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV), os fatores de caracterização com os quais as pressões podem ser expressas como impactos (dependendo de qual

perspectiva cultural é escolhida), vêm com uma visão sobre o foco temporal dos impactos (20, 100 ou 1000 anos). O foco temporal dos impactos sócio-econômicos tende a ser mais curto do que o dos impactos ambientais.

4.2.3

Agregação/interpretação

O critério de agregação/interpretação inclui como subcritérios: meta de sustentabilidade, visão sobre sustentabilidade, integração dos pilares e o método de agregação com o que a metodologia trabalha.

4.2.3.1

Meta de sustentabilidade

É necessário definir uma meta de sustentabilidade?

Se o objetivo é comparar alternativas, ao realizar uma análise do melhor ponto de acesso ou para melhorar um objetivo, a meta de sustentabilidade não é essencial. Mas, se o objetivo da análise é determinar a sustentabilidade de um objeto, o alvo é necessário.

Alguns métodos apresentam os resultados intrinsecamente contra o benchmarking ou a meta de sustentabilidade (como a Pegada Ecológica), no entanto, os resultados de cada avaliação podem ser realizados diferindo, em princípio, das metas de sustentabilidade.

4.2.3.2

Valores/Visão sobre a sustentabilidade

O ponto de vista sobre a sustentabilidade deve ser considerado importante na avaliação? A sustentabilidade é compreendida como fraca, parcial ou forte?

Fraca significa que vários capitais (social, econômico e ambiental)podem mudar. Parcial significa débil até que um nível crítico é atingido. E forte significa que cada capital deve ser preservado de forma independente

A visão de alguém sobre a sustentabilidade determina a forma como os resultados são interpretados. Por exemplo, desde o ponto de vista da sustentabilidade fraca, os diferentes capitais são intercambiáveis, ganhar capital econômico por perder o capital social, pode ser visto como sustentável, enquanto o capital total permanece o mesmo (ou aumenta). Em contraste com o ponto de vista da sustentabilidade forte, onde os diferentes capitais são intercambiáveis: a

perda de um capital social, não pode ser justificada por ganhar outro capital. Assim, dependendo do ponto de vista da sustentabilidade, diferentes conclusões podem ser tiradas com base nos mesmos resultados (mesmo com os indicadores e sua quantificação). Além disso, a própria visão do mundo, a forma como as pessoas percebem os ricos, etc. determina como os resultados são interpretados. Portanto, este critério pertence ao domínio de agregação e interpretação.

4.2.3.3

Visão sobre a integração dos pilares

Como deve ser a agregação de informações de diferentes disciplinas na avaliação?

As metodologias podem ser avaliações multi, inter ou transdisciplinares. Multidisciplinares significa que os resultados de diferentes disciplinas são apresentados simultaneamente; interdisciplinares referem-se aos resultados de diferentes disciplinas que estão agregados de alguma forma; e os transdisciplinares onde as avaliações são misturadas, e assim exigem um ajuste metodológico ou até uma nova metodologia em desenvolvimento. Na fase da seleção do tema, o ponto de vista disciplinar pode ser tomado em consideração, por exemplo, escolhendo indicadores que se referem a diferentes disciplinas, ou indicadores de interação entre fenômenos dentro de diferentes disciplinas. Também o procedimento para selecionar os temas pode ter diferentes formas: com ou sem interação entre as disciplinas. A combinação dos métodos de quantificação de diferentes disciplinas pode precisar ajustes. Assim, o tipo de integração determina como esta etapa da agregação está entrelaçada nos outros domínios.

4.2.3.4

Normalização/ ponderação / método de agregação

Qual nível de agregação é desejado e quais são os métodos utilizados?

O tipo de normalização, ponderação e agregação é determinado pelo ponto de vista sobre a sustentabilidade e a perspectiva de que tipo de avaliação vai ser realizado, e também da forma como os indicadores são quantificados (Se vai se utilizar uma medição aritmética ou geométrica).

4.2.4

Desenho do método

O critério de desenho do método inclui como subcritérios: quais são as partes interessadas envolvidas, o contexto de avaliação e o tratamento de incertezas da metodologia.

4.2.4.1

Partes interessadas envolvidas

Quem deveria estar na avaliação e de que maneira?

É também conhecida como a legitimidade, em relação aos índices ou indicadores compostos.

A participação dos *stakeholders* teoricamente pode ser incorporada em cada avaliação e por tanto no desenho do método.

4.2.4.2

Contexto da avaliação

Como são utilizados os resultados? Em que processo são utilizados os resultados da avaliação?

A fase de um procedimento, na qual é necessária uma avaliação juntamente com o objetivo (para uma tomada de decisão, defesa, ou investigação, etc.), determina como a avaliação é realizada e apresentada (para uma análise rápido ou completo; quantidade de detalhes; etc.). Em Hacking et al. (2008), argumenta-se que todas as metodologias são o suficientemente flexíveis para desempenhar um papel dentro diferentes contextos e, portanto, este não é um critério chave. Preferivelmente define a concepção do método e a apresentação dos resultados.

4.2.4.3

Incertezas

Como podem ser tratadas as incertezas? Qual a relevância, credibilidade, validade da análise de incertezas? A avaliação sobre incerteza, sensibilidade e / ou perturbação deve ser incluída?

A análise da incerteza, sensibilidade e / ou perturbação na avaliação podem ser incluídas em qualquer avaliação.

4.2.5

Restrições organizacionais

O critério de restrições organizacionais inclui como subcritérios: restrições formais, restrições de conhecimento, restrições de *Software*, restrições de dados da metodologia.

4.2.5.1

Restrições formais

O método deve ser reconhecido?

Alguns autores estipulam a importância para o reconhecimento formal de uma metodologia como critério para seleção do método. No entanto, ainda não é claro o que é reconhecimento formal.

4.2.5.2

Restrições de conhecimento e disponibilidade

Tem capacidade para contratar especialistas?

Exigências de competências especializadas.

4.2.5.3

Restrições de *software* e disponibilidade

Tem restrições para adquirir o *software*?

Restrições do *software* e disponibilidade. Tipo e facilidade de acesso ao *software*.

4.2.5.4

Restrições de dados disponíveis

Tem capacidade para a coleta de dados?

Restrições de dados e disponibilidade. Tipo e facilidade de acesso aos dados.

4.3

Seleção de critérios e aplicação das metodologias AHP e TOPSIS

Esta seção contém a seleção dos critérios definidos anteriormente e a análise detalhada da abordagem de cada metodologia por critério. Logo depois se apresentam a aplicação dos métodos de apoio à tomada de decisão multicritério,

primeiramente a metodologia AHP para ponderação dos critérios e subcritérios e por último a aplicação da técnica TOPSIS para escolha da metodologia.

4.3.1

Critérios e subcritérios selecionados para o estudo

Depois de realizar reuniões com os orientadores, que tiveram como objetivo realizar a devida interpretação dos critérios, decidiu-se eliminar alguns subcritérios que foram considerados como não relevantes para a escolha da metodologia, já que eram do tipo redundante e não eram aplicáveis ao caso de estudo. No total foram eliminados 4 subcritérios:

- Foco Temporal;
- O que deve ser sustentado;
- Valores/Visão sobre a sustentabilidade; e
- Visão sobre a integração dos pilares.

Seguidamente, se definiu o tipo de natureza dos subcritérios (Eliminatório e/ou Classificatório) com o objetivo de facilitar o processo de escolha da metodologia para a estimativa de pegada de carbono. Foram selecionados como critérios eliminatórios: Objeto; Abordagem do Ciclo de Vida; Seleção do tema e o indicador; e Restrições formais.

No caso de alguma metodologia não cumprir algum dos critérios eliminatórios, então seria desconsiderada para continuar o processo avaliação. O quadro 8 apresenta os critérios e subcritérios com a respectiva interpretação e o tipo de natureza.

Quadro 13 - Critérios e subcritérios escolhidos

Critério	Subcritério	Interpretação	Tipo E C
1	Limite do sistema/inventário		
	1.1 Objeto.	Serviço logístico de distribuição física	x x
	1.2 Foco espacial.	Corporativo	x
2	Avaliação de impacto/Seleção do tema.		
	2.1 Seleção do tema e o indicador.	Pegada de carbono	x x
	2.2 Foco espacial do impacto.	Atividade móvel	x
3	Agregação/interpretação.		
	3.1 Meta de sustentabilidade.	Curto, médio e longo prazo	x
	3.2 Normalização/ponderação / método de agregação.	Redução de carbono equivalente dos serviços	x
4	Desenho do método.		
	4.1 Partes interessadas envolvidas.	Método de agregação.	x
	4.2 Contexto da avaliação.	Stakeholders	x
5	Restrições organizacionais.		
	4.3 Incertezas.	Benchmarking; Green logistics	x
	5.1 Restrições formais.	Incerteza de medição	x
	5.2 Restrições de conhecimento e disponibilidade.	Instituições reconhecidas	x
	5.3 Restrições de software e disponibilidade.	Exigências de competências especializadas	x
	5.4 Restrições e dados disponíveis.	Tipo e facilidade de acesso ao software	x
		Tipo e facilidade de acesso aos dados	x

E: Eliminatório

C: Classificatório

Na continuação se realiza a análise de cada metodologia segundo os critérios elaborados por Zijp et al. (2015) nos quadros 14-38. Segundo essa análise se realizou o julgamento para realizar a escolha da metodologia utilizando o TOPSIS.

Quadro 14 - Abordagem da ISO 14067 para o Critério 1: Limite do Sistema

ID	Critério 1. Limite do Sistema	Abordagem ISO 14067
1.1	Objetivo da avaliação	O objetivo de execução de um estudo de CFP é calcular o potencial de contribuição de um produto ao aquecimento global expresso como CO ₂ e pela quantificação de todas as emissões e remoções significativas de GEE ao longo do ciclo de vida do produto.
1.2	Foco espacial	Detalha os princípios, requisitos e orientações para a quantificação e comunicação da pegada de carbono de produtos, incluindo mercadoria e serviços, com base em emissões e remoções de GEE no ciclo de vida de um produto.
1.3	Abordagem do ciclo de vida	Etapas consecutivas inter-relacionado de um sistema do produto, deste sua aquisição de matéria prima o de sua geração a partir de recursos naturais até sua disposição final.

Quadro 15 - Abordagem da *Ecological Footprint* para o Critério 1: Limite do Sistema

ID	Critério 1. Limite do Sistema	Abordagem Ecological Footprint
1.1	Objetivo da avaliação	<p>Medir a extensão em que as atividades humanas excedem a biocapacidade, integra: i) a área necessária para a produção de culturas, produtos florestais e animal; ii) a área necessária para sequestrar as emissões atmosféricas de CO₂ predominantemente causadas pelas combustões fósseis; iii) área equivalente requisitada pela emissão de energia nuclear</p> <p>Documentar se estamos vivendo dentro do nosso “orçamento ecológico” ou consumindo recursos disponíveis mais rapidamente do que o planeta pode renová-los</p> <p>Provocar diálogo global sobre o futuro do planeta como um todo e como podemos atuar de maneira sustentável globalmente, promovendo um futuro mais estável e próspero</p> <p>Fornecer ferramentas e programas que podem ajudar os países a prosperar em um mundo com recursos limitados</p> <p>Desenvolver padrões internacionais de “Pegada”, promovendo a integridade e comparabilidade em todo o mundo, permitindo avaliar a nossa pressão sobre o planeta, o que nos ajuda a administrar nossos ativos ecológicos com mais sabedoria e tomar ações pessoais e coletivas em apoio de um mundo onde a humanidade viva dentro dos limites da Terra.</p>
1.2	Foco espacial	Aplica-se para países, regiões, empresas e indivíduos – Informações Públicas (sobre comportamentos de consumo em diferentes níveis)
1.3	Abordagem do ciclo de vida	Sim, baseia-se nas Normas desenvolvidas pela Global Footprint Network que permitem a medida da extensão do quanto a atividade humana excede a biocapacidade do planeta. Relaciona-se com ISO 14044 e ISO 14040.

Quadro 16 - Abordagem da GHG Protocol para o Critério 1: Limite do Sistema

ID	Critério 1. Limite do Sistema	Abordagem GHG Protocol
		O objetivo principal da norma, é fornecer um quadro geral para que as empresas realizem escolhas baseadas nessa informação para reduzir os GEE nos diferentes escopos dos produtos (bens ou serviços), que fabricam, vendem, compram ou utilizam.
1.1	Objetivo da avaliação	A medida que a conscientização sobre as mudanças climáticas aumenta e as preocupações crescem, os investidores estão exigindo mais transparência e os consumidores busca maior clareza enquanto a responsabilidade social e ambiental. As empresas recebem cada vez mais pedidos dos stakeholders para medir e divulgar seus inventários de GEE
1.2	Foco espacial	Aplica-se a empresas de bens e serviços
1.3	Abordagem do ciclo de vida	ISO 14040:2009 (Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura) e ISO 14044: 2009 (Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações).

Quadro 17 - Abordagem da BPX 30-323 para o Critério 1: Limite do Sistema

ID	Critério 1. Limite do Sistema	Abordagem BPX 30-323
1.1	Objetivo da avaliação	O BPX 30-323 tem por objetivo definir os principais princípios para a elaboração de guias metodológicos específicos para as categorias de produtos (PCR). Estes guias metodológicos são desenvolvidos por stakeholders relevantes de diferentes setores e são validados pela plataforma ADEME / AFNOR. Fornece informações aos consumidores permitindo a comparação de produtos.
1.2	Foco espacial	Aplica-se a empresas de bens e serviços. B2C
1.3	Abordagem do ciclo de vida	A abordagem do ciclo de vida refere-se à consideração do espectro de fluxos de recursos e intervenções ambientais associadas a um produto, serviço ou organização de uma perspectiva de cadeia de suprimentos, incluindo todas as fases desde a aquisição de matéria-prima até o processamento, distribuição e ciclo de vida do produto. O pensamento do ciclo de vida contribui para a melhoria da gestão ambiental das atividades empresariais, incluindo planejamento, aquisição e concepção, marketing e vendas.

Quadro 18 - Abordagem da PAS 2050 para o Critério 1: Limite do Sistema

ID	Critério 1. Limite do Sistema	Abordagem PAS 2050
1.1	Objetivo da avaliação	Quantificar as emissões diretas e indiretas de GEE de um produto ao longo de seu ciclo de vida, a partir de matérias-primas, por meio da produção, distribuição, consumo e eliminação / reciclagem. Além de identificar quais GEE devem fazer parte da avaliação, é imprescindível caracterizar o produto em detalhe, identificando sua composição, padrões de utilização e forma de descarte, a fim de definir exatamente a função cumprida, a unidade funcional e o fluxo de referência. As orientações sobre a unidade funcional e o fluxo de referência são estabelecidos nos requisitos suplementares do Guia PAS 2050.
1.2	Foco espacial	Aplica-se a empresas de bens e serviços, incluindo B2B e B2C, além dos consumidores.
1.3	Abordagem do ciclo de vida	Sim. A PAS 2050 baseia-se nas Normas ISO 14040:2009 (Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura) e ISO 14044: 2009 (Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações).

Quadro 19 - Abordagem da ISO 14067 para o Critério 2: Avaliação de Impacto

ID	Critério 2. Avaliação de Impacto	Abordagem ISO 14067
2.1	Seleção do tema e indicador	<p>Termos relacionados aos gases de efeito estufa:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Gás de efeito estufa •Dióxido de carbono equivalente •Armazenamento de carbono •Potencial de aquecimento global •Emissão de gases de efeito estufa •Remoção de gases de efeito estufa •Fator de emissão de gás de efeito estufa •Fonte de gás de efeito estufa •Sumidouro de gás de efeito estufa
2.2	Foco espacial do impacto	Esta especificação espera beneficiar organizações, governos, comunidades e outras partes interessadas para fornecer clareza e coerência na quantificação e comunicação da PCP. Especificamente usando o análise do ciclo de vida de acordo com esta especificação técnica, utiliza a mudança climática.
2.3	Foco temporal do impacto	Para CFP, as emissões e remoções de GEE proveniente do ciclo de vida de um produto devem ser calculado ao longo do ciclo de vida inteiro do produto, inclusive o estágio de uso e o estágio de fim de vida. Todas as emissões e remoções de GEE provenientes do estágio de uso do estágio de fim de vida ocorrerem dentro de dez anos depois que o produto for colocado em uso, todas as emissões e remoções de GEE devem ter calculadas como se liberadas ou removidas no começo do período de3 avaliação e incluídas na CFP.

