

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE CICLOVIAS DE PAVIMENTO RÍGIDO

KAROLINE MATOS DA HORA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO CICLO DE
VIDA DE CICLOVIAS DE PAVIMENTO RÍGIDO**

KAROLINE MATOS DA HORA

**ORIENTADOR: CLÁUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA
FEITOSA PEREIRA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL**

PUBLICAÇÃO: E.DM – 08A/21
BRASÍLIA/DF: SETEMBRO DE 2021

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DO CICLO DE
VIDA DE CICLOVIAS DE PAVIMENTO RÍGIDO**

KAROLINE MATOS DA HORA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

APROVADA POR:

**Prof. Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira, DSc. (ENC-UnB)
(Orientador)**

**Prof. João Henrique da Silva Rêgo, DSc. (ENC-UnB)
(Examinador interno)**

**Prof. Enio José Pazini Figueiredo, DSc. (EECA-UFG)
(Examinador externo)**

BRASÍLIA/DF, 24 DE SETEMBRO DE 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

HORA, KAROLINE MATOS DA

Metodologia para avaliação do ciclo de vida de ciclovias de pavimento rígido.

[Distrito Federal] 2021.

xvi, 123 p., 210 x 279 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2021)

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1.Avaliação do Ciclo de Vida

3.Ciclovias

2.Pavimento Rígido

4.Impactos Ambientais

I ENC/FT/UnB

II Título (Mestre)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

HORA, K. M. (2021). Metodologia para avaliação do ciclo de vida de ciclovias de pavimento rígido. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM- 08A/21, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Karoline Matos da Hora

TÍTULO: Metodologia para avaliação do ciclo de vida de ciclovias de pavimento rígido

GRAU: Mestre ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Karoline Matos da Hora
QNP 26 Conjunto R casa 08, Ceilândia.
72.235-618 – Brasília/DF - Brasil
karolinemhora@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Minha eterna gratidão a Deus por me permitir cumprir mais uma etapa importante na minha vida. Agradeço imensamente por ter me guiado e por nunca me abandonar, em especial, nos momentos de maior dificuldade. Também agradeço por tudo que passei nessa fase: os momentos de alegria que me foram proporcionados, pelas pessoas que tive a oportunidade de encontrar e pelas dificuldades que me ajudaram a evoluir como pessoa e profissional.

Aos meus familiares os quais sempre torcem por mim. Em particular, agradeço à minha mãe Maria por sempre estar ao meu lado e sempre acreditar em mim, até quando eu mesma não acredito. Gratidão eterna por todo amor, paciência, cuidado e incentivo aos estudos.

Ao meu orientador, Cláudio Henrique, por todo o auxílio, disponibilidade e paciência durante a execução desse trabalho nesse período tão conturbado de pandemia. Agradeço imensamente pela oportunidade de trabalhar com um profissional tão inteligente, sábio e compreensivo.

À Universidade de Brasília e ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil pela oportunidade de realizar este trabalho. Aos professores Elton Bauer, Eugênia Fonseca, João Henrique e Michele Carvalho pelos ensinamentos ao longo desse período.

Aos professores João Henrique, Enio Pazini e Francisco Contreras por aceitarem participar da banca e trazerem valiosas contribuições ao trabalho.

Aos meus colegas do PECC que me acompanharam desde o início, agradeço pela amizade, pelo companheirismo e por tornarem essa jornada mais leve: Ana Luiza, Érica Nóbrega, Larissa Mota, Mara Monaliza, Natália Reis e Arthur Schoueri.

Aos meus diversos amigos que me acompanharam ao longo dessa árdua caminhada e sempre me apoiaram. Em particular, agradeço aos meus amigos da graduação Amanda Araújo e Tharcio Castro por me ouvirem, pelas risadas e por me aconselharem nos dias mais difíceis.

À minha comunidade do Caminho Neocatecumenal que tem me acompanhado durante diferentes fases da minha vida, sempre me dando uma palavra de conforto e rezando por mim.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro durante o período do Mestrado.

À Companhia Urbanizadora da Nova Capital (NOVACAP), em particular ao Arquiteto Carlos Alberto Meißó, pelas informações sobre a ciclovia estudada.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desta dissertação.

“O homem que não é posto à prova não se instrui.”

Johann Wolfgang von Goethe

“Mestre não é quem sempre ensina, mas quem de repente aprende.”

João Guimarães Rosa

Resumo

O crescimento das cidades traz como um dos desafios a necessidade em melhorar a mobilidade urbana. Aliado a isso, é preciso incentivar modais de transportes que sejam menos poluentes. Nesse cenário, surge a bicicleta como uma alternativa viável e que contribui para alcançar a mobilidade sustentável. Pensando nisso, os investimentos em malhas cicloviárias aumentaram significativamente nos últimos anos. Essas estruturas precisam propiciar um tráfego seguro aos usuários e também serem projetadas e executadas de forma a promoverem a sustentabilidade. Para isso, é preciso que haja informações que auxiliem projetistas e construtores a escolherem sistemas construtivos que atendam esses requisitos. O objetivo desse trabalho é propor uma metodologia de avaliação do ciclo de vida e análise do estado de conservação das ciclovias de pavimento rígido que possa subsidiar as tomadas de decisões em futuros projetos de sistemas semelhantes. Para isso, foi feita a caracterização da ciclovia em pavimento de concreto da Esplanada dos Ministérios, em Brasília-DF. Em seguida, inspeções foram feitas nessa estrutura a fim de observar os danos existentes e intervenções feitas. Após isso, foi realizada a avaliação do ciclo de vida (ACV) da ciclovia estudada com a finalidade de identificar e quantificar os danos ambientais causadas por ela. Os resultados mostraram que houve a realização de intervenções na ciclovia. Além disso, houve um aumento significativo dos danos, porém não se refletiu ainda numa piora na classificação do índice de fator de dano de ciclovia (FDC). Nos estudos de ACV, a camada de pavimento e a etapa de produção são as mais prejudiciais ao meio ambiente. A troca de cimento impactou significativamente nos resultados, enquanto que a troca de agregado graúdo por reciclado não trouxe mudanças significativas. A metodologia proposta se mostrou adequada para auxiliar na tomada de decisão em projetos.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida; pavimento rígido; ciclovia; impactos ambientais.

Abstract

The growth of cities brings as one of the challenges the need to improve urban mobility. In addition, it is necessary to encourage modes of transport that pollute less. In this scenario, the bicycle emerges as a viable alternative that contributes to achieving sustainable mobility. Particularly in urban areas, investments in bicycle paths have increased significantly in recent years. These structures need to provide safe traffic to users while designed and built to promote sustainability. Therefore, there is a need to provide the necessary information to help designers and builders choose construction systems that follow these requirements. This research aims to propose a methodology for evaluating the life cycle and analyzing the state of conservation of rigid pavement cycle paths that can support decision-making in future projects for similar systems. A model was developed to integrate the bicycle paths' structural characteristics and in-situ inspections to observe the existing damages and interventions made. The chosen concrete bicycle path is located in Esplanada dos Ministerios, in Brasilia-DF. A life cycle assessment (LCA) was applied to identify and quantify the environmental damage caused by the studied bicycle path. The results showed that there was maintenance on the bicycle path. Besides, there was a significant increase in damage, but it has not yet reflected in a worse ranking in the bicycle lane damage factor (FDC) index classification. In LCA studies, the pavement layer and the production stage are the most harmful to the environment. The cement change significantly impacted the results, while the change of coarse aggregate for recycled one did not bring significant changes. Therefore, the proposed methodology has been suitable for application in concrete bicycle paths and helps in project decision-making.

Keywords: Life cycle assessment; concrete pavement; bicycle path; environmental impacts.

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Esquema ilustrativo da avaliação do ciclo de vida | 23 |
| Figura 2 - Fronteiras no ciclo de vida | 24 |
| Figura 3 - Triângulo SETAC..... | 26 |
| Figura 4 - Fases de uma ACV | 27 |
| Figura 5 - Esquema de representação da conexão entre fluxos elementares e categorias de impacto de ponto médio e de ponto final..... | 29 |
| Figura 6 - Tipos de pavimentos mais usuais: (a) pavimento rígido, (b) pavimento flexível e (c) pavimento de blocos intertravados | 32 |
| Figura 7 - Esquema das camadas da ciclovia proposto pela ABCP | 34 |
| Figura 8 – Execução de ciclovia na Esplanada dos Ministérios: (a) terraplenagem executada e inserção das guias, (b) execução da camada de brita, (c) concretagem e (d) regularização do pavimento. | 35 |
| Figura 9 - Falta de selagem nas juntas | 36 |
| Figura 10 - Fases e componentes do ciclo de vida de pavimento | 43 |
| Figura 11 - Ciclo de vida das calçadas avaliadas por Oliver-Solà et al. (2009)..... | 46 |
| Figura 12 - Divisão da metodologia proposta | 48 |
| Figura 13 - Aplicação da metodologia ACV na ciclovia estudada | 50 |
| Figura 14 – Imagem obtida do Google Maps da região com o segmento para avaliação escolhido da malha cicloviária, destacado em vermelho, localizado na área central da Esplanada dos Ministérios, compreendido entre a Rodoviária do Plano Piloto e o Congresso Nacional, em Brasília-DF, com a identificação das principais edificações que margeiam essa ciclovia. | 54 |
| Figura 15 - Estrutura do pavimento estudado com as três camadas existentes: subleito com adição de cal, base de brita graduada simples e pavimento de concreto simples | 56 |
| Figura 16 – Imagem ilustrativa da superfície do pavimento da ciclovia rígido, produzido em concreto, do trecho da Esplanada dos Ministérios, registrado durante a fase de inspeção dessa pesquisa..... | 56 |
| Figura 17 – Incidência das manifestações patológicas encontradas em 2017 e 2020, que podem demonstrar a evolução de danos no trecho estudado | 58 |
| Figura 18 - Uso inadequado da ciclovia: (a) fixação de estrutura para evento; (b) veículo estacionado sobre a ciclovia..... | 59 |
| Figura 19 - Quantidade de casos de FDC conforme a condição de degradação | 60 |
| Figura 20 – Exemplo de indícios de intervenções de manutenções realizadas detectados na superfície do pavimento pela alteração de cor e textura: (a) preenchimento para vedação de pequenas aberturas e (b) placas e segmentos de maior porte com restauração completa..... | 60 |
| Figura 21 – Estrutura do inventário da etapa de produção por camada da ciclovia analisada | 62 |
| Figura 22 - Estrutura do inventário da etapa de transporte por camada da ciclovia analisada..... | 68 |
| Figura 23 – Estrutura do inventário da etapa de construção por camada da ciclovia analisada..... | 71 |
| Figura 24 - Estrutura do inventário da etapa de demolição por camada da ciclovia analisada | 75 |
| Figura 25 - Contribuição percentual das camadas componentes da ciclovia em casa uma das categorias de impacto verificadas..... | 77 |
| Figura 26 – Etapas analisadas por camada em cada cenário | 79 |
| Figura 27 – Contribuição, em percentual, em cada categoria de impacto de cada uma das etapas do ciclo de vida, obtido pelo Cenário 1 | 80 |
| Figura 28 – Contribuição, em percentual, de cada categoria de impacto por etapa do ciclo de vida, obtido para o Cenário 2 | 83 |
| Figura 29 – Contribuição, em percentual, de cada categoria de impacto por etapa do ciclo de vida, obtido para o Cenário 3 | 84 |
| Figura 30 – Contribuição, em percentual, de cada insumo utilizado na produção do concreto para o pavimento de ciclovia, por categoria de impacto | 86 |

| | |
|--|-----|
| Figura 31 - Comparação por categoria de impacto do concreto referência e do concreto ideal..... | 91 |
| Figura 32 - Localização dos fornecedores de agregados, cimento e concreto usinado do Distrito Federal..... | 113 |
| Figura 33 - Localização dos principais produtores de aditivo do Brasil | 124 |
| Figura 34 - Localização dos principais produtores de cal do Brasil..... | 127 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Conceitos dos pavimentos em função do ICP..... | 38 |
| Tabela 2 - Catalogação das manifestações patológicas dos pavimentos rígidos de ciclovia | 39 |
| Tabela 3 - Dados do nível de condição CnA..... | 41 |
| Tabela 4 - Conceitos do FDC..... | 41 |
| Tabela 5 - Malha cicloviária por Região Administrativa em dezembro de 2019..... | 42 |
| Tabela 6 - Categorias de impacto do CML 2001 avaliadas | 52 |
| Tabela 7 - Informações obtidas na primeira etapa de caracterização da amostra..... | 57 |
| Tabela 8 - Resumo do inventário para 1 kg da cal hidratada | 62 |
| Tabela 9 - Resumo do inventário para 1 kg de cimento Portland | 64 |
| Tabela 10 – Limites de composição dos cimentos Portland utilizados de acordo com as normas em vigor na época da construção da ciclovia..... | 65 |
| Tabela 11 - Inventário para os outros cimentos estudados..... | 65 |
| Tabela 12 - Resumo do inventário para 1 kg de areia | 66 |
| Tabela 13 - Resumo do inventário para 1 kg de agregado graúdo | 66 |
| Tabela 14 - Resumo do inventário para 1 kg de agregado reciclado de concreto | 67 |
| Tabela 15 - Resumo do inventário para 1 m ³ de concreto usinado com resistência à compressão de 20 MPa | 67 |
| Tabela 16 - Resumo do inventário dos transportes dos materiais | 70 |
| Tabela 17 - Equipamentos utilizados na execução de ciclovias pela Novacap..... | 72 |
| Tabela 18 - Resumo do inventário dos equipamentos para construção..... | 73 |
| Tabela 19 - Equipamentos utilizados na demolição de ciclovias e calçadas..... | 75 |
| Tabela 20 – Resumo do inventário da demolição de 1m ³ das camadas de concreto e BGS | 76 |
| Tabela 21 – Valores dos impactos por camada | 77 |
| Tabela 22 – Valores obtidos para cada uma das categorias de impacto por etapa do ciclo de vida da ciclovia do Cenário 1 | 80 |
| Tabela 23 - Contribuição de cada camada nas etapas do ciclo de vida para cada uma das categorias de impacto avaliadas do Cenário 1 | 81 |
| Tabela 24 - Valores de cada uma das categorias de impacto por etapa do ciclo de vida com a inclusão da manutenção, Cenário 2 | 82 |
| Tabela 25 - Valores de cada uma das categorias de impacto por etapa do ciclo de vida com a inclusão da manutenção preventiva, Cenário 3 | 84 |
| Tabela 26 – Valores obtidos para as categorias de impacto de cada constituinte do concreto..... | 85 |
| Tabela 27 – Impacto gerado nas categorias avaliadas apenas na etapa de produção do concreto utilizado para a pavimentação da ciclovia com diferentes tipos de cimento..... | 87 |
| Tabela 28 – Impacto gerado nos concretos com substituição de 50% e 100% de agregado graúdo por reciclado | 89 |
| Tabela 29 – Impacto gerado nas categorias avaliadas para o concreto de referência e o ideal | 90 |
| Tabela 30 - Resumo dos principais resultados com destaque em vermelho | 94 |
| Tabela 31 - Resumo dos resultados convertidos para a unidade funcional de 1 m ² da ciclovia | 96 |
| Tabela 32 - Comparação entre os impactos do ciclo de vida de calçadas (OLIVER-SOLÀ et al., 2009) e da ciclovia da Esplanada dos Ministérios em Brasília-DF | 97 |
| Tabela 33 - Comparação entre calçadas (MENDOZA et al., 2012) e a ciclovia da Esplanada dos Ministérios em Brasília-DF..... | 98 |

Lista de Siglas

µm – Micrômetro

ABCP – Associação Brasileira do Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABPC – Associação Brasileira dos Produtores de Cal

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

ADP – Potencial de depleção abiótica

AG – Agregado Graúdo

AICV – Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

AP – Potencial de acidificação

APL – Alçamento de Placas

ARC – Agregado Reciclado de Concreto

BGS – Brita Graduada Simples

BU – Buracos

CBCS – Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis

CEMBUREAU – European Cement Association

CERL – U.S Army Construction Engineering Research Laboratory

CHP – Custos Horários Produtivos

cm – Centímetros

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CO₂ – Dióxido de Carbono

CO_{2eq} – Emissão de Carbono Equivalente

CP II-F – Cimento Portland Composto com fíler calcário

CP IV – Cimento Portland pozolânico

CPV ARI – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

DF – Distrito Federal

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ELCD – European reference Life Cycle Database

EP – Potencial de eutrofização

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ESB – Esborcinamento

FAETP – Potencial de ecotoxicidade de águas doces

FC – Fissura de Canto

f_{ck} – Resistência característica do concreto à compressão simples

FD – Fissura Diagonal

FDC – Fator de Dano de Ciclovias

FL – Fissura Longitudinal

FRP – Fissura por Retração Plástica

FT – Fissura Transversal

GDF – Governo do Distrito Federal

GWP – Potencial de aquecimento global

h – Hora

HP – Horse-power

HTP – Potencial de toxicidade humana

IBCIT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia

ICP – Índice de Condição de Pavimento

ISO – International Organization for Standardization

kg – Quilograma

kg 1,4-DCB-Eq – Quilograma de 1,4-Diclorobenzeno equivalente

kg antimony-Eq – Quilograma de antimônio equivalente

kg CFC-11-Eq – Quilograma de tricloromonofluormetano equivalente

kg CO₂-Eq – Quilograma de dióxido de carbono equivalente

kg ethylene-Eq – Quilograma de etileno equivalente

kg PO₄-Eq – Quilograma de fosfato equivalente

kg SO₂-Eq – Quilograma de dióxido de enxofre equivalente

kg/m³ - quilogramas por metro cúbico

kgf – quilograma-força

km – quilômetro

kW – Quilowatt

kWh – Quilowatt-hora

m – Metro

m² - Metro quadrado

m².a – Metro quadrado por ano

m³ - Metro cúbico

MAETP – Potencial de ecotoxicidade de águas marinhas

MAN – Manchas

MCS – Materiais Cimentícios Suplementares

MJ – Megajoule

MJ/kg – Megajoule por quilograma

MJ/m³ - Megajoule por metro cúbico

mm - Milímetro

MPa – Megapascal

MRI – Midwest Research Institute

NMVOC – Outros compostos orgânicos voláteis não-metânicos

NOVACAP – Companhia Urbanizadora da Nova Capital

ODP – Potencial de depleção de ozônio

PCI – Pavement Condition Index

PD – Placa Dividida

PECC – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

POCP – Potencial de criação de ozônio fotoquímico

QC – Quebra de Canto

QL – Quebra Localizada

SEMOB – Secretaria de Transporte e Mobilidade

SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry

SICV BRASIL – Banco Nacional de Inventários de Ciclo de Vida

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

t – toneladas

TAETP – Potencial de ecotoxicidade terrestre

Sumário

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA | 18 |
| 1.2 OBJETIVOS | 19 |
| 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO | 20 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 21 |
| 2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 21 |
| 2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) | 23 |
| 2.2.1 Definição | 23 |
| 2.2.2 Breve Histórico | 25 |
| 2.2.3 ABNT NBR ISO 14040:2009 – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura | 27 |
| 2.2.4 Ferramentas Computacionais e Bancos de Dados | 29 |
| 2.3 CICLOVIA DE PAVIMENTO RÍGIDO | 31 |
| 2.3.1 Principais Conceitos | 31 |
| 2.3.2 Fator de Dano de Ciclovias | 37 |
| 2.3.3 Ciclovias no Distrito Federal | 41 |
| 2.4 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA E PAVIMENTOS | 43 |
| 2.4.1 Pavimentos Rodoviários | 43 |
| 2.4.2 Calçadas | 46 |
| 2.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA E PAVIMENTO | 47 |
| 3. METODOLOGIA | 48 |
| 3.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA | 48 |
| 3.2 INSPEÇÕES DO PAVIMENTO | 49 |
| 3.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA | 49 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 54 |
| 4.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA | 54 |
| 4.1.1 Caracterização da Amostra | 55 |
| 4.2 INSPEÇÕES | 58 |
| 4.3 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA | 61 |
| 4.3.1 Materiais Empregados na Produção das Camadas da Ciclovias | 62 |
| 4.3.2 Transporte dos Materiais | 67 |
| 4.3.3 Construção da Ciclovias | 70 |
| 4.3.4 Uso e Manutenções | 73 |

| | | |
|---------|---|------------|
| 4.3.5 | Fim da Vida Útil..... | 75 |
| 4.4 | AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA | 76 |
| 4.4.1 | Por camadas..... | 76 |
| 4.4.2 | Por etapas..... | 78 |
| 4.4.2.1 | Cenário 1..... | 79 |
| 4.4.2.2 | Cenário 2..... | 82 |
| 4.4.2.3 | Cenário 3..... | 83 |
| 4.4.3 | Por material..... | 85 |
| 4.4.4 | Substituições..... | 87 |
| 4.4.4.1 | Influência da Mudança do Tipo de Cimento Portland..... | 87 |
| 4.4.4.2 | Influência da Substituição do Agregado Graúdo..... | 88 |
| 4.4.4.3 | Influência da Mudança do Tipo de Cimento e da Substituição do Agregado Graúdo | 90 |
| 4.5 | RESUMO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS DA METODOLOGIA APLICADA... | 92 |
| 5. | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 99 |
| 5.1 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 100 |
| 6. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 101 |
| | ANEXO A: Levantamento da indústria do concreto no Distrito Federal..... | 111 |
| | ANEXO B: Distâncias entre os insumos do concreto até as usinas concreteiras e das usinas até a obra..... | 114 |
| | ANEXO C: Levantamento dos produtores de aditivo para concreto no Brasil..... | 122 |
| | ANEXO D: Levantamento dos produtores de cal no Brasil..... | 125 |
| | ANEXO E: Composições do SINAPI utilizadas pela NOVACAP nos projetos de ciclovia..... | 128 |
| | ANEXO F: Processos adicionados ao <i>software</i> OpenLCA | 132 |

1. INTRODUÇÃO

Observa-se que o crescimento das cidades tem sido acompanhado de diversos problemas. Destaca-se que no cenário das grandes cidades o transporte urbano se apresenta como um desafio social, ambiental e político (HENDERSON e GULSRUD, 2019).

Atribui-se ao setor público a tarefa de elaborar diretrizes que possam auxiliar no desenvolvimento urbano de forma a aliar qualidade, eficiência, custo razoável e menos poluição aos deslocamentos da população. No sentido oposto, um sistema de transporte público deficitário faz com que os usuários busquem outras alternativas para se locomover.

Desde meados da década de 1990, a principal escolha adotada é o transporte veicular individual (CARVALHO e PEREIRA, 2011). Entretanto a adoção desse comportamento vem contribuindo para piorar a mobilidade urbana, através do aumento dos congestionamentos. Além disso, esse modal é um dos principais emissores de gases de efeito estufa, tendo sido responsável por 10,5 milhões de toneladas de CO_{2eq} (emissão de carbono equivalente) em 2019 somente no estado de São Paulo, considerada a segunda maior quantidade de emissão dentre os tipos de transporte (CETESB, 2019).

A crescente preocupação ambiental tem influenciado para que a sociedade busque mudanças nos seus hábitos e adote um modelo de transporte mais eficiente e menos poluente. Nesse cenário, surge a bicicleta como uma opção que atende a três fatores importantes: meio ambiente, mobilidade urbana e saúde pública (HOLM, GLÜMER, e DIDERICHSEN, 2012; OECD, 2013; GÖTSCHI, GARRARD e GILES-CORTI, 2016).

O uso da bicicleta nos deslocamentos complementares urbanos tem sido visto cada vez mais como uma medida essencial para alcançar a mobilidade sustentável (MOTTA, 2016). Isso se dá pela integração desse modal com o transporte público, que auxilia os usuários a se deslocarem em trajetos mais longos e ultrapassarem obstáculos presentes ao longo do caminho, como a topografia (SILVEIRA, 2010).

Os investimentos para criação e ampliação de malhas cicloviárias têm aumentado. De acordo com levantamento realizado em sites de prefeituras e secretarias de transporte, estima-se que atualmente haja mais de 4 mil quilômetros de malha cicloviária nas capitais brasileiras. Só o Distrito Federal apresenta aproximadamente 554 km de malha, de acordo com informações da Secretaria de Transporte e Mobilidade (SEMOB, 2020).

A ciclovia aparece como um sistema que deve propiciar um tráfego seguro aos seus usuários e garantir que não haja interferência de outros modais. O transporte sustentável, do qual a bicicleta faz parte, requer infraestruturas que contribuam para minimizar o impacto ambiental nas cidades. Por isso, o *ecodesign* e o gerenciamento do ciclo de vida dessas infraestruturas de mobilidade devem ser utilizados para projetar soluções urbanas que contribuam para promover a sustentabilidade urbana nas cidades (MENDOZA *et al.*, 2012). Isso acontece através das escolhas feitas desde a etapa de projeto até a destinação dos resíduos ao final da vida útil.

Ao se pensar na concepção da ciclovia, o estabelecimento de critérios a serem atendidos pela estrutura, tais como econômico e ambiental, devem ser considerados de extrema importância. Esses requisitos fundamentam a escolha do sistema, dos materiais, dos processos executivos, da periodicidade e de como serão feitas as manutenções ao longo da vida útil e da destinação dos resíduos ao final dela (desconstrução e reaproveitamento ou demolição e reciclagem). Outro fator importante é a durabilidade dos materiais. Optar por um material que consiga manter o seu desempenho satisfatório por um maior período de tempo, pode resultar em uma menor necessidade de substituição, ocasionando uma menor geração de resíduos e potencializando um menor custo ambiental, e de manutenções.

Nesse contexto, desenvolver e colocar em prática uma metodologia que acompanhe o estado de conservação das ciclovias se mostra necessário para trazer dados e informações que ajudem os profissionais a entender melhor o comportamento dessas estruturas. Além disso, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) aparece como uma ferramenta que possibilita comparar os impactos ambientais dos sistemas e componentes para selecionar aqueles que atendem melhor aos critérios adotados inicialmente.

1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

No contexto das ciclovias, identificou-se a carência de diretrizes e metodologias para balizar e integrar o dimensionamento, a execução e as manutenções do sistema de pavimento rígido nos portais do governo. Ressalta-se a existência de pesquisas focadas em outras estruturas semelhantes, como os pavimentos rodoviários e as calçadas. Portanto, detectou-se a necessidade de integrar referências que sirvam para motivar novas pesquisas, e difundir

informações que possam ser utilizadas para amparar projetistas e construtores nas tomadas de decisões.