Quadro 20 - Abordagem da *Ecological Footprint* para o Critério 2: Avaliação de Impacto

ID	Critério 2. Avaliação de Impacto	Abordagem Ecological Footprint
2.1	Seleção do tema e indicador	<p>A Pegada Ecológica, segundo a Global Footprint Network, é uma metodologia de contabilidade ambiental que avalia a pressão do consumo das populações humanas sobre os recursos naturais.</p> <p>Expressa em hectares globais (gha), permite comparar diferentes padrões de consumo e verificar se estão dentro da capacidade ecológica do planeta. Um hectare global significa um hectare de produtividade média mundial para terras e águas produtivas em um ano.</p>
2.2	Foco espacial do impacto	Planeta como um todo, com foco principal em países. Também impacta empresas, regiões/cidades e indivíduos. A norma não fornece regras para definição de limites de sistema. Exigência que o relatório defina claramente todas as atividades incluídas dentro dos limites do sistema. A maioria das análises EF do produto define os limites do "ciclo de vida" como incluindo atividades do berço ao ponto de compra. Outras possibilidades incluem (i) compra mais disposição, (ii) compra mais atividades de consumo que usam o produto (iii) EF da infraestrutura societária criada como resultado dos consumidores que usam os produtos (por exemplo, Pegada de um carro).
2.3	Foco temporal do impacto	Apresenta gráficos por país para o rastreamento da Pegada Ecológica por pessoa e da biocapacidade desde 1961 até o momento atual. As Contas Nacionais de Pegada são atualizadas anualmente e passam por revisões contínuas sob orientação do Comitê de Revisão das Contas Nacionais.

Quadro 21 - Abordagem da GHG Protocol para o Critério 2: Avaliação de Impacto

ID	Critério 2. Avaliação de Impacto	Abordagem GHG Protocol
2.1	Seleção do tema e indicador	<p>Product Life Cycle GHG accounting, é um subconjunto da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que procura quantificar e abordar os aspectos ambientais e potenciais impactos durante o ciclo de vida do produto, desde a extração da matéria prima até o fim da vida útil e o tratamento dos resíduos.</p> <p>Inventários de GEE de produtos, também conhecido como Pegada de Carbono, são um subconjunto de ACV porque apenas se concentram na categoria de impacto das mudanças climáticas.</p> <p>A contabilização contém todos os Gases de efeito estufa (GEE) que estão no Protocolo de Kyoto, incluem dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonetos (PFCs) e hexafluoruro de azufre (SF₆), e são convertidos em carbono equivalente (CO₂E).</p>
2.2	Foco espacial do impacto	<p>Alterações climáticas, incluindo todas as emissões de GEE, desde a aquisição da matéria prima até o fim da vida útil do bem ou serviço.</p> <p>Escopo 1: Emissões diretas</p> <p>Escopo 2: Aquisição de energia elétrica e térmica</p> <p>Escopo 3: Emissões indiretas</p>
2.3	Foco temporal do impacto	O GHG protocol disse que as empresas devem ser capazes de compreender e gerir os seus riscos relacionados com os GEE relacionados aos produtos, a fim de garantir o sucesso a LONGO PRAZO (100 anos GWP) num ambiente empresarial competitivo e estar preparado para o futuro

Quadro 22 - Abordagem da BPX 30-323 para o Critério 2: Avaliação de Impacto

ID	Critério 2. Avaliação de Impacto	Abordagem BPX 30-323
2.1	Seleção do tema e indicador	<p>A ADEME criou uma base de dados pública. Os pareceres emitidos são sobre:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Consistência •Qualidade e revisão crítica •Representatividade geográfica, tecnológica e relativa ao tempo •Completude dos fluxos elementares •Precisão e incerteza •Reprodutibilidade •Conformidade com os métodos •Clareza •Reconhecimento •Transparência •Formato •Atualizações
2.2	Foco espacial do impacto	<p>Fornecer informações ao consumidor, permitir a comparação de produtos pertencentes à mesma categoria e, quando relevante, entre categorias de produtos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - As categorias de impacto são fixadas por categoria de produto; - Alterações climáticas, incluindo a alteração do uso da terra; - Todas as emissões de GEE devem ser reportadas;
2.3	Foco temporal do impacto	<p>Numerosos impactos ambientais decorrentes do fornecimento de produtos, incluindo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Emissões de GEE - Potencial de Depleção de Ozônio - Potencial de acidificação - Potencial de Eutrofização - Potencial fotoquímico de criação de ozônio

Quadro 23 - Abordagem da PAS 2050 para o Critério 2: Avaliação de Impacto

ID	Critério 2. Avaliação de Impacto	Abordagem PAS 2050
2.1	Seleção do tema e indicador	<p>O indicador ‘Pegada de carbono do produto’, segundo a PAS 2050, refere-se às emissões diretas e indiretas de GEE de um produto através de seu ciclo de vida, a partir de matérias-primas, por meio da produção, distribuição, consumo e eliminação / reciclagem.</p> <p>Gases de efeito estufa (GEE) incluem dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), juntamente com as famílias de gases, como hidrofluorcarbonetos (HFC) e perfluorocarbonetos (PFCs).</p>
2.2	Foco espacial do impacto	<p>Alterações climáticas, incluindo todas as emissões de GEE, desde a aquisição da matéria prima até o fim da vida útil do bem ou serviço.</p> <p>Exceto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bens de capital (a menos que previsto nos requisitos suplementares); • Insumos energéticos humanos para os processos; • Animais que prestam serviços de transporte; • Transporte do consumidor até a compra; • Troca de funcionários.
2.3	Foco temporal do impacto	<p>Emissões de GEE são referenciadas a 100 anos, com base em GWP 100 do IPCC.</p> <p>Inclui as emissões da mudança do uso da terra que ocorreu dentro dos últimos 20 anos.</p>

Quadro 24 - Abordagem da ISO 14067 para o Critério 3: Agregação /Interpretação

ID	Critério 3. Agregação/interpretação	Abordagem ISO 14067
3.1	Meta de sustentabilidade	<p>O estudo de CFP não pode ser usado para comunicação de superioridade ambiental geral de um produto versus outro produto. Comparação com base nas CFP de produtos diferentes é permitido apenas se o cálculo de CFP dos produtos a serem comparados seguir a quantificação de CFP e os requisitos de comunicação idênticos. No entanto, a CFP ajuda na comunicação do acompanhamento de desempenho.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Melhorias feitas pela organização relatora; • Seleção de outros fornecedores; • Melhorias intencionais e verificáveis feita pelos fornecedores; • Melhorias no estágio de uso e estágio de fim; • Mudança devido aos aperfeiçoamento do processo.
3.2	Normalização/ Ponderação/ Método de agregação	<ul style="list-style-type: none"> • Esta especificação técnica estabelece os princípios, requisitos e orientações para a quantificação e comunicação da pegada de carbono de um produto (PCP), com base em normas internacionais de avaliação do ciclo de vida para a quantificação (ISO 14040 e ISO 14044) e declarações e rotulagem ambiental (ISO 14020, ISO 14024 e ISO 14025), bem como para a comunicação. • Também são fornecidos os requisitos e orientações para a quantificação e comunicação da pegada de carbono parcial de um produto (HCP parcial). • A presente especificação técnica é aplicável para estudos de diferentes opções de PCP e comunicação com base nos resultados destes estudos. • Quando os resultados de um estudo de HCP de acordo com esta Especificação Técnica são relatados, os procedimentos são fornecidos para suportar a transparência e credibilidade, bem como para permitir escolhas informadas. • Esta Especificação Técnica é apenas um impacto nas alterações climáticas categoria. • A compensação está fora do escopo desta Especificação Técnica.

Quadro 25 - Abordagem da *Ecological Footprint* para o Critério 3: Agregação /Interpretação

Critério 3.	
ID	Abordagem Ecological Footprint
Agregação/interpretação	
3.1 Meta de sustentabilidade	Permite o cálculo da pressão de consumo humano sobre o planeta, assim como a real situação creditícia ou deficitária de um país, além de projetar resultados baseados nos resultados obtidos. A meta de sustentabilidade portanto é vivermos satisfatoriamente com uso inteligente e equilibrado dos recursos naturais e também da forma que os compensamos e repomos.
Normalização/ 3.2 Ponderação/Método de agregação	As pegadas ecológicas podem ser calculadas para pessoas individuais, grupos de pessoas (como uma nação) e atividades (como a fabricação de um produto). A Pegada Ecológica de uma pessoa é calculada considerando todos os materiais biológicos consumidos e todas as emissões de dióxido de carbono geradas por essa pessoa em um determinado ano. Esses materiais e emissões exigem áreas ecologicamente produtivas, tais como lavouras para cultivar batatas, ou floresta para sequestrar as emissões de dióxido de carbono. Todos esses materiais e resíduos são então individualmente traduzidos em um número equivalente de hectares globais. Para o efeito, a quantidade de material consumido por essa pessoa (toneladas por ano) é dividida pelo rendimento da superfície terrestre ou marítima específica (toneladas anuais por hectare) a partir do qual foi colhida ou onde os seus resíduos foram absorvidos. O número de hectares que resultam desse cálculo é então convertido em hectares globais usando fatores de rendimento e equivalência.

Quadro 26 - Abordagem da GHG *Protocol* para o Critério 3: Agregação /Interpretação

Critério 3.	
ID	Abordagem GHG Protocol
Agregação/interpretação	
3.1 Meta de sustentabilidade	As empresas que decidem realizar o inventário de GEE permite estabelecer diferentes objetivos : Gestão das alterações climáticas (Identificação oportunidades de mercado, riscos no ciclo de vida dos produtos e custo da energia e disponibilidade de materiais). Melhora do rastreamento dos produtos (melhoria da eficiência e nas oportunidades de reduções de GEE ao longo do ciclo de vida de um produto, estabelece metas de redução, relatar o desempenho ao longo do tempo). Diferenciação de produto no mercado.
Normalização/ 3.2 Ponderação/Método de agregação	Igual como a PAS, o GHG protocol adopta as diretrizes de qualidade dos dados da Norma ISO 14044:2009. A coleta de dados das atividades primárias é necessária para todos os processos pertencentes ou operados pela instituição referentes ao produto em foco. Na coleta dos dados, tem que se avaliar e documentar a qualidade dos dados de emissões diretas, dados da atividade e fatores de emissão a medida que os dados são coletados. Emissões atrasadas ou fatores de ponderação como carbono temporário, não devem ser incluídos nos resultados do inventário, mas pode ser reportada separadamente. Nesta norma, os resultados do inventário não deveriam ser calculados com fatores de ponderação. É importante notar que se for aplicado um fator de ponderação para calcular o impacto das emissões e remoções atrasadas na fase do final de vida útil, o mesmo fator deve ser aplicado a atribuição ao final do ciclo de vida de coprodutos e materiais reciclados. Resultados CO2 equivalente

Quadro 27 - Abordagem da BPX 30-323 para o Critério 3: Agregação /Interpretação

Critério 3.		Abordagem BPX 30-323
ID	Agregação/interpretação	
3.1	3.1 Meta de sustentabilidade	As empresas podem usar os resultados de exercícios de pegada ambiental do produto para uma variedade de propósitos, incluindo identificação “hot spot”, comunicação com clientes e outras partes interessadas, benchmarking, Rastreamento, etc. No entanto, certas aplicações podem exigir o cumprimento de especificações metodológicas adicionais - por exemplo, afirmações comparativas.
	Normalização/ 3.2 Ponderação/Método de agregação	<p>A qualidade dos dados é importante para garantir a confiabilidade dos resultados. As características dos dados que se relacionam com a sua capacidade de satisfazer os requisitos estabelecidos na ISO 14044.</p> <ul style="list-style-type: none"> -A coleta de dados é uma das partes importantes da avaliação do ciclo de vida e deve ser realizada de acordo com a unidade funcional e os limites do sistema. -Os dados devem incluir todas as entradas e saídas dos processos: <ul style="list-style-type: none"> a) Insumos, como por exemplo, o uso de energia, água, materiais etc. b) Produtos e coprodutos. -As emissões podem ser divididas em quatro categorias: <ul style="list-style-type: none"> Ar, água, solo e resíduos sólidos, dependendo do que as emissões afetam.

Quadro 28 - Abordagem da PAS 2050 para o Critério 3: Agregação /Interpretação

Critério 3.		Abordagem PAS 2050
ID	Agregação/interpretação	
3.1	Meta de sustentabilidade	Permite estabelecer metas de redução de emissões de GEE do produto em foco.
3.2	Normalização/ Ponderação/ Método de agregação	<p>As diretrizes de qualidade dos dados na PAS 2050 são adaptadas da Norma ISO 14044:2009. A coleta de dados das atividades primárias é necessária para todos os processos pertencentes ou operados pela instituição referentes ao produto em foco. O Guia PAS 2050 fornece o formulário para coleta de dados primários.</p> <p>Os dados secundários são utilizados para as entradas, nos casos em que os dados primários não possam ser obtidos. A qualidade dos dados deve estar sempre em conformidade com a Norma ISO 14044:2009.</p> <p>O Guia fornece equação para calcular o índice do reciclado de destinação.</p> <p>Armazenamento de carbono deve ser comunicado separadamente. A ponderação de fatores de emissões tardias não estão incluídos no resultado do inventário, mas um método é fornecido no Anexo B, caso as organizações desejem aplicá-lo. Se assim for, este deve ser registrado separadamente para o resultado do inventário.</p>

Quadro 29 - Abordagem da ISO 14067 para o Critério 4: Desenho do método

Critério 4.		Abordagem ISO 14067
ID	Desenho do método	
4.1	Partes interessadas envolvidas	<ul style="list-style-type: none"> •Pessoa ou organizações (pessoas ou grupo de pessoas que tem suas próprias funções com responsabilidades, autoridades e relações para atingir seus objetivos), que pode afetar, ser afetado por , ou ser interpretada como afetada por uma decisão ou atividade
4.2	Contexto de avaliação	<p>Tratamentos de emissões e remoções de GEE específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Tratamento de fósil e carbono biogênico e eletricidade •Mudança do uso do solo e de carbono no solo •Armazenamento de carbono em produtos •Emissões e remoções de GEE não CO2 de produtos animais, estrume e solos •Emissões de GEE de aeronaves
4.3	Incertezas	<ul style="list-style-type: none"> •Parâmetro associado com o resultado da quantificação que caracteriza a dispersão dos valores que possam ser razoavelmente atribuídos ao valor quantitativo •[ABNT NBR 14064-1:2007, 2,37]

Quadro 30 - Abordagem da *Ecological Footprint* para o Critério 4: Desenho do método

Critério 4 . Desenho do método		Abordagem Ecological Footprint
4.1	Partes interessadas envolvidas	Cientistas, governos, empresas, indivíduos e instituições que trabalham para monitorar recursos ecológicos voltados para a promoção e o desenvolvimento sustentável. Os Padrões foram desenvolvidos através de um processo de consenso, com base em comitês, por um Comitê de Padrões, composto por representantes de universidades, governo, ONGs e empresas de consultoria. Como uma comunidade afiliada à ISEAL, a Global Footprint Network desenvolveu um processo de definição de normas destinado a cumprir o Código de Ética e Boas Práticas do ISEAL. Envolvem especialistas multidisciplinares espalhados pelo planeta.
4.2	Contexto de avaliação	A Global Footprint Network fornece ferramentas e programas que podem ajudar os países a prosperar em um mundo com recursos limitados, ajudando os tomadores de decisão a gerenciar seu capital ecológico, agora e no futuro. Ao provar aos governos nacionais, às instituições financeiras e às agências internacionais de desenvolvimento que podem ter mais sucesso se operarem com respeito à natureza, a Global Footprint Network visa promover um futuro mais estável e próspero. National Footprint Accounts (Contas Nacionais de Pegada) traz novos níveis de qualidade científica e precisão para a PE.
4.3	Incertezas	Não é fornecida qualquer orientação pormenorizada, mas indica que uma estimativa dos seguintes tipos de incerteza deve ser dada separadamente: i) Parâmetros de entrada (por exemplo, incerteza inerente aos dados obtidos de outras fontes) ii) Suposições de proporcionalidade (por exemplo, a incerteza associada à suposição de que as mudanças em um tipo de dados refletem mudanças em outra, como assumir que o fluxo monetário através da economia representa fluxos de bens físicos) iii) Erros de categoria (por exemplo, a suposição de que as propriedades associadas a um grupo de itens se aplicam igualmente a todos os itens individuais) iv) Cobertura incompleta ou parcial.