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta de gestão ambiental focada em produtos, processos e serviços, cada vez mais utilizada no auxílio ao desenvolvimento de projetos, pois leva em consideração todas as etapas ao longo da vida de um produto. Mesmo com possíveis limitações por envolver um grande número de dados e variáveis, tem mostrado a sua eficiência na identificação dos impactos gerados por certo sistema desde a produção dos insumos até o pós-uso.

A criação e o desenvolvimento de estudos relacionados a ACV do pavimento de ciclovias pode auxiliar na constatação da sustentabilidade do sistema e na identificação de alternativas para amenizar os impactos ambientais e seus efeitos nocivos ao meio ambiente.

Observou-se a necessidade de avançar em estudos voltados a avaliação do desempenho desse tipo de sistema e na identificação dos impactos atribuídos em cada fase do ciclo de vida (extração de matéria-prima, produção, transporte, execução, uso, manutenção e pós-uso). Acredita-se que, baseado nos resultados desses levantamentos, é possível comparar o modelo atual empregado em ciclovias com outras alternativas para auxiliar na tomada de decisão. Além disso, pode-se buscar otimizar certas etapas, aumentando sua eficiência e diminuindo o prejuízo ao meio ambiente.

Cabe situar que o tema desenvolvido neste trabalho, dá continuidade à pesquisa iniciada por Silva Júnior (2018), seguindo no desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de ciclovias de pavimento rígido. Este trabalho se insere na linha de pesquisa “Gestão e Sustentabilidade na Construção Civil” do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC).

1.2 OBJETIVOS

A pesquisa tem como objetivo principal propor uma metodologia de avaliação do ciclo de vida e análise do estado de conservação das ciclovias de pavimento rígido, levando em consideração a detecção e a avaliação de danos e a relação com as manutenções, durante a sua vida útil, que possa subsidiar as tomadas de decisões na etapa de projeto e que impactarão durante todo o ciclo de vida desse sistema.

Para auxiliar na efetivação do objetivo geral, apresenta-se os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar um modelo de análise aplicado para determinar o estado de conservação das ciclovias do Distrito Federal, durante a etapa de uso, e identificação da ocorrência de intervenções de manutenção;
- Avaliar o sistema de pavimento rígido durante a etapa de uso do ciclo de vida, propondo diferentes cenários criados a partir do modelo de análise apresentado, para o entendimento da vida útil, levando em consideração as atividades de manutenção; e
- Analisar a interferência no desempenho ambiental da substituição de materiais constituintes da ciclovia por outros materiais alternativos com foco na sustentabilidade.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1 desse trabalho, faz-se uma breve introdução que trata da visão geral do tema abordado, contendo a justificativa e os objetivos gerais e específicos desse estudo.

A revisão bibliográfica está apresentada no Capítulo 2 e é composta por conceitos e dados relevantes obtidas na literatura internacional e nacional relacionados à sustentabilidade, avaliação do ciclo de vida e ciclovias. Foi realizada com o intuito de identificar as lacunas existentes na literatura e obter informações que tornasse possível atender aos objetivos propostos.

O Capítulo 3 traz uma explicação sobre a montagem da metodologia proposta para a avaliação de ciclovias.

O Capítulo 4 traz os resultados e as discussões importantes sobre essa metodologia aplicada ao estudo de caso.

No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros sobre o tema.

Por fim, apresenta-se as referências bibliográficas tidas como base para a elaboração desse trabalho e os anexos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta um levantamento de conceitos e informações proveniente da literatura nacional e internacional acerca de temas relevantes para o presente trabalho. Traz informações sobre sustentabilidade, a avaliação do ciclo de vida e sobre o objeto de estudo desse trabalho: a ciclovía. Além disso, apresenta também alguns trabalhos relacionados a ACV aplicada em pavimentos que deram o embasamento necessário para o desenvolvimento dessa pesquisa.

2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O ritmo de desenvolvimento da humanidade tem consumido os recursos naturais de forma excessiva. Pensando nisso, em 1987, o conceito de desenvolvimento sustentável é apresentado no Relatório de Brundtland (KEINER, 2005) e pode ser definido como aquele que atende às necessidades atuais sem comprometer às das gerações futuras. Segundo Sachs (1993), isso se torna possível devido à existência de cinco dimensões da sustentabilidade. São elas:

- **Sustentabilidade ambiental ou ecológica:** descrita como o uso de recursos naturais causando o mínimo de danos ao meio ambiente, através da limitação de consumo ou substituição por recursos renováveis;
- **Sustentabilidade social:** pautada na equidade e na melhoria nas condições de vida da população, abrangendo as necessidades materiais e não materiais;
- **Sustentabilidade econômica:** possibilitada pela alocação e gestão de recursos com eficiência;
- **Sustentabilidade espacial:** refere-se a uma distribuição territorial mais equilibrada e com ênfase em reduzir a destruição de ecossistemas que ocorre pela concentração excessiva de pessoas, agricultura e processos industriais;
- **Sustentabilidade cultural:** relacionada à mentalidade que se tem dos recursos naturais, ou seja, de como eles são vistos e a sua relação com o ser humano.

Esses cinco pilares devem ser aplicados de forma simultânea para se ter um desenvolvimento sustentável nos mais diversos setores, incluindo a Construção Civil. Ela é apontada como um dos principais contribuintes para o esgotamento de recursos naturais e uma fonte significativa de poluições ambientais, como do ar, da água, do solo, geração de resíduos sólidos, uso da terra, resíduos tóxicos, riscos à saúde humana e mudanças climáticas globais (KUCUKVAR e TATARI, 2013).

De acordo com informações do Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis – CBCS (2014), mais da metade dos recursos naturais são utilizados na produção e manutenção do ambiente construído. Blumenschein (2004) cita que o impacto ambiental produzido pela Indústria da Construção acontece ao longo de todos os seus estágios e atividades: na ocupação de terras; na extração de matéria-prima e no seu processamento e produção de elementos; no transporte dessa matéria-prima e dos seus componentes; no processo construtivo e no produto final, ao longo de sua vida útil, até sua demolição e descarte.

Após sua extração, as matérias-primas são processadas industrialmente, necessitando de energia e emitindo gases favoráveis ao efeito estufa (CBCS, 2014). Um caso importante a ser citado é o cimento, material de construção mais utilizado no mundo, cuja produção global em 2019 foi estimada em 4,1 bilhões de toneladas (CEMBUREAU, 2020). Segundo informações do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2019), a indústria cimenteira contribui de forma expressiva para a poluição do ar, sendo responsável por 7% da emissão global de dióxido de carbono (CO_2).

Após a produção, vem a etapa de uso da estrutura. A seleção inadequada de materiais e componentes, projetos incompletos e com poucos detalhes e a baixa durabilidade dos materiais são alguns problemas que afetam essa fase. Tudo isso resulta em maior consumo de materiais por conta dos reparos e substituições que se tornam mais frequentes do que o previsto e, conseqüentemente, gerando mais resíduos (CBCS, 2014).

O transporte da matéria-prima, dos materiais e dos resíduos gerados por eles também contribuem na emissão de gases na atmosfera (CBCS, 2014). Portanto, esse transporte é significativo nas análises de impacto ambiental do ciclo de vida de cada material e também para a estrutura como um todo.

Pensando nisso, o desenvolvimento sustentável da construção civil deve adentrar em cada uma dessas etapas. No caso particular do cimento, algumas medidas importantes têm sido tomadas pela indústria cimenteira para a redução da poluição do ar causada pela produção do cimento: o uso de materiais cimentícios suplementares (MCS) em substituição a uma parcela do clínquer, a troca de combustíveis fósseis por alternativos nos fornos e melhora na eficiência térmica e elétrica deles (SNIC, 2019).

Durante a fase de uso da estrutura, é importante avaliar o comportamento do sistema e dos materiais escolhidos, observando a durabilidade e o aparecimento de danos. Baseado nessas

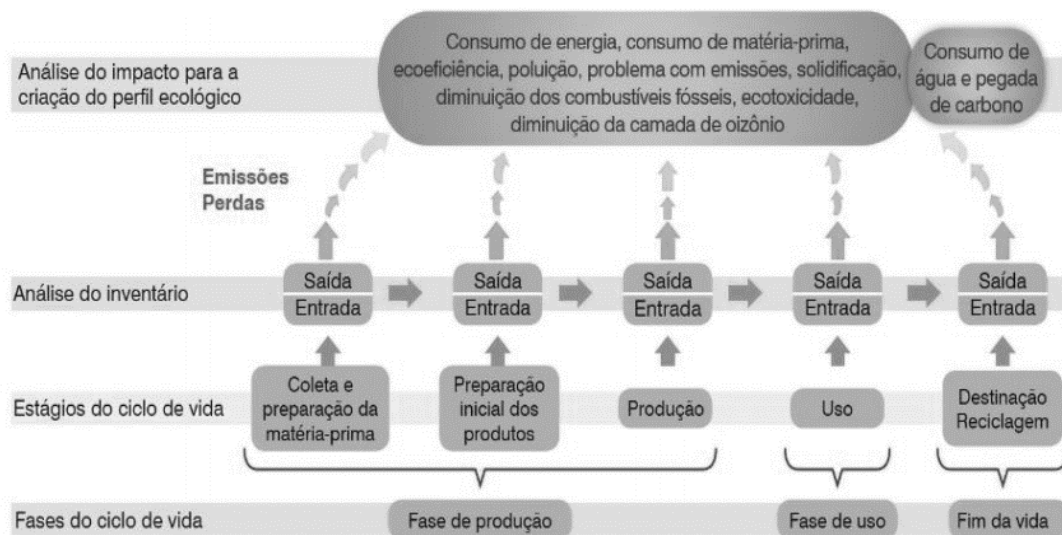
informações, projetistas e construtores podem tomar decisões melhores em futuros projetos, fazendo escolhas alinhadas com o desenvolvimento sustentável. Mensurar os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de cada sistema e materiais adotados também traz informações importantes para ajudar nessa decisão. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aparece como uma ferramenta que atende essa necessidade.

2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

2.2.1 Definição

Segundo a ABNT NBR ISO 14040:2009, a Avaliação do Ciclo de Vida trata-se de compilar e avaliar as entradas, saídas e os impactos ambientais potenciais de um sistema de produto (bens ou serviços) ao longo do seu ciclo de vida. Ou seja, estuda a fase de produção, de uso e de fim da vida de determinado produto. Isso ocorre em quatro etapas que serão detalhadas mais adiante: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação dos resultados. A Figura 1 apresenta um esquema ilustrativo do funcionamento de um estudo de ACV.

Figura 1 – Esquema ilustrativo da avaliação do ciclo de vida



Fonte: IBICT (2014)

Vale destacar que ela considera impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de certo sistema ou produto. Não leva em consideração aspectos econômicos e sociais. Portanto, se

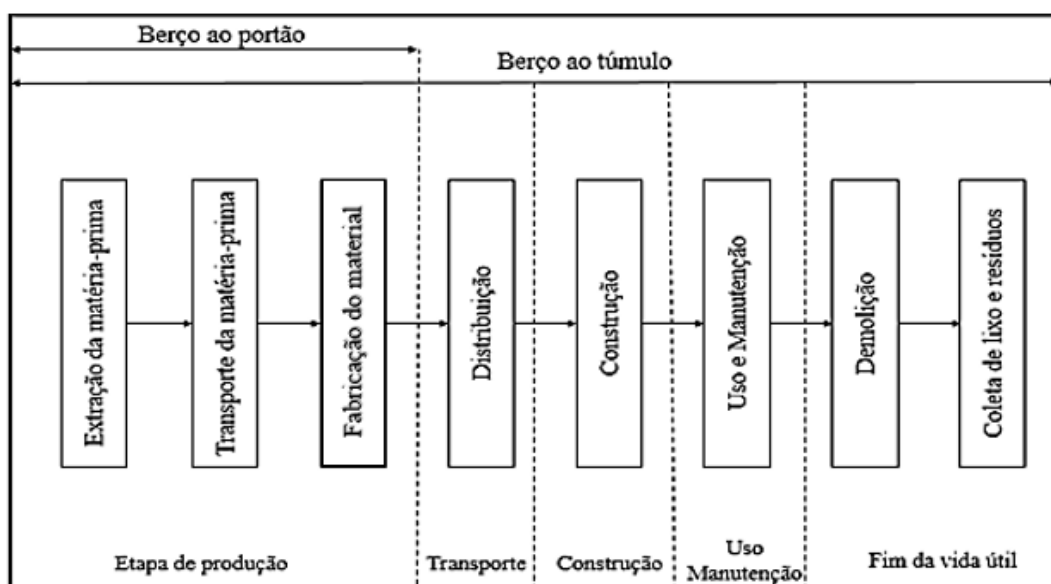
houver necessidade de incluir esses itens na análise, é necessário combinar outras ferramentas juntamente com a aplicação dela (ABNT NBR ISO 14040:2009).

A ABNT NBR ISO 14040 cita quatro importantes subsídios fornecidos pela ACV, sendo eles:

- Identificar oportunidades de melhoria no desempenho ambiental de produtos em diversos pontos de seus ciclos de vida;
- Auxiliar na tomada de decisões na indústria e nas organizações governamentais ou não-governamentais;
- Selecionar indicadores de desempenho ambiental relevantes; e
- Usar como marketing - rotulagem ambiental, reivindicação ambiental ou declaração ambiental de produto.

Torna-se uma ferramenta essencial para ampliar o desenvolvimento sustentável nos produtos e serviços analisados. Idealmente, examinaria todas as fases de um produto detalhadamente. Entretanto, as limitações de tempo, dados e conhecimentos tornam esse processo bastante complexo para a maioria dos objetos de estudo. Portanto, as análises são forçadas a simplificar seu escopo e examinar apenas determinadas fases e processos possíveis de serem avaliados (SANTERO, MASANET e HORVATH, 2011). É possível analisar o ciclo de vida de formas diferentes, dependendo da forma como se observa suas fronteiras. As formas principais de representação estão descritas na Figura 2.

Figura 2 - Fronteiras no ciclo de vida



Fonte: Adaptado de Kim e Tae (2016)

A primeira forma de análise é denominada do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*). Analisa desde a extração das matérias-primas ao fim da vida útil do produto. Vários trabalhos estudam o ciclo de vida completo, entre eles encontram-se alguns bem recentes no campo da construção civil: Koura *et al.* (2020) fazem uma análise do berço ao túmulo de telhados verdes e Salgado, Apul e Guner (2020) comparam alternativas de *retrofit* para edifícios de concreto armado também do berço ao túmulo.

É possível complementar essa análise quando há reutilização ou reciclagem dos resíduos ao fim da vida útil de um produto. Esses resíduos passarão a integrar um novo produto, portanto essa análise passa a ser chamada de berço a berço (*cradle-to-cradle*). Um exemplo dessa abordagem no meio científico é o trabalho de Xia, Ding e Xiao (2020) que estuda o concreto em cenários nos quais ele é reutilizado ou reciclado.

Um modo mais simplificado é avaliar os impactos ambientais apenas do berço ao portão (*cradle-to-gate*), ou seja, da extração das matérias-primas até a finalização do produto. Alguns pesquisadores trabalharam dessa forma, como por exemplo: Gomes, Silvestre e De Brito (2020) e Hafez *et al.* (2020).

Por fim, também vale citar a análise de portão a portão (*gate-to-gate*), ou melhor, da chegada das matérias-primas a indústria até a finalização do produto. Essa análise foca na fase de produção. Deve ser usada quando há necessidade de simplificação para conseguir elaborar um estudo de ACV e a etapa de produção tem um peso maior nos impactos. Alguns trabalhos optam por essa abordagem (PRAKASAN, PALANIAPPAN e GETTU, 2019; PRANOLO, SETYONO e FAUZI, 2020).

2.2.2 Breve Histórico

Segundo Klöpffer (1997), o surgimento da ACV está relacionado a primeira crise do petróleo em 1973. Esse fato despertou a consciência da necessidade em usar melhor os recursos naturais, pois observou-se que esses não durariam para sempre.

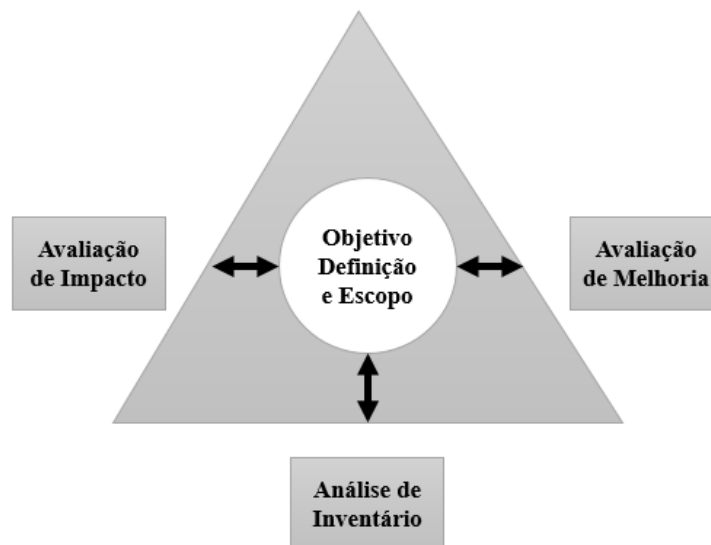
O primeiro estudo de ACV foi realizado em 1965 nos Estados Unidos pela Midwest Research Institute (MRI) para a Coca-Cola. O objetivo era identificar qual embalagem para refrigerantes teria as menores emissões e utilizaria menos recursos no processo de fabricação. Foram levantadas as matérias-primas, os combustíveis utilizados e as cargas ambientais envolvidas no processo produtivo de cada embalagem (CURRAN, 2006).

Entre 1990 e 1993, a Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental (Society of Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC) promoveu diversos workshops com o objetivo de padronizar a metodologia dos estudos de ACV. Como resultado final, surgiu o “Código de Prática”, onde aparece o triângulo de SETAC que define os principais passos metodológicos de um estudo de ACV (KLÖPFFER, 1997). A estrutura a ser adotada ao se realizar uma ACV deveria seguir os seguintes passos:

- Definição dos objetivos e escopo;
- Análise do inventário;
- Avaliação dos impactos;
- Avaliação de melhorias.

A Figura 3 apresenta o triângulo de SETAC com cada um dos itens necessários.

Figura 3 - Triângulo SETAC



Fonte: adaptado de KLÖPFFER, 1997

Visando padronizar o modo como os estudos de ACV deveriam ser conduzidos, a Organização Internacional para a Padronização ISO (International Organization for Standardization) lançou a ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura em 1997 (IBICT, 2014). No Brasil, somente em 2001 é que a ABNT lançaria a versão traduzida dessa norma.

2.2.3 ABNT NBR ISO 14040:2009 – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura

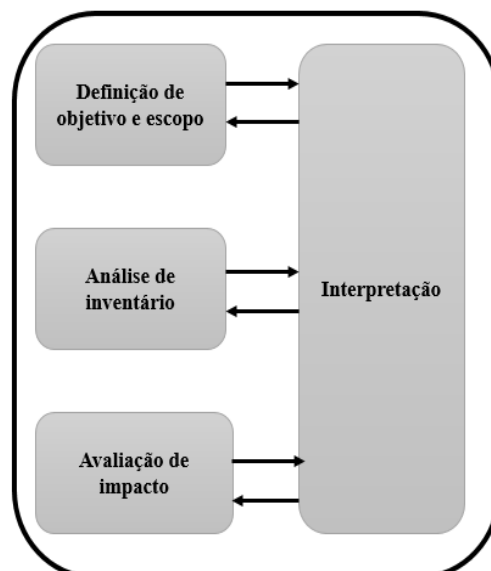
Conforme já mencionado anteriormente, a ISO 14040 surgiu da necessidade em padronizar os estudos de ACV. Esse processo de normalização se iniciou no Comitê Técnico 207 da ISO (TC 207) em Paris em novembro de 1993 (MARSMANN, 1997).

Em 2006, uma nova versão da série ISO 14040 foi implementada. As mudanças mais significativas estão ligadas à expansão das fronteiras do sistema e a definição de produto, passando a englobar qualquer produto e serviço que pode ser estudado através da ACV (PRYSHLAKIVSKY e SEARCY, 2013).

Há autores que julgam a falta de especificidade da norma, afirmando que essa deveria analisar também requisitos ecológicos e econômicos, conforme comentário feito no trabalho de Pryshlakivsky e Searcy (2013). Entretanto, vale ressaltar que atender esses requisitos tornaria o processo de estudo do ciclo de vida muito mais complexo do que já é, reduzindo a viabilidade de realizá-lo.

Atualmente, a ABNT NBR ISO 14040:2009 é a versão brasileira que trata do estudo de ACV. Esse estudo divide-se em quatro etapas apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Fases de uma ACV



Fonte: ABNT NBR ISO 14040:2009

A primeira etapa é a **definição de objetivo e do escopo**. Segundo a norma, essa etapa está voltada para estabelecer o objetivo da ACV, ou seja, determinar a aplicação pretendida, as

razões para a execução do estudo, o público-alvo e a intenção de uso dos resultados em comparações divulgadas publicamente. Já o escopo está relacionado com as delimitações a serem feitas, tais como o sistema de produto, unidade funcional, fronteira do sistema, limitações, requisitos de dados e tipo de análise crítica a ser realizada.

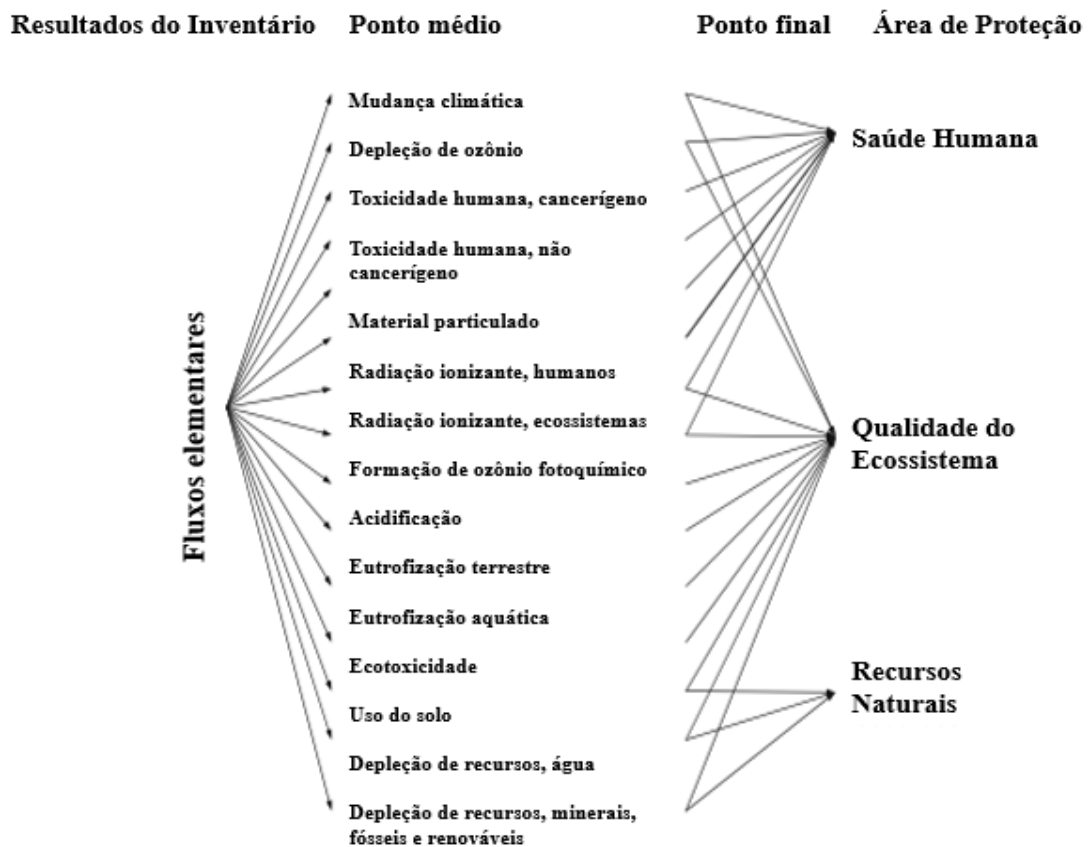
Dentre esses conceitos envolvidos nessa primeira etapa, a unidade funcional e a fronteira do sistema se destacam como grandes influenciadores dos resultados. O primeiro é responsável por permitir a comparabilidade de um sistema com o outro, auxiliando na tomada de decisões. Já a fronteira define as fases incluídas na análise, como berço ao túmulo, berço a berço, berço ao portão, portão a portão, dentre outras possibilidades.

Em seguida, faz-se uma **análise de inventário**. A norma informa que essa etapa envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo a fim de quantificar as entradas e saídas relevantes no sistema estudado. É uma etapa constituída de elementos que em muitos casos são difíceis de quantificar, portanto deve ser bem definida no escopo os tipos de dados os quais farão parte do estudo. Em relação a coleta de dados, a norma apresenta quatro classificações: entradas de energia, entradas de matéria-prima, entradas auxiliares, outras entradas físicas; produtos, co-produtos e resíduos; emissões atmosféricas, descargas para a água e solo; e outros aspectos ambientais.

Após isso, faz-se necessário analisar os resultados obtidos, de modo a entender os impactos ambientais potenciais. Nessa fase também serão extraídas informações importantes para a interpretação do ciclo de vida. Essa etapa é denominada **avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)**. Converte os fluxos do inventário em modelos de caracterização que, por sua vez, são convertidos em fatores de caracterização de substâncias específicas, expressando o impacto potencial de cada fluxo elementar em termos da unidade comum do indicador de categoria (HAUSCHILD *et al.*, 2013).

Esses modelos de caracterização são os métodos de AICV que podem ser divididos em duas categorias: *midpoint* (ponto médio) e *endpoint* (ponto final). O primeiro grupo é definido por não representar as consequências finais da trajetória ambiental, mas sim os indicadores de impacto potencial (CAVALETT *et al.*, 2013). Por serem dessa forma, são apontados como tendo seus erros minimizados. Já as categorias de ponto final consistem em caracterizar as consequências finais das categorias de ponto médio. Segundo Cavalett *et al.* (2013), os impactos finais são a saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos naturais. A Figura 5 apresenta um esquema de conexão entre esses dois tipos de categorias.