Quadro 31 - Abordagem da BPX 30-323 para o Critério 4: Desenho do método

Critério 4 . Desenho do método		Abordagem BPX 30-323
4.1	Partes interessadas envolvidas	O repositório de boas práticas, BPX30-323, foi elaborado ao abrigo da lei francesa <i>Grenelle I</i> , que estabelece a perspectiva de comunicação regulamentar de informação ambiental relativa ao produto. Este documento foi desenvolvido com mais de 300 organizações que representam os vários atores relevantes, setores e ONG reunidos na plataforma ADEME / AFNOR (Associação Francesa de Normalização). O BPX 30-323 está em conformidade com as normas ISO 14040 e ISO 14044 e pode evoluir de acordo com a evolução normativa da comunidade internacional ou Europeia.
4.2	Contexto de avaliação	O BPX 30-323 fornece princípios gerais para a comunicação ambiental dos produtos. A pegada de carbono é necessária qualquer que seja a categoria de produto. A comunicação ambiental inclui indicadores limitados em número e específicos a uma categoria de produto. Esses indicadores levam em consideração os principais impactos relevantes gerados pelo produto.
4.3	Incertezas	Para determinar se as diferenças aparentes entre as alternativas comparadas são reais (estatisticamente significativas), é necessário realizar uma avaliação das incertezas que acompanham os resultados. Três principais fontes de incerteza podem ser abordadas: • incerteza estocástica • incerteza de escolha • falta de conhecimento do sistema estudado. [ILCD] Grau Geral de Flexibilidade / Especificidade (comparação) Reflexão sobre os trade-offs entre escolha metodológica versus prescrição

Quadro 32 - Abordagem da GHG Protocol para o Critério 4: Desenho do método

ID	Critério 4 . Desenho do método	Abordagem GHG Protocol
4.1	Partes interessadas envolvidas	<p>O GHG Protocol é uma parceria entre empresas, ONGs, governos e outras organizações convocadas pelo WRI e o WBCSD. Foi lançado em 1998, a missão é desenvolver padrões e ferramentas de contabilidade e relatórios de GEE internacionalmente aceitos e promover sua adoção para alcançar uma economia de baixa emissão em todo o mundo.</p> <p>Em 2008, a WRI e o WBCSD lançaram a norma para produtos que foi um processo desenvolvido em 3 anos. Uma direção de um comitê de especialistas com 25 membros, forneceram as direções estratégicas através do processo. A primeira edição foi lançada em 2009 pelo Grupo técnico de trabalho composto por 112 membros, representando diversas indústrias, agências dos governos, instituições e organizações sem fins lucrativos do todo o mundo. Em 2010, 38 empresas de uma variedade de setores da indústria testaram a primeira edição e forneceram o respetivo feedback sobre a praticidade e usabilidade. Os membros do grupo de Stakeholder Advisory, composta por mais de 1600 participantes, forneceram o feedback sobre ambas edições o que ajudou a melhorar esta.</p>
4.2	Contexto de avaliação	<p>Esta norma destina-se a empresas e organizações de todos os tamanhos em todos os setores económicos e em todos os países. As empresas que buscam um melhor entendimento do inventário de GEE dos produtos (bens ou serviços) que eles fabricam, vendem, compram ou usam, podem-se beneficiar do uso desta norma. Os usuários interessados dentro das empresas, poderiam incluir pessoal do design do produto, aquisição, P e D, marketing, logística e departamentos de sustentabilidade corporativa.</p>
4.2	Incertezas	<p>A Incerteza está presente em quase todo o processo do inventário de GHG protocol. Um dos passos é a avaliação dela, consiste em três passos: 1. Identificar e rastrear a incerteza, 2. Priorizar, quantificar e/ou avaliar, e 3. documentar e reportar a incerteza.</p>

Quadro 33 - Abordagem da PAS 2050 para o Critério 4: Desenho do método

ID	Critério 4 . Desenho do método	Abordagem PAS 2050
4.1	Partes interessadas envolvidas	<p>O processo de desenvolvimento da PAS 2050 baseou-se na construção de consenso e na incorporação de conhecimento técnico de vários grupos de <i>stakeholders</i> internacionais, representando a academia, ONGs, governo e indústria e outros segmentos.</p> <p>O documento foi elaborado durante 18 meses, com duas rodadas de consulta a <i>stakeholders</i> externos. Cerca de 1000 <i>stakeholders</i> foram consultados e mais de 3000 comentários foram recebidos e considerados na versão final do Guia.</p>
4.2	Contexto de avaliação	<p>O Guia define que a abrangência de aplicação da metodologia a empresas de bens e serviços, incluindo B2B e B2C, além dos consumidores.</p> <p>Para empresas, a avaliação permite a avaliação interna das emissões de GEE no ciclo de vida dos produtos, constituindo referência para medir e comunicar reduções de emissões. Permite comparação de emissões de GEE, utilizando um modelo comum, reconhecido e uma abordagem padronizada. Suporte para responsabilidade corporativa ao relatar impactos sociais e ambientais de seus produtos.</p> <p>Para os consumidores do produto em foco, os resultados da avaliação aumentam a confiança que as emissões de GEE do ciclo de vida do produto está sendo reportado baseado em um método padronizado e robusto. Propicia maior entendimento de como a compra do bem ou serviço impacta nas emissões de GEE, oferecendo poder de decisão ao consumidor.</p>
4.3	Incertezas	<p>Há cinco passos básicos para o cálculo da pegada de carbono de qualquer bem ou serviço, segundo a PAS 2050. O quinto passo é a verificação da incerteza.</p>

Quadro 34 - Abordagem da ISO 14067 para o Critério 5: Restrições organizacionais

ID	Critério 5. Restrições organizacionais	Abordagem ISO 14067
5.1	Requisitos formais	Em relação aos programas baseados na Norma Internacional, é necessário que a organização envolva a declaração ambiental que assegure a verificação independente dos dados e do mar interna ou externamente. Isto pode significar, embora não necessariamente, a verificação por uma terceira parte, exceto no caso das declarações de negócio ao consumidor. O ISO fornece uma definição geral para o termo "certificação".
5.2	Requisitos de conhecimento e disponibilidade	Conhecimento sobre avaliação do ciclo de vida de produto (Normas ISO 14040 e 14044) e sobre metodologias de quantificações de emissões (metodologias do IPCC e do GHG Protocolo)
5.3	Requisitos de <i>software</i> e disponibilidade	Não exige o uso de um determinado software.
5.4	Requisitos de dados e disponibilidade	Dados específicos do local devem ser coletados para processos individuais sob controle financeiro ou operacional da organização que está realizando o estudo de CFP, e devem ser representativos dos processos para os quais são coletados. Convém que dados específicos do local também sejam usados, onde praticável, para aqueles processos elementares que contribuem de modo significativo para a CFP, mas não estão sob controle financeiro ou operacional da organização que está realizando o estudo de CFP. Dados específicos do local incluem emissões de GEE das fontes de GEE, assim como remoção de GEE por sumidouros de GEE de um processo elementar específico dentro de um local.

Quadro 35 - Abordagem da *Ecological Footprint* para o Critério 5: Restrições organizacionais

ID	Critério 5. Restrições organizacionais	Abordagem Ecological Footprint
5.1	Requisitos formais	Ecological Footprint Standards 2009 é o padrão atual, incluindo a edição 2016 do National Footprint Accounts. As Normas de 2009 baseiam-se no primeiro conjunto de Padrões de Pegada Ecológica internacionalmente reconhecidos, lançado em 2006, e incluem atualizações-chave como pela primeira vez fornecendo padrões e diretrizes para avaliações de produtos e pegadas organizacionais
5.2	Requisitos de conhecimento e disponibilidade	Ecological Footprint Standards 2009 projetada para garantir que as avaliações da Pegada sejam produzidas consistentemente e de acordo com as melhores práticas propostas pela comunidade. Eles visam assegurar que as avaliações são conduzidas e comunicadas de forma precisa e transparente, fornecendo padrões e diretrizes sobre questões como o uso de dados de origem, derivação de fatores de conversão, estabelecimento de limites de estudo e comunicação de resultados. As Normas são aplicáveis a todos os estudos da Pegada, incluindo populações subnacionais, produtos e organizações
5.3	Requisitos de <i>software</i> e disponibilidade	Não exige o uso de determinado software Disponibiliza uma calculadora de pegada no seu site Também disponibiliza sem custo no mesmo link acesso a um banco de dados público (em Excel) com informações completas dos resultados obtidos (gráficos: mundial e por país), resultados (por país).
5.4	Requisitos de dados e disponibilidade	No uso de, processo LCA (life-cycle assessment), o requisito de dados primários deve seguir a ISO 14044. Abordagem contabilística. Permite LCA de processo, Modelagem de entrada-saída ou híbrida A matriz de uso do solo de consumo (CLUM) pode ser construída usando métodos baseados em processo ou entrada-saída. Não há requisitos de qualidade de dados específicos na metodologia.

Quadro 36 - Abordagem da GHG Protocol para o Critério 5: Restrições organizacionais

ID	Critério 5. Restrições organizacionais	Abordagem GHG Protocol
5.1	Requisitos formais	O GHG protocol é reconhecido internacionalmente para a medição de emissões de GEE, desenvolvido pela WRI e o WBCSD.
5.2	Requisitos de conhecimento e disponibilidade	Conhecimento sobre avaliação do ciclo de vida de produto (Normas ISO 14040 e 14044) e sobre metodologias de quantificações de emissões (metodologias do IPCC e do GHG Protocolo)
5.3	Requisitos de <i>software</i> e disponibilidade	O uso do GHG protocol não exige o uso de um determinado <i>software</i> .
5.4	Requisitos de dados e disponibilidade	A qualidade dos dados deve estar sempre em conformidade com a Norma ISO 14044. Nos casos em que os dados primários não possam ser obtidos, os dados secundários devem ser utilizados para as entradas (qualidade dos dados secundários conforme Norma ISO 14044.

Quadro 37 - Abordagem da BPX 30-323 para o Critério 5: Restrições organizacionais

ID	Critério 5. Restrições organizacionais	Abordagem BPX 30-323
5.1	Requisitos formais	A BPX 30-323 é um guia de referência para avaliação e quantificação de emissões diretas e indiretas de GEE de um produto, através de seu ciclo de vida, a partir de matérias-primas, por meio da produção, distribuição, consumo e eliminação / reciclagem. Em desenvolvimento desde 2008 pela AFNOR (<i>Association Française de Normalisation</i>), sob supervisão da ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) a metodologia desde 2013 está como parte do programa de aprimoramento da Comunidade Europeia: PEF (Pilot Environmental Footprint)
5.2	Requisitos de conhecimento e disponibilidade	Conhecimento sobre avaliação do ciclo de vida de produto (Normas ISO 14040 e 14044) e sobre metodologias de quantificações de emissões.
5.3	Requisitos de <i>software</i> e disponibilidade	O uso da BPX 30-323 não exige o uso de um determinado <i>software</i> .
5.4	Requisitos de dados e disponibilidade	A qualidade dos dados deve estar sempre em conformidade com a Norma ISO 14044.

Quadro 38 - Abordagem da PAS 2050 para o Critério 5: Restrições organizacionais

ID	Critério 5. Restrições organizacionais	Abordagem PAS 2050
5.1	Requisitos formais	A PAS 2050 é reconhecida internacionalmente como um guia de referência para avaliação e quantificação de emissões diretas e indiretas de GEE de um produto, através de seu ciclo de vida, a partir de matérias-primas, por meio da produção, distribuição, consumo e eliminação / reciclagem. Desenvolvida em 2008 pela BSI (<i>British Standards Institution</i>), patrocinada pelo Defra (<i>The Department for Environment, Food and Rural Affairs</i> do Reino Unido) e pelo Carbon Trust.
5.2	Requisitos de conhecimento e disponibilidade	Conhecimento sobre avaliação do ciclo de vida de produto (Normas ISO 14040 e 14044) e sobre metodologias de quantificações de emissões (metodologias do IPCC e do GHG Protocolo)
5.3	Requisitos de <i>software</i> e disponibilidade	O uso da PAS 2050 não exige o uso de um determinado <i>software</i> .
5.4	Requisitos de dados e disponibilidade	A qualidade dos dados deve estar sempre em conformidade com a Norma ISO 14044. Nos casos em que os dados primários não possam ser obtidos, os dados secundários devem ser utilizados para as entradas (qualidade dos dados secundários conforme Norma ISO 14044.

4.3.2

Aplicação dos métodos de apoio à tomada de decisão multicritério

Nesta seção, apresentam-se as aplicações do método AHP para a ponderação de critérios e subcritérios, e logo depois o uso do TOPSIS para escolha da metodologia.

O julgamento dos critérios no AHP e das metodologias no TOPSIS, foi realizado pelos seis estudantes da disciplina MQI 2604-“Sistemas de Mensuração da Sustentabilidade” do programa de Pós-graduação em Metrologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), assim se evitaram preferências pessoais que pudessem interferir na avaliação, tanto do estudante como dos orientadores. A presença dos orientadores foi primordial para esclarecer diferentes dúvidas que surgiram no julgamento.

4.3.2.1

Método AHP para ponderação dos critérios

Foi utilizado o Software IPÊ, desenvolvido pelo professor Helder Gomes Costa da Universidade Federal Fluminense (UFF) com o propósito de implementar o algoritmo do método AHP proposto por Saaty (COSTA, 2002) e facilitar seu uso.

Nas tabelas 3-8, se apresenta a comparação pareada feita primeiramente por cada critério do primeiro nível e seguidamente dos subcritérios, com seu respectivo calculo da consistência, sabendo que para definir um julgamento coerente a Razão de Consistência (RC) tem que ser menor a 0,1 ($RC \leq 0,1$).

Tabela 3 - Julgamento dos critérios de primeiro nível
Critérios de primer nível

Pref.	Critério	Pref.	Critério	Julgamento									RC
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	Limite do sistema/inventario	x	Avaliação de Impacto/Seleção do tema					x					0,05
x	Limite do sistema/inventario		Agregação/Interpretação						x				
x	Limite do sistema/inventario		Desenho do método					x					
x	Limite do sistema/inventario		Restrições organizacionais						x				
x	Avaliação de Impacto/Seleção do tema		Agregação/Interpretação							x			
x	Avaliação de Impacto/Seleção do tema		Desenho do método								x		
x	Avaliação de Impacto/Seleção do tema		Restrições organizacionais									x	
	Agregação/Interpretação	x	Desenho do método					x					
x	Agregação/Interpretação		Restrições organizacionais						x				
x	Desenho do método		Restrições organizacionais							x			

Tabela 4 - Julgamento dos subcritérios pertencentes ao Critério 1

Critério 1: Limite do sistema

Pref.	Subcritério	Pref.	Subcritério	Julgamento									RC
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
x	Objetivo		Foco espacial				x						0,08
	Objetivo	x	Abordagem do ciclo de vida				x						
	Foco espacial	x	Abordagem do ciclo de vida								x		

Tabela 5 - Julgamento dos subcritérios pertencentes ao Critério 2

Critério 2: Avaliação de Impacto/Seleção do tema

Pref.	Subcritério	Pref.	Subcritério	Julgamento									RC
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
x	Seleção do tema do indicador		Foco espacial do impacto					x					0,00
x	Seleção do tema do indicador		Foco temporal do impacto					x					
	Foco espacial do impacto	x	Foco temporal do impacto					x					

Tabela 6 - Julgamento dos subcritérios pertencentes ao Critério 3

Critério 3: Agregação/Interpretação

Pref.	Subcritério	Pref.	Subcritério	Julgamento									RC
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
x	Meta de sustentabilidade		Normalização/ponderação/método de agregação	x									0,00

Tabela 7 - Julgamento dos subcritérios pertencentes ao Critério 4

Critério 4: Desenho do método

Pref.	Subcritério	Pref.	Subcritério	Julgamento									RC
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
x	Partes interessadas envolvidas		Contexto de avaliação					x					0,10
x	Partes interessadas envolvidas		Incertezas						x				
x	Contexto de avaliação		Incertezas						x				

Tabela 8 - Julgamento dos subcritérios pertencentes ao Critério 5

Critério 5: Restrições organizacionais

Pref.	Subcritério	Pref.	Subcritério	Julgamento									RC
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	
x	Restrições formais		Restrições de conhecimento e disponibilidade	x									0,04
x	Restrições formais		Restrições de software e disponibilidade					x					
x	Restrições formais		Restrições de dados e disponibilidade						x				
x	Restrições de conhecimento e disponibilidade		Restrições de software e disponibilidade			x							
x	Restrições de conhecimento e disponibilidade		Restrições de dados e disponibilidade					x					
x	Restrições de software e disponibilidade		Restrições de dados e disponibilidade						x				

Seguidamente se apresentam os respetivos pesos dos critérios e subcritérios, seguidamente do Peso Real do Subcritério que resulta da multiplicação do Peso do Critério vezes o Peso do Subcritério ($PC \times PSC = PR$) como se vê na tabela 9.