Figura 5 - Esquema de representação da conexão entre fluxos elementares e categorias de impacto de ponto médio e de ponto final



Fonte: adaptado de EC-JRC, 2010 (apud Cavalett *et al.*, 2013)

Alguns métodos de ponto médio mais utilizados são CML 2001 e EDIP 2003. Um exemplo de método *endpoint* é Eco-indicator 99. Há ainda métodos que têm a opção de fornecer os resultados das duas formas, tais como ReCiPe e *Impact 2002+*.

Por fim, é feita a **interpretação** do ciclo de vida. Nela, são consideradas em conjunto as constatações da análise de inventário e da avaliação de impacto obtidas anteriormente. Os resultados encontrados devem ser consistentes com o objetivo e o escopo definidos inicialmente, levar a conclusões relevantes, explicar as limitações do processo e indicar recomendações.

2.2.4 Ferramentas Computacionais e Bancos de Dados

Um estudo de ACV apresenta alta complexidade devido aos diversos fluxos envolvidos em cada uma das etapas do ciclo de vida de um produto. Pensando nisso, diversos softwares foram criados com objetivo de auxiliar nesse processo. Esses programas são compostos por

bancos de dados que reúnem os fluxos e computa os impactos das etapas. Cada ferramenta computacional possui bancos de dados específicos voltados a atender um determinado tipo de usuário. A maioria dos programas são pagos, inclusive os dois mais conhecidos: SimaPro e GaBi.

O SimaPro foi desenvolvido pela Pré *Consultants* em 1990 e é o mais utilizado para análises ambientais de sistemas (CAMPOLINA, SIGRIST e MORIS, 2015). Realiza análises de todo o ciclo de vida de produtos, suportando sistemas complexos. Apresenta uma variedade de bases de dados, dentre elas a da Ecoinvent, e os principais métodos de avaliação de impacto.

Bem similar ao SimaPro, existe o *software* alemão GaBi, desenvolvido pelo PE *Europe GmbH* e IKP *University of Stuttgart*. Possui 25 anos de mercado e é capaz de fazer avaliações ambientais, econômicas e sociais de um sistema. Além disso, suporta grandes quantidades de dados sendo ideal para sistemas complexos. Apresenta diversos bancos de dados já incorporados ao programa, incluindo o seu próprio banco de dados e o da Ecoinvent (CAMPOLINA, SIGRIST e MORIS, 2015). Contém as principais metodologias de avaliação de impacto.

Ambos os *softwares* são recomendados para se trabalhar com produtos e sistemas da construção civil. Os estudos feitos por Herrmann e Moltesen (2014) fizeram uma comparação entre eles, utilizando os mesmos métodos de avaliação de impacto. Ao final, os autores concluíram que os resultados obtidos por simulações realizadas neles foram iguais ou minimamente diferentes. Essas pequenas diferenças eram provenientes da base de dados de cada programa.

Uma opção de ferramenta computacional gratuita é o openLCA, desenvolvido pela *GreenDelta GmbH* e que possibilita a montagem de informações de ACV (IBICT, 2017). Apresenta facilidade na integração de bancos de dados ao software, como por exemplo o da Ecoinvent. Além disso, é uma ferramenta de acesso aberto e é recomendada pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), responsável pelo inventário do banco de dados brasileiro de ACV. Em relação aos métodos para avaliação das categorias de impacto, o openLCA contém as principais metodologias.

Em relação aos bancos de dados, existem diversos tipos e, assim como os *softwares*, cada um atende determinadas áreas. A base mais utilizada é a da Ecoinvent. Desenvolvida na Suíça em 1992, está disponível nos principais programas e também online de forma gratuita. Apresenta

mais de 4000 processos e é bastante utilizada em trabalhos da construção civil (MARTÍNEZ-ROCAMORA, SOLÍS-GUZMÁN e MARRERO, 2016). Possui dados globais e alguns processos também contam com informações locais.

Uma outra base bastante utilizada é a base própria do programa GaBi. Desenvolvida pelos mesmos criadores do *software*, possui mais de 1000 processos para materiais de construção. Os dados são atualizados anualmente por especialistas de mais de 20 países (MARTÍNEZ-ROCAMORA, SOLÍS-GUZMÁN e MARRERO, 2016). Uma das desvantagens é que não é gratuita.

Uma comparação entre 10 bancos de dados feitas por Martínez-Rocamora, Solís-Guzmán e Marrero (2016) escolheram a Ecoinvent e GaBi como as mais completas. Os requisitos analisados foram categorias, território, variedade, facilidade de compreensão, rastreabilidade e metodologia dos dados. Já dentre as bases gratuitas a que melhor se saiu foi a ELCD (*European reference Life Cycle Database*), criada pela Comissão Europeia de ciclo de vida.

2.3 CICLOVIA DE PAVIMENTO RÍGIDO

2.3.1 Principais Conceitos

Dentre as estruturas que são destinadas a propiciar um tráfego seguro aos ciclistas, é válido destacar as três principais estruturas que surgem com essa finalidade: ciclorrota, ciclofaixa e ciclovia. Segundo Silva Júnior (2018), a primeira é aquela onde a faixa é compartilhada entre motoristas e ciclistas com os últimos tendo preferência, a segunda é uma parte da pista de rolamento exclusiva às bicicletas e a última é totalmente desvinculada da pista de veículos. Essa última é a mais segura dentre as opções devido a estar segregada do tráfego de automóveis.

A ciclovia é composta por algumas camadas, sendo a mais externa a de pavimento. O contato do usuário ocorre diretamente nela, portanto os quesitos básicos a serem atendidos pelo pavimento de uma ciclovia são: superfície de rolamento regular, impermeável, antiderrapante e aspecto agradável (BRASIL, 2007). Vale ressaltar também que pequenos defeitos no pavimento podem aumentar as chances do usuário se desequilibrar e causar algum dano a ele.

Outro aspecto interessante é que as ciclovias não costumam ser submetidas a grandes esforços, portanto não necessitam de estruturas maiores do que aquelas utilizadas em

calçadas. Apenas em locais de cruzamento entre ciclovia e áreas de veículos motorizados, sugere-se que haja reforço de base (BRASIL, 2007).

Devido a essas condições necessárias, há diversas opções ao se pensar em tipos de pavimento para ciclovias. Pavimento rígido (concreto), flexível e de blocos intertravados são os mais usuais e estão apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Tipos de pavimentos mais usuais: (a) pavimento rígido, (b) pavimento flexível e (c) pavimento de blocos intertravados



Fonte: (a) Autoria própria (b) Metrôpoles (c) Prefeitura de Porto Alegre

O pavimento rígido tem diversas vantagens como a versatilidade e a facilidade de ser encontrado em todo o país. Além disso, o custo se torna competitivo ao longo da vida útil devido a menor necessidade de manutenções do que nos pavimentos flexíveis, desde que tenha sido bem projetado (ANDRADE, 2014). A ciclovia analisada neste trabalho é construída em pavimento rígido, portanto é importante entender esse sistema com os materiais e processos construtivos envolvidos.

Em relação a execução, o Caderno de Encargos da Prefeitura do Rio de Janeiro (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2014) propõe 8 etapas que

foram propostas com base nas recomendações da Associação Brasileira do Cimento Portland (ABCP). Cada uma delas está explicitada a seguir:

- **Etapa 1: Preparação do subleito** – verificar se o solo local está limpo, seco e não expansivo (se for, é necessário substituí-lo) e, em seguida, escavar, regularizar e compactar o subleito de acordo com as cotas e caimentos estabelecidos no projeto;
- **Etapa 2: Sub-base granular** – executar uma camada de 10 cm de espessura de brita graduada simples (BGS) com objetivo de uniformizar o suporte da fundação do pavimento, facilitar o controle das espessuras das camadas sobrejacentes e atuar como uma camada drenante;
- **Etapa 3: Colocação das fôrmas** – utilizar fôrmas para a concretagem do pavimento, podem ser dispensadas quando houver outras contenções presentes, como guias ou sarjetas;
- **Etapa 4: Colocação do lençol plástico** – inserir um lençol plástico (lona) com a função de atuar como camada impermeabilizante, protegendo a estrutura da infiltração da água;
- **Etapa 5: Concretagem** – nesse tipo de estrutura, a durabilidade da estrutura depende principalmente da capacidade do concreto resistir ao desgaste por atrito e não aos esforços de tração na flexão, portanto é recomendável que a resistência característica do concreto à compressão simples (f_{ck}) aos 28 dias seja de 25 MPa, dimensão máxima do agregado graúdo adotada como 25 mm e a espessura mínima do pavimento de concreto de 10 cm;
- **Etapa 6: Cura química** – após o término da texturização superficial, iniciar a cura química com produtos à base de solvente ou água que impermeabilizem a superfície e impeçam a evaporação da água;
- **Etapa 7: Juntas de retração** – serrar as juntas a uma distância igual à largura da ciclovia para formar placas quadradas, assim que o concreto permitir (6 a 12 h após o acabamento), fazer a limpeza e a selagem dessas juntas;
- **Etapa 8: Finalização** – retirar as fôrmas 12 horas após o término da concretagem, implantar toda a sinalização vertical e horizontal.

A Companhia Urbanizadora da Nova Capital (NOVACAP), responsável pela construção da maioria das ciclovias do DF, adotou a metodologia proposta pela ABCP com algumas adaptações para as ciclovias do Distrito Federal, sendo semelhante a essa apresentada pela

Prefeitura do Rio de Janeiro. As ciclovias do DF em pavimento rígido foram executadas seguindo sete etapas: serviços preliminares, terraplanagem e regularização, construção da sub-base, colocação da lona plástica, pavimentação em concreto, sinalização e recomposição do paisagismo. O corte esquemático com as camadas proposto pela ABCP pode ser encontrado na Figura 7.

Figura 7 - Esquema das camadas da ciclovia proposto pela ABCP



Fonte: ABCP, 2007

A espessura do pavimento rígido adotada pela NOVACAP em projeto para as ciclovias da Esplanada, Eixo Monumental, Asa Norte e Asa Sul é de 8 cm, ao invés de 10 cm proposto pela ABCP. O mesmo se dá com a resistência do concreto à compressão (f_{ck}) aos 28 dias que foi adotada como sendo de 18 MPa, ao contrário dos 25 MPa sugerido.

Inicialmente é feita a retirada da vegetação e a execução da terraplenagem. O subleito recebe uma mistura de 5% de cal no solo que é compactado com o uso de equipamento pesado. Em seguida, uma base de brita com espessura entre 5 e 10 cm é executada logo após a instalação das guias. Por fim, coloca-se a lona plástica e se faz a concretagem e regularização do pavimento com 8 cm de espessura. Em seguida, utiliza-se uma vassoura para dar a textura adequada ao pavimento. Realiza-se a cura do concreto. Ao final dela, é feito o corte das juntas distantes 2,5 m entre si e a implantação de toda sinalização horizontal e vertical. A Figura 8 ilustra essas etapas.

Figura 8 – Execução de ciclovia na Esplanada dos Ministérios: (a) terraplenagem executada e inserção das guias, (b) execução da camada de brita, (c) concretagem e (d) regularização do pavimento.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: ABCP (2014)

Nota-se, na ciclovia da área central (Plano Piloto) analisada nesse trabalho, que não houve a inserção do lençol plástico entre a camada de britas e a camada externa. Outro problema apresentado é a falta de padronização e selagem das juntas. Esse último pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9 - Falta de selagem nas juntas



No quesito de normativas brasileiras, não existem referências específicas para ciclovias. Alguns documentos (caderno de encargos ou manuais) são utilizados como referência e foram desenvolvidos por entidades governamentais, como prefeituras e secretarias, ou por associações, como a ABCP.

Para o pavimento rígido de ciclovia, também não há normativas brasileiras estabelecendo os requisitos necessários. As normas existentes que tratam desse tipo de pavimento são voltadas para os pavimentos rodoviários e foram estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Essas normas apresentam recomendações para os materiais utilizados, ensaios necessários, execução, defeitos, inspeção visual, avaliações objetiva e subjetiva do pavimento.

Porém essas normativas rodoviárias não são aplicáveis diretamente as ciclovias por se tratarem de estruturas diferentes. Portanto, é necessário que haja normativas próprias que auxiliem os agentes envolvidos na construção e manutenção da ciclovia.

Em relação a malha cicloviária brasiliense, a NOVACAP lançou em 2019 um documento intitulado “Termo de referência para elaboração de projeto básico e executivo de

pavimentação de vias e ciclovias”. Nesse documento, há algumas recomendações para o projeto e construção de ciclovias, mas sem grandes detalhes.

Destacam-se algumas dessas sugestões. As placas de concreto devem possuir barras de ligação e de transferência e as juntas devem ser preenchidas com material do tipo polietileno (isopor, cortiça ou similar) e selante (NOVACAP, 2019). Além disso, o concreto deve atender a resistência à tração por flexão de 4,5 MPa, aos 28 dias de idade e à compressão simples de 30 MPa, aos 28 dias de idade (NOVACAP, 2019). Essas recomendações não são atendidas pelas ciclovias mais antigas, como a da Esplanada dos Ministérios.

2.3.2 Fator de Dano de Ciclovias

Assim como ocorre em qualquer outra estrutura, é importante avaliar o estado do pavimento periodicamente de modo a identificar o estado de conservação ao longo do tempo e os momentos para realizar as intervenções necessárias. Portanto, faz-se necessário saber como proceder para a realização dessa avaliação.

No caso do pavimento rígido de rodovias, essa análise de degradação é feita através do ICP (Índice de Condição de Pavimento), apresentada no Manual de Recuperação de Pavimentos Rígidos (DNIT, 2010). Esse índice é baseado no PCI (Pavement Condition Index), proposto no manual TM 5-623/1982 do CERL (U.S Army Construction Engineering Research Laboratory). A metodologia consiste em vistoriar as amostras onde são considerados o tipo de defeito, o grau de severidade, número de placas defeituosas e área afetada. O cálculo do ICP segue o modelo matemático apresentado na Equação 1.

$$ICP = 100 - \sum_{i=j}^p \sum_{j=i}^{m_i} A(T_i, S_j, D_{ij})F(t, q) \quad (1)$$

onde:

ICP = Índice de Condição de Pavimento;

A = valor dedutível, dependente do tipo de defeito (T_i), do grau de severidade (S_j) e da densidade de defeitos (D_{ij});

i = contador para tipos de defeitos;

j = contador para graus de severidade;

p = número total de placas defeituosas;

m_i = número de graus de severidade para o tipo de defeito; e

$F(t, q)$ = uma função de ajustamento para defeitos múltiplos, que varia com o valor dedutível somado (t) e o número de deduções (q).

Para encontrar o índice de determinada amostra, calcula-se a média aritmética do ICP de todos os trechos dela. Por fim, conceitos são relacionados ao valor do ICP de forma a facilitar a análise do resultado obtido. Esses conceitos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Conceitos dos pavimentos em função do ICP












| ICP | 100 - 85 | 85 - 70 | 70 - 55 | 55 - 40 | 40 - 25 | 25 - 10 | 10 - 0 |
|-----------------|-----------|-----------|---------|----------|---------|------------|-----------|
| Conceito | Excelente | Muito Bom | Bom | Razoável | Ruim | Muito Ruim | Destruído |

Fonte: DNIT (2010)

Além da aplicação em rodovias, o ICP também já foi adaptado para ser utilizado em outras estruturas. Corazza, Di Mascio e Moretti (2016) fizeram isso para avaliar calçadas em Roma e precisaram fazer alguns ajustes para atender as particularidades dessas estruturas específicas. Antunes (2015) utilizou o ICP para o levantamento de danos da ciclovia localizada no corredor universitário em Goiânia-GO. Ao final, concluiu que o índice precisava de adaptações e classificou as ciclovias estudadas apenas como boas ou ruins.

Dessa necessidade de uma metodologia própria que possa avaliar sua degradação, Silva Júnior (2018) propõe o Fator de Danos de Ciclovia (FDC). Inicialmente, realiza-se uma avaliação dos danos presentes no pavimento, conforme estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Catalogação das manifestações patológicas dos pavimentos rígidos de ciclovia

| Fissura Transversal - FT | Fissura Longitudinal - FL | Fissura Diagonal – FD | Fissura de Canto - FC |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Fissura por Retração Plástica - FRP | Quebra Localizada - QL | Quebra de Canto – QC | Esborcimento – ESB |
|  |  |  |  |
| Manchas – MAN | Alçamento de Placas - APL | Buracos - BU | Placa Dividida - PD |
|  |  |  |  |

Fonte: Silva Júnior (2018)

Essa avaliação considera a influência da área degradada, o nível de condição da área afetada pela degradação, quantidade de placas com incidência de manifestações patológicas e a severidade de cada manifestação patológica. Vale ressaltar que para o cálculo do FDC são considerados apenas alguns desses danos (quebra localizada, fissura de canto, fissura linear, fissura de retração plástica e placa dividida). A formulação do FDC, composta pelos fatores citados anteriormente, está apresentada na Equação 2.

$$FDC = \frac{\sum(A_{d(n)} \cdot C_{nA} \cdot C_p \cdot C_{nS})}{\sum C_{Am\acute{a}x} \cdot A_t} \quad (2)$$

onde:

$A_{d(n)}$ = área danificada por uma anomalia “n” (m²);

C_{nA} = constante de ponderação das anomalias “n”, em função do nível de condição, onde $C_{nA} \in \{1, 2, 3, 4\}$;

C_p = quantidade de placas afetadas em cada amostra (0 - 20);

C_{nS} = somatório das constantes de ponderação da severidade das anomalias detectadas, sendo (1 – Baixo; 3 – Médio; 6 – Alto);

$\sum C_{Am\acute{a}x}$ = somatório das constantes de ponderação equivalente ao nível da pior condição, usa-se o valor 19 (4+4+3+4); e

A_t = área total da amostra (m²).

Os valores de CnA são obtidos pela contabilização da porcentagem de incidência e severidade de cada anomalia em uma amostra. Esses valores podem ser visualizados conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Dados do nível de condição CnA

| Nível de Condição | Anomalia | CnA | % Degradada |
|-----------------------------------|-------------------------------|-----|-------------------|
| Melhor Condição - Nível 0 | Não há detecção de degradação | 0 | 0 |
| Boa Condição - Nível 1 | Quebra Localizada | 1 | < 4,0% |
| | Fissura de Canto | | < 3,5% |
| | Fissura por Retração Plástica | | < 25,0% |
| | Fissura Linear | | < 4,1% |
| | Placa Dividida | | < 4,8% |
| Degradação Pequena - Nível 2 | Quebra Localizada | 2 | 4,0% < x < 9,2% |
| | Fissura de Canto | | 3,5% < x < 7,5% |
| | Fissura por Retração Plástica | | 25,0% < x < 50,0% |
| | Fissura Linear | | 4,1% < x < 9,7% |
| | Placa Dividida | | 4,8% < x < 9,0% |
| Degradação Moderada - Nível 3 | Quebra Localizada | 3 | 9,2% < x < 15,0% |
| | Fissura de Canto | | 7,5% < x < 10,0% |
| | Fissura por Retração Plástica | | > 50,0% |
| | Fissura Linear | | 9,7% < x < 14,0% |
| | Placa Dividida | | 9,0% < x < 13,0% |
| Degradação Generalizada - Nível 4 | Quebra Localizada | 4 | > 15% |
| | Fissura de Canto | | > 10,0% |
| | Fissura Linear | | > 14,0% |
| | Placa Dividida | | > 13,0% |

Fonte: Silva Júnior (2018)

Ao final, o autor propõe uma conceituação do FDC semelhante àquela do ICP que está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Conceitos do FDC

| | FDC |
|----------------------|-------------|
| 5 – Excelente | 0,00 – 0,06 |
| 4 – Bom | 0,07 – 0,45 |
| 3 – Razoável | 0,46 – 1,29 |
| 2 – Ruim | 1,30 – 3,49 |
| 1 – Péssimo | > 3,49 |

Fonte: Silva Júnior (2018)

2.3.3 Ciclovias no Distrito Federal

Nos últimos anos a malha cicloviária do Distrito Federal está entre uma das maiores do país. De acordo com a SEMOB, a extensão atual dela é de 553,95 km. O valor por região administrativa pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 - Malha cicloviária por Região Administrativa em dezembro de 2019

| Região Administrativa | Malha | Região Administrativa | Malha |
|------------------------------|--------------|------------------------------|------------------|
| Plano Piloto | 119,95 Km | Lago Sul | 54,3 Km |
| Gama | 28,73 Km | Lago Norte | 25,91 Km |
| Taguatinga | 8,4 Km | Águas Claras | 16,49 Km |
| Brazlândia | 5,56 Km | Riacho Fundo II | 13,85 Km |
| Sobradinho | 2,73 Km | Sudoeste/Octogonal | 10,7 Km |
| Planaltina | 7,84 Km | Varjão | 0,44 Km |
| Paranoá | 13,11 Km | Park Way | 50,15 Km |
| Núcleo Bandeirante | 2,7 Km | SCIA | 1,97 Km |
| Ceilândia | 36,01 Km | Sobradinho II | 20,3 Km |
| Guará | 20,33 Km | Jardim Botânico | 16,2 Km |
| Samambaia | 17,15 Km | Itapoã | 3,99 Km |
| Santa Maria | 27,85 Km | SIA | 2,88 Km |
| São Sebastião | 7,72 Km | Vicente Pires | 10 Km |
| Recanto das Emas | 28,46 Km | Arniqueira | 0,27 Km |
| Total | | | 553,95 Km |

Fonte: SEMOB (2020)

É importante ressaltar que há uma grande desigualdade entre os valores do Plano Piloto com as demais regiões administrativas. Além disso, falta integração cicloviária entre as regiões administrativas, sendo essa uma das principais dificuldades para uma maior popularização do uso desse meio de transporte no DF.

Em relação ao tipo de pavimento, o concreto foi adotado na maioria dos casos por algumas razões específicas. Crosara (2012) afirma que o custo, o menor tamanho dos equipamentos para a execução quando comparado aos do pavimento asfáltico e a boa durabilidade do material foram os fatores decisivos no momento da escolha desse tipo de pavimento.

Já a popularização do uso dessas estruturas se deu em partes pelos programas de bicicletas compartilhadas. Um deles é o +Bike promovido pelo Governo do Distrito Federal (GDF). Ao pagar uma taxa, o usuário pode retirar uma bicicleta na estação e, ao final da viagem, devolver em qualquer estação. Segundo dados da SEMOB, as bicicletas do projeto +Bike fizeram 308.316 viagens em 2019. Outro programa que se popularizou no DF é o de bicicletas e patinetes compartilhados da empresa *Grow*. Nos sete primeiros meses de operação, as viagens de patinete fizeram 175 mil quilômetros, segundo informações da *Grow*.

2.4 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA E PAVIMENTOS

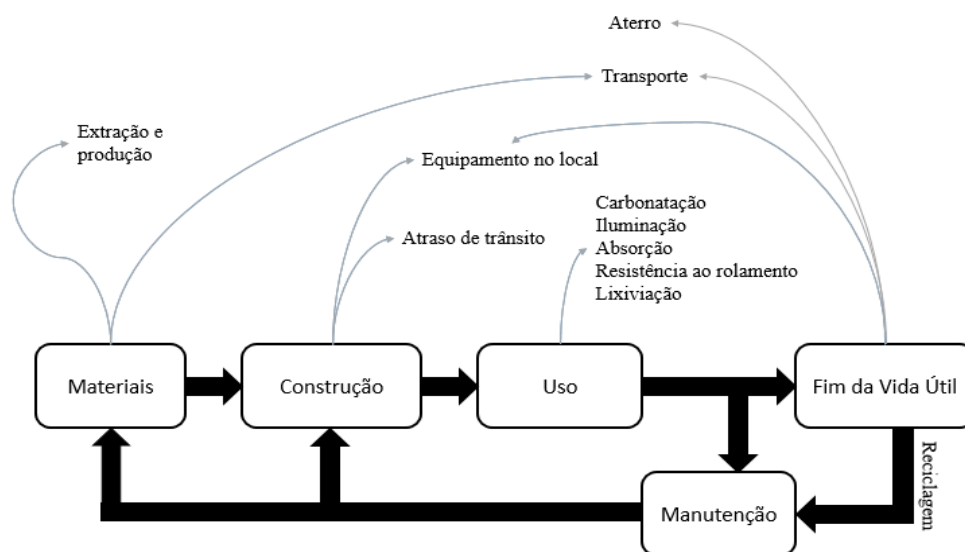
Na literatura, observa-se que diversos trabalhos tratam da temática do ACV com estruturas semelhantes à das ciclovias, como pavimentos rodoviários e calçadas. É importante observar de modo crítico alguns aspectos dessas pesquisas, como, por exemplo, a abordagem do ciclo de vida adotada, as limitações necessárias para realizá-las e como essas limitações impactam no estudo como um todo.

Assim, é possível identificar as principais lacunas e dificuldades que envolvem esse processo, mesmo que o objeto de estudo não seja o mesmo. A seguir são apresentados alguns estudos voltados para rodovias e calçadas que podem auxiliar no entendimento do ciclo de vida de pavimento.

2.4.1 Pavimentos Rodoviários

Em relação aos pavimentos rodoviários, Santero, Masanet e Horvath (2011) tinham como objetivo levantar as principais lacunas nos estudos de ACV desse tipo de estrutura. De acordo com os autores, o seu ciclo de vida está dividido em cinco fases: matérias-primas e produção, construção, uso, manutenção e fim da vida útil. Cada uma delas está apresentada na Figura 10, juntamente com alguns dos principais componentes.

Figura 10 - Fases e componentes do ciclo de vida de pavimento



Fonte: adaptado de Santero, Masanet e Horvath (2011)

Eles notaram que as simplificações na maioria dos trabalhos envolviam desconsiderar as etapas de uso e manutenção. Isso acontece por conta da dificuldade em se quantificar os componentes dessas fases.

Häkkinen e Mäkelä (1996) afirmaram que o cimento é o principal responsável pelos impactos na etapa de produção de pavimentos rígidos. A extração de suas matérias-primas necessita de explosivos e o seu processo produtivo emite grandes quantidades de dióxido de carbono. Portanto, é necessário pensar em alternativas para reduzir esses impactos.

A primeira delas é o uso de cimentos com menor quantidade de clínquer. Isso já é uma realidade nos cimentos comercializados no país. A ABNT NBR 16697:2018 trouxe um aumento nos limites aceitáveis para o uso de alguns MCS (escória de alto-forno, fíler calcário e material pozolânico) que fazem essa substituição. Além desses, alguns resíduos de outros processos industriais estão sendo avaliados como possíveis substitutos, por exemplo o uso de resíduos de rochas ornamentais nos trabalhos de Mello (2018) e Vieira *et al.* (2017).

A segunda opção é a reutilização do pavimento. Sendo assim, inúmeros trabalhos têm como intuito verificar a viabilidade de reutilizar o concreto como agregado reciclado após o fim da vida útil, reinserindo-o no ciclo de vida de um novo pavimento (ARISHA, GABR e SHWALLY, 2018; COLANGELO *et al.*, 2018; KUMAR, 2017; OSSA, GARCÍA e BOTERO, 2016; SHI *et al.*, 2019; VEGA, SANTOS e MARTINEZ-ARGUELLES, 2020; YANG *et al.*, 2015). Dessa forma, quando esse pavimento não tiver mais um desempenho satisfatório e as manutenções se tornarem inviáveis, ele terá uma destinação diferente da que costuma ter. Conseqüentemente, diminui a quantidade de materiais a serem extraídos do meio ambiente e a quantidade de resíduos depositados em aterros ou locais inadequados, prática bastante comum no Brasil.

Apesar do cimento ser um grande vilão, o pavimento de concreto utilizado em rodovias é bastante citado como sendo mais vantajoso que o asfáltico nos quesitos de custo-benefício, durabilidade e desempenho. As análises envolvendo a construção e a manutenção de um pavimento utilizam uma vida útil longa de forma a estar alinhada com o desenvolvimento sustentável (CHAPPAT e BILAL, 2003).

Desse modo, a vida útil do pavimento de concreto pode atingir 30 anos com manutenção mínima, enquanto que a do asfáltico é projetada para 10 anos (DYNATEST, 2018). Existem

outras referências que citam a vida útil mínima do pavimento rígido como sendo de 20 anos (BIANCHI, BRITO e CASTRO, 2008; ABCP, 2012).

A etapa de construção de rodovias envolve duas questões principais quando se pensa nos impactos. A primeira delas está ligada aos equipamentos utilizados. Já a segunda relaciona-se com os efeitos causados pela construção, como por exemplo os desvios que os veículos serão obrigados a fazer, aumentando a distância percorrida e, conseqüentemente, uma maior emissão de poluentes por isso. Algumas pesquisas tentam compreender e descrever esses impactos dentro do ciclo de vida (KANG *et al.*, 2014; LIU, WANG e LI, 2017).

Partindo para a etapa de uso, a análise feita por Santero, Masanet e Horvath (2011) dos trabalhos mais relevantes publicados entre os anos 1990 e 2010 mostrou que há omissão dessa etapa na maior parte da literatura. Geralmente ela não é considerada por conta da dificuldade de se obter informações sobre os impactos gerados da relação entre o veículo e o pavimento.

Entretanto, Häkkinen e Mäkelä (1996) estudaram os encargos ambientais causados pela produção, uso e descarte do pavimento de concreto e do asfáltico com vida útil de 50 anos e 20.000 veículos por dia. Sob essas circunstâncias, concluíram que essa etapa teve um impacto muito maior do que as demais. Isso pode ser entendido pelo fluxo intenso de veículos utilizados e pela longa duração da vida útil. Portanto, o descarte da etapa de uso nas análises de pavimentos rodoviários pode modificar significativamente os resultados.

Vale ressaltar que as manutenções também fazem parte do ciclo de vida. Portanto, devem ser contabilizados os impactos referentes aos materiais, equipamentos e demolições que fazem parte dessas intervenções. Elas devem ser incluídas de acordo com o plano de manutenções estabelecido para a estrutura.

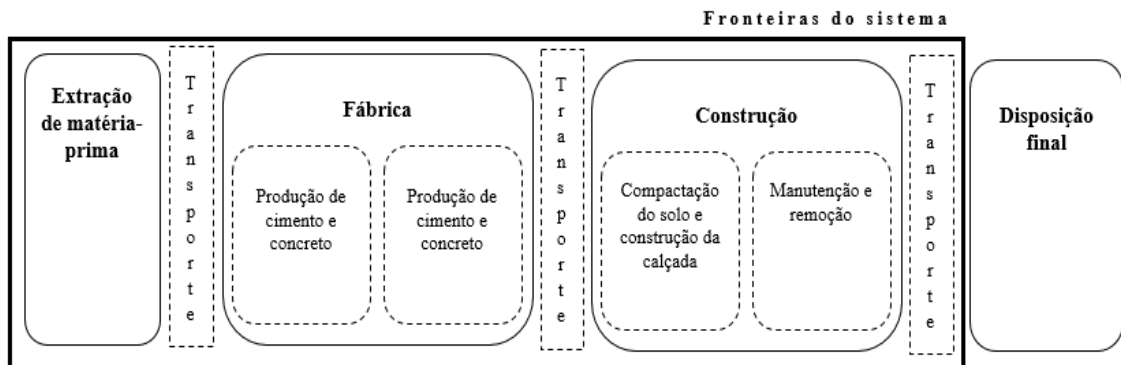
É importante lembrar que o transporte ocorre entre essas fases do ciclo de vida. As matérias-primas extraídas são levadas até a indústria onde são transformadas em materiais de construção que são transportados até o local da obra. Com o fim da vida útil, os resíduos também possuem uma destinação, podendo ser levados até o aterro ou para algum local onde são reciclados. Por isso, algumas recomendações para a diminuição dos impactos dessa etapa são o uso de transportes menos poluidores e optar por materiais locais, percorrendo as menores distâncias possíveis nos trajetos.

2.4.2 Calçadas

Além dos pavimentos rodoviários, outra estrutura que pode auxiliar no entendimento das ciclovias são as calçadas. A pesquisa desenvolvida por Mendoza *et al.* (2012) traz como objeto de estudo a avaliação de calçadas, localizadas em Barcelona. Elas apresentam três camadas: laje de granito, argamassa e concreto com espessura de 7 cm, 3 cm e 15 cm, respectivamente. Estão submetidas a tráfego de pedestres e motorizado leve por uma vida útil de 45 anos. O ciclo de vida dessas calçadas foi composto pelas etapas de produção dos materiais, construção e demolição da calçada. Após a realização do estudo de ACV, os autores concluíram que a etapa de materiais é a responsável pelo maior impacto ambiental no ciclo de vida. Isso se deu pelo granito que consome muita energia e água em sua produção.

A pesquisa de Oliver-Solà *et al.* (2009) traz a análise de 5 sistemas de calçadas de Barcelona: pavimento com blocos intertravados, laje de concreto e placas pré-moldadas com base de concreto com espessuras de 10 cm, 12 cm e 15 cm. Todos esses sistemas foram considerados como tendo uma vida útil de 45 anos. O ciclo de vida das estruturas era composto pelas etapas que estão descritas na Figura 11.

Figura 11 - Ciclo de vida das calçadas avaliadas por Oliver-Solà et al. (2009)



Fonte: adaptado de OLIVER-SOLÀ *et al.* (2009)

Os autores chegaram a algumas conclusões importantes. A primeira delas é que o sistema de laje apresentava os maiores impactos ambientais, por conta da quantidade de concreto utilizada. Por conta disso, o cimento foi identificado como o grande responsável pelos impactos, enquanto os agregados exerciam pouca influência. Portanto, era recomendado utilizar cimentos com maior quantidade possível de MCS. Além disso, os autores também sugerem o uso de fornecedores locais para diminuir os impactos de transporte e as calçadas devem ser projetadas para facilitar a desmontagem e a reutilização de seus componentes.

Em relação a vida útil de calçadas de concreto, Oliver-Solà *et al.* (2009) trazem alguns valores de referência que é de 25 a 50 anos. Afirmam que a estrutura pode ter menos de 20 anos, se for utilizado um concreto de baixa resistência.

2.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA E PAVIMENTO

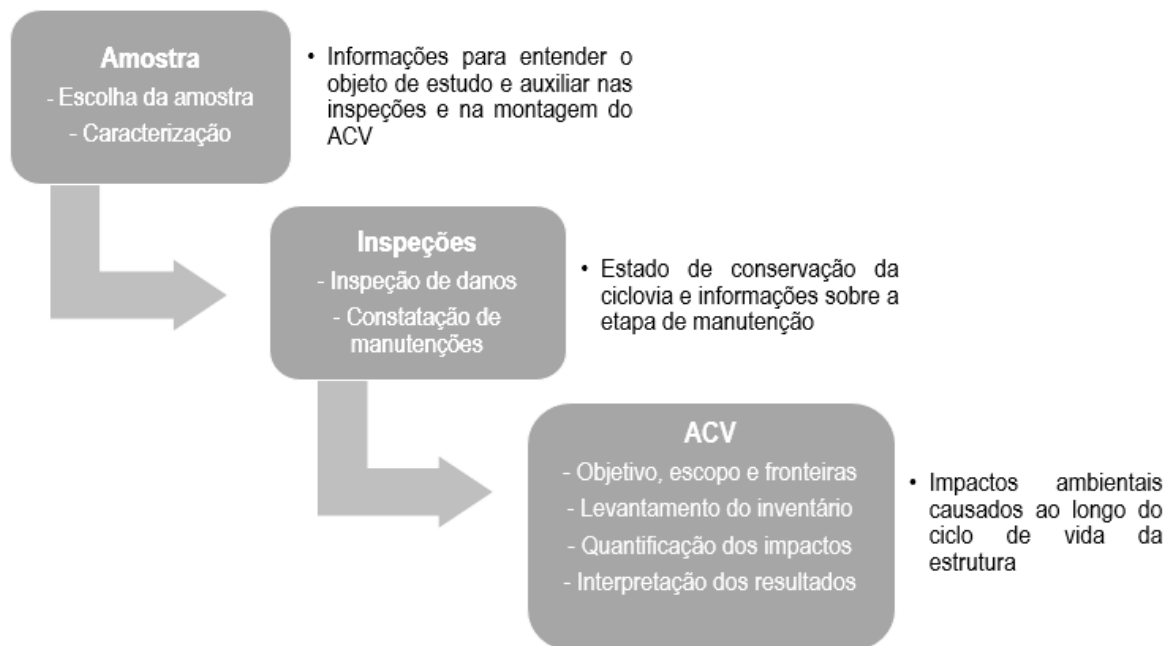
Em relação aos pavimentos de concreto, os trabalhos encontrados abordam estudos de ACV voltados para estruturas similares a da ciclovia, como pavimentos rodoviários e calçadas. Esses estudos tentam identificar as etapas mais prejudiciais ao meio ambiente. Além disso, buscam alternativas para reverter essa situação.

É importante destacar a dificuldade de se encontrar estudos com todas as etapas do ciclo de vida. O principal fator é a dificuldade de se mensurar esses fluxos, principalmente na etapa de uso.

3. METODOLOGIA

A metodologia proposta para este estudo foi desenvolvida para aplicação em ciclovias de pavimento rígido pertencentes a malha cicloviária do Distrito Federal. Para atender aos objetivos, essa pesquisa foi dividida em três etapas principais: caracterização da amostra; inspeções do pavimento; e Avaliação do Ciclo de Vida. Essas etapas estão representadas na Figura 12.

Figura 12 - Divisão da metodologia proposta



3.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Para o desenvolvimento da pesquisa foi necessário definir um segmento da malha cicloviária executado em pavimento rígido.

As informações que deverão ser levantadas, para a amostra, são as seguintes:

- identificação e localização do trecho;
- extensão, em quilômetros;
- data da execução;
- número de placas;
- dimensões e espessuras das placas;
- materiais e componentes do sistema;

- processo construtivo utilizado;
- vida útil de projeto;
- dados de inspeções realizadas anteriormente;
- registro de ocorrência das manutenções; e
- plano de destinação final dos resíduos após o fim da vida útil.

Essas informações servirão de base para a realização das análises das etapas seguintes.

3.2 INSPEÇÕES DO PAVIMENTO

As inspeções, realizadas em campo, seguiram a metodologia proposta por Silva Júnior (2018), que foi desenvolvida especificamente para ciclovias de pavimento de concreto.

Para essa pesquisa, os resultados das inspeções foram conduzidos, também, para validar a possibilidade de constatação da evolução de danos no pavimento e identificar a ocorrência de intervenções de manutenção feitas ao longo do trecho da ciclovia, ao comparar os resultados com os obtidos em inspeção anterior.

As informações que deverão ser obtidas durante as inspeções são as seguintes:

- identificação, grau de severidade e área dos danos; e
- identificação e localização dos reparos realizados.

Essas informações servirão de base para a realização das análises das etapas seguintes e também para o avanço do estudo com a possibilidade da continuidade do estudo com a constatação do avanço dos danos, direcionando as informações para a etapa de manutenção que deverá ser inserida no estudo de ACV desse sistema.

3.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi escolhida como uma ferramenta para auxiliar na identificação e na quantificação dos danos ambientais causados nas fases de produção e transporte dos materiais, construção, uso, manutenções e demolição da ciclovia de pavimento rígido, seguindo a estrutura estabelecida na ABNT ISO NBR 14040:2009, que possui quatro etapas: definição de objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impacto e interpretação dos resultados.

A definição de objetivo e escopo correspondem a determinação do que se espera do estudo de ACV, quais as limitações e a unidade funcional a ser utilizada. Essas decisões influenciam na forma como os resultados são apresentados.

Para essa pesquisa, a montagem do inventário abrange os fluxos presentes nas fases de produção do concreto, transporte dos insumos, construção do pavimento rígido da ciclovia, uso e manutenções dessa estrutura até o fim da sua vida útil. Essas informações são obtidas com base nos levantamentos realizados nas etapas anteriores: caracterização da amostra e inspeções.

A descrição e o modo de obtenção das informações para a ACV estão apresentados de forma resumida na Figura 13.

Figura 13 - Aplicação da metodologia ACV na ciclovia estudada



O objetivo da realização da ACV é identificar e quantificar os danos ambientais causados pela ciclovia durante as fases do seu ciclo de vida. Também é possível analisar opções diferentes

de materiais que podem contribuir para guiar projetistas e construtores em escolhas mais focadas em trazer menos prejuízos ao meio ambiente.

A fronteira adotada foi do “berço ao túmulo” (*cradle-to-grave*). A unidade funcional foi definida como sendo todo o trecho de ciclovia estudada: 2,94 km de extensão com duas faixas. Essa escolha foi feita de forma semelhante ao trabalho desenvolvido por Hasan, Whyte e Al Jassmi (2020) que optaram por adotar como unidade funcional toda a extensão da rodovia estudada. Dessa forma, é possível analisar os impactos causados pela construção de toda a estrutura analisada.

Para a montagem precisa do panorama geral do ACV da ciclovia é necessário a obtenção de informações reais e precisas de cada etapa e processo. Por essas razões, a escolha ou criação de uma base de dados confiável e que compreenda os fluxos necessários para a montagem do ciclo de vida do estudo. Além disso, outro aspecto importante e que influencia os resultados diretamente é a escolha do *software*, pois cada um possui metodologia própria para incluir os dados e exibir os resultados.

De forma geral, a preferência para obtenção dos processos para o inventário foi para dados nacionais. Caso não houvesse, seriam utilizados os dados da base da Ecoinvent v 3.6 (2019), com o sistema de alocação *cut-off by classification*, que é uma das mais utilizadas e é bastante completa. O programa computacional escolhido para a realização desse trabalho foi o openLCA v.1.10.2 (GREENDELTA, 2019). Essa escolha se deu por ser uma ferramenta gratuita, de fácil acesso e recomendada pelo IBICT. Apesar de já estar no mercado há mais de 10 anos, poucos são os trabalhos voltados para pavimentos publicados em periódicos internacionais nesse *software*. Os fluxos, que compõem os processos, montados no programa computacional escolhido (OpenLCA) foram retirados da base de dados da ELCD. Essa base tem a vantagem de ser gratuita e facilmente integrável ao programa utilizado.

O OpenLCA conta com uma diversidade de métodos de avaliação de impacto. Dentre os métodos apresentados no programa, optou-se pela avaliação de impacto CML 2001 por ter sido utilizada nos trabalhos mais relacionados ao tema (Mendoza *et al.*, 2012; Oliver Solà *et al.*, 2009). Além disso, métodos *midpoint* minimizam as incertezas existentes. Essa metodologia trabalha com a restrição da modelagem quantitativa dos estágios iniciais de cadeia de causa e efeito para limitar as incertezas (SPHERA, 2010).

A metodologia do CML 2001 é a que possui maior número de categorias dentro do openLCA. Algumas avaliam o mesmo impacto, mas com durações diferentes. As categorias avaliadas pelo método CML 2001 nesse trabalho com uma breve explicação do que representam estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Categorias de impacto do CML 2001 avaliadas

| Categorias de impacto – CML 2001 | Unidade | Abreviação | O que representam |
|--|------------------------|-------------------|--|
| Potencial de depleção abiótica | kg antimony-Eq | ADP | Uso dos recursos não vivos (abióticos), como combustíveis fósseis, extração de minerais e de metais. |
| Potencial de acidificação | kg SO ₂ -Eq | AP | Emissões de poluentes acidificantes para o ar e têm efeitos negativos no solo, águas subterrâneas, águas superficiais, organismos biológicos, ecossistemas e materiais. |
| Potencial de eutrofização | kg PO ₄ -Eq | EP | Adição de altos níveis de macro nutrientes, como nitrogênio e fósforo, levando a um aumento da biomassa, causando danos a outras formas de vida. |
| Potencial de ecotoxicidade de águas doces | kg 1,4-DCB-Eq | FAETP | Grau necessário de uma substância para induzir danos a organismos expostos em água doce. |
| Potencial de aquecimento global | kg CO ₂ -Eq | GWP | Impacto sobre o aquecimento global por meio da emissão de gases de efeito estufa. |
| Potencial de toxicidade humana | kg 1,4-DCB-Eq | HTP | Grau necessário de uma substância para induzir danos aos seres humanos expostos. |
| Potencial de ecotoxicidade de águas marinhas | kg 1,4-DCB-Eq | MAETP | Grau necessário de uma substância para induzir danos a organismos expostos em água marinha. |
| Potencial de depleção de ozônio | kg CFC-11-Eq | ODP | Perda da camada de ozônio que protege o planeta da radiação UV nociva por causa dos clorofluorcarbonos liberados na atmosfera. |
| Potencial de criação de ozônio fotoquímico | kg ethylene-Eq | POCP | Formação de névoa fotoquímica oxidante composta por poluentes em certas condições meteorológicas, formando ozônio na troposfera. Causam problemas respiratórios e danos à vegetação. |
| Potencial de ecotoxicidade terrestre | kg 1,4-DCB-Eq | TAETP | Grau necessário de uma substância para induzir danos a organismos terrestres expostos. |

Fonte: adaptado de Bozorg Chenani, Lehvävirta, Häkkinen (2015) e Ideais (2015).

Cada etapa do ciclo de vida do pavimento é composta por diversos fluxos e cada um deles apresenta diversas entradas e saídas. Portanto, é necessário reunir as informações do inventário de forma a facilitar o cálculo dos impactos gerados desde a produção até o fim da vida útil. Esse processo é realizado dentro da ferramenta computacional escolhida e é denominado avaliação de impacto.

Como resultado primário dessa etapa, espera-se poder constatar se o modelo criado de ACV consegue identificar a eficácia ambiental do sistema de ciclovia adotado. Como a mudança de cenários dentro das etapas do ciclo de vida, pretende-se buscar informações que possam auxiliar na tomada de decisão de futuros projetos, fornecendo interpretações para mensuração da interferência de mudanças para que o modelo de ciclovias de pavimento rígido promova a sustentabilidade.

A primeira análise realizada foi por camada do pavimento, identificando qual delas é a que responde pelo maior impacto. Em seguida, fez-se uma comparação entre as etapas dentro do ciclo de vida da ciclovia. Posteriormente, houve uma análise dos resultados referentes aos cenários de manutenção propostos. Por fim, foram estudados os impactos dos materiais e possíveis substituições que poderiam auxiliar na redução desses impactos. Essas substituições foram realizadas mudando o tipo de cimento adotado (CP II-F) para um com menor quantidade de clínquer (CP IV) e maior quantidade (CP V); e também trocando o agregado graúdo pelo reciclado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados da aplicação da metodologia proposta no objeto de estudo escolhido: a definição e caracterização da ciclovia, os resultados obtidos na inspeção, a elaboração do inventário do ciclo de vida e os resultados dos estudos de ACV.

4.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Para a definição da amostra foi feita uma seleção dentre os trechos construídos em pavimento rígido e o critério de escolha foi a ciclovia com maior número de danos encontrados durante a inspeção da amostra levantada por Silva Júnior (2018), tornando possível, dessa forma, a continuidade dos estudos de avaliação de danos a esse sistema. Apenas um trecho foi selecionado por conta da pandemia de COVID-19 que não possibilitou a realização da etapa de inspeções em mais ciclovias.

Ressalta-se que a informação do fluxo de usuários poderia auxiliar na escolha do trecho a ser analisado. Não foi o caso dessa pesquisa, visto que não foram encontradas informações sobre o seu uso.

O trecho escolhido para a aplicação da metodologia foi a ciclovia localizada no canteiro central da Esplanada dos Ministérios, área central de Brasília-DF, que serve de ligação entre a Rodoviária do Plano Piloto e o Congresso Nacional, e está apresentada na Figura 14.

Figura 14 – Imagem obtida do Google Maps da região com o segmento para avaliação escolhido da malha cicloviária, destacado em vermelho, localizado na área central da Esplanada dos Ministérios, compreendido entre a Rodoviária do Plano Piloto e o Congresso Nacional, em Brasília-DF, com a identificação das principais edificações que margeiam essa ciclovia.



Essa ciclovia está inserida no canteiro central do Eixo Monumental, avenida que corta o Plano Piloto de Brasília no sentido Leste-Oeste que se estende por dezesseis quilômetros, fazendo a ligação entre a antiga Rodoferroviária de Brasília, hoje ocupada por órgãos e secretarias distritais, no extremo Oeste e a Praça dos Três Poderes no extremo Leste, perto do Lago Paranoá.

A Esplanada dos Ministérios está localizada no Eixo Monumental, via que foi projetada pelo urbanista Lúcio Costa, que conta com um vasto gramado no canteiro central, cujo paisagismo foi feito por Burle Marx. Com 17 prédios de construção uniforme, que abrigam os ministérios, órgãos do Poder Executivo, projetados pelo arquiteto Oscar Niemeyer, essa região conta também com outros atrativos relacionados ao turismo na capital: o Complexo Cultural da República, formado pela Biblioteca Nacional de Brasília e pelo Museu Nacional da República Honestino Guimarães, a Catedral Metropolitana Nossa Senhora Aparecida, o Palácio do Itamaraty e o Palácio da Justiça, além do Congresso Nacional.

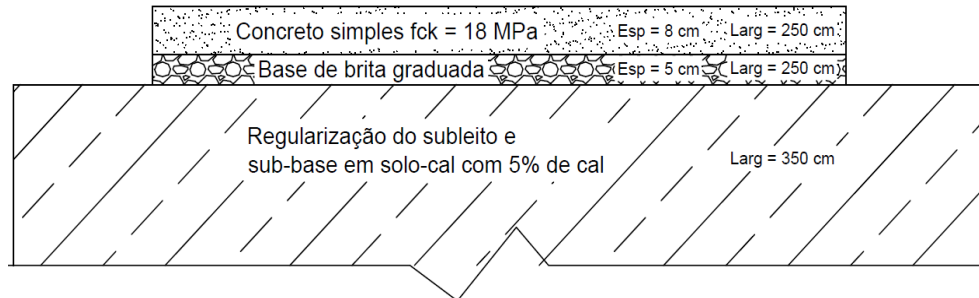
Ressalta-se que essa região exibe um elevado potencial para o uso da ciclovia devido ao relevo plano, ao grande número de postos de trabalho ligados à administração pública federal, e ao potencial turístico, com vários prédios emblemáticos devido ao seu contexto arquitetônico e histórico da cidade.

Outro ponto importante é a facilidade de integração da ciclovia com a Rodoviária do Plano Piloto, principal terminal de linhas de ônibus urbanas e metropolitanas do Distrito Federal, que além das linhas de ônibus que circulam dentro dos limites do Distrito Federal, também recebe linhas interurbanas, que ligam Brasília aos municípios vizinhos do estado de Goiás. No subsolo da Rodoviária do Plano Piloto funciona, desde 2001, a Estação Central que é a estação terminal das duas linhas existentes (Verde e Laranja) do metrô do Distrito Federal.

4.1.1 Caracterização da Amostra

A amostra escolhida corresponde a um trecho de 2,94 km de extensão. Ressalta-se a dificuldade na obtenção de informações que pudessem ser utilizadas para a caracterização das ciclovias do Distrito Federal. Na busca por informações foi consultada a Companhia Urbanizadora da Nova Capital – Governo do Distrito Federal (NOVACAP), ligada a execução desse trecho. De acordo com informações da NOVACAP, esse trecho de ciclovia foi construído em 2013, e é composto por três camadas, apresentadas na Figura 15.

Figura 15 - Estrutura do pavimento estudado com as três camadas existentes: subleito com adição de cal, base de brita graduada simples e pavimento de concreto simples



Fonte: Arquivo NOVACAP

A figura anterior apresenta a primeira camada que é o subleito, composto pelo solo presente no local e uma adição de 5% de cal para melhorar algumas propriedades desse solo, como por exemplo aumentar a trabalhabilidade e a resistência à compressão e conter a expansão em presença de água. Ela apresenta largura de 350 cm. A segunda camada é formada por brita graduada simples (BGS), atuando como uma camada drenante e possui 250 cm com 5 cm de espessura. Em seguida, é inserida a lona plástica e o pavimento de concreto com resistência à compressão de 18 MPa, sem armação, largura de 250 cm e espessura de 8 cm.

O pavimento possui ainda juntas cortadas e espaçadas a cada 300 cm. Recebe pintura para sinalização horizontal que divide a ciclovia em duas faixas, de acordo com o estabelecido nos planos cicloviários. A Figura 16 mostra como é a sinalização horizontal da ciclovia.

Figura 16 – Imagem ilustrativa da superfície do pavimento da ciclovia rígido, produzido em concreto, do trecho da Esplanada dos Ministérios, registrado durante a fase de inspeção dessa pesquisa



Pode-se notar na imagem acima os cortes feitos no pavimento e que divide a ciclovia em placas, duas faixas nas extremidades demarcadas com uma pintura vermelha que faz sinalização da delimitação do pavimento da ciclovia e uma faixa demarcatória seccionada sinalizada com pintura amarela para a divisão das duas faixas de trânsito. Percebe-se, também, a existência de elementos de borda dos dois lados do pavimento, produzidos em concreto, que não foram representados na imagem esquemática da estrutura do pavimento de ciclovia em estudo.