Tabela 9 - Ponderação dos critérios e subcritérios.

Critério	Peso do critério	Subcritério	Peso do subc. dentro	Peso do subcritério
1 Limite do sistema/inventário	20,8%	1.1 Objeto. 1.2 Foco espacial. 1.3 Abordagem do ciclo de vida.	20,6% 7,0% 72,3%	4,3% 1,5% 15,0%
2 Avaliação de impacto/Seleção do tema.	48,0%	2.1 Seleção do tema e o indicador. 2.2 Foco espacial do impacto. 2.3 Foco temporal do impacto.	64,8% 12,2% 23,0%	31,1% 5,9% 11,0%
3 Agregação/ interpretação.	7,1%	3.1 Meta de sustentabilidade. 3.2 Normalização/ ponderação / método c	80,0% 20,0%	5,7% 1,4%
4 Desenho do método.	17,9%	4.1 Partes interessadas envolvidas. 4.2 Contexto da avaliação. 4.3 Incertezas.	67,1% 24,4% 8,5%	12,0% 4,4% 1,5%
5 Restrições organizacionais.	6,1%	5.1 Restrições formais. 5.2 Restrições de conhecimento e disponibi 5.3 Restrições de software e disponibilidade 5.4 Restrições e dados disponíveis.	53,1% 24,4% 15,3% 7,2%	3,2% 1,5% 0,9% 0,4%
TOTAL	100%			100%

Obtendo assim o vetor de peso $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ é composto pelos pesos individuais para cada subcritério (tabela 10), que satisfazem a equação (15) da metodologia TOPSIS.

Tabela 10 - Pesos dos subcritérios W_{ij}

Pesos	C1 Limite do sistema			C2 Avaliação de impacto			C3 Agregação		C4 Desenho do Método			C5 Res. Organizacionais			
	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC3.1	SC3.2	SC4.1	SC4.2	SC4.3	SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4
W_{ij}	4,3%	1,5%	15,0%	31,1%	5,9%	11,0%	5,7%	1,4%	12,0%	4,4%	1,5%	3,2%	1,5%	0,9%	0,4%

4.3.2.2

Método TOPSIS para hierarquização e escolha da metodologia

Definiu-se uma escala para o julgamento das metodologias segundo o nível de atendimento aos critérios. A escala vai de um (1) que significa que não atende ao critério, até cinco (5) que significa que o atende absolutamente, como se define na tabela 11.

Tabela 11 - Escala de atendimento ao critério utilizado no TOPSIS

Nível	Classificação
1	Não atende
2	Parcialmente
3	Moderado
4	Forte
5	Absoluto

Os resultados se encontram na tabela 12, que seria a matriz decisão (A) composta por as alternativas e os critérios.

Tabela 12 - Matriz de decisão (A)

Metodologias	C1 Limite do sistema			C2 Avaliação de impacto			C3 Agregação		C4 Desenho do Método			C5 Res. Organizacionais			
	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC3.1	SC3.2	SC4.1	SC4.2	SC4.3	SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4
ISO 14067	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	2	5	2	5	2
Ecological Footprint	5	4	5	5	5	2	5	4	5	5	2	5	5	5	3
GHG protocol	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	5	2
BPX 30 323	2	4	5	5	5	5	5	5	2	5	2	2	1	5	2
PAS 2050	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	2
Valor Máximo	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3

Logo após se obtém a matriz normalizada (A_n) que representa o desempenho relativo das alternativas na tabela 13.

Tabela 13 - Matriz de decisão normalizada A_n

Metodologias	C1 Limite do sistema			C2 Avaliação de impacto			C3 Agregação		C4 Desenho do Método			C5 Res. Organizacionais			
	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC3.1	SC3.2	SC4.1	SC4.2	SC4.3	SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4
ISO 14067	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	0,40	1,00	0,40	1,00	0,67
Ecological Footprint	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	0,40	1,00	0,80	1,00	1,00	0,40	1,00	1,00	1,00	1,00
GHG protocol	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,60	1,00	0,67
BPX 30 323	0,40	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	1,00	0,40	0,40	0,20	1,00	0,67
PAS 2050	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,67

Em seguida se apresenta os passos segundo a metodologia TOPSIS:

Passo 1: Cálculo das soluções ideais positivas A^+ (PIS) e das soluções ideais negativas A^- (NIS) se apresenta na tabela 14.

Tabela 14 - Elementos A^+ (benefícios) e A^- (custos)

Elemento	C1 Limite do sistema			C2 Avaliação de impacto			C3 Agregação		C4 Desenho do Método			C5 Res. Organizacionais			
	SC1.1	SC1.2	SC1.3	SC2.1	SC2.2	SC2.3	SC3.1	SC3.2	SC4.1	SC4.2	SC4.3	SC5.1	SC5.2	SC5.3	SC5.4
A mais (pj mais)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
A menos (pj menos)	0,40	0,80	1,00	1,00	0,80	0,40	1,00	0,80	0,40	1,00	0,40	0,40	0,20	1,00	0,67

Passo 2: Cálculo das distâncias Euclidianas entre A_i e A^+ (benefícios) e entre A_i e A^- (custos) como se vê na tabela 15 e 16

Tabela 15 - Cálculo dos elementos $d^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^+ - p_{ij})^2}$

Metodologias	Somatório	Raiz Quadrada
ISO 14067	0,01423	0,11931
Ecological Footprint	0,04637	0,21534
GHG protocol	0,00417	0,06454
BPX 30 323	0,08640	0,29394
PAS 2050	0,00287	0,05357

Tabela 16 - Cálculo dos elementos $d^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j (p_j^- - p_{ij})^2}$

Metodologias	Somatório	Raiz Quadrada
ISO 14067	0,11125	0,33354
Ecological Footprint	0,08268	0,28754
GHG protocol	0,11494	0,33903
BPX 30 323	0,04265	0,20653
PAS 2050	0,12142	0,34846

Passo 3: cálculo da proximidade relativa (ξ_i) para cada alternativa A_i em relação à solução ideal positiva A^+ obtendo assim a tabela 17, onde o resultado mais próximo da solução ideal é da metodologia PAS 2050, a qual será utilizada

para realizar a estimativa de pegada de carbono do serviço de entregas da empresa Courrieros.

Tabela 17 - Resultado da metodologia TOPSIS

Metodologias	ε	Ranking
ISO 14067	0,73654	3
Ecological Footprint	0,57179	4
GHG protocol	0,84008	2
BPX 30 323	0,41267	5
PAS 2050	0,86676	1

Pode-se ver na tabela 21 que a metodologia *GHG Protocol* está no segundo lugar com um valor muito próximo. Foi analisada a matriz de decisão (tabela 12) para saber quais são as principais diferenças entre as duas primeiras metodologias. Chegou-se a conclusão de que a PAS 2050 foi escolhida já que a *GHG Protocol* está baseada nela o que seria uma vantagem no processo de hierarquização.

4.4

Processo de cálculo da pegada de carbono através da PAS 2050

A metodologia PAS 2050 possui cinco passos principais no cálculo da pegada de carbono de qualquer produto ou serviço. O quinto passo trata da incerteza dos dados coletados, e por ser opcional não está sendo abordado nesta visão geral da metodologia (SPECIFICATION, 2011).

- Passo 1: Mapeamento do processo
- Passo 2: Fronteiras e prioridades
- Passo 3: Coleta de dados
- Passo 4: Cálculo da pegada de carbono
- Passo 5: Incertezas

4.4.1

Mapeamento do processo

Para o cálculo da pegada de carbono de um produto, é fundamental a construção do mapa do processo do seu ciclo de vida, desde a extração e processamento das matérias-primas, passando pela manufatura do produto e sua distribuição, até a disposição final. Devem ser incluídos todos os materiais, energia e fluxos de resíduos.

4.4.1.1

Business-to-business (B2B)

O mapa do B2B considera a extração e manufatura das matérias-primas até a sua distribuição para o cliente que é outra empresa. O seu ciclo também pode ser denominado de “berço-ao-portão” ou em inglês, *cradle-to-gate*.

4.4.1.2

Business-to-consumer (B2C)

Para obtenção de uma pegada de carbono confiável, é importante estruturar o processo contemplando toda a cadeia produtiva e incluir as atividades com as matérias-primas, a manufatura do produto, a distribuição do produto, e também o uso pelo consumidor e, finalmente, a disposição final e/ou reciclagem, conforme mostrado na figura 9. O seu ciclo também é denominado de “berço-ao-túmulo”.

Com a visão geral do processo elaborada no Passo 1, é possível definir as fronteiras para elaboração da pegada de carbono. O ponto chave desta etapa é incluir emissões que sejam significativas.

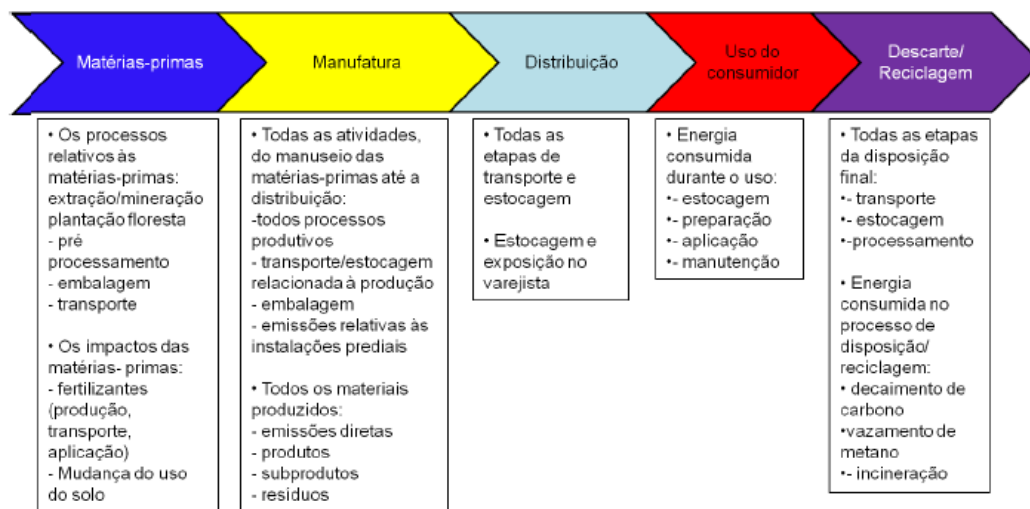


Figura 10 - Etapas do mapa do processo (em detalhe) para produtos *business-to-consumer*

4.4.1.3

Fontes de emissão não significativas

A fim de assegurar que as fontes de emissão muito reduzidas do ciclo de vida não tenham o mesmo tratamento que as fontes de emissão mais relevantes, a metodologia PAS 2050 define 1% como o limite de materialidade para o cálculo da pegada de carbono de um produto. A recomendação é que as emissões sejam

estimadas previamente para identificar as fontes de emissão definidas como “imateriais” ou não significativas.

4.4.1.4

Alocação das emissões

Seguem abaixo as principais regras definidas na PAS 2050:2011 sobre alocação de emissões.

Emissões do tratamento de resíduos: as emissões de CO₂ provenientes de carbono biogênico utilizam o Potencial de Aquecimento Global igual à zero, ou seja, não são consideradas no cálculo.

Emissões de sistemas de geração de energia renovável: as emissões relativas à energia exportada para a uma rede interligada (por exemplo, rede de eletricidade), devem ser consideradas no cálculo total das emissões do produto. No caso do uso desta energia, na forma de calor e eletricidade para mais de um processo, as emissões devem ser alocadas para cada tipo de energia fornecida.

Emissões do transporte: quando o transporte é de mais de um produto, as emissões devem ser rateadas por todos os produtos, com base no peso ou volume transportado, a ser definido de acordo com o fator limitante (peso ou volume).

Uso de material reciclado: quando o ciclo de vida possui um material com conteúdo reciclável, estas emissões devem ser consideradas no cálculo, de acordo com regras específicas da metodologia PAS 2050:2011.

4.4.1.5

Carbono estocado nos produtos

Se o produto contém carbono de origem biogênica, o impacto deste estoque de carbono poderá ser contabilizado como negativo no cálculo das emissões.

Esta regra é válida se o produto não é alimento para humano ou animal, se mantém em sua composição mais de 50% de massa de carbono biogênico por pelo menos um ano. E também se o material que contém carbono biogênico foi por meio de um processo de ação humana (por exemplo, manejo de floresta) ou se este material que contém carbono biogênico foi formado por um produto reciclado ou de reuso (Neste caso deve também atender ao item desta metodologia que diz respeito a recicláveis).

4.4.1.6

Mudança do uso do solo

Todo e qualquer produto de origem agrícola deve considerar as emissões provenientes da mudança do uso do solo, e as emissões provenientes do uso direto do solo no cálculo das emissões do produto.

As emissões destas atividades devem ser contabilizadas de acordo com a metodologia *do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*.

4.4.2

Coleta de Dados

A coleta de dados é efetuada, seguindo critérios estabelecidos nos padrões ISO 14040 e ISO 14044.

4.4.2.1

Unidade funcional

As avaliações de emissões de GEE no ciclo de vida de produtos devem ser conduzidas de forma que permitam que a quantidade de CO₂ esteja associada a uma unidade funcional do produto, como por exemplo: quantidade de produtos vendidos em unidade de massa ou volume, ou um período de tempo como dia, mês ou ano.

4.4.2.2

Dados primários e secundários

Nesta metodologia, utilizam-se dois tipos de dados: os dados primários e secundários.

Os dados primários são aqueles medidos diretamente dos processos produtivos da empresa, quer sejam coletados internamente por ela ou realizados por terceiros. A empresa, que está implementando a PAS 2050, deve coletar os dados de atividades do tipo primário em todas as operações que são de sua propriedade, e também naquelas que são operadas ou controladas por ela. Este é um requisito da PAS 2050.

Os dados secundários são aqueles obtidos de fontes que não possuem medidas diretas, e são utilizados quando os dados primários não são disponíveis ou a qualidade dos mesmos é questionável, como, por exemplo, o uso de fatores

de emissão na produção de um produto, buscado em publicações técnicas, científicas ou de organizações.

4.4.3

Cálculo da pegada de carbono do produto

Conforme descrito em capítulos anteriores, a pegada de carbono de um produto é a somatória da quantidade de todos os materiais, energia e resíduos dos processos envolvidos dentro das fronteiras do estudo, multiplicado pelos seus respectivos fatores de emissão. O cálculo, portanto, é efetuado pela multiplicação dos dados de atividades pelos fatores de emissão apropriados para cada atividade, conforme mostrado na equação (25).

$$PC = Dado \times FE \quad (25)$$

PC: Pegada de carbono de cada atividade.

Dados: Dados de cada atividade (Unidades: massa, volume, kWh).

FE: Fator de emissão (CO₂e por unidade).

4.4.3.1

Gases de efeito estufa

O cálculo da pegada de carbono inclui todos os gases de efeito estufa considerados pelo IPCC. Os gases de efeito estufa devem ser convertidos em dióxido de carbono equivalente (CO₂e), utilizando o potencial de aquecimento global, dentro de um horizonte de 100 anos, conforme mostrado de forma resumida na tabela 18. A PAS 2050 fornece uma lista completa de todos os gases de efeito estufa e seus respectivos GWP. Multiplicando-se as quantidades dos GEE pelo seu respectivo Potencial de Aquecimento Global, obtém-se o resultado em CO₂e, que é a unidade de medida padrão da pegada de carbono de produto.

Tabela 18 - Potencial de Aquecimento Global

Gases de efeito estufa		GWP
Dioxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	25
Oxido Nitroso	N ₂ O	298

4.4.4

Incertezas

As avaliações de incertezas estão relacionadas aos dados de atividades e fatores de emissão utilizados no cálculo da pegada de carbono de um produto. A recomendação é de se reduzir as incertezas o quanto possível.