Ainda conforme informações repassadas pela NOVACAP, a vida útil de projeto dessa ciclovia é de 50 anos (MEIÇÓ, 2020). Dentro dessa vida útil, é importante saber os momentos em que são feitas as manutenções necessárias. Para a ciclovia analisada, a NOVACAP não possui essas informações, relatou apenas que houve algumas intervenções realizadas, mas que não há registros sobre quando foram feitas, os locais exatos e nem os serviços realizados (MEIÇÓ, 2020). Por isso, nesse caso, as inspeções realizadas auxiliaram no entendimento do comportamento do sistema construído e na avaliação do seu estado de conservação.

A Tabela 7 apresenta um resumo das informações obtidas nessa primeira etapa da pesquisa.

Tabela 7 - Informações obtidas na primeira etapa de caracterização da amostra

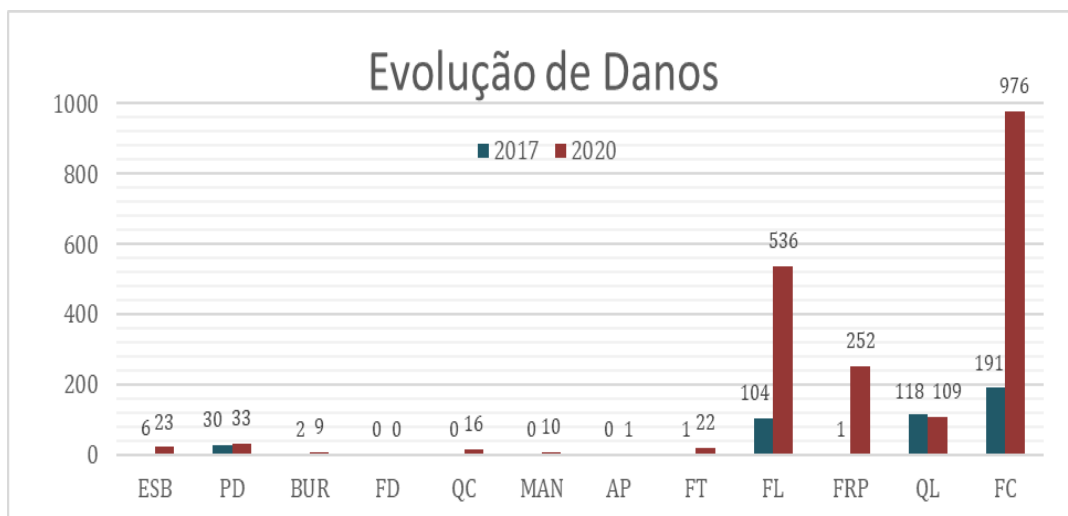
| | | |
|--|--|------------------|
| Identificação e localização | Ciclovia do canteiro central da Esplanada dos Ministérios, área central de Brasília-DF | |
| Extensão | 2,94 km | |
| Ano da Execução | 2013 | |
| Materiais e componentes do sistema | Cal, Brita graduada simples e concreto de fck = 18MPa | |
| Número de Placas | 996 | |
| Dimensões e espessura das camadas (Comprimento x Largura x Espessura) | Camada de BGS | 300 x 250 x 8 cm |
| | Camada de Concreto | 300 x 250 x 5 cm |
| Processo construtivo utilizado | Terraplanagem, regularização e adição de cal ao solo, construção da sub-base de BGS e pavimentação em concreto | |
| Vida útil de projeto | 50 anos | |
| Dados de inspeções realizadas anteriormente | Silva Júnior - 2017 | |
| Registro de ocorrência de manutenções | Nenhuma informação | |
| Plano de destinação final dos resíduos após o fim da vida útil | Não existe | |

4.2 INSPEÇÕES

A etapa de inspeção foi realizada no período de janeiro e fevereiro de 2020 e seguiu a metodologia do FDC desenvolvida por Silva Júnior (2018). Dessa forma, identificou-se os danos existentes e os comparou com os obtidos em inspeções realizadas por ele em 2017. Além disso, apurou-se a possibilidade de identificar de forma visual a existência de intervenções na superfície da camada de pavimento, já que Silva Júnior (2018) averiguou visualmente que não havia sido realizada nenhum tipo de manutenção no objeto de estudo.

Com base nos relatórios das inspeções realizadas em 2020, foram contabilizadas 1987 manifestações patológicas. A mais recorrente foi a fissura de canto (FC) com 976 incidências, seguida da fissura longitudinal (FL) com 536 incidências e da fissura de retração plástica (FRP) que apareceu 252 vezes no trecho estudado. Os números de ocorrências dos danos levantados nas vistorias realizadas nesse trecho em 2017 por Silva Júnior (2018) e em 2020 para essa pesquisa são apresentados na Figura 17.

Figura 17 – Incidência das manifestações patológicas encontradas em 2017 e 2020, que podem demonstrar a evolução de danos no trecho estudado



Os dados apresentados na figura anterior mostram que a incidência dos danos contabilizados por Silva Júnior (2018) aumentou, exceto os classificados como Quebra Lateral (QL). No caso da Fissura de Canto (FC), Fissura Longitudinal (FL), Fissura de Retração Plástica (FRP) e Fissura Transversal (FT), o aumento das incidências foi considerado significativo. As duas primeiras aumentaram sua incidência mais que o quádruplo das constatadas anteriormente. As

Fissuras de Retração Plástica apareceram 252 vezes a mais e as Fissuras Transversais 22 vezes a mais.

Apesar da pouca idade da ciclovia dentro da estimativa de vida útil de projeto que seria de 50 anos, o aumento dos valores de ocorrência desses danos chama a atenção, principalmente para um curto intervalo de tempo dos 3 anos entre as inspeções, pois esse intervalo não representa nem 10% da vida útil.

O crescimento demonstrado no número de fissuras pode estar diretamente relacionado à execução inadequada das juntas e a falta de selagem delas. Além disso, outra razão para o aumento constatado na Figura 17 pode ser o uso inadequado do pavimento. A circulação de veículos pela ciclovia e a fixação de estruturas para grandes eventos são exemplos de mau uso que provocam prejuízos ao desempenho do pavimento, pois ele não foi dimensionado para suportar tais cargas e ações. Na Figura 18 (a e b), são mostrados exemplos desse mal uso que trazem danos ao sistema.

Figura 18 - Uso inadequado da ciclovia: (a) fixação de estrutura para evento; (b) veículo estacionado sobre a ciclovia.



(a)

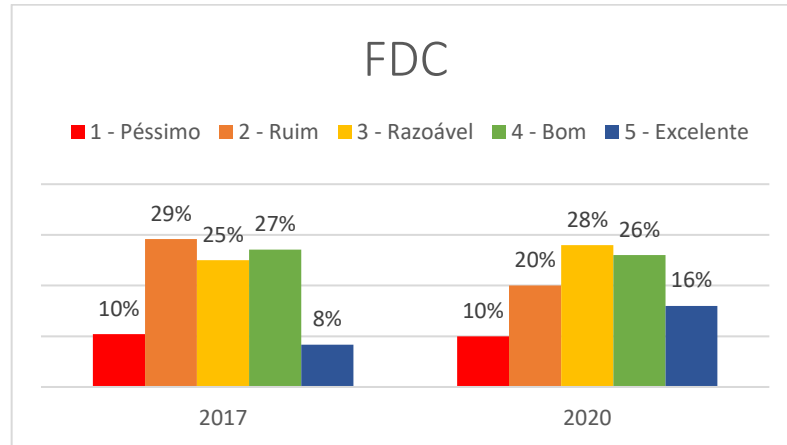
(b)

Fonte: Arquivo NOVACAP

Após a contabilização das manifestações patológicas identificadas durante a realização das inspeções, efetuou-se o cálculo do FDC e os resultados obtidos, quantidade de casos

conforme a condição de degradação, são apresentados na Figura 19, em forma de gráfico, juntamente com os valores encontrados em 2017 por Silva Júnior (2018).

Figura 19 - Quantidade de casos de FDC conforme a condição de degradação



Observando os valores encontrados para o FDC na Figura 19, é possível identificar que os trechos classificados como ‘péssimos’ continuaram com a mesma quantidade. Os trechos considerados ‘ruins’ e ‘bons’ diminuíram, enquanto que os ‘razoáveis’ aumentaram e os ‘excelentes’ dobraram. Essas mudanças podem ser atribuídas as intervenções realizadas em algumas placas que podem ter contribuído para melhorar a classificação de sua respectiva amostra, como exemplificados na Figura 20 (a e b).

Figura 20 – Exemplo de indícios de intervenções de manutenções realizadas detectados na superfície do pavimento pela alteração de cor e textura: (a) preenchimento para vedação de pequenas aberturas e (b) placas e segmentos de maior porte com restauração completa



(a)

(b)

Vale ressaltar que o aumento do número de manifestações patológicas contabilizadas não contribuiu para o aumento do índice FDC do trecho avaliado. Isso pode ter acontecido pelos danos encontrados serem, em sua maioria, de baixa severidade. É importante ressaltar que os danos existentes tendem a se agravar com o passar do tempo, podendo elevar o FDC, caso não sejam realizadas as manutenções adequadas.

Na inspeção realizada, foi possível identificar a ocorrência de intervenções em 16 placas no total de 996 placas existentes no trecho de ciclovia analisado, resultando em uma manutenção corretiva em menos de 2% de toda a extensão do trecho. Essa baixa porcentagem ainda está longe do ideal, visto que diversos trechos necessitam de reparos mais profundos.

Não há um histórico de como essas intervenções corretivas foram realizadas, sabe-se apenas que foram pontuais e ocorreram no intervalo entre as inspeções realizadas por Silva Júnior em 2017 e para esse trabalho em 2020. De acordo com a NOVACAP, os reparos são feitos quando solicitados pela população ou percebidos pela fiscalização do órgão (MEIÇÓ, 2020).

Diante da ausência de informações sobre um plano de manutenções ou de registros com informações sobre a realização de intervenções corretivas nas ciclovias, as inspeções realizadas auxiliaram no entendimento do comportamento do sistema construído e na avaliação do seu estado de conservação, servindo como diretriz para o estabelecimento de um cenário, servindo de referência para o desenvolvimento da ACV. Para esse cenário, considerou-se que a manutenção é repetida ao longo de toda a vida útil de projeto e que ocorre apenas a manutenção corretiva.

4.3 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

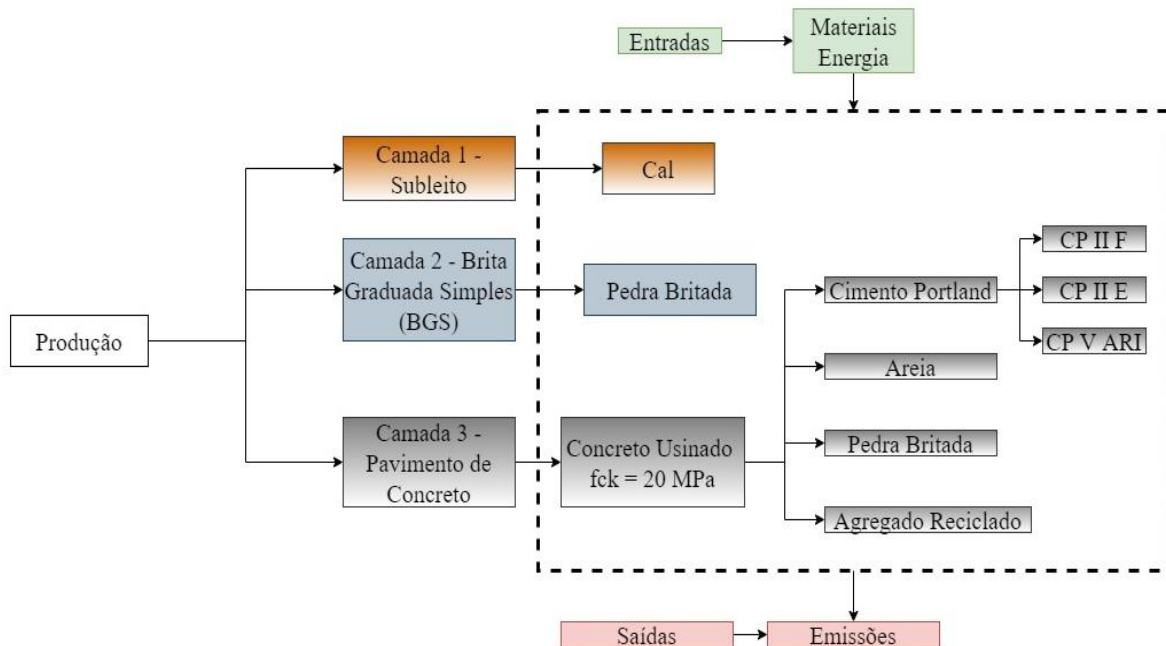
Uma das dificuldades para o estudo de ACV foi a obtenção de dados nacionais para a montagem do inventário da ciclovia. Apenas dados da produção de cimento estão disponíveis no Banco Nacional de Inventários de Ciclo de Vida (SICV Brasil). Portanto, foi necessário recorrer a base da Ecoinvent v 3.6 (2019) que é bastante completa e traz informações sobre os processos pertencentes a todas as etapas do ciclo de vida. Essa mudança pode trazer como consequência um distanciamento dos resultados quando comparado com a estrutura real.

A seguir serão descritos os fluxos presentes nas fases de produção do concreto, de transporte dos insumos, da construção do pavimento rígido da ciclovia, de uso e manutenções dessa estrutura até o fim da sua vida útil.

4.3.1 Materiais Empregados na Produção das Camadas da Ciclovía

Os materiais utilizados na ciclovía por camada que compõem a etapa de produção estão apresentados de forma resumida na Figura 21 e o inventário de cada um deles está descrito logo a seguir.

Figura 21 – Estrutura do inventário da etapa de produção por camada da ciclovía analisada



a) Cal

A cal hidratada é utilizada como adição ao solo visando melhorar algumas de suas propriedades. Para a composição do seu inventário, foi consultado o banco de dados brasileiro, porém não há informações sobre a produção desse insumo. Em função disso, recorreu-se aos dados da Ecoinvent. O inventário da cal está apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Resumo do inventário para 1 kg da cal hidratada

| Processo principal | Tipo de Fluxo | Fluxo | Quantidade | Unidade |
|--------------------|----------------------|--------------|--------------------|----------------|
| Cal Hidratada | Material | Cal virgem | 0,7690 | kg |
| | | Água | 8,45E-04 | m ³ |
| | | Eletricidade | 0,01272 | kWh |
| | Energia | Calor | 0,00141 | MJ |
| | | Emissões | Água lançada no ar | 9,03E-05 |
| | Água lançada na água | | 5,12E-04 | m ³ |

b) Cimento Portland

Segundo Neville e Brooks (2013), Cimento Portland é obtido pela combinação entre calcário, argila ou outros materiais silicosos, alumina e óxido de ferro. Essa mistura é queimada, resultando no clínquer, que é moído, e misturado a gipsita (sulfato de cálcio). Além disso, parte do clínquer é substituída por MCS para diminuir os custos e os danos ambientais.

Devido à falta de informações sobre o cimento utilizado nas ciclovias de Brasília, optou-se por adotar o CP II-F no inventário. Essa escolha se dá por algumas razões: é fabricado no Distrito Federal e é considerado de aplicação geral, sendo os mais encontrados no mercado nacional e os mais consumidos. Além disso, é recomendado pela ABCP (2018) como um dos mais adequados a ser aplicado em pavimentos de concreto simples ou armado.

Em 2013, ano em que a ciclovia estudada foi construída, a norma vigente do cimento CP II-F era a ABNT NBR 11578:1991. Ela determinava o limite de 6% a 10% para o fíler calcário e 94% a 90% de clínquer com sulfato de cálcio. Para o inventário, adotou-se o cimento com a maior porcentagem de fíler permitida pela norma vigente na época. Pressupõe-se que as cimenteiras tentam reduzir o custo do material produzido e uma das formas de isso acontecer é diminuindo a quantidade de clínquer que tem custo maior do que o fíler calcário. Além disso, a adição desse material à mistura traz alguns benefícios como o preenchimento de vazios entre os grãos de cimento, diminuindo a porosidade inicial e aumentando ligeiramente a resistência, no chamado efeito fíler (IRASSAR, 2015). Já as quantidades adotadas de sulfato de cálcio e dos componentes do clínquer (calcário, argila, silício e minério de ferro) foram retiradas do SICV Brasil.

Segundo os dados do Balanço Energético Nacional do ano de 2013, apresentados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a fonte energética da indústria cimenteira é composta pelo coque de petróleo, carvão vegetal, carvão mineral, lenha, óleo diesel, gás natural, óleo combustível e eletricidade. O consumo energético foi calculado com base na metodologia utilizada por Vieira *et al.* (2017) e com os dados fornecidos pela EPE (2014).

De acordo com o inventário do SICV Brasil, as emissões causadas por esse processo industrial geram como produtos dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio, partículas lançadas no ar, metano, outros compostos orgânicos voláteis não-metânicos (NMVOC), monóxido de dinitrogênio, monóxido de carbono e óxidos de enxofre.

A quantidade de cada um deles utilizada foi retirada do inventário do SICV com exceção dos três primeiros. O dióxido de carbono lançado pela indústria cimenteira foi obtido através do relatório anual do Sindicato Nacional Indústria do Cimento (SNIC, 2013). Em relação aos óxidos de nitrogênio e as partículas lançadas no ar, as emissões foram calculadas com base nos valores máximos estabelecidos na resolução do CONAMA 436 (BRASIL, 2011).

A Tabela 9 reúne as entradas e saídas explicadas anteriormente da produção do cimento.

Tabela 9 - Resumo do inventário para 1 kg de cimento Portland

| Processo principal | Tipo de Fluxo | Fluxo | Quantidade | Unidade | |
|-----------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------|----------------|----|
| Cimento 1 (kg) CP II F | Materiais | Clínquer | 0,8654 | kg | |
| | | Gesso | 0,0346 | kg | |
| | | Filler Calcário | 0,1 | kg | |
| | Energia/ Processamento | Eletricidade | 0,058 | kWh | |
| Clínquer (1 kg) | Materiais | Calcário | 0,9206 | kg | |
| | | Argila | 0,153 | kg | |
| | | Silício | 7,20E-03 | kg | |
| | | Minério de Ferro | 4,80E-03 | kg | |
| | Energia | Coque de petróleo (33 MJ/kg) | 0,09975 | kg | |
| | | Carvão Vegetal (31 MJ/kg) | 3,68E-03 | kg | |
| | | Carvão Mineral (20 MJ/kg) | 5,92E-03 | kg | |
| | | Lenha (15 MJ/kg) | 4,93E-03 | kg | |
| | | Óleo Diesel | 0,0406 | MJ | |
| | | Gás Natural (36 MJ/m ³) | 7,70E-04 | m ³ | |
| | | Óleo Combustível (40 MJ/kg) | 3,80E-04 | kg | |
| | | Eletricidade | 0,058 | kWh | |
| | | Emissões | Dióxido de carbono | 0,9425 | kg |
| | | | Monóxido de carbono | 0,0549 | kg |
| | Óxidos de Nitrogênio | | 4,70E-04 | kg | |
| | Metano | | 0,0259 | kg | |
| | Compostos orgânicos voláteis não metânicos, origem não especificada | | 8,28E-03 | kg | |
| | Monóxido de dinitrogênio | | 2,07E-03 | kg | |
| | | Partículas | 2,50E-04 | kg | |
| | | Óxidos de enxofre | 1,29 | kg | |

Para o estudo de substituições de materiais, foram utilizados outros dois tipos de cimentos produzidos na região: o primeiro com maior quantidade de MCS do que a referência (CP IV) e o segundo com uma menor quantidade (CP V ARI). Assim, é possível entender e quantificar os impactos causados ao meio ambiente por tipos diferentes de cimento. As quantidades de MCS desses outros cimentos foram adotadas com os valores máximos permitidos pelas normas em vigor na época da construção da ciclovia e estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Limites de composição dos cimentos Portland utilizados de acordo com as normas em vigor na época da construção da ciclovia

| Cimento Portland | Tipo | Clínquer + Sulfato de Cálcio (%) | Escória de alto-forno (%) | Material pozolânico (%) | Material carbonático (%) |
|-------------------------------|--------------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| CP II – F (referência) | Composto | 90 - 94 | 0 | 0 | 6 – 10 |
| CP IV | Pozolânico | 85 - 45 | 0 | 15 - 50 | 0 - 5 |
| CP V | Alta Resistência Inicial (ARI) | 95-100 | 0 | 0 | 0 - 5 |

Fonte: ABNT NBR 5736 (1991) e ABNT NBR 5733 (1991)

O inventário dos outros cimentos utilizados (CP IV e CP V ARI) estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Inventário para os outros cimentos estudados

| Processo principal | Tipo de Fluxo | Fluxo | Quantidade | Unidade |
|------------------------------------|---------------------------|------------------|-------------------|----------------|
| Cimento 1 (kg) CP IV | Materiais | Clínquer | 0,4154 | kg |
| | | Gesso | 0,0346 | kg |
| | | Filler Calcário | 0,05 | kg |
| | | Argila calcinada | 0,5 | kg |
| | Energia/ Processamento | Eletricidade | 0,058 | kWh |
| Cimento 1 (kg) CP V ARI | Materiais | Clínquer | 0,9154 | kg |
| | | Gesso | 0,0346 | kg |
| | | Filler Calcário | 0,05 | kg |
| | Energia/ Processamento | Eletricidade | 0,058 | kWh |

c) Agregado Miúdo

A produção de concreto da região costuma utilizar areia britada, pó de pedra ou areia de cava como agregado miúdo. O banco de dados brasileiro não traz dados sobre nenhum deles, por isso foi necessário recorrer aos dados do inventário da Ecoinvent. Encontrou-se informações sobre areia britada e areia de cava com dados brasileiros, optando-se pela primeira por ser mais utilizada que a segunda. Em relação ao pó de pedra, que também é muito usado na região, não consta no inventário.

Além disso, foram feitas algumas adaptações tomando por base o inventário adotado por Mello (2018), como: desconsiderar as perdas do processo e utilizar os mesmos fluxos do solo e energia, dispensando os de menor valor. As emissões empregadas são as mesmas do inventário da Ecoinvent. A Tabela 12 reúne as informações utilizadas para a areia.

Tabela 12 - Resumo do inventário para 1 kg de areia

| Processo principal | Tipo de Fluxo | Fluxo | Quantidade | Unidade |
|--------------------|---------------|----------------------|------------|-------------------|
| Areia | Material | Areia de quartzo | 1 | kg |
| | Solo | Ocupação | 0,015476 | m ² .a |
| | | Área de extração | 1,55E-04 | m ² |
| | Energia | Eletricidade | 1,30E-04 | kWh |
| | | Óleo diesel | 0,049911 | MJ |
| | Emissões | Água lançada no ar | 1,50E-04 | m ³ |
| | | Água lançada na água | 8,00E-03 | m ³ |

d) Agregado Graúdo

Assim como para a areia, o agregado graúdo também não consta no SICV Brasil. Desta maneira, foram utilizados os dados provenientes do inventário da Ecoinvent de pedra britada com algumas adaptações para a realidade brasileira. Além de compor o concreto, ela é também utilizada na camada anterior a do pavimento rígido. Os fluxos da brita estão reunidos na Tabela 13.

Tabela 13 - Resumo do inventário para 1 kg de agregado graúdo

| Processo principal | Tipo de Fluxo | Fluxo | Quantidade | Unidade |
|--------------------|---------------|------------------------------------|-------------|-------------------|
| Pedra britada | Material | Granito | 1 | kg |
| | | Água | 0,0205 | kg |
| | Solo | Ocupação de lago | 0,000009824 | m ² .a |
| | | Ocupação local de extração mineral | 2,358E-04 | m ² .a |
| | | Área de extração | 2,947E-06 | m ² |
| | Energia | Explosivo | 3,7E-04 | kg |
| | | Diesel | 0,027216 | MJ |
| | | Eletricidade | 2,74E-03 | kWh |
| | | Óleo lubrificante | 8,56E-06 | kg |
| | Emissões | Partículas < 2.5 µm | 0,000000217 | kg |
| | | Partículas >10 µm | 2,71E-06 | kg |
| | | Partículas entre 2.5 µm e 10 µm | 2,78E-06 | kg |
| | | Água | 2,05E-05 | kg |

e) Agregado Reciclado de Concreto

Assim como os outros agregados, não há registro do agregado reciclado no inventário SICV. Portanto, foram utilizadas as informações do inventário da Ecoinvent que estão apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Resumo do inventário para 1 kg de agregado reciclado de concreto

| Processo principal | Tipo de Fluxo | Fluxo | Quantidade | Unidade | |
|--------------------------------|---------------|----------------------|---------------------------------|----------|----|
| Agregado Reciclado de Concreto | Material | Resíduos de concreto | -1 | kg | |
| | Energia | Diesel | 0,0437 | MJ | |
| | Emissões | | Partículas < 2.5 µm | 1.66E-05 | kg |
| | | | Partículas >10 µm | 8.35E-05 | kg |
| | | | Partículas entre 2.5 µm e 10 µm | 6.34E-05 | kg |

f) Concreto

Não foram encontradas informações específicas, como o traço, sobre o concreto utilizado no pavimento rígido da ciclovia estudada. A única informação conhecida é a resistência à compressão adotada como sendo de 18 MPa. Portanto, foi necessário utilizar os dados contidos na Ecoinvent.

Utilizou-se o cimento, areia e brita e acrescentou-se a água e aditivo ao inventário do concreto. Os quantitativos desses constituintes, a energia e a emissão desse processo produtivo foi feita com base no concreto usinado de 20 MPa (resistência mais próxima da empregada pela NOVACAP no pavimento rígido), com cimento Portland e com dados válidos globalmente. A Tabela 15 apresenta um resumo do inventário desse material.