5

Estudo de caso - Estimativa de pegada de carbono da empresa de distribuição Courriers

Este capítulo descreve os resultados do estudo de caso desenvolvido durante a dissertação. O foco é uma empresa de distribuição do Rio de Janeiro designada Courriers. Em seguida, apresenta-se de forma sucinta a empresa e os tipos de serviços que realizam. Depois, a metodologia escolhida no capítulo anterior (PAS 2050) para o cálculo de Pegada de Carbono é aplicada à empresa e os resultados são discutidos.

5.1

A empresa

A empresa Ecolivery Courriers Ltda. (figura 11) começou em São Paulo há quatro anos. A ideia veio da paixão dos fundadores, André Biselli e Victor Castello Branco, por pedalar, unido àqueles que são hoje os dois slogans da empresa: *“Pode deixar! a gente leva para você”* e *“Pedalando a gente chega lá”*. Eles, então, decidiram criar um sistema de entregas com bicicletas, serviço comum na Inglaterra e na França, com o propósito de fazer entregas de uma forma ambientalmente mais sustentável. Os fundadores acharam que o negócio poderia dar certo no Brasil.

Um dos diferenciais é a eficiência sem poluir: a bicicleta é muitas vezes mais rápida que as motos, em velocidade perdendo apenas para helicópteros no desafio intermodal realizado em São Paulo. E ainda a economia que os clientes têm ao optar pelo serviço.



Figura 11 - Logo da empresa Courriers
Fonte: Courriers

Hoje a empresa se expandiu e funciona, também, no Rio de Janeiro. Foi trazida por Alexandre Messina, formado em Engenharia de Produção pela PUC-Rio. Messina disse que são três os motivos principais que tornam a bicicleta melhor para as entregas. O primeiro é ecológico, a cada entrega que é feita de bicicleta, deixa-se de emitir em média 1 kg de CO₂. O outro ponto é a parte econômica, já que a bicicleta gasta 30% a menos do que a moto, por não usar gasolina e a manutenção ser mais barata, logo o custo para o cliente é menor. E, finalmente, a eficiência em distâncias até 8 km, a bicicleta é considerada mais prática e mais rápida do que a moto para as cidades como São Paulo e Rio de Janeiro (DRAFT, 2015).

No mercado carioca há dois anos, a Courriers conta com uma equipe com 32 ciclistas profissionais e atua em áreas como Zona Sul, Centro do Rio, Tijuca e Niterói. As entregas vão desde documentos de agências e escritórios de advocacia até entregas de comidas de restaurantes, como o Market, em Ipanema, e o Brasileirinho, na Tijuca. Além disso, a empresa faz entrega de roupas de marcas como a Reserva e a Osklen, a mais nova parceira da empresa (JORNAL BRASIL, 2016). A Courriers conta com mochilas de diferentes tamanhos dependendo da necessidade.

5.1.1

Localização da empresa e áreas de atendimento

A empresa se encontra estrategicamente localizada no bairro de Botafogo, devido à facilidade de deslocamento para os diferentes setores de maior comércio da cidade e onde se realizam as entregas como: Centro, Flamengo, Zona Sul, Tijuca e Niterói. Ressaltando que para realizar as entregas em Niterói, se utilizam

as barcas, que são o principal transporte público de ligação entre o centro do Rio e Niterói, e permite, desde há algum tempo, o embarque de bicicletas. Anteriormente este só era autorizado, nos dias úteis da semana, mediante o pagamento de uma taxa. A concessionária CCR Barcas foi pioneira no transporte de bicicletas gratuitamente. Inicialmente, esse benefício foi concedido durante os fins de semana, depois, em dias úteis, nos horários de contra fluxo e de menor movimento. A partir de setembro de 2013, é permitido o transporte de bicicletas convencionais para usuários da linha Praça XV-Praça Arariboia-Praça XV, sem custo adicional, em qualquer horário (GRUPO CCR, 2015). Para quem utiliza bicicleta dobrável, o benefício já existia em todas as linhas. Para completar, novas barcas com bicicletários foram agregadas à frota (BINATTI, 2016).

5.1.2

Serviços

A empresa Courriers oferece vários tipos de entregas que se realizam de forma eficiente, ecológica e segura. As entregas mais comuns são de documentos e pacotes de pequenos volumes, mas também contam com cestas e bagageiros. Em média se realizam 346 entregas por dia.

No seu *site*, a empresa Courriers define dois tipos de entregas: Entregas Simples e Entregas com Roteiro.

5.1.2.1

Entregas Simples:

As entregas simples podem ser de dois tipos: Programadas ou Rápidas (consideradas como agendadas). As entregas simples podem ser consideradas Programadas quando o cliente liga até às 18 horas do dia anterior. As entregas Agendadas são definidas como as que são para o mesmo dia, mas sem pressa.

O preço é um diferencial da empresa Courriers, já que a cobrança depende somente da distância entre o ponto de retirada (A) e destino (B) do seu pacote. Ou seja, desde que esteja na área de atendimento, não precisa se preocupar se estiver distante da sede, pois os Courriers operam de forma flexível: os ciclistas estabelecem pontos estratégicos em cada região e raramente param na base no mesmo dia. A figura 12 define os preços da entrega dependendo da distância entre o ponto de coleta A e o ponto de entrega B.

Distâncias do Ponto de Coleta ao Ponto de Entrega	Entregas Programadas ¹	Entregas Rápidas ²
 0 - 1,9 KM	R\$20,00	R\$23,00
 2 - 9,9 KM	R\$26,00	R\$30,00
 10 - 14,9 KM	R\$35,00	R\$40,00
 15km - 20km	R\$45,00	R\$52,00

Figura 12 - Preços em função da distância

Fonte: Courriers

Para as entregas geradas pelo *e-commerce* (Reserva, Osklen e Netshoes) se realiza uma coleta em um veículo motorizado no CD que fica localizado no bairro de São Cristóvão (40 ou 50 entregas). Elas são levadas para a empresa (localizada em Botafogo) onde se realiza o processo de distribuição setorizada nos diferentes bairros do Rio de Janeiro.





Tempo	Cobrança
 0 -10 minutos	-
 10-20 minutos	R\$5,00
 20-30 minutos	+ R\$10,00
 30-40 minutos	+ R\$15,00
 Mais de 40 minutos	+R\$5,00 a cada 10 minutos

Figura 13 - Preços por tempo de espera

Fonte: Courriers

A empresa Courriers também realizam entregas de Ida e volta, ou seja, entregas em que o documento ou recibo precise ser trazido de volta ao endereço de coleta, é adicionado o 50% do valor da entrega. Neste tipo de serviços o tempo de espera joga um papel importante, às vezes uma entrega pode demorar até uma hora. Para estes serviços (ida e volta), ou se o ciclista tiver de esperar na recepção, a partir de 10 minutos de espera, cobra-se \$5,00 a cada 10 minutos adicionais (figura 13).

5.1.2.2

Entregas com Roteiro

As entregas com Roteiro se definem como as entregas que tem um ponto de coleta e diversos destinos. Este tipo de entregas é muito utilizado por restaurantes da cidade, também para a repartição de convites e brindes.

Para estes roteiros, cobra-se apenas o preço da primeira entrega e um adicional pelo tempo até realizar as demais entregas. O adicional é o mesmo que o cobrado para o tempo de espera: \$5,00 a cada dez minutos, a partir do 10º minuto. Isto vale se os destinos estiverem a uma distância de até 2 km entre si.

5.2

Estimativa de pegada de carbono utilizando a metodologia PAS 2050

Essa seção contém a estimativa de pegada de carbono do serviço de entregas da empresa Courriers, segundo a metodologia da PAS 2050 revisada anteriormente. Primeiramente se define a unidade funcional e em seguida, se encontra o passo a passo da metodologia.

5.2.1

Unidade funcional

Conforme definido pela Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), é necessário definir-se uma unidade funcional para a quantificação da pegada de carbono de um produto ou serviço.

A unidade funcional definida para o cálculo da pegada de carbono neste estudo é um (1) mês de trabalho que corresponde a 22 dias, diferenciando pelo tipo de serviço (entregas simples e entregas com roteiro).

No mês de dezembro, a empresa Courriers realizou 7611 entregas, ou seja, 4166 entregas com roteiro (restaurantes), 731 entregas simples e 2714 entregas de *e-commerce*. O que equivale, a 12518 km percorridos, nas diferentes áreas de atuação da empresa. A tabela 19 resume o mês de dezembro da empresa Courriers.

Tabela 19 - Número de entregas no mês de setembro

Tipo de entrega	Mês	
	Nº de entregas	Km percorridos
Roteiro	4166	4166
Simple	731	2924
E-commerce	2714	5428
TOTAL	7611	12518

Fonte: Courrieros

Como se mencionou anteriormente, a metodologia PAS 2050 possui cinco passos principais no cálculo da pegada de carbono de qualquer produto ou serviço. O quinto passo (5º) trata da incerteza dos dados, e por ser opcional não está sendo abordado neste estudo, já que os dados fornecidos pela empresa são precisos e as referências acolhidas para os fatores de emissão são confiáveis.

5.2.2

Mapeamento do processo

O processo de entregas que realiza a empresa Courrieros, pode-se considerar relativamente simples. A figura 14 ilustra o processo de entregas onde seus passos são diferenciados por cores. Consta de cinco passos essencialmente que se descrevem de seguida.

Passo 1: Inicia com a solicitação do serviço por parte do cliente, preenchendo o formulário com as especificações do pacote e da entrega. Em relação ao pacote são detalhados: peso, tamanho, fragilidade e forma. Com respeito ao serviço são detalhados: horários para recolher e para entregar o pacote, endereços e nomes.

Passo 2: Consiste em receber e verificar a informação do formulário para saber se o pacote cumpre com as especificações físicas (peso, tamanho, fragilidade) e se os endereços (coleta e entrega) se encontram na área de atuação da empresa. Se o pedido cumpre com os requisitos, se envia a fatura ao cliente para efetuar o pagamento, se não cumpre com os requisitos, se envia uma notificação ao cliente.

Passo 3: Consiste no desenho dos roteiros. É utilizado o *Google Maps* para planeja-los, ressaltando que os Courrieros conhecem muito bem a zona onde realizam as entregas, facilitando o deslocamento e definindo onde começam e terminam.

Passo 4: Envolve o processo de coleta e de entregas de pacotes, pelos Courriers, de forma eficiente, ecológica e segura, como foi mencionado anteriormente. Eles utilizam ruas e ciclovias para evitar ficar presos nos engarrafamentos que se apresentam na cidade nas diferentes horas da jornada de trabalho. Ressalta-se que, para as entregas geradas pelo *e-commerce*, se realiza primeiro uma coleta no CD (São Cristóvão) com múltiplas entregas que são levadas para a empresa (Botafogo) para realizar a devida distribuição pelos Courriers.

Passo 5: A última etapa consiste na realização de uma pesquisa de satisfação que é revisada pela administração para garantir a excelência no nível de atendimento. Também se envia uma notificação ao cliente de que o pacote já foi entregue.

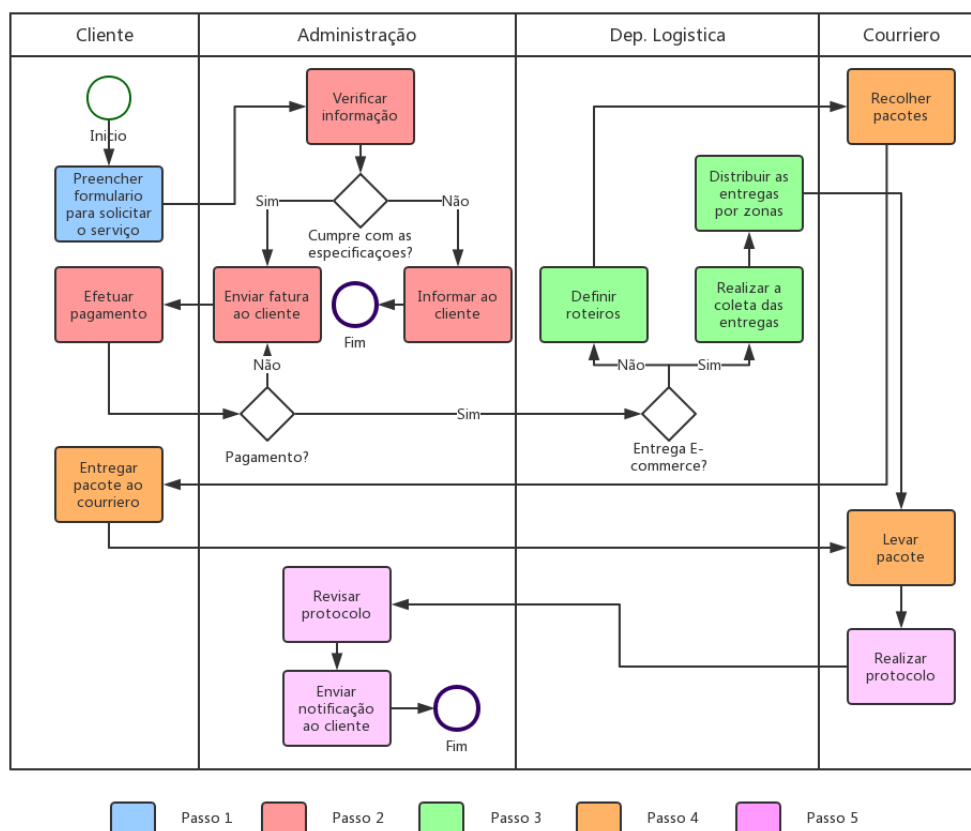


Figura 14 - Mapeamento do processo de entregas da empresa Courriers

5.2.3

Fronteiras, priorização e dados.

Realizou-se uma análise preliminar de relevância e disponibilidade de dados para definir as fronteiras deste estudo, e pôde-se concluir que alguns componentes do processo poderiam ser excluídos, como detalhado na figura 15.

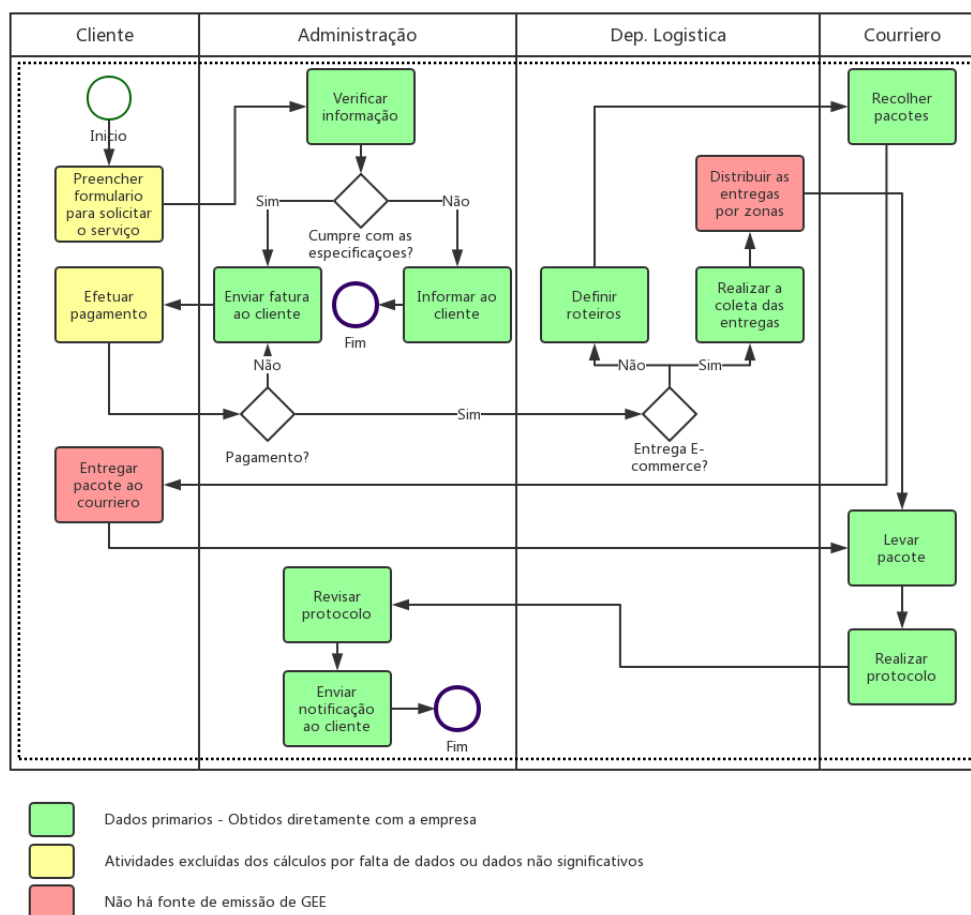


Figura 15 - Mapa do processo com identificação do tipo de dados e itens excluídos do cálculo

5.2.3.1

Dados primários

Conforme mostrado na figura 19, os dados primários foram obtidos diretamente da empresa, utilizando seus diferentes relatórios sobre o serviço de entregas.