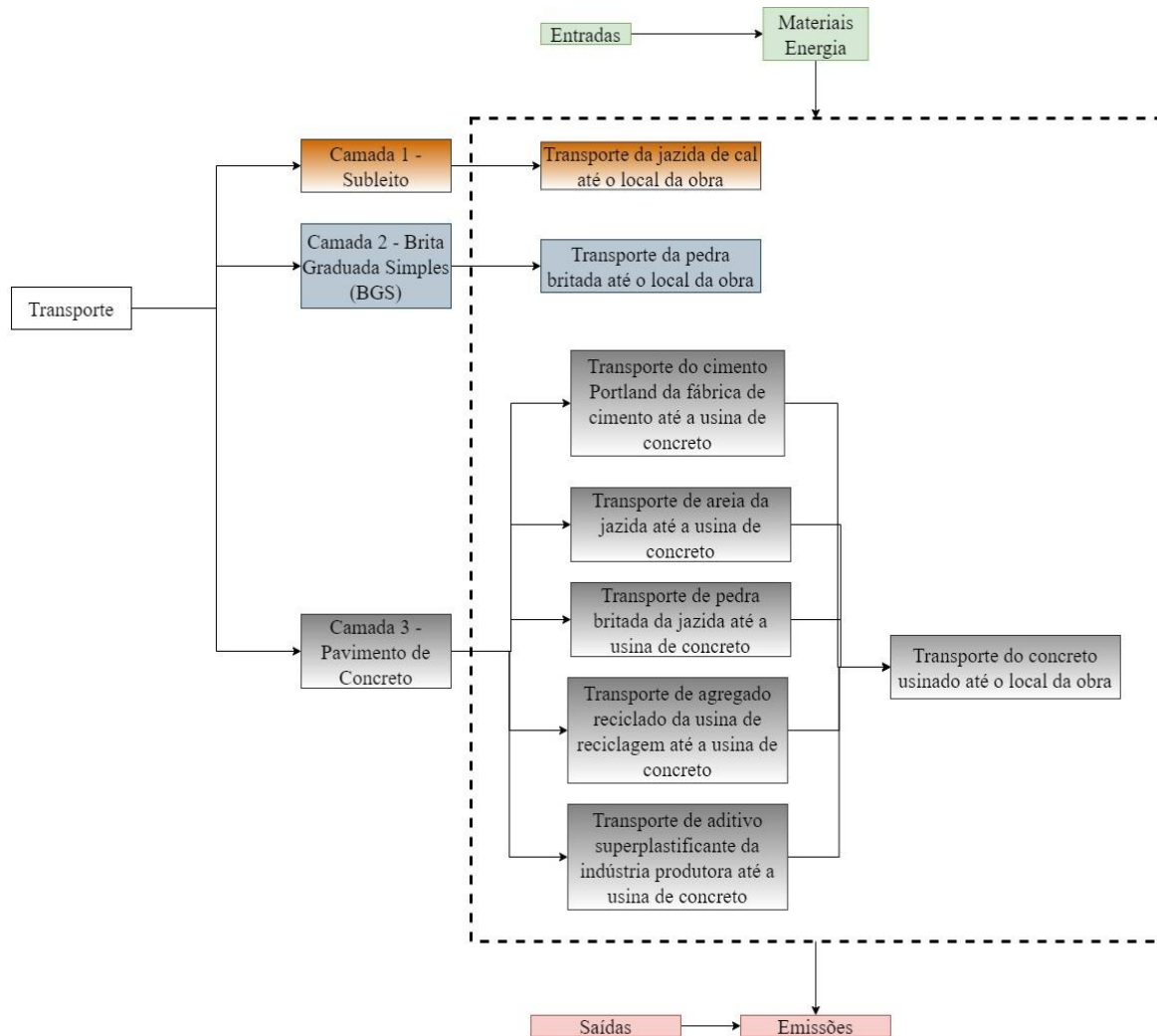
Tabela 15 - Resumo do inventário para 1 m³ de concreto usinado com resistência à compressão de 20 MPa

| Processo principal | Tipo de Fluxo | Fluxo | Quantidade | Unidade |
|---|---------------|----------------------------|------------|----------------|
| Concreto usinado 1 (m ³) 20MPa | Materiais | Cimento - CP II F | 309 | kg |
| | | Areia | 766,32 | kg |
| | | Brita | 1149,5 | kg |
| | | Água | 262,65 | kg |
| | | Aditivo Superplastificante | 2,2915 | kg |
| | Energia | Eletricidade | 3,0797 | kWh |
| | Emissão | Água para o ar | 0,03708 | m ³ |

4.3.2 Transporte dos Materiais

Em relação aos materiais que compõem o concreto, dois cenários de transporte precisam ser incluídos nessa pesquisa. O primeiro refere-se a distância das matérias-primas do concreto (cimento e agregados) até as concreteiras e o segundo representa o concreto usinado que percorre o trajeto da concreteira até o local da obra. A Figura 22 traz esses deslocamentos considerados na montagem do inventário.

Figura 22 - Estrutura do inventário da etapa de transporte por camada da ciclovia analisada



Em todos esses cenários, considerou-se que os materiais foram produzidos no Distrito Federal, conforme informações obtidas com a NOVACAP (MEIÇÓ, 2020). As exceções foram o aditivo e a cal que não possuem no território do DF indústrias produtoras e jazidas, respectivamente. Portanto, realizou-se um levantamento das indústrias dos demais materiais utilizando sites de associações e buscas no *Google Maps* de empresas situadas no DF. Ao final, foram encontradas 2 cimenteiras (fábricas de cimento), ambas localizadas na região administrativa da Fercal. Além disso, espalhadas pelo DF, há 2 jazidas de areia, 3 produtores de pedra britada incluindo as cimenteiras que também comercializam esse produto e 18 usinas de concreto. Todos esses locais estão apresentados no Anexo A.

Em seguida calculou-se as distâncias utilizando o *Google Maps* dos trajetos: cimenteira até a usina de concreto, jazida de agregados até a usina de concreto e usina de concreto até a obra.

Foram adotadas as menores distâncias fornecidas e feitas todas as possibilidades para encontrar as distâncias médias de cada um desses trajetos. Essas informações estão reunidas no Anexo B. A distância da BGS foi considerada como tendo origem nos fornecedores de brita até o local da obra da ciclovia. Foi adotada a distância média igual a 40 km.

A água para a produção do concreto foi considerada da rede pública de abastecimento, conforme consta no inventário da Ecoinvent. Dessa forma, foi desconsiderado o seu transporte até a usina de concreto.

Em relação ao aditivo, foi feito um levantamento das principais indústrias produtoras desse material em outros estados, visto que não há indústrias instaladas no Distrito Federal. Optou-se por fazer a média das três indústrias mais próximas. Isso porque a escolha de fornecedores mais distantes tornaria o produto mais caro. Realizou-se um levantamento dessas indústrias em sites de associações e buscas no *Google Maps*. Os produtores de aditivo encontrados, destacando os três mais próximos que foram utilizados no cálculo da distância adotada, estão apresentados detalhadamente no Anexo C.

Essa mesma metodologia foi aplicada para as jazidas de cal. Os maiores produtores desse material estão concentrados nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná (ABPC, 2014). Fez-se um levantamento dos principais produtores e foi feita a média dos três mais próximos, assim como feito para o aditivo. Os produtores de cal espalhados pelo Brasil, destacando os três mais próximos ao DF, estão apresentados no Anexo D.

Por falta de dados sobre os transportes utilizados, a escolha do processo no inventário da Ecoinvent foi baseada no trabalho de Silva (2015) que também foi utilizada no trabalho de Mello (2018). Silva (2015) sugere adotar o caminhão a diesel com capacidade de 32 toneladas para o transporte do cimento e aditivo e o caminhão a diesel com capacidade entre 16 e 32 toneladas para transportar os agregados.

Para o transporte do concreto usinado, foi definido o uso de caminhões betoneiras de 8 m³, considerado o modelo mais comum empregado para mistura e transporte. Entretanto não consta no inventário da Ecoinvent nenhum tipo de transporte que seja semelhante a esse. Portanto, foi escolhido o caminhão a diesel com capacidade entre 16 e 32 toneladas por estar próximo da capacidade dos caminhões-betoneiras utilizados. Para a cal, adotou-se o mesmo caminhão que utilizado para o cimento.

Em resumo, todas as distâncias e processos explicados anteriormente estão apresentados na Tabela 16.

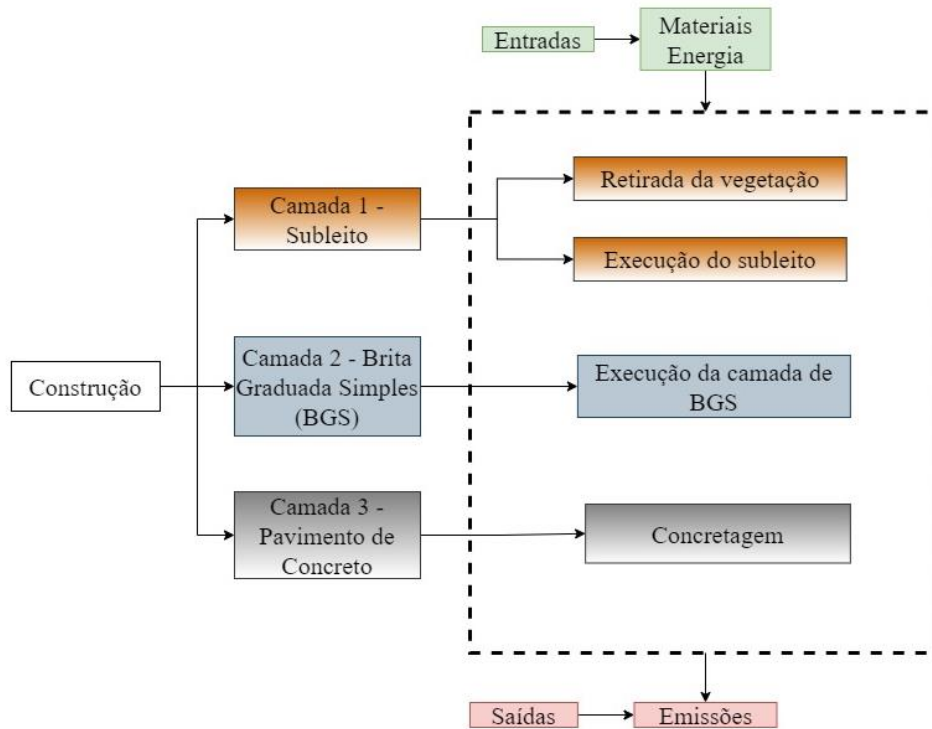
Tabela 16 - Resumo do inventário dos transportes dos materiais

| Tipo de Fluxo | Fluxo | Distância (km) | Processo |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------|--|
| Transporte | Cal | 698 | transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4, GLO |
| | Brita Graduada Simples | 20 | transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4, GLO |
| | Cimento | 56 | transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4, GLO |
| | Brita | 40 | transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4, GLO |
| | Areia | 36 | transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4, GLO |
| | Agregado Reciclado de Concreto | 37 | transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4, GLO |
| | Aditivo Superplastificante | 547 | transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4, GLO |
| | Concreto Usinado | 20 | transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4, GLO |

4.3.3 Construção da Ciclovía

A etapa de construção é constituída dos equipamentos utilizados. Não foram encontradas informações sobre o maquinário utilizado na ciclovía estudada. Entretanto, tomou-se como base projetos de ciclovias semelhantes executadas recentemente pela NOVACAP. Portanto, considerar os mesmos equipamentos é válido, pois o processo executivo é o mesmo, em conformidade com informações da NOVACAP. Os serviços e maquinários utilizados foram obtidos através da base de dados SINAPI que é a referência para obras públicas. A construção da ciclovía foi dividida em quatro partes principais e pode ser visualizado na Figura 23.

Figura 23 – Estrutura do inventário da etapa de construção por camada da ciclovia analisada



A construção da ciclovia foi dividida em quatro partes principais. A primeira etapa é composta pela retirada da vegetação que pode ser feita de forma manual ou mecanizada. Na ACV estudada, foi considerada como sendo realizada por motoniveladora. O entulho gerado nesse processo é colocado no caminhão com o auxílio de uma pá carregadeira e levado até a Unidade de Recebimento de Entulhos, localizada na Cidade Estrutural-DF (URE-Estrutural), qualificada como aterro controlado desde 2017, sendo a única área de transbordo, triagem e reciclagem (ATTR) pública do Distrito Federal.

Em seguida, o solo recebe uma mistura de 5% de cal e a terraplenagem é realizada com um caminhão basculante e uma pá carregadeira. Após isso, o subleito é compactado utilizando um compactador de placa.

Posteriormente, executa-se a camada de BGS utilizando caminhão para transporte e descarga, o espalhamento dessa brita é feita com uma motoniveladora e utiliza-se para a compactação um rolo compactador. Nessa etapa também é feita a instalação das guias que não será considerada na ACV dessa pesquisa.

Em seguida, deve-se colocar uma lona plástica para receber o concreto. Por fim, ocorre a concretagem, realizada diretamente do caminhão betoneira, seguida pelo adensamento do concreto utilizando uma régua vibratória. Em seguida, vassouras são utilizadas para dar a textura adequada ao pavimento e os cortes das juntas são executados com o auxílio de uma cortadora de piso. As composições utilizadas como base para obter os quantitativos de cada um desses equipamentos estão apresentadas no Anexo E. As informações sobre os equipamentos estão apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Equipamentos utilizados na execução de ciclovias pela Novacap

| Etapa | Código do SINAPI | Descrição | Quantidade | Unidade |
|----------------------------------|-------------------------|---|-------------------|----------------|
| Retirada da vegetação | 5932 | Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 HP, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m para 1 m ² | 0,003 | CHP |
| | 5811 | Caminhão basculante 6 m ³ , peso bruto total 16.000 kg, carga útil máxima 13.071 kg, distância entre eixos 4,80 m, potência 230 HP, inclusive caçamba metálica para 1 m ³ | 0,007 | CHP |
| | 5940 | Pá carregadeira sobre rodas, potência líquida 128 HP, capacidade da caçamba 1,7 a 2,8 m ³ , peso operacional 11632 kg para 1 m ³ | 0,018 | CHP |
| Execução do subleito | 5811 | Caminhão basculante 6 m ³ , peso bruto total 16.000 kg, carga útil máxima 13.071 kg, distância entre eixos 4,80 m, potência 230 HP, inclusive caçamba metálica para 1 m ³ | 0,007 | CHP |
| | 5940 | Pá carregadeira sobre rodas, potência líquida 128 HP, capacidade da caçamba 1,7 a 2,8 m ³ , peso operacional 11.632 kg para 1 m ³ | 0,018 | CHP |
| | 91277 | Placa vibratória reversível com motor 4 tempos a gasolina, força centrífuga de 25 kN (2500 kgf), potência 5,5 HP para 1 m ³ | 0,125 | CHP |
| Execução da camada de BGS | 5901 | Caminhão pipa 10.000 l trucado, peso bruto total 23.000 kg, carga útil máxima 15.935 kg, distância entre eixos 4,8 m, potência 230 HP, inclusive tanque de aço | 0,0058 | CHP |
| | 5932 | Motoniveladora potência básica líquida (primeira marcha) 125 HP, peso bruto 13032 kg, largura da lâmina de 3,7 m para 1 m ³ | 0,0077 | CHP |
| | 96463 | Rolo compactador de pneus, estático, pressão variável, potência 110 HP, peso sem/com lastro 10,8/27 t, largura de rolagem 2,30 m para 1 m ³ | 0,0039 | CHP |
| Concretagem | 90586 | Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico potência de 2 HP para 1 m ³ | 0,066 | CHP |
| | 91283 | Cortadora de piso com motor 4 tempos a gasolina, potência de 13 HP, com disco de corte diamantado segmentado para concreto, diâmetro de 350 mm, furo de 1" (14 x 1") para 1 m | 0,0062 | CHP |

Consultando o inventário da Ecoinvent, observa-se que ele apresenta diversos equipamentos caracterizados através do processo energético, da potência e do fator de carga. O processo escolhido para representar os equipamentos estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Resumo do inventário dos equipamentos para construção

| Etapa | Fluxo | Quantidade | Unidade | Processo |
|----------------------------------|---------------------|-------------------|----------------|--|
| Retirada da vegetação | Motoniveladora | 0,003 | h | machine operation, diesel, >= 74.57 kW, high load factor |
| | Caminhão Basculante | 0,007 | h | machine operation, diesel, >= 74.57 kW, low load factor |
| | Pá Carregadeira | 0,018 | h | machine operation, diesel, >= 74.57 kW, high load factor |
| Transporte | Aterro | 17 | km | transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4, GLO |
| Execução do subleito | Caminhão Basculante | 0,007 | h | machine operation, diesel, >= 74.57 kW, low load factor |
| | Pá Carregadeira | 0,018 | h | machine operation, diesel, >= 74.57 kW, high load factor |
| | Placa Vibratória | 0,125 | h | machine operation, diesel, < 18.64 kW, steady-state |
| Execução da camada de BGS | Caminhão Basculante | 0,0058 | h | machine operation, diesel, >= 74.57 kW, low load factor |
| | Motoniveladora | 0,0077 | h | machine operation, diesel, >= 74.57 kW, high load factor |
| | Rolo Compactador | 0,0039 | h | machine operation, diesel, >= 74.57 kW, high load factor |
| Concretagem | Vibrador de Imersão | 0,066 | h | machine operation, diesel, < 18.64 kW, high load factor |
| | Cortadora de Piso | 0,0062 | h | machine operation, diesel, < 18.64 kW, high load factor |

4.3.4 Uso e Manutenções

Para o desenvolvimento dessa etapa do ciclo de vida, por não haver um controle de tráfego que permita obter dados ou informações sobre o uso da ciclovias e nem o registro de um plano de manutenção estabelecido, foram construídos três cenários referentes a etapa de uso e manutenção, que permitissem avaliar como o impacto dessa etapa pode influenciar na Análise do Ciclo de Vida.

Com a intenção de simplificar o modelo, após verificação dos danos existentes nas ciclovias de pavimento rígido, não foi identificado problemas causados pelo tráfego de bicicletas ou patinetes, podendo retirar dos cenários qualquer alteração causada pelo uso da ciclovias.

Os cenários estabelecidos partem do modelo referência que é o modelo atual, variando-os para um primeiro cenário, sem a ocorrência de manutenções realizadas na ciclovias,

considerado mais severo, e um terceiro com manutenções periódicas, considerado ótimo. São eles:

- Cenário 1: sem manutenção durante a vida útil da ciclovia;
- Cenário 2: apenas manutenções corretivas, semelhante ao que já ocorre na ciclovia estudada; e
- Cenário 3: com manutenções nas amostras classificadas como ‘péssimas’, elevando o FDC delas para ‘bom’.

O primeiro cenário foi pensado de forma a reproduzir uma situação que predomina: a ausência total de manutenção. Em especial, costuma ser mais frequente em obras públicas, seja por falta de um plano de manutenção, recursos financeiros ou funcionários, aquisição de materiais ou contratação de serviços para a realização dessas atividades (CARLINO, 2012).

Já o segundo cenário foi montado com base no resultado obtido pelas inspeções. Isso porque não foi encontrado registro ou histórico com informações sobre as intervenções realizadas. Sabe-se apenas que ocorreram no intervalo entre as inspeções realizadas em 2017 e em 2020. Dessa forma, para esse cenário, considerou-se que a manutenção corretiva ocorre de forma repetida ao longo de toda a vida útil, onde as intervenções são feitas somente nas placas que apresentem problemas e não na ciclovia completa.

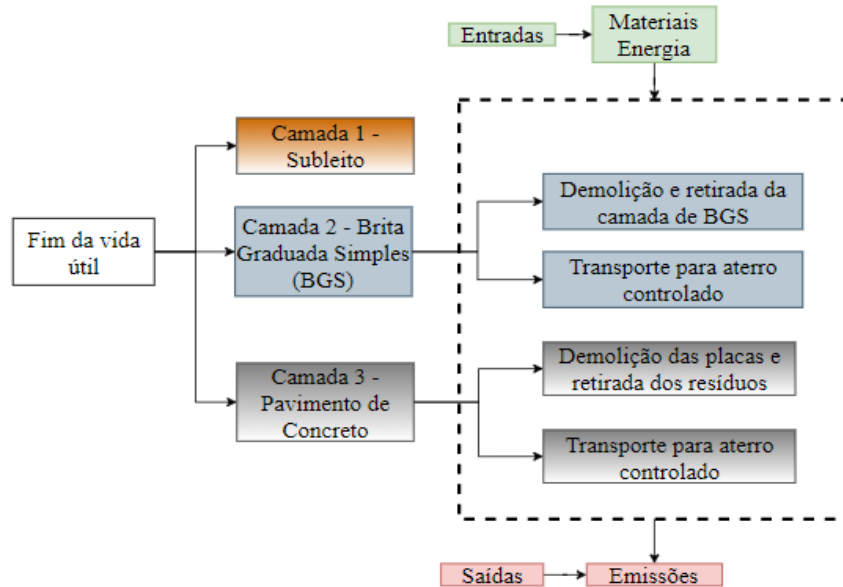
O terceiro cenário foi pensado com base na elaboração de um plano de manutenção. Devido à falta de referências de especificações de manutenções para ciclovias e especialmente para esse tipo de pavimento, foi utilizado como referência o Manual de recuperação de pavimento rígido do DNIT (2010). Ele apresenta algumas diretrizes, orientando quando a placa necessita de intervenção total ou parcial. Com base nos resultados das inspeções e nessas orientações, foi montado um plano de manutenção para elevar os índices das amostras de forma a atender os usuários de forma satisfatória.

Para tornar possível a realização dessa etapa, houve a necessidade de algumas simplificações. O inventário das manutenções foi constituído pelos mesmos processos das etapas de produção, transporte, construção e demolição. Além disso, o período entre as manutenções foi considerado o mesmo ao longo de toda a vida útil devido à inexistência de informações sobre periodicidade de intervenções. Além disso, o manual para pavimento rígido rodoviário do DNIT (2010) não traz informações ou recomendações sobre um intervalo de tempo entre as intervenções de manutenções.

4.3.5 Fim da Vida Útil

O fim da vida útil foi considerado como o marco temporal onde o pavimento não atende mais aos requisitos necessários. No processo de desconstrução, foi considerado o modelo de demolição do sistema apresentado na Figura 24.

Figura 24 - Estrutura do inventário da etapa de demolição por camada da ciclovia analisada



Não há informações sobre como essa etapa seria executada pela NOVACAP, nem sobre a destinação dos resíduos ao final da vida útil. Por isso, os processos adotados foram baseados em pequenos trechos demolidos recentemente em obras semelhantes para reconstrução.

Para a fragmentação das placas de concreto e a remoção da camada de BGS foi considerado o uso de marteleto, e os resíduos colocados em um caminhão basculante com uma pá carregadeira. Assim como na construção, os equipamentos foram retirados do SINAPI. Eles estão apresentados na Tabela 19 e os detalhes das composições estão no Anexo E.

Tabela 19 - Equipamentos utilizados na demolição de ciclovias e calçadas

| Código do SINAPI | Descrição | Quantidade | Unidade |
|------------------|---|------------|---------|
| 5795 | Marteleto ou rompedor pneumático manual, 28 kg, com silenciador | 1,5562 | CHP |
| 5811 | Caminhão basculante 6 m ³ , peso bruto total 16.000 kg, carga útil máxima 13.071 kg, distância entre eixos 4,80 m, potência 230 HP, inclusive caçamba metálica | 0,003 | CHP |
| 5940 | Pá carregadeira sobre rodas, potência líquida 128 HP, capacidade da caçamba 1,7 a 2,8 m ³ , peso operacional 11632 kg | 0,08 | CHP |

Após a demolição, os resíduos de construção civil produzidos pelas empresas públicas do Distrito Federal costumam ser levados até o aterro controlado do Jóquei, localizado na Cidade Estrutural. Esses resíduos são contabilizados em unidades de volume (metro cúbico) e esse volume deve ser considerado como tendo um fator de empolamento de 2 para entulho, conforme recomendação de Mattos (2006). O resumo do inventário da etapa de demolição com os processos escolhidos no inventário da Ecoinvent está exposto na Tabela 20.

Tabela 20 – Resumo do inventário da demolição de 1m³ das camadas de concreto e BGS

| Tipo de Fluxo | Fluxo | Quantidade | Unidade | Processo |
|---------------|---------------------|------------|---------|--|
| Equipamentos | Martelete | 1,5562 | h | machine operation, diesel, < 18.64 kW, high load factor |
| | Caminhão Basculante | 0,003 | h | machine operation, diesel, >= 74.57 kW, low load factor |
| | Pá Carregadeira | 0,08 | h | machine operation, diesel, >= 74.57 kW, high load factor |
| Transporte | Aterro | 17 | km | transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4, GLO |

4.4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Os resultados dos estudos de ACV foram divididos em análises por camada, etapas do ciclo de vida e materiais. Essa separação foi realizada para facilitar a inclusão dos dados no programa e a comparação e interpretação dos resultados que estão apresentados a seguir.

4.4.1 Por camadas

A primeira análise de ACV trata-se de observar o impacto causado por cada camada que compõe a estrutura da ciclovia:

- Subleito: solo local com adição de 5% de cal, largura de 350 cm e espessura adotada para os serviços realizados de 10 cm, a mesma utilizada nas composições de orçamento da NOVACAP;
- Brita graduada simples (BGS): 250 cm de largura e 5 cm de espessura;
- Pavimento de concreto: concreto com resistência de 20 MPa, sem armação, largura de 250 cm, espessura de 8 cm e juntas a cada 300 cm.

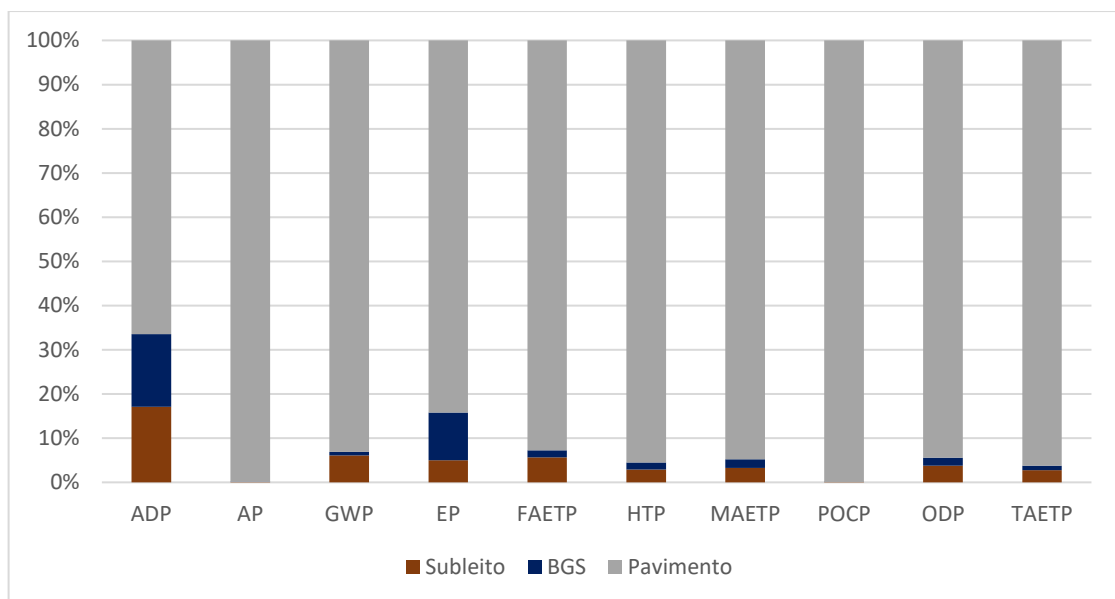
Cada uma dessas camadas foi analisada em unidade de volume (metro cúbico) para a ciclovia completa. Além disso, foram incluídas as etapas de produção, transporte dos insumos e a própria construção da camada. A demolição foi desconsiderada, pois os serviços de demolição

presentes nas planilhas da NOVACAP não consideram essa etapa para o subleito. Essas informações estão reunidas na Tabela 21 e na Figura 25.