5.2.3.2

Atividades excluídas do cálculo

A exclusão de alguns itens da estimativa da pegada de carbono do serviço de entregas deveu-se aos baixos valores quantitativos destes dados e também à falta de informações na literatura sobre fatores de GEE dessas atividades.

5.2.3.3

Fatores de emissão de GEE

Os fatores de emissão das diferentes etapas do processo de entregas foram pesquisados em publicações específicas de cada uma delas.

A metodologia PAS 2050 adota os diferentes escopos definidos na metodologia GHG *Protocol* apresentados no capítulo 3.

No consumo de energia elétrica, utilizaram-se os dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e, no tratamento de resíduos sólidos, os fatores de emissão foram do IPCC 2016. Todas as fontes dos fatores de emissão estão informadas.

5.2.4

Cálculo da pegada de carbono

Nesta seção, estão descritas todas as etapas do cálculo da pegada de carbono, os fatores de emissão de GEE, as limitações encontradas, e os dados coletados.

Foram utilizados dados fornecidos pela empresa referentes ao mês de dezembro, durante o qual a empresa operou 22 dias. A tabela 20 sintetiza os dados recolhidos.

Tabela 20 - Quantidades de entregas por tipo de serviço

Tipo de entrega	Mês		Média diária	
	Nº de entregas	Km percorridos	No de entregas	Km percorridos
Roteiro	4166	4166	189	189,36
Simplex	731	2924	33	132,91
E-commerce	2714	5428	123	246,73
TOTAL	7611	12518	346	569

Fonte: Courriers

5.2.4.1

Energia elétrica consumida

O uso de aparelhos que funcionam com energia elétrica como computadores, celular e outros, são fundamentais no processo de entregas para realizar diferentes atividades e armazenar informação. Porém a adequada contabilização de energia elétrica consumida tem um papel importante no processo para o cálculo da pegada de carbono do serviço. Segundo a metodologia implantada pelo GHG *Protocol* a compra de energia elétrica pertence ao Escopo 2.

Utilizou-se o valor mensal que a empresa consumiu de energia elétrica no mês de dezembro que foram 214,61 *KWh* e se multiplicou pelo Fator de Emissão (FE) para realizar a contabilização de emissões mensais de GEE. Os resultados de emissão de GEE mensal estão na tabela 21.

Tabela 21 - Contabilização do consumo de energia

Fonte de emissão	Consumo mensal			Fator de Emissão			Emissão mensal de GEE (kgCO ₂ e)
	Quantidade	Unidade	Fonte	FE	Unidade	Fonte	
Energia elétrica	214,61	KWh	Courriers	0,2343	kgCO ₂ e/ KWh	MCT (2016)	50,27

5.2.4.2

Quantidade de água utilizada

O consumo de água é um dos elementos tidos em conta no cálculo da pegada de carbono. Sendo que a os serviços prestados pela Courriers assentam essencialmente na força braçal, o cálculo aproximado do consumo de água é um dado necessário para a avaliação.

De acordo com Pedalaria (2017), em uma pedalada podemos perder dez (10) vezes mais água do que se o corpo estiver parado, e se a atividade for mais pesada, até 26 vezes mais. A água, tal como a alimentação, podem ser consideradas como os combustíveis do ciclista. No entanto, o consumo de alimentos por ser muito variável não é contemplado no cálculo da pegada de carbono utilizando a metodologia PAS2050. Considera-se então apenas o consumo de água para o cálculo. Utilizou-se o consumo mensal no mesmo mês (2,88 *m*³), já que são utilizados filtros para purificar a água dentro da empresa, permitindo beber água da rede pública.

O consumo de água é considerado como Escopo 3, segundo o GHG *Protocol*. O mesmo será tido em consideração para a contabilização das emissões de GEE, de acordo com os dados fornecidos na tabela 22.

Tabela 22 - Contabilização do consumo de água

Fonte de emissão	Consumo mensal			Fator de Emissão			Emissão mensal de GEE (kgCO ₂ e)
	Quantidade	Unidade	Fonte	FE	Unidade	Fonte	
Água	2,88	m ³	Courriers	0,3441	kgCO ₂ e/ m ³	DEFRA (2012)	0,99

5.2.4.3

Quantidade de papel utilizado

O consumo de papel é uma fonte de emissões de GEE da empresa que afeta diretamente o processo de entregas. Segundo o GHG *Protocol*, é definido como Escopo 3 como tipo de resíduo sólido gerado na operação.

No mês de dezembro foram realizadas 7611 entregas, o que significa que se foram feitos 7611 protocolos ao realizar as entregas. Os protocolos são realizados em folhas de papel de papel tamanho A4 de 75 gms que pesa 4,6875 gr (TAMANHOS DE PAPEL, 2017). Esta medida se utilizará para realizar a devida conversão na tabela 23 para saber o consumo mensal.

Tabela 23 - Quantidade de papel utilizado

Fonte de emissão	Tipo de entrega	Entregas/ mês	Un.	Peso unitário	Un.	Consumo mensal	Un.
Folhas de papel	Roteiro	4166					
	Simplex	731	folhas	0,0046875	kg/ folha	35,68	kg
	E-commerce	2714					

Em seguida, se realizou o cálculo de emissões definida na tabela 24.

Tabela 24 - Contabilização do consumo de papel

Fonte de emissão	Consumo mensal			Fator de Emissão			Emissão mensal de GEE (kgCO ₂ e)
	Quantidade	Unidade	Fonte	FE	Unidade	Fonte	
Folhas de papel	35,68	kg	Courriers	0,78	kgCO ₂ e/ kg	IPCC (2006)	27,83

5.2.4.4

Transporte

Mesmo que a empresa emite zero (0) GEE ao utilizar bicicletas para realizar o serviço de entregas, algumas emissões influem de forma indireta na contabilização de GEE como as viagens de barca do trajeto Rio-Niterói e as viagens de carro para buscar as entregas geradas pelo *E-commerce*. Nesta seção se

realiza a simulação conservadora utilizando a moto como veículo de entrega para realizar o serviço. Segundo o *GHG Protocol* o transporte é considerado Escopo 3.

Como se explicou anteriormente, as entregas também se realizam em Niterói. Para isto, o Courriero utiliza o transporte público (Barcas) para chegar até à base (Botafogo) e realizar a devida coleta das entregas e receber o roteiro antes de voltar para realizar a distribuição em Niterói.

Em um dia de trabalho, o trajeto Rio-Niterói se realiza uma vez. Saindo da Praça Arariboia (Niterói) e chegando à Praça XV (Rio) e voltando pelo mesmo trajeto, em outras palavras, o ciclista percorre 11,8 km (5,9 km cada) utilizando a barca, o que significa que no mês o Courriero percorre 259,6 km. A contabilização de emissões de GEE do uso barcas é descrita na tabela 25.

Tabela 25 - Contabilização das emissões ao utilizar as barcas no trajeto (Rio-Niterói)

Fonte de emissão	Consumo mensal			Fator de Emissão			Emissão mensal de GEE (kgCO ₂ e)
	Quantidade	Unidade	Fonte	FE	Unidade	Fonte	
Barcas	259,6	km	Courriers	0,2280	kgCO ₂ e/ km	DEFRA (2012)	59,19

O FE refere-se às emissões em *kg* de *CO₂e* por quilometro percorrido por passageiro ao utilizar a barca.

Como já foi mencionado, para as entregas geradas pelo *e-commerce* (Reserva, Osklen e Netshoes) realiza-se uma coleta em um veículo motorizado (carro) no CD que fica localizado no bairro de São Cristóvão (40 ou 50 entregas) diariamente. Essas entregas são levadas para a empresa em Botafogo para realizar o devido processo de distribuição. O percurso de cada trajeto é de aproximadamente 8,6 km (17,2 km diários), o significa que mensalmente, o veículo percorre 378,4 km. Isto influi diretamente na contabilização de emissões de GEE. O cálculo das emissões geradas pelo transporte das entregas no veículo motorizado (carro) é definido na tabela 26.

Tabela 26 - Contabilização das emissões ao utilizar carro

Fonte de emissão	Consumo mensal			Fator de Emissão			Emissão mensal de GEE (kgCO ₂ e)
	Quantidade	Unidade	Fonte	FE	Unidade	Fonte	
Carro	378,4	km	Courriers	0,8720	kgCO ₂ e/ km	DEFRA (2012)	329,96

Para efeitos comparativos, se realizou uma simulação conservadora, fazendo que todas as entregas se realizarem utilizando uma motocicleta a base de etanol em vez do uso das bicicletas, para assim demonstrar a grande diferença enquanto a contabilização de emissões de GEE. Esclarecendo que ao utilizar uma moto, os quilômetros percorridos seriam muitos mais, devido a que as motos não podem

deslocar-se por meio de ciclovias ou calçadas, utilizando apenas ruas. Calculou-se que a empresa gastaria 1418,71 R\$ mensais em combustível para percorrer a distância requerida para realizar as entregas. A tabela 27 descreve o consumo de combustível da motocicleta de quatro (4) tempos e com 125 cc de cilindragem.

Tabela 27 - Consumo de combustível ao utilizar a moto

Fonte de emissão	Tipo de entrega	Distância/ mês	Un.	Custo combustível	Un.	Rendimento	Un.	Consumo mensal	Un.
Moto*	Roteiro	4166	km	3,74	\$R	33	km/ litro	1418,71	R\$
	Simplex	2924							
	E-commerce	5428							

* Motocicleta 4 tempos e 125 cc

A respectiva contabilização de emissões de GEE é detalhada na tabela 28.

Tabela 28 - Contabilização das emissões ao utilizar a moto para realizar as entregas

Fonte de emissão	Consumo mensal			Fator de Emissão			Emissão mensal de GEE (kgCO ₂ e)
	Quantidade	Unidade	Fonte	FE	Unidade	Fonte	
Moto	12518	km	Courriers	0,3408	kgCO ₂ e/ km	DEFRA (2012)	4266,13

5.3

Resultados

Calculou-se a estimativa da pegada de carbono do serviço de entregas da empresa Courriers mensal, utilizando a metodologia PAS 2050, e se comparou com a utilização de uma moto para realizar as entregas em vez de uma bicicleta.

5.3.1

Emissões da empresa Courriers

Como se contempla nas seções anteriores, a empresa Courriers se caracteriza por sua ideologia sustentável. Assim conseguem emitir por mês somente 468,24 kg de CO₂e o que é realmente baixo para uma empresa neste setor de entregas. A tabela 29 resume a contabilização de emissões mensais.

Tabela 29 - Contabilização de emissões por fonte da empresa Courriers

Fonte de emissão do processo	Consumo mensal			Fator de Emissão			Emissão mensal de GEE (kgCO ₂ e)
	Quantidade	Unidade	Fonte	FE	Unidade	Fonte	
Energia elétrica	214,61	KWh	Courriers	0,2343	kgCO ₂ e/KWh	MCT (2016)	50,27
Água	2,88	m ³	Courriers	0,3441	kgCO ₂ e/m ³	DEFRA (2012)	0,99
Folhas de papel	35,68	kg	Courriers	0,78	kgCO ₂ e/kg	IPCC (2006)	27,83
Barcas	259,6	km	Courriers	0,2280	kgCO ₂ e/km	DEFRA (2012)	59,19
Carro	378,4	km	Courriers	0,8720	kgCO ₂ e/km	DEFRA (2012)	329,96
TOTAL							468,24

Já a figura 16 ilustra graficamente cada componente considerado no cálculo de emissões de GEE representados em unidades CO₂e.

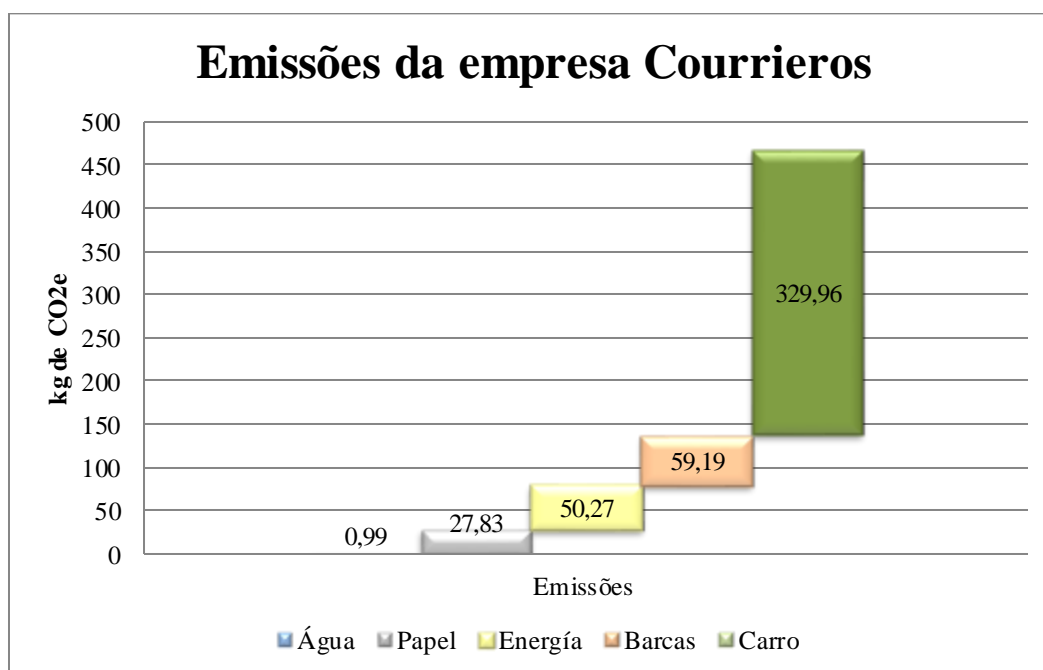


Figura 16 - Emissões de GEE da empresa Courriers

5.3.2

Emissões de uma empresa alternativa tradicional (com motocicleta)

Realizou-se a contabilização de emissões de GEE como se as entregas fossem realizadas de moto, o que aumenta drasticamente o nível de emissões. A primeira mudança seria que não se utilizaria a barca para realizar o trajeto Rio-Niterói, isto implica que se utilizaria a ponte para chegar até a empresa, o que significa que o trajeto seria de 57 km (28,5 km cada). Isto é que no mês se percorreriam 1254 km nesse trajeto. Contabilizando no total 5102,55 kg de CO₂e

por mês, ou seja, 10,89 vezes mais do que realizar as entregas utilizando a bicicleta. A tabela 30 resume a contabilização de emissões de GEE utilizando a moto.

Tabela 30 - Contabilização de emissões por fonte da empresa alternativa

Fonte de emissão do processo	Consumo mensal			Fator de Emissão			Emissão de GEE (kgCO ₂ e)
	Quantidade	Unidade	Fonte	FE	Unidade	Fonte	
Energia elétrica	214,61	KWh	Courriers	0,2343	kgCO ₂ e/KWh	MCT (2016)	50,2747
Água	2,88	m ³	Courriers	0,3441	kgCO ₂ e/m ³	DEFRA (2012)	0,9910
Folhas de papel	35,68	kg	Courriers	0,78	kgCO ₂ e/kg	IPCC (2006)	27,8277
Moto (Rio-Niterói)	1254	km	Courriers	0,3408	kgCO ₂ e/km	DEFRA (2012)	427,3628
Carro	378,4	km	Courriers	0,8720	kgCO ₂ e/km	DEFRA (2012)	329,9588
Moto	12518	km	Courriers	0,3408	kgCO ₂ e/km	DEFRA (2012)	4266,13
TOTAL							5102,55

Seguidamente, a figura 17 ilustra a contabilização de emissões de GEE.