Tabela 21 – Valores dos impactos por camada

| Categorias de impacto | Sigla | Unidade | Subleito | BGS | Pavimento |
|--|--------------|------------------------|-----------------|------------|------------------|
| Potencial de depleção abiótica | ADP | kg antimony-Eq | 7,912E-02 | 7,591E-02 | 3,068E-01 |
| Potencial de acidificação | AP | kg SO ₂ -Eq | 1,328E+02 | 1,806E+02 | 2,055E+05 |
| Potencial de aquecimento global | GWP | kg CO ₂ -Eq | 2,027E+04 | 2,679E+03 | 3,113E+05 |
| Potencial de eutrofização | EP | kg PO ₄ -Eq | 1,279E+01 | 2,761E+01 | 2,148E+02 |
| Potencial de ecotoxicidade de águas doces | FAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,051E+02 | 2,988E+01 | 1,723E+03 |
| Potencial de toxicidade humana | HTP | kg 1,4-DCB-Eq | 3,584E+03 | 1,943E+03 | 1,173E+05 |
| Potencial de ecotoxicidade de águas marinhas | MAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 2,318E+06 | 1,414E+06 | 6,781E+07 |
| Potencial de criação de ozônio fotoquímico | POCP | kg ethylene-Eq | 5,744E+00 | 2,916E+00 | 1,012E+04 |
| Potencial de depleção de ozônio | ODP | kg CFC-11-Eq | 1,109E-03 | 5,475E-04 | 2,789E-02 |
| Potencial de ecotoxicidade terrestre | TAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 4,937E+01 | 1,832E+01 | 1,711E+03 |

Figura 25 - Contribuição percentual das camadas componentes da ciclovia em casa uma das categorias de impacto verificadas



Observando os resultados, fica evidente que a camada de pavimento rígido responde pela maior parte dos impactos nas diversas categorias, representando mais de 92% para todas as categorias analisadas, exceto para o potencial de depleção abiótica (ADP) e o potencial de eutrofização (EP). Mesmo assim, ainda é a camada com maior porcentagem de impacto nesses dois com 66,4% e 84,2%, respectivamente.

O maior impacto apresentado pela camada de BGS foi detectado nas categorias de ADP e EP, respondendo por 16,4% e 10,8%, respectivamente. A forma de extração da brita, que utiliza

explosivos, é a causa para esse valor mais alto. No subleito, o impacto causado pela cal adicionada ao solo contribui para que a categoria ADP fique com 17,1% do impacto total. Nesse caso, o processo de transporte do bota-fora é o responsável por esse valor, mais precisamente pelo fluxo que compõe a manutenção do veículo que representa 75% de contribuição direta.

De uma forma geral, os resultados por camada revelam que o pavimento rígido em concreto é o maior responsável pelo impacto em todas as categorias analisadas. Portanto, otimizar essa camada mais externa pode resultar numa redução mais significativa dos impactos gerados pela ciclovia.

Observou-se que os resultados isolados por camada não geram uma avaliação adequada do modelo de ciclovia, pois as camadas apresentam espessuras e volume de materiais diferentes, que não foi levado em consideração nessa análise preliminar. Por isso, faz-se necessário que outras ACV sejam feitas com foco nas etapas e nos materiais, de forma conjunta, resultando no aumento da eficiência ambiental do sistema.

4.4.2 Por etapas

Nessa fase do estudo, a identificação das emissões geradas em cada etapa do ciclo de vida da ciclovia é um dos principais resultados a serem obtidos dentro da metodologia de ACV. As etapas analisadas para a ciclovia estudada foram de produção dos materiais, transporte desses insumos, construção da ciclovia, manutenção do pavimento e demolição ao final da vida útil. A etapa de uso não foi incluída na avaliação por não haver dados ou informações sobre o impacto causado pelo tráfego na ciclovia.

Em relação a etapa de manutenção, as únicas informações disponíveis são as provenientes das inspeções realizadas. Para inserir essa fase no ciclo de vida da ciclovia, foram avaliados três cenários, como mencionado anteriormente:

- Cenário 1: sem manutenção durante a vida útil da ciclovia;
- Cenário 2: com manutenções corretivas;
- Cenário 3: com manutenções preventivas.

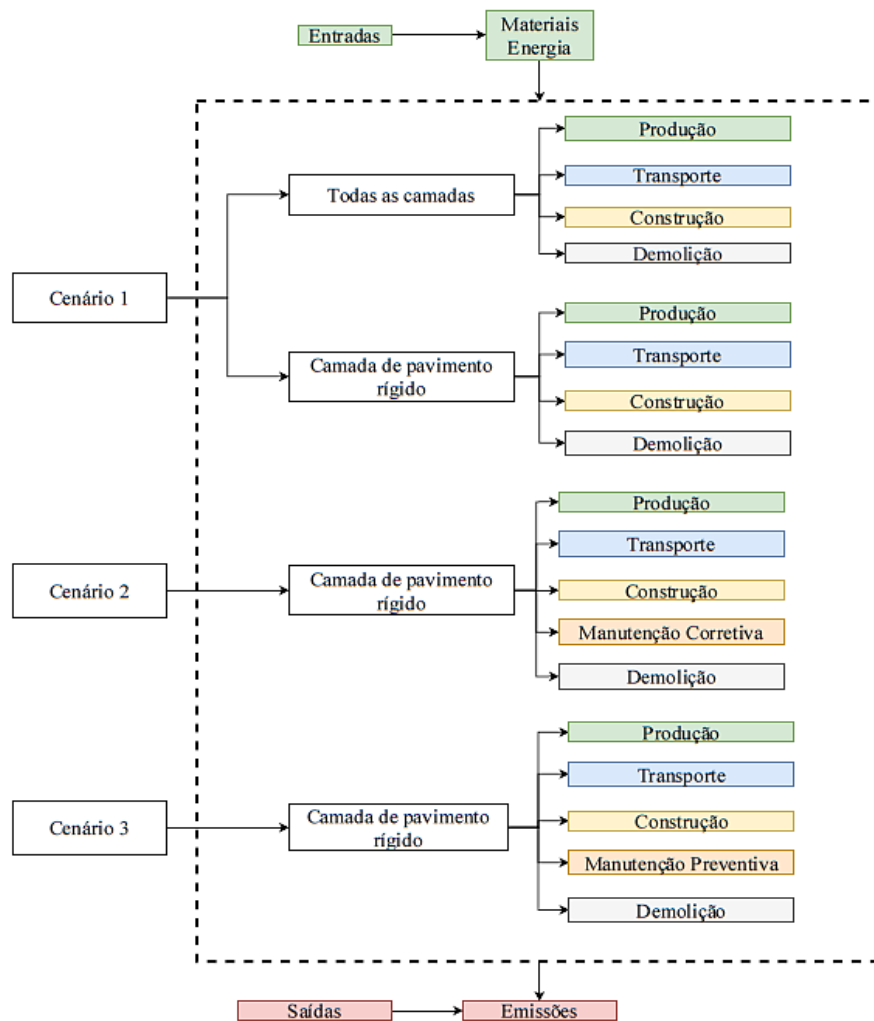
Como as intervenções são feitas apenas na camada mais externa (pavimento rígido), foram feitas avaliações para todas as camadas apenas no cenário 1 e para a camada de concreto em

todos os cenários. Assim, é possível observar o impacto por etapa com todas as camadas e também entendendo a influencia causada pelos diferentes cenários de manutenção.

É importante destacar que as intervenções são feitas apenas na camada mais externa, ou seja, a de pavimento rígido. Portanto, nos dois últimos cenários estudados foram considerados apenas a existência dessa camada.

A Figura 26 traz um resumo das etapas avaliadas em cada um dos cenários.

Figura 26 – Etapas analisadas por camada em cada cenário



4.4.2.1 Cenário 1

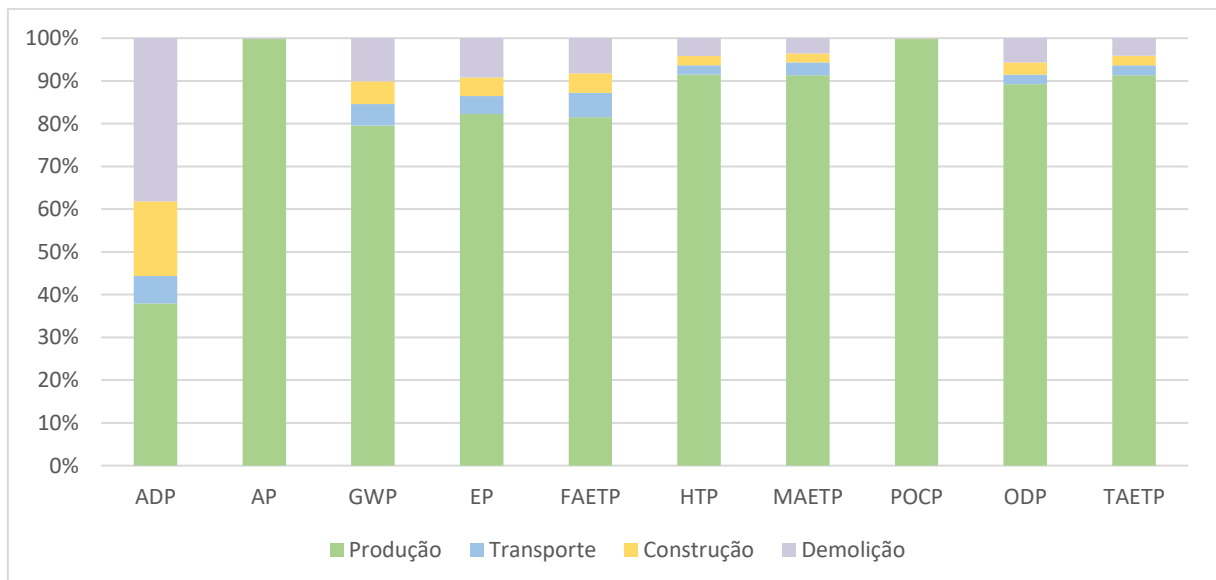
O primeiro cenário do ciclo de vida montado considera que não ocorre nenhum tipo de intervenção no sistema de pavimentação da ciclovia durante toda a sua vida útil. Nesse modelo, em um primeiro momento, serão analisadas todas as camadas que compõem o

sistema. Os valores de cada uma das etapas estão apresentados na Tabela 22 e de forma gráfica para melhor visualização na Figura 27.

Tabela 22 – Valores obtidos para cada uma das categorias de impacto por etapa do ciclo de vida da ciclovía do Cenário 1

| Categorias de impacto | Unidade | Produção | Transporte | Construção | Demolição |
|--|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Potencial de depleção abiótica - ADP | kg antimony-Eq | 1,752E-01 | 2,961E-02 | 8,067E-02 | 1,763E-01 |
| Potencial de acidificação - AP | kg SO ₂ -Eq | 2,055E+05 | 1,073E+02 | 1,096E+02 | 2,217E+02 |
| Potencial de aquecimento global - GWP | kg CO ₂ -Eq | 2,761E+05 | 1,754E+04 | 1,825E+04 | 3,516E+04 |
| Potencial de eutrofização -EP | kg PO ₄ -Eq | 2,171E+02 | 1,102E+01 | 1,151E+01 | 2,420E+01 |
| Potencial de ecotoxicidade de águas doces - FAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,561E+03 | 1,100E+02 | 8,664E+01 | 1,577E+02 |
| Potencial de toxicidade humana- HTP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,140E+05 | 2,754E+03 | 2,662E+03 | 5,235E+03 |
| Potencial de ecotoxicidade de águas marinhas - MAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 6,624E+07 | 2,146E+06 | 1,512E+06 | 2,613E+06 |
| Potencial de criação de ozônio fotoquímico - POCP | kg ethylene-Eq | 1,011E+04 | 4,230E+00 | 4,722E+00 | 9,769E+00 |
| Potencial de depleção de ozônio - ODP | kg CFC-11-Eq | 2,693E-02 | 6,717E-04 | 8,519E-04 | 1,720E-03 |
| Potencial de ecotoxicidade terrestre - TAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,650E+03 | 4,195E+01 | 3,952E+01 | 7,478E+01 |

Figura 27 – Contribuição, em percentual, em cada categoria de impacto de cada uma das etapas do ciclo de vida, obtido pelo Cenário 1



Nota-se a maior contribuição aos impactos da etapa de produção, em quase todas as categorias analisadas. A exceção é a primeira categoria, onde demolição e produção apresentam respectivamente 38,2% e 37,9%, tendo quase a mesma contribuição. Portanto, de uma forma

geral, é importante para a ciclovía escolher materiais e adotar processos produtivos menos prejudiciais ao meio ambiente.

As menores contribuições desse cenário ficam com as etapas de transporte e construção. A baixa contribuição do transporte pode estar associada ao fato de que a maior parte dos insumos empregados na produção terem sido produzidos na região, assim como recomendado na literatura (OLIVER-SOLÀ *et al.*, 2009; MENDOZA *et al.*, 2012), portanto tendo baixas distâncias percorridas, inferior a 56 km. Já a fase de construção possui poucos equipamentos associados e com valores horários de trabalho baixos, conforme informações obtidas do SINAPI para serviços semelhantes.

Foi realizado um refinamento do modelo, passando a fazer a verificação das categorias de impacto em cada camada separadamente: subleito (camada C1), brita graduada (camada C2) e concreto (camada C3). Vale ressaltar que no modelo criado na camada do subleito não é realizada a etapa de demolição. As informações dos impactos de cada uma estão apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 - Contribuição de cada camada nas etapas do ciclo de vida para cada uma das categorias de impacto avaliadas do Cenário 1

| Categorias de impacto | Produção | | | Transporte | | | Construção | | | Demolição | |
|-----------------------|----------|-------|-------|------------|-------|-------|------------|------|------|-----------|-------|
| | C1 | C2 | C3 | C1 | C2 | C3 | C1 | C2 | C3 | C2 | C3 |
| ADP | 0,3% | 3,1% | 96,6% | 11,3% | 10,9% | 77,8% | 93,3% | 4,4% | 2,2% | 36,1% | 63,9% |
| AP | 0,0% | 0,1% | 99,9% | 16,5% | 10,0% | 73,5% | 94,7% | 3,2% | 2,2% | 36,0% | 64,0% |
| GWP | 0,1% | 0,1% | 99,8% | 15,8% | 10,1% | 74,0% | 95,1% | 3,3% | 1,7% | 36,5% | 63,5% |
| EP | 0,1% | 12,0% | 87,9% | 15,7% | 10,2% | 74,1% | 94,3% | 3,1% | 2,6% | 35,6% | 64,4% |
| FAETP | 0,4% | 1,0% | 98,5% | 13,8% | 10,5% | 75,8% | 95,8% | 2,5% | 1,6% | 36,4% | 63,6% |
| HTP | 0,5% | 1,4% | 98,1% | 17,5% | 9,8% | 72,6% | 94,9% | 3,1% | 2,0% | 36,1% | 63,9% |
| MAETP | 0,8% | 1,8% | 97,5% | 17,0% | 9,9% | 73,1% | 96,4% | 2,4% | 1,2% | 36,8% | 63,2% |
| POCP | 0,0% | 0,0% | 100% | 16,7% | 10,0% | 73,3% | 94,3% | 3,3% | 2,4% | 35,8% | 64,2% |
| ODP | 0,7% | 1,7% | 97,6% | 18,1% | 9,7% | 72,1% | 94,4% | 3,7% | 1,9% | 36,3% | 63,7% |
| TAETP | 0,3% | 0,8% | 98,9% | 16,4% | 10,0% | 73,6% | 95,3% | 3,1% | 1,6% | 36,5% | 63,5% |

Observa-se que a contribuição mais significativa nas etapas de produção, transporte e demolição, em todas as categorias de impacto avaliadas, é constituída majoritariamente pela camada de concreto (camada C3). Já o subleito, camada C1, é o maior responsável pelos impactos da etapa de construção, devido aos equipamentos envolvidos no processo de retirada da vegetação.

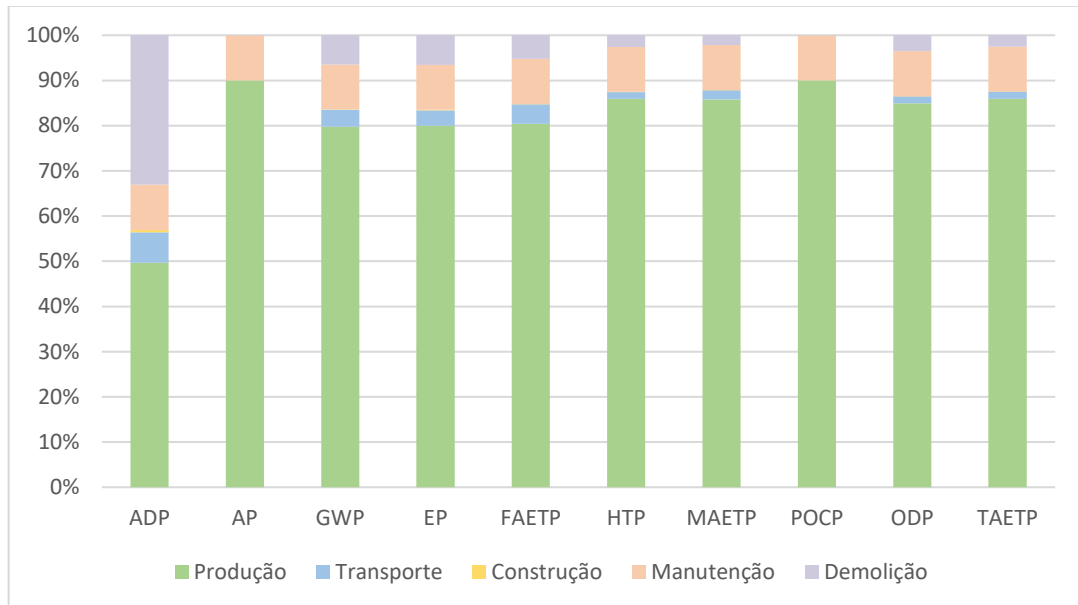
4.4.2.2 Cenário 2

No segundo cenário avaliado, considerou-se a repetição de intervenções com a mesma quantidade constatada nas inspeções (16 placas). Por não haver informações sobre o ano em que elas foram realizadas, adotou-se um período de 5 anos como intervalo entre as manutenções como forma de simplificação. Esse valor respeita o tempo estimado de quando elas foram realizadas, conforme informações obtidas nas inspeções de 2017 e 2020. Vale ressaltar que foram considerados os valores apenas para a camada de pavimento rígido, pois é a única camada onde se pode detectar as manutenções realizadas. Os resultados dos impactos obtidos para esse cenário estão apresentados na Tabela 24 e o gráfico com a comparação entre as etapas por categoria de impacto na Figura 28.

Tabela 24 - Valores de cada uma das categorias de impacto por etapa do ciclo de vida com a inclusão da manutenção, Cenário 2

| Categorias de impacto | Unidade | Produção | Transporte | Construção | Manutenção | Demolição |
|--|------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Potencial de depleção abiótica - ADP | kg antimony-Eq | 1,693E-01 | 2,304E-02 | 1,794E-03 | 3,427E-02 | 1,127E-01 |
| Potencial de acidificação - AP | kg SO ₂ -Eq | 2,053E+05 | 7,886E+01 | 2,396E+00 | 2,265E+04 | 1,420E+02 |
| Potencial de aquecimento global - GWP | kg CO ₂ -Eq | 2,757E+05 | 1,298E+04 | 3,018E+02 | 3,439E+04 | 2,234E+04 |
| Potencial de eutrofização -EP | kg PO ₄ -Eq | 1,907E+02 | 8,167E+00 | 3,004E-01 | 2,375E+01 | 1,559E+01 |
| Potencial de ecotoxicidade de águas doces - FAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,538E+03 | 8,331E+01 | 1,419E+00 | 1,902E+02 | 1,003E+02 |
| Potencial de toxicidade humana- HTP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,119E+05 | 2,000E+03 | 5,265E+01 | 1,294E+04 | 3,343E+03 |
| Potencial de ecotoxicidade de águas marinhas - MAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 6,458E+07 | 1,568E+06 | 1,839E+04 | 7,478E+06 | 1,650E+06 |
| Potencial de criação de ozônio fotoquímico - POCP | kg ethylene-Eq | 1,011E+04 | 3,099E+00 | 1,117E-01 | 1,115E+03 | 6,271E+00 |
| Potencial de depleção de ozônio - ODP | kg CFC-11-Eq | 2,630E-02 | 4,846E-04 | 1,583E-05 | 3,078E-03 | 1,095E-03 |
| Potencial de ecotoxicidade terrestre - TAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,632E+03 | 3,086E+01 | 6,352E-01 | 1,888E+02 | 4,749E+01 |

Figura 28 – Contribuição, em percentual, de cada categoria de impacto por etapa do ciclo de vida, obtido para o Cenário 2



Em cada categoria, houve um aumento de 11% com o acréscimo da etapa de manutenção quando comparado com as contribuições das etapas de produção, transporte, construção e demolição apenas na camada de pavimento rígido, vistas no cenário 1. A configuração das categorias é a mesma apresentada no cenário 1, sendo a etapa de produção a com maior influência nas categorias de impacto analisadas.

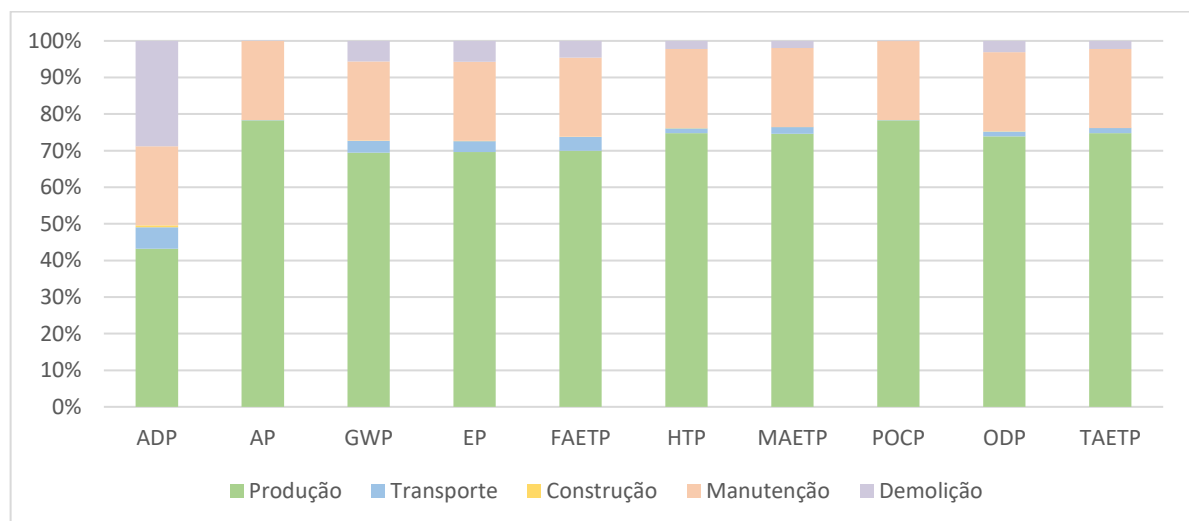
4.4.2.3 Cenário 3

O último cenário avaliado considerou a existência de intervenções que resultassem na elevação do desempenho das amostras classificadas durante a inspeção como ‘péssimas’. Esse modelo tenta replicar um cenário mais próximo do ideal, que ocorreria se existisse um plano de manutenção para as ciclovias. Assim como no segundo cenário, foi considerado que as intervenções ocorreriam apenas para a camada de pavimento rígido. Os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 25 e de na Figura 29.

Tabela 25 - Valores de cada uma das categorias de impacto por etapa do ciclo de vida com a inclusão da manutenção preventiva, Cenário 3

| Categorias de impacto | Unidade | Produção | Transporte | Construção | Manutenção | Demolição |
|--|------------------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| Potencial de depleção abiótica - ADP | kg antimony-Eq | 1,693E-01 | 2,304E-02 | 1,794E-03 | 8,490E-02 | 1,127E-01 |
| Potencial de acidificação - AP | kg SO ₂ -Eq | 2,053E+05 | 7,886E+01 | 2,396E+00 | 5,663E+04 | 1,420E+02 |
| Potencial de aquecimento global - GWP | kg CO ₂ -Eq | 2,757E+05 | 1,298E+04 | 3,018E+02 | 8,583E+04 | 2,234E+04 |
| Potencial de eutrofização -EP | kg PO ₄ -Eq | 1,907E+02 | 8,167E+00 | 3,004E-01 | 5,924E+01 | 1,559E+01 |
| Potencial de ecotoxicidade de águas doces - FAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,538E+03 | 8,331E+01 | 1,419E+00 | 4,750E+02 | 1,003E+02 |
| Potencial de toxicidade humana- HTP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,119E+05 | 2,000E+03 | 5,265E+01 | 3,232E+04 | 3,343E+03 |
| Potencial de ecotoxicidade de águas marinhas - MAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 6,458E+07 | 1,568E+06 | 1,839E+04 | 1,869E+07 | 1,650E+06 |
| Potencial de criação de ozônio fotoquímico - POCP | kg ethylene-Eq | 1,011E+04 | 3,099E+00 | 1,117E-01 | 2,788E+03 | 6,271E+00 |
| Potencial de depleção de ozônio - ODP | kg CFC-11-Eq | 2,630E-02 | 4,846E-04 | 1,583E-05 | 7,688E-03 | 1,095E-03 |
| Potencial de ecotoxicidade terrestre - TAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,632E+03 | 3,086E+01 | 6,352E-01 | 4,717E+02 | 4,749E+01 |

Figura 29 – Contribuição, em percentual, de cada categoria de impacto por etapa do ciclo de vida, obtido para o Cenário 3



O acréscimo em cada categoria quando comparado com o primeiro cenário apenas para a camada de pavimento rígido foi de aproximadamente 28%. Esse cenário estaria mais próximo do ideal, que contém um plano de manutenções para assegurar que a ciclovias tenha maiores

chances de atingir a vida útil estabelecida no projeto de 50 anos. Assim como no Cenário 2, as outras categorias aparecem com o mesmo perfil do cenário 1 e com a produção dos insumos tendo as maiores contribuições nos impactos estudados.