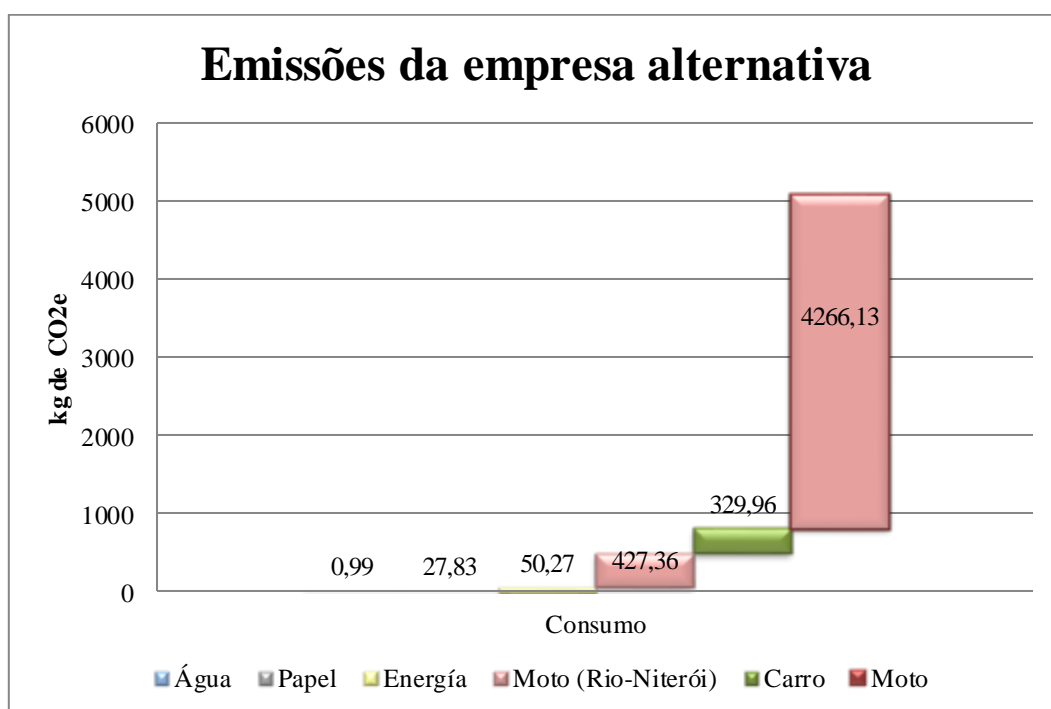


Figura 17 - Emissões de GEE da empresa alternativa utilizando a moto como veículo

Resumindo, diariamente se produziram 210,65 kg de CO₂e mais ao utilizar a moto como veículo de transporte e mensalmente, a quantidade aumentaria para 4634,31 kg de CO₂e, como se apresenta na tabela 31.

Tabela 31 - Diferença entre as emissões por tipo de veículo

Tipo de veículo utilizado	Emissões diárias		Emissões mensais	
	Quantidade	Unidade	FE	Unidade
Bike	21,28	kg CO2e	468,24	kg CO2e
Moto	231,93	kg CO2e	5102,55	kg CO2e
Diferença	-210,65	kg CO2e	-4634,31	kg CO2e

5.4

Compensações de emissões de GEE

Segundo a calculadora de pegada de carbono de Iniciativa Verde (2017), a cada 140 kg de CO₂e emitidos, deve-se plantar uma árvore para compensar a emissão de gases poluentes, e assim, contribuir com o esforço internacional para impedir o aquecimento global e, ao mesmo tempo, se estará proporcionando uma série de benefícios ambientais para esta e futuras gerações (RODACOSKI *et al.* 2014). Portanto, seguindo essa proporção, mensalmente utilizando a bicicleta como veículo de transporte para realizar as entregas, três árvores deveriam ser plantadas para compensar a emissão de gases poluentes. Porém, se o mesmo serviço fosse efetuado com motocicleta teriam de serem plantadas 36 árvores como se apresenta na figura 19.

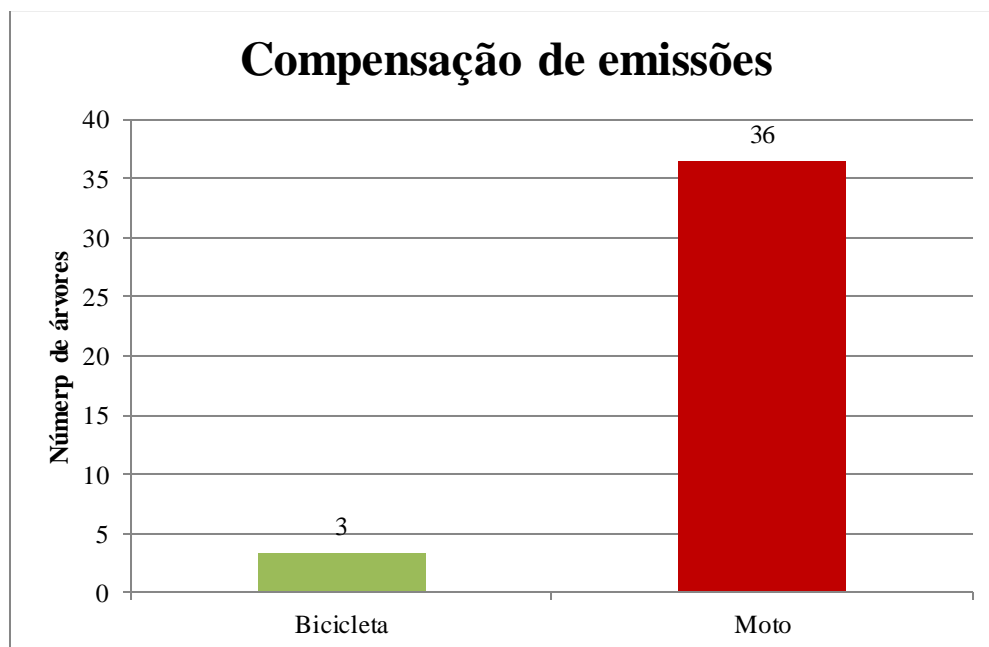


Figura 18 - Árvores necessárias para compensar as emissões mensais por tipo de veículo

Buscou-se nesta dissertação desenvolver um método de avaliação de sistemas de distribuição urbana. Cumprindo o objetivo geral proposto inicialmente, o trabalho utilizou de métodos de apoio à tomada de decisão multicritério como o híbrido AHP-TOPSIS para analisar e hierarquizar as diferentes metodologias que são referências na Comissão Europeia e reconhecidas a nível mundial. Ressaltando que o julgamento dos critérios selecionados e o análise das metodologias foi realizado por agentes externos para a escolha de qual metodologia é a mais apropriada e, assim, realizar a estimativa de pegada de carbono do serviço de entregas da empresa de distribuição.

Da mesma maneira, atingiram-se os objetivos específicos propostos no capítulo 1, como apresentado a seguir.

Identificaram-se e analisaram-se as principais metodologias associadas ao cálculo da pegada de carbono de produtos e serviços. Encontrou-se que a maioria das metodologias revisadas estão mais acopladas à contabilização de emissões de GEE de produtos do que de serviços porque a ACV foi desenvolvida para produtos. Por isso, existe uma maior facilidade para o estabelecimento de uma unidade funcional, por exemplo, o número de produtos produzidos; ou para determinar um FE dependendo do tipo de produto e processo.

Definiram-se critérios para selecionar a metodologia de avaliação de sustentabilidade mais apropriada e, assim, estimar a pegada de carbono do serviço de entregas. Foi tomado como artigo referência o elaborado por Zijp et al. (2015) sobre métodos de avaliação da sustentabilidade, devido à grande afinidade do trabalho com os conceitos e definições do mesmo. Selecionaram-se os critérios que mediante diferentes reuniões com os orientadores, estavam mais alinhados

com a pesquisa e se eliminaram os que faziam referência a critérios não aplicáveis que podiam interferir com o resultado da seleção da metodologia.

Selecionou-se, com base em métodos de apoio à tomada de decisão multicritério, a melhor metodologia que poderia ser adotada para estimar a pegada de carbono de serviços de entrega. Utilizou-se o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para definir os pesos dos critérios e se usou o método TOPSIS (*Technique for Order Preference by Smilarity to Ideal Solution*) para realizar a hierarquização das metodologias porque, como se observou no capítulo 4, existem três métodos que cumprem de maneira apropriada os critérios da análise as quais são: ISSO 14067, GHG *protocol* e PAS 2050. A metodologia escolhida, no entanto, foi a PAS 2050. Pode-se deduzir da matriz de decisão do TOPSIS (tabela 12) que a razão pela qual a metodologia ISO 14067 não foi escolhida é relativa ao seu uso: mais complexo que o das PAS 2050 e GHG *Protocol*. Além disso, a escolha pela PAS 2050 foi feita porque a metodologia GHG *Protocol* está baseada nela.

Também se concluiu que ao realizar o julgamento das metodologias por agentes externos, evitaram-se preferências que podem afetar o resultado na escolha da metodologia, contando sempre com a presença dos orientadores para esclarecer dúvidas relativas aos critérios. Assim, a metodologia PAS 2050 foi selecionada. Ela foi desenvolvida pelo BSI no ano de 2008 e atualizada no ano de 2011.

Concluiu-se que ao ter um número alto de critérios e alternativas para o julgamento, o método AHP se torna exaustivo ao realizar as comparações paritárias das alternativas. Assim o método TOPSIS ajuda na hierarquização das alternativas diminuindo esse número de comparações, utilizando o cálculo objetivo dos pesos dos critérios encontrados como AHP.

Descreveu-se a metodologia que se adotou para caracterizar o serviço de entrega. A metodologia PAS 2050 consiste em cinco (5) passos essenciais para realizar o cálculo da pegada de carbono do serviço. Realizou-se o mapeamento do processo do serviço de entregas (simples, *e-commerce* e com roteiro). Sabe-se que utilizar o conhecimento empírico para definir os roteiros de entregas não é a maneira mais adequada para realizar a distribuição das entregas. Existem métodos mais apropriados e *softwares* especializados para realizar esta tarefa. Em seguida foram identificadas as fronteiras do processo para realizar o cálculo das emissões de GEE, coletando os dados fornecidos pela empresa e foram definidos os FE de

cada fonte de emissão. Depois se realizou a estimativa de pegada de carbono do serviço de entregas da empresa Courrieros utilizando bicicletas como veículos de transporte de carga.

Desenvolveu-se o estudo de caso da empresa Courrieros com aplicação da metodologia selecionada para a estimativa da pegada de carbono e o resultado foi comparado com a realização do mesmo serviço utilizando meios de transporte convencional como a moto (de uma empresa alternativa). Os resultados mostraram que, mensalmente, ao utilizar a motocicleta como veículo de transporte, se produziria 10,89 vezes mais emissões (5102,55 kg de CO₂e), comparada com a bicicleta (468,24 kg de CO₂e), ou seja, a diferença é de 4634,31 kg de CO₂e. Isso significa que a empresa Courrieros economiza mais de quatro (4) toneladas de CO₂e do meio ambiente por mês, ajudando, assim, na conservação do planeta e colaborando para um futuro melhor, onde todas as ações em prol da sustentabilidade são válidas.

Calculou-se que a diferença para compensar as emissões de GEE da bicicleta e da moto é muito ampla, numa proporção de 1 para 12. Para o mês calculado, é necessário o plantio de três (3) árvores para compensar as emissões geradas pelas bicicletas da empresa Courrieros. Já para as motos da empresa alternativa, o número aumenta drasticamente para 36.

Pode-se concluir que todas as atividades comuns geram emissões de gases poluentes para o meio ambiente, mas, a quantidade que se emite, depende das pessoas e das organizações, podendo ser em grande, média ou pequena escala. De tal modo, demonstra-se que a empresa Courrieros faz diferença no setor de entregas, afinal, a emissão de GEE é mínima.

Definiu-se o termo da Logística Verde como o equilíbrio entre as áreas econômica, ecológica e social para a criação de um valor sustentável, baseado nesses três pilares (THIELL et al., 2011). Essas premissas são seguidas pela empresa Courrieros, que surgiu a partir da preocupação ambiental, sem deixar de ser eficiente ao utilizar um veículo de propulsão humana para realizar o serviço de entregas. Na atualidade, poucas empresas se preocupam com a mudança climática, a maioria está preocupada somente com o lucro sem dar importância ao uso desmensurado dos recursos naturais. Segundo a calculadora da *Ecological Footprint*, estamos em um déficit onde o problema é que o planeta não consegue regenerar o que foi consumido. É por isso que a mudança deve começar em

pequena escala, por exemplo, no núcleo familiar, e seguir até grande escala, como nas indústrias.

Foram apresentados diferentes temas de interesse da Logística Verde, pertencentes ao *Vehicle Routing Problem* e *City Logistics*, e percebeu-se que, ao longo do tempo, a conscientização da problemática ambiental se vê refletida nos avanços que se apresentam na estruturação dos sistemas logísticos.

Atualmente existem diferentes ações que as empresas podem realizar para se diferenciar das que não se preocupam com o meio ambiente e com a sociedade em geral. Algumas das ações estão pode ser o Rotulo Ecológico oferecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para empresas que realizem a estimativa de pegada de carbono dos seus produtos ou serviços

Já como trabalhos futuros se sugerem os seguintes:

Devido aos resultados próximos entre na hierarquização das metodologias de pegada de carbono, se sugere utilizar a ferramenta elaborada pelo GHG *Protocol* e comparar os resultados obtidos com a ferramenta PAS 2050.

Utilizar outros métodos de apoio para a tomada de decisão multicritério. Igual que o híbrido AHP-TOPSIS, existem outros métodos reconhecidos na literatura que podem ser utilizados quando se enfrentam diferentes critérios contra várias alternativas disponíveis.

Para o estudo de caso, utilizar dados de outro mês do ano para diminuir o efeito de sazonalidade que se pode apresentar ao realizar o cálculo utilizando dados do mês de dezembro. Também comparar qual seria a diferença de realizar o serviço de entregas com outros tipos de veículos convencionais como carro o *vans*.

Por último realizar o inventario de emissões de GEE de toda a organização e não só dos produtos, já que serve para identificar as fontes de emissão de maneira geral e pode ser utilizado como ferramenta de gestão. Permitindo a empresa controlar todas as emissões de GEE.

7

Referências bibliográficas

ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. **Programa Rótulo ecológico**. Disponível em: www.abntonline.com.br/sustentabilidade/Rotulo/Default, 2017.

ADEME. BP X30-323. “Repository of Good Practices”. **French Agency for the Environment and Energy Management**, Paris. 2010.

ALSHAMRANI, Ahmad; MATHUR, Kamlesh; BALLOU, Ronald H. Reverse logistics: simultaneous design of delivery routes and returns strategies. **Computers & Operations Research**, v. 34, n. 2, p. 595-619, 2007.

ALVES, José Roberto Xavier; ALVES, João Murta. Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP). **Production Journal**, v. 25, n. 1, p. 13-26, 2015.

ARAS, Necati; AKSEN, Deniz; TEKIN, Mehmet Tuğrul. Selective multi-depot vehicle routing problem with pricing. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 19, n. 5, p. 866-884, 2011.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, organização e logística empresarial**. 4ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. Atlas, 1993.

BAUER, Joanna; BEKTAŞ, Tolga; CRAINIC, Teodor Gabriel. Minimizing greenhouse gas emissions in intermodal freight transport: an application to rail service design. **Journal of the Operational Research Society**, v. 61, n. 3, p. 530-542, 2010.

BEKTAŞ, Tolga; LAPORTE, Gilbert. The pollution-routing problem. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 45, n. 8, p. 1232-1250, 2011.

BELTRAMI, Edward J.; BODIN, Lawrence D. Networks and vehicle routing for municipal waste collection. **Networks**, v. 4, n. 1, p. 65-94, 1974.

BHUTIA, Pema Wangchen; PHIPON, Ruben. Application of AHP and TOPSIS method for supplier selection problem. **IOSR Journal of Engineering**, v. 2, n. 10, p. 43-50, 2012.

BINATTI, Gabriela. **Mobilidade e Cultura de Bicicleta no Rio de Janeiro**. Transporte Ativo. Rio de Janeiro, 2016

BLOEMHOF-RUWAARD, Jacqueline M. *et al.* Interactions between operational research and environmental management. **European journal of operational research**, v. 85, n. 2, p. 229-243, 1995.

BROWNE, Michael; ALLEN, Julian; LEONARDI, Jacques. Evaluating the use of an urban consolidation centre and electric vehicles in central London. **IATSS research**, vol. 35, no 1, p. 1-6, 2011.

CHOMKHAMRSRI, Kirana; PELLETIER, Nathan. Analysis of existing environmental footprint methodologies for products and organizations: recommendations, rationale, and alignment. **Institute for Environment and Sustainability**, p. 1-60, 2011.

CONSULTANCY, A. E. A. 2012 Guidelines to Defra/DECC\'s GHG Conversion Factors for Company Reporting; produced by **AEA for the Department of Energy and Climate Change (DECC) and the Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra)**, Version 1.2. 1; download at <http://archive.defra.gov.uk/environment/business/reporting/conversion-factors.htm>; also available in Excel file format; last accessed June 2012.

CONWAY, A., FATISSON, P. E., EICKEMEYER, P., Cheng, J., & PETERS, D. Urban micro-consolidation and last mile goods delivery by freight-tricycle in Manhattan: Opportunities and challenges. In: **Conference proceedings, Transportation Research Board 91st Annual Meeting**. 2012.

COSTA, Helder Gomes. Auxílio multicritério à decisão: método AHP. **Rio de Janeiro: Abepro**, 2006.

COSTA, Helder Gomes. Introdução ao Método de Análise de Análise Hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão. **Universidade Federal Fluminense, UFF, Niterói, 2002.**

COSTA, Helder Gomes. IPÊ 1.0 Guia do usuário. **Grupo de Pesquisas em Sistemas de Apoio à Decisão Universidade Federal Fluminense: Niterói, RJ, Brasil, 2004.**

COURRIEROS. **Eco-liveries Courriers Ltda.** Disponível em: <http://www.courriers.com.br/site/>, 2017.

CRAINIC, Teodor Gabriel; RICCIARDI, Nicoletta; STORCHI, Giovanni. Models for evaluating and planning city logistics systems. **Transportation science**, v. 43, n. 4, p. 432-454, 2009.

CYCLE LOGISTICS. **Cycle Logistics.** Final Public Report. Disponível em: http://cyclelogistics.eu/docs/111/D6_9_FPR_Cyclelogistics_print_single_pages_final.pdf, 2014.

DA SILVA SANTOS, Jaqueline *et al.* Logística verde: conceituação e direcionamentos para aplicação. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 19, n. 2, p. 314-331, 2015.

DANIEL, Stavros E.; DIAKOULAKI, Danae C.; PAPPIS, Costas P. Operations research and environmental planning. **European journal of operational research**, v. 102, n. 2, p. 248-263, 1997.

DE DECKER, K. **Cargo cyclists replace truck drivers on European city streets.** Disponível em: <http://www.lowtechmagazine.com/2012/09/jobs-of-the-future-cargo-cyclist.html>, 2012.

DEKKER, Rommert *et al.* (Ed.). **Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains.** Springer Science & Business Media, 2013.

DELL'AMICO, Mauro; RIGHINI, Giovanni; SALANI, Matteo. A branch-and-price approach to the vehicle routing problem with simultaneous distribution and collection. **Transportation Science**, v. 40, n. 2, p. 235-247, 2006.

DEMIR, Emrah; BEKTAŞ, Tolga; LAPORTE, Gilbert. An adaptive large neighborhood search heuristic for the pollution-routing problem. **European Journal of Operational Research**, v. 223, n. 2, p. 346-359, 2012.

DRAFT. Courriers, a startup que decidiu pedalar — literalmente — para ganhar mercado Disponível em: www.projetodraft.com/courriers-a-startup-que-decidiu-pedalar-literalmente-para-ganhar-mercado/#sthash.6v0z7JbF.dpuf, 2015.

ECOLOGICAL FOOTPRINT. **Ecological Footprint**. Disponível em: www.footprintnetwork.org

ERDOĞAN, Sevgi; MILLER-HOOKS, Elise. A green vehicle routing problem. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 48, n. 1, p. 100-114, 2012.

EUROPEAN COMMISSION. Good practice in freight transport. A sourcebook. Luxembourg: **Office for Official Publications of the European Communities**. ISBN 92-828-4147-2 © European Communities, 2000.

EUROPEAN COMMISSION. **Urban mobility**. disponível em: http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility/index_en.htm, 2015.

FAGERHOLT, Kjetil; LAPORTE, Gilbert; NORSTAD, Inge. Reducing fuel emissions by optimizing speed on shipping routes. **Journal of the Operational Research Society**, v. 61, n. 3, p. 523-529, 2010.

FAULIN, Javier *et al.* Solving the capacitated vehicle routing problem with environmental criteria based on real estimations in road transportation: a case study. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 20, p. 323-334, 2011.

FEILLET, Dominique; DEJAX, Pierre; GENDREAU, Michel. Traveling salesman problems with profits. **Transportation science**, v. 39, n. 2, p. 188-205, 2005.

GHG PROTOCOL. **Programa Brasileiro de GHG protocol**. Disponível em: www.ghgprotocolbrasil.com.br, 2014.

GRIBKOVSKAIA, Irina; LAPORTE, Gilbert; SHYSHOU, Aliaksandr. The single vehicle routing problem with deliveries and selective pickups. **Computers & Operations Research**, v. 35, n. 9, p. 2908-2924, 2008.

GRIMM, Nancy B. *et al.* Global change and the ecology of cities. **Science**, v. 319, n. 5864, p. 756-760, 2008.

GRUBER, Johannes; EHRLER, Verena; LENZ, Barbara. Technical potential and user requirements for the implementation of electric cargo bikes in courier logistics services. Em: **13th World Conference on Transport Research (WCTR)**. 2013.

GRUBER, Johannes; KIHLM, Alexander; LENZ, Barbara. A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services. **Research in Transportation Business & Management**, v. 11, p. 53-62, 2014.

GRUPO CCR BARCAS. **Transporte de bicicletas**. Disponível em: <http://www.grupoccr.com.br/barcas/noticias/transporte-de-bicicletas?id=1746>, 2015.

HWANG, Ching-Lai; YOON, Kwangsun. **Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey**. Springer Science & Business Media, 2012.

ICH-ERSETZE-EIN-AUTO. Electric cargo bikes for courier logistics services. **I substitute a car**. Disponível em: <http://www.ich-ersetze-ein-auto.de/informationen-auf-englisch/>, 2016.

INICIATIVA VERDE. Calculadora de Pegada de Carbono. Disponível em: <http://www.iniciativaverde.org.br/calculadora/index.php>, 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2006.

ISHIZAKA, Alessio; LABIB, Ashraf. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. **Expert systems with applications**, v. 38, n. 11, p. 14336-14345, 2011.

ISO, ISO. TS 14067: 2013: Greenhouse Gases—Carbon Footprint of Products—Requirements and Guidelines for Quantification and Communication. **International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland**, 2013.

JORNAL BRASIL. **Feira de Novos Empreendedores**. Disponível em: <http://jornalbrasil.com.br/noticia/feira-de-novos-empresendedores.html>, 2016.

KARA, Imdat; KARA, Bahar Y.; YETIS, M. Kadri. Energy minimizing vehicle routing problem. Em: **International Conference on Combinatorial Optimization and Applications**. Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 62-71.

KIM, Hyunsoo; YANG, Jaehwan; LEE, Kang-Dae. Reverse logistics using a multi-depot vrp approach for recycling end-of-life consumer electronic products in South Korea. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 5, n. 5, p. 289-318, 2011.

KIM, Hyunsoo; YANG, Jaehwan; LEE, Kang-Dae. Vehicle routing in reverse logistics for recycling end-of-life consumer electronic goods in South Korea. **Transportation research part D: transport and environment**, v. 14, n. 5, p. 291-299, 2009.

KLUCZEK, Aldona; GLADYSZ, Bartłomiej. Analytical Hierarchy Process/Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution-based approach to the generation of environmental improvement options for painting process e Results from an industrial case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 101, p. 360-367, 2015.

KRIKKE, Harold *et al.* Low-frequency collection of materials disassembled from end-of-life vehicles: on the value of on-line monitoring in optimizing route planning. **International Journal of Production Economics**, v. 111, n. 2, p. 209-228, 2008.

KUO, Yiyo. Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem. **Computers & Industrial Engineering**, v. 59, n. 1, p. 157-165, 2010.

LAFLEUR, Jarret M. Probabilistic AHP and TOPSIS for multi-attribute decision-making under uncertainty. In: **Aerospace Conference, 2011 IEEE**. IEEE, 2011. p. 1-18.

LE BLANC, Ieke *et al.* Vehicle routing concepts in the closed-loop container network of ARN—a case study. **OR Spectrum**, v. 28, n. 1, p. 53-71, 2006.

LENZ, Barbara; RIEHLE, Ernst. Bikes for urban freight? Experience in Europe. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 2379, p. 39-45, 2013.

LIN, Canhong *et al.* Survey of green vehicle routing problem: past and future trends. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 4, p. 1118-1138, 2014.

MACEDO, Helder Alves. A história da bicicleta e o cicloturismo no Brasil. **Especialização (Esportes e Atividades de Aventura). Faculdades Metropolitanas Unidas**, São Paulo, 2011.

MADEN, Will; EGGLESE, Richard; BLACK, Dan. Vehicle routing and scheduling with time-varying data: A case study. **Journal of the Operational Research Society**, v. 61, n. 3, p. 515-522, 2010.

MAES, Jochen; VANELSLANDER, Thierry. The use of bicycle messengers in the logistics chain, concepts further revised. **Procedia-Social and behavioral sciences**, v. 39, p. 409-423, 2012.

MAR-ORTIZ, Julio; ADENSO-DIAZ, Belarmino; GONZÁLEZ-VELARDE, José Luis. Design of a recovery network for WEEE collection: the case of Galicia, Spain. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, n. 8, p. 1471-1484, 2011.

MCKINNON, Alan *et al.* (Ed.). Green logistics: Improving the environmental sustainability of logistics. **Kogan Page Publishers**, 2015.

MCT. Fator Médio Mensal de consumo de energias nos anos 2006-2016. Disponível em: www.mct.gov.br/upd_blob/0240/240891.html, 2016.

MELO, Sandra; BAPTISTA, Patricia; COSTA, Álvaro. Comparing the use of small sized electric vehicles with diesel vans on city logistics. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 111, p. 350-359, 2014.

OZTAYSI, Basar. A decision model for information technology selection using AHP integrated TOPSIS-Grey: The case of content management systems. **Knowledge-Based Systems**, v. 70, p. 44-54, 2014.

PALMER, Andrew. The development of an integrated routing and carbon dioxide emissions model for goods vehicles. 2007.

PEDALERIA. Hidratação do ciclista. Disponível em: <http://www.pedaleria.com.br/hidratacao-ciclista-2/>, 2014.

PRIVÉ, Julie *et al.* Solving a vehicle-routing problem arising in soft-drink distribution. **Journal of the Operational Research Society**, v. 57, n. 9, p. 1045-1052, 2006.

PRO-E-Bike. Projeto “Pro E-Bicicleta”. Disponível em: <http://www.pro-e-bike.org/>

PRONELLO, Cristina; ANDRÉ, Michel. Pollutant emissions estimation in road transport models. **INRETS-LTE report**, v. 2007, 2000.

PROTOCOL, Greenhouse Gas. Product life cycle accounting and reporting standard. **World Business Council for Sustainable Development and World Resource Institute**, 2011.

RAMOS, T. R. P.; OLIVEIRA, R. C. Delimitation of service areas in reverse logistics networks with multiple depots. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, n. 7, p. 1198-1210, 2011.

RAO, R. Venkata. Improved multiple attribute decision making methods. **Decision Making in Manufacturing Environment Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods**. Springer London, 2013. p. 7-39.

REITER, Karl; WRIGHTON, Susanne. Potential to shift goods transport from cars to bicycles in European Cities. **EC Report. Retrieved September**, v. 20, p. 2015, 2014.

ROBINSON, R. Integrated and intermodal freight systems: a conceptual framework, artigo apresentado no International Association of Maritime Economists (IAME) Conference, novembro de 2002, República do Panamá. **República do Panamá**. Disponível em: < [http://www. eclac. cl/transporte/perfil/iamc_papers/proceedings/Robinson. doc](http://www.eclac.cl/transporte/perfil/iamc_papers/proceedings/Robinson.doc), 2002.

RODACOSKI, Jaime Lima; DE ANDRADE, Carlos Fernando Salgueirosa. Cálculos e análises para o plantio de árvores na compensação das emissões de gases do efeito estufa emitido pelo gado Calculation and analysis for the planting of trees in the compensation of the emission of greenhouse gases emitted by cattle. **AMBIÊNCIA**, v. 10, n. 2, p. 633-645, 2014.

RUSSO, Francesco; COMI, Antonio. A classification of city logistics measures and connected impacts. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 2, n. 3, p. 6355-6365, 2010.

RUSSO, Francesco; COMI, Antonio. City characteristics and urban goods movements: A way to environmental transportation system in a sustainable city. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 39, p. 61-73, 2012.

SAATY, Thomas L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, Thomas L. Método de análise hierárquica. **Método de análise hierárquica**, v. 111, 1991.

SAATY, Thomas L.; VARGAS, Luis G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**. Springer Science & Business Media, 2012.

SBIHI, Abdelkader; EGGLESE, Richard W. Combinatorial optimization and green logistics. **4OR: A Quarterly Journal of Operations Research**, v. 5, n. 2, p. 99-116, 2007.

SCHETINO, André. A história da bicicleta e do ciclismo no Rio de Janeiro na transição dos séculos XIX e XX. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro, Rio de Janeiro**, v. 169, n. 439, p. 113-130, 2008.

SCHLIWA, Gabriele *et al.* Sustainable city logistics—Making cargo cycles viable for urban freight transport. **Research in Transportation Business & Management**, v. 15, p. 50-57, 2015.

SCHULTMANN, Frank; ZUMKELLER, Moritz; RENTZ, Otto. Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. **European journal of operational research**, v. 171, n. 3, p. 1033-1050, 2006.

SOUSA, R. Universidade Católica de Portugal (Porto). Fulfilment models in omnichannel retail. **XII Seminário de Logística e Supply Chain**. PUC Rio (2016).

SPECIFICATION, Publicly Available *et al.* Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. **BSI British Standards. ISBN**, v. 978, n. 0, p. 580, 2011.

TANIGUCHI, Eiichi. City logistics: Network modelling and intelligent transport system [M]. Pergamon, 2001.

TANIGUCHI, Eiichi. Concepts of city logistics for sustainable and liveable cities. **Procedia-social and behavioral sciences**, v. 151, p. 310-317, 2014.

TANIGUCHI, Eiichi; TAMAGAWA, Dai. Evaluating city logistics measures considering the behavior of several stakeholders. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies**, v. 6, p. 3062-3076, 2005.

TANIGUCHI, Eiichi; THOMPSON, Russell G.; YAMADA, Tadashi. Predicting the effects of city logistics schemes. *Transport Reviews*, vol. 23, no 4, p. 489-515, 2003.

THIELL, Marcus *et al.* Green logistics: global practices and their implementation in emerging markets. Em: **Green finance and sustainability: Environmentally-aware business models and technologies**. IGI Global, 2011. p. 334-357.

THOMPSON, R. G. AusLink green paper submission, Freight and Logistics Group, Department of Civil and Environmental Engineering. **The University of Melbourne, February, 2003.**

TRANSPORTE ATIVO. **Contagem de Estabelecimentos Comerciais com Entrega por Bicicleta em Copacabana.** Rio de Janeiro, janeiro de 2011. Disponível em: www.transporteativo.org , 2015.

UBEDA, S.; ARCELUS, F. J.; FAULIN, J. Green logistics at Eroski: A case study. **International Journal of Production Economics**, v. 131, n. 1, p. 44-51, 2011.

WACKERNAGEL, Mathis; REES, William. **Our ecological footprint: reducing human impact on the earth.** New Society Publishers, 1998.

WRIGHTON, Susanne; REITER, Karl. CycleLogistics—moving Europe forward!. **Transportation Research Procedia**, v. 12, p. 950-958, 2016.

XIAO, Yiyong *et al.* Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. **Computers & Operations Research**, v. 39, n. 7, p. 1419-1431, 2012.

ZHANG, Guirong *et al.* The study of operation mode of green logistics. In: **Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2010 2nd International Conference on.** IEEE, p. 65-68, 2010.

ZIJP, Michiel C. et al. An identification key for selecting methods for sustainability assessments. **Sustainability**, v. 7, n. 3, p. 2490-2512, 2015.