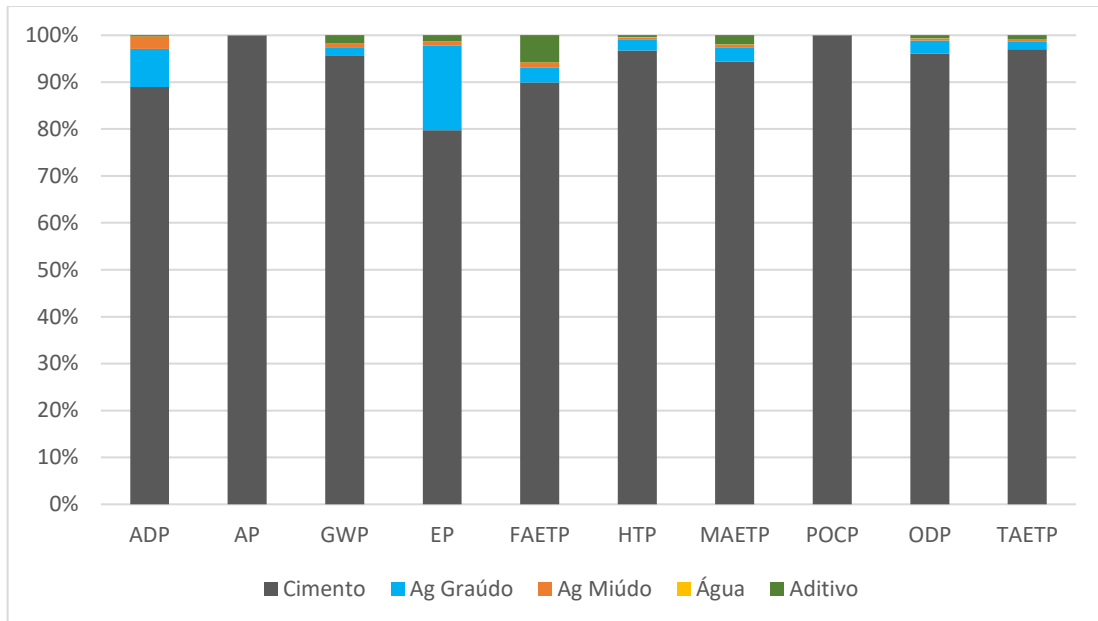
4.4.3 Por material

De acordo com informações obtidas na ACV por camadas, observa-se que a camada mais externa (pavimento rígido de concreto) é a responsável pela maior parte das emissões geradas (impactos avaliados). Em relação as etapas, a produção do concreto dessa camada é a responsável pelos maiores danos ambientais. Por isso, faz-se necessária uma avaliação dos materiais constituintes do concreto utilizado na ciclovia, com resistência à compressão de 20 MPa e massa específica de 309 kg/m³, totalizando 588 m³ para toda a estrutura. Essas informações estão apresentadas na Tabela 26 e de forma percentual na Figura 30.

Tabela 26 – Valores obtidos para as categorias de impacto de cada constituinte do concreto

| Categorias de impacto | Unidade | Cimento | Agregado Graúdo | Agregado Miúdo | Água | Aditivo |
|--|------------------------|----------------|------------------------|-----------------------|-------------|----------------|
| Potencial de depleção abiótica - ADP | kg antimony-Eq | 1,619E-01 | 1,480E-02 | 4,848E-03 | 4,356E-05 | 3,859E-04 |
| Potencial de acidificação - AP | kg SO ₂ -Eq | 2,050E+05 | 2,335E+02 | 1,701E+01 | 1,025E+00 | 2,526E+01 |
| Potencial de aquecimento global - GWP | kg CO ₂ -Eq | 2,703E+05 | 4,790E+03 | 2,650E+03 | 1,001E+00 | 4,990E+03 |
| Potencial de eutrofização -EP | kg PO ₄ -Eq | 1,555E+02 | 3,525E+01 | 1,680E+00 | 1,331E-02 | 2,494E+00 |
| Potencial de ecotoxicidade de águas doces - FAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,404E+03 | 4,874E+01 | 1,759E+01 | 4,333E-01 | 9,020E+01 |
| Potencial de toxicidade humana- HTP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,079E+05 | 2,648E+03 | 4,549E+02 | 5,268E+01 | 4,509E+02 |
| Potencial de ecotoxicidade de águas marinhas - MAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 6,047E+07 | 1,977E+06 | 3,604E+05 | 4,453E+04 | 1,252E+06 |
| Potencial de criação de ozônio fotoquímico - POCP | kg ethylene-Eq | 1,011E+04 | 3,952E+00 | 6,795E-01 | 5,280E-02 | 1,235E+00 |
| Potencial de depleção de ozônio - ODP | kg CFC-11-Eq | 2,508E-02 | 7,226E-04 | 1,139E-04 | 1,708E-05 | 1,683E-04 |
| Potencial de ecotoxicidade terrestre - TAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,588E+03 | 2,648E+01 | 6,683E+00 | 4,294E-01 | 1,559E+01 |

Figura 30 – Contribuição, em percentual, de cada insumo utilizado na produção do concreto para o pavimento de ciclovia, por categoria de impacto



Os resultados obtidos mostram que o cimento é o material constituinte do concreto que mais impacta em todas as categorias analisadas, assim como apontado no trabalho de Mohammadi e South (2019). Observando mais a fundo, o combustível utilizado na produção do clínquer (principal componente do cimento Portland) é o grande responsável por isso.

Em segundo lugar, aparece o agregado graúdo com contribuições inferiores a 4% em quase todas as categorias. Os valores excedentes a esse patamar aparecem nas categorias de ADP e EP com 8,13% e 18,09%, respectivamente, e aparecem por conta da forma de extração desse material.

As menores contribuições ficam com o agregado miúdo, a água de amassamento e o aditivo. Esse último acaba tendo pouca influência devido a pequena quantidade utilizada quando comparado aos outros materiais constituintes. A areia também apresenta pouca interferência nas categorias pois é utilizada praticamente da forma como é extraída.

Após a análise dos materiais utilizados na produção do concreto para a ciclovia, é possível estudar a possibilidade de substituição dos materiais tradicionais por alternativos que sejam menos poluentes.

4.4.4 Substituições

Conforme os resultados obtidos na análise dos impactos por material apresentado anteriormente, os materiais mais prejudiciais são o cimento Portland e o agregado graúdo. Dessa forma, é interessante avaliar como substituições desses insumos alterariam as emissões.

4.4.4.1 Influência da Mudança do Tipo de Cimento Portland

Conforme já mencionado, o cimento é o principal causador dos impactos estudados, especificamente devido ao processo de fabricação do clínquer. Diante disso, é interessante avaliar a variação que pode ocorrer ao utilizar outros tipos de cimentos com diferentes teores de substituições ao clínquer diferentes do cimento Portland de referência (CP II-F).

Para essa análise foram escolhidos dois tipos de cimento produzidos na região: o CP IV, por ter uma menor quantidade clínquer que a referência, e o CP V ARI, por ter uma quantidade maior de clínquer. Os valores para cada categoria de impacto e a variação percentual apenas para a etapa de produção com base no cimento de referência estão apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Impacto gerado nas categorias avaliadas apenas na etapa de produção do concreto utilizado para a pavimentação da ciclovia com diferentes tipos de cimento

| Categorias de impacto | Unidade | Valores dos impactos | | | Variação Percentual | |
|--|------------------------|----------------------|-----------|-----------|---------------------|-------|
| | | CP II F | CP IV | CP V | CP IV | CP V |
| Potencial de depleção abiótica - ADP | kg antimony-Eq | 2,053E+05 | 9,921E+04 | 2,178E+05 | -51,76% | 6,09% |
| Potencial de acidificação - AP | kg SO ₂ -Eq | 2,757E+05 | 1,554E+05 | 2,922E+05 | -44,67% | 6,09% |
| Potencial de aquecimento global - GWP | kg CO ₂ -Eq | 1,907E+02 | 1,123E+02 | 2,001E+02 | -50,63% | 6,01% |
| Potencial de eutrofização -EP | kg PO ₄ -Eq | 1,538E+03 | 8,818E+02 | 1,619E+03 | -46,91% | 5,80% |
| Potencial de ecotoxicidade de águas doces - FAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,119E+05 | 6,310E+04 | 1,180E+05 | -45,27% | 5,63% |
| Potencial de toxicidade humana- HTP | kg 1,4-DCB-Eq | 6,458E+07 | 3,909E+07 | 6,784E+07 | -42,23% | 5,39% |
| Potencial de ecotoxicidade de águas marinhas - MAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,011E+04 | 4,882E+03 | 1,073E+04 | -51,76% | 6,09% |
| Potencial de criação de ozônio fotoquímico - POCP | kg ethylene-Eq | 1,693E-01 | 1,423E-01 | 1,733E-01 | -16,80% | 2,46% |
| Potencial de depleção de ozônio - ODP | kg CFC-11-Eq | 2,630E-02 | 1,547E-02 | 2,766E-02 | -43,24% | 5,44% |
| Potencial de ecotoxicidade terrestre - TAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,632E+03 | 8,691E+02 | 1,725E+03 | -48,15% | 5,84% |

O uso do cimento CP IV fez com que quase todas as categorias apresentem reduções em torno de 42% e 51%. Já para o CP V, o acréscimo gerado atinge no máximo 6,09%. Esses resultados mostram que optar por cimentos com menor quantidade de clínquer é a melhor opção para reduzir os danos ao meio ambiente, sendo essa mesma conclusão obtida por Mohammadi e South (2019). Assim como no estudo feito por Tait e Cheung (2016), o concreto pode ter seus impactos negativos sobre o meio ambiente minimizados com a substituição do tipo de cimento utilizado como aglomerante, dando prioridade para aquele com maior quantidade de MCS.

4.4.4.2 Influência da Substituição do Agregado Graúdo

Outra avaliação feita foi quantificar a influência em cada categoria de impacto da troca do agregado graúdo (AG) pelo reciclado de concreto (ARC). Foram avaliados dois percentuais de substituições: 50% e 100% de agregado graúdo por reciclado no concreto da camada mais externa da ciclovia. Esses dois valores foram escolhidos para verificar se essa substituição traz alguma mudança no cenário dos impactos, já que o agregado graúdo causa um impacto menor quando comparado ao concreto. Vale ressaltar que esses valores precisam ser testados em relação as possíveis alterações nas propriedades mecânicas e também a viabilidade econômica.

Os valores obtidos para as categorias de impacto são resultados das análises feitas considerando apenas as etapas de produção e de transporte do concreto. Isso porque não é possível comparar as manutenções ao longo da vida útil devido à falta de informações sobre o desempenho dos concretos com agregado reciclado (SHI *et al*, 2019). As substituições e as variações percentuais do impacto nas categorias analisados para os concretos com reciclado são mostradas na Tabela 28.

Tabela 28 – Impacto gerado nos concretos com substituição de 50% e 100% de agregado graúdo por reciclado

| Categorias de impacto | Unidade | Valores dos impactos | | | Variação Percentual | |
|--|------------------------|----------------------|-----------|------------|---------------------|------------|
| | | AG | ARC – 50% | ARC – 100% | ARC – 50% | ARC – 100% |
| Potencial de depleção abiótica - ADP | kg antimony-Eq | 2,053E+05 | 2,058E+05 | 2,051E+05 | 0,26% | -0,10% |
| Potencial de acidificação - AP | kg SO ₂ -Eq | 2,8010E+05 | 2,764E+05 | 2,753E+05 | 0,24% | -0,14% |
| Potencial de aquecimento global - GWP | kg CO ₂ -Eq | 1,935E+02 | 1,750E+02 | 1,582E+02 | -8,25% | -17,04% |
| Potencial de eutrofização -EP | kg PO ₄ -Eq | 1,567E+03 | 1,531E+03 | 1,515E+03 | -0,44% | -1,47% |
| Potencial de ecotoxicidade de águas doces - FAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,125E+05 | 1,111E+05 | 1,096E+05 | -0,68% | -2,00% |
| Potencial de toxicidade humana- HTP | kg 1,4-DCB-Eq | 6,511E+07 | 6,400E+07 | 6,302E+07 | -0,89% | -2,41% |
| Potencial de ecotoxicidade de águas marinhas - MAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,011E+04 | 1,014E+04 | 1,011E+04 | 0,30% | -0,03% |
| Potencial de criação de ozônio fotoquímico - POCP | kg ethylene-Eq | 1,773E-01 | 1,666E-01 | 1,624E-01 | -1,61% | -4,06% |
| Potencial de depleção de ozônio - ODP | kg CFC-11-Eq | 2,646E-02 | 2,608E-02 | 2,570E-02 | -0,82% | -2,28% |
| Potencial de ecotoxicidade terrestre - TAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,643E+03 | 1,629E+03 | 1,614E+03 | -0,24% | -1,10% |

A baixa interferência obtida nos impactos já era esperada visto que o agregado graúdo não tinha apresentado, na análise dos materiais componentes do concreto, percentuais tão elevados quanto os do cimento Portland. Essa foi a mesma conclusão encontrada por Oliver-Solá *et al.* (2009), Yazdanbakhsh *et al.* (2017) e Zhao *et al.* (2020). Com os resultados alcançados nessa análise, ficou comprovado no modelo em estudo que a substituição de agregado natural por reciclado não afeta de forma tão significativa as categorias de impacto ambiental avaliadas. A maior vantagem dessa troca é a diminuição dos resíduos destinados a aterros ou descartados em locais inadequados (YAZDANBAKHSI *et al.*, 2017). Além disso, a incorporação dos resíduos de uma obra em uma outra reduz a necessidade da extração de mais recursos naturais.

Ainda no trabalho de Yazdanbakhsh *et al.* (2017), os autores falam da importância de se analisar também o transporte dos agregados. Na ciclovia estudada nesse trabalho, a distância percorrida pelo agregado reciclado seria de 37 km, sendo menor que os 40 km percorridos pela brita comum. Portanto, o uso do agregado reciclado apresenta vantagem também na etapa de transporte.

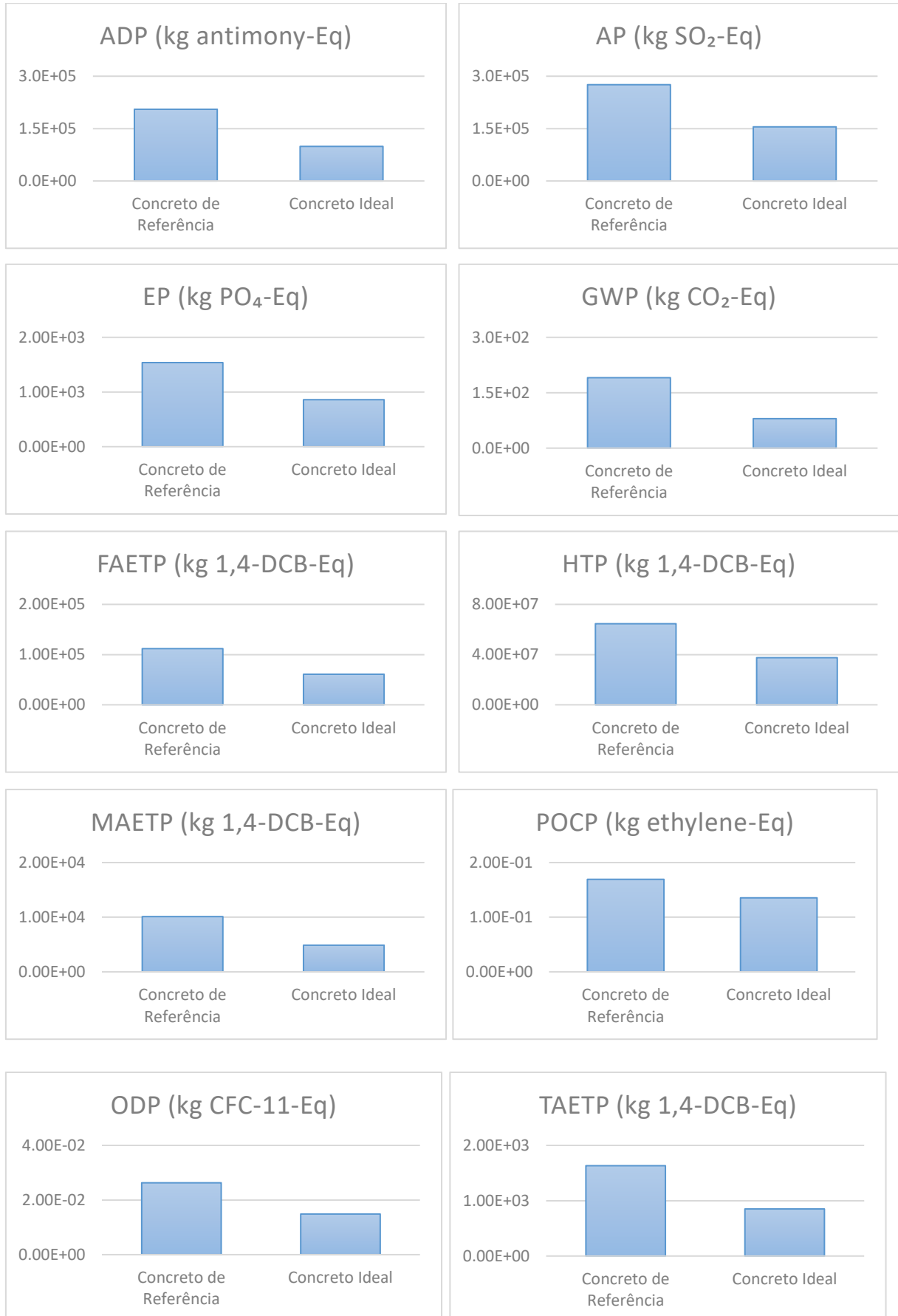
4.4.4.3 Influência da Mudança do Tipo de Cimento e da Substituição do Agregado Graúdo

Uma terceira possibilidade relacionada as substituições é analisar os dois fatores simultaneamente, ou seja, o uso de cimento com menos clínquer (CP IV) e da substituição de 100% do agregado graúdo pelo reciclado. Os valores obtidos para o concreto referência e o concreto com as duas substituições simultâneas (concreto ideal) estão apresentados na Tabela 29 e para melhor visualização na Figura 31.

Tabela 29 – Impacto gerado nas categorias avaliadas para o concreto de referência e o ideal

| Categorias de impacto | Unidade | Concreto Referência | Concreto Ideal |
|--|------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Potencial de depleção abiótica - ADP | kg antimony-Eq | 2,053E+05 | 9,898E+04 |
| Potencial de acidificação - AP | kg SO ₂ -Eq | 2,757E+05 | 1,550E+05 |
| Potencial de aquecimento global - GWP | kg CO ₂ -Eq | 1,907E+02 | 7,981E+01 |
| Potencial de eutrofização -EP | kg PO ₄ -Eq | 1,538E+03 | 8,590E+02 |
| Potencial de ecotoxicidade de águas doces - FAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,119E+05 | 6,085E+04 |
| Potencial de toxicidade humana- HTP | kg 1,4-DCB-Eq | 6,458E+07 | 3,753E+07 |
| Potencial de ecotoxicidade de águas marinhas - MAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,011E+04 | 4,879E+03 |
| Potencial de criação de ozônio fotoquímico - POCP | kg ethylene-Eq | 1,693E-01 | 1,354E-01 |
| Potencial de depleção de ozônio - ODP | kg CFC-11-Eq | 2,630E-02 | 1,487E-02 |
| Potencial de ecotoxicidade terrestre - TAETP | kg 1,4-DCB-Eq | 1,632E+03 | 8,510E+02 |

Figura 31 - Comparação por categoria de impacto do concreto referência e do concreto ideal



No geral, pode-se dizer que todas as categorias analisadas apresentaram redução na comparação entre o concreto de referência e o com substituições. O principal fator para esse resultado foi a troca do tipo de cimento. A diminuição na quantidade de clínquer implica em menor quantidade de combustíveis fósseis empregados, reduzindo em 51,79% o potencial de depleção abiótica (ADP) que está ligado à perda dos recursos não vivos.

Dessa forma, menos poluentes são gerados nesse processo, reduzindo as substâncias emitidas e com potencial de danos ao meio ambiente. O potencial de acidificação (AP) apresentou uma redução de 43,8%. Já os potenciais de ecotoxicidade de águas doces (FAETP), de águas marinhas (MAETP), de toxicidade humana (HTP) e de ecotoxicidade terrestre (TAETP) medidos em kg de 1,4-Diclorobenzeno apresentaram reduções no intervalo de 41% e 51%.

A maior redução aconteceu no potencial de aquecimento global (GWP), chegando a 58,2%. Esse valor pode ser atribuído também a menor quantidade de combustíveis fósseis utilizados na produção. A menor ocorreu no potencial de criação de ozônio fotoquímico (POCP) com diminuição de 20%. Por fim, o potencial de eutrofização (EP) e o potencial de depleção de ozônio (ODP) diminuíram, respectivamente, 44,1 % e 43,4% na comparação realizada.

Nota-se a diminuição acentuada em todas as categorias. A combinação entre um cimento com menor porcentagem de clínquer e agregados reciclados produz um concreto que reduz os prejuízos ao meio ambiente. Vale ressaltar que essa combinação deve ser ainda avaliada no ponto de vista econômico, da durabilidade e das propriedades mecânicas.

4.5 RESUMO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS DA METODOLOGIA APLICADA

A primeira etapa de caracterização da amostra escolhida teve como principal obstáculo a falta de informações sobre a ciclovias como registro de manutenções realizadas, equipamentos utilizados no processo construtivo e melhor descrição de alguns materiais (concreto, por exemplo). Por conta disso, foi necessário realizar inspeções e adaptações que tornassem possível a realização da pesquisa.

As inspeções realizadas mostraram um aumento de quase todos os danos, porém não se refletiu na piora da classificação do índice FDC do trecho avaliado. Isso pode ter acontecido pelos novos danos serem, em maioria, de baixa severidade. É importante dizer que eles tendem a se agravar com o tempo, podendo elevar o FDC, caso não sejam corrigidos. Outro

possível motivo para o aumento dos danos é o uso inadequado do pavimento, causado pela circulação de grandes veículos e a fixação de estruturas para grandes eventos na ciclovia.

Em relação as manutenções, notou-se que houve intervenções em menos de 2% no trecho total analisado e foram substituições parciais ou totais de algumas placas. Porém, foi observado nas inspeções que algumas placas estão em péssimo estado, demonstrando a necessidade de manutenções corretivas para manter o desempenho mínimo aos usuários da ciclovia. Não realizar tais ações pode gerar mais retrabalhos e a redução da vida útil.

O conhecimento em detalhes de como estão distribuídas as emissões ao longo do ciclo de vida pode auxiliar na tomada de decisões na etapa de projeto, fazendo com que a estrutura reduza o impacto negativo causado por ela. As avaliações de ciclo de vida por camada, por etapas e por material, realizadas nesse trabalho, trouxeram diversos resultados. Para facilitar o entendimento e uma discussão mais aprofundada deles, a Tabela 30 apresenta um resumo desses valores encontrados.

Tabela 30 - Resumo dos principais resultados com destaque em vermelho

| ACV | Item | Impactos | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | ADP | AP | GWP | EP | FAETP | HTP | MAETP | POCP | ODP | TAETP |
| Camada | Subleito | 17.1% | 0.1% | 6.1% | 5.0% | 5.7% | 2.9% | 3.2% | 0.1% | 3.8% | 2.8% |
| | BGS | 16.4% | 0.1% | 0.8% | 10.8% | 1.6% | 1.6% | 2.0% | 0.0% | 1.9% | 1.0% |
| | Pavimento | 66.4% | 99.8% | 93.1% | 84.2% | 92.7% | 95.5% | 94.8% | 99.9% | 94.4% | 96.2% |
| Etapa – Cenário 1 | Produção | 55.2% | 99.9% | 88.6% | 88.8% | 89.3% | 95.4% | 95.2% | 99.9% | 94.3% | 95.4% |
| | Transporte | 7.5% | 0.0% | 4.2% | 3.8% | 4.8% | 1.7% | 2.3% | 0.0% | 1.7% | 1.8% |
| | Construção | 0.6% | 0.0% | 0.1% | 0.1% | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 0.0% |
| | Demolição | 36.7% | 0.1% | 7.2% | 7.3% | 5.8% | 2.9% | 2.4% | 0.1% | 3.9% | 2.8% |
| Etapa – Cenário 2 | Produção | 49.6% | 90.0% | 79.7% | 80.0% | 80.4% | 85.9% | 85.8% | 90.0% | 84.9% | 85.9% |
| | Transporte | 6.8% | 0.0% | 3.8% | 3.4% | 4.4% | 1.5% | 2.1% | 0.0% | 1.6% | 1.6% |
| | Construção | 0.5% | 0.0% | 0.1% | 0.1% | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 0.0% |
| | Manutenção | 10.0% | 9.9% | 9.9% | 10.0% | 9.9% | 9.9% | 9.9% | 9.9% | 9.9% | 9.9% |
| | Demolição | 33.0% | 0.1% | 6.5% | 6.5% | 5.2% | 2.6% | 2.2% | 0.1% | 3.5% | 2.5% |
| Etapa – Cenário 3 | Produção | 43.2% | 78.3% | 69.4% | 69.6% | 70.0% | 74.8% | 74.7% | 78.3% | 73.9% | 74.8% |
| | Transporte | 5.9% | 0.0% | 3.3% | 3.0% | 3.8% | 1.3% | 1.8% | 0.0% | 1.4% | 1.4% |
| | Construção | 0.5% | 0.0% | 0.1% | 0.1% | 0.1% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| | Manutenção | 21.7% | 21.6% | 21.6% | 21.6% | 21.6% | 21.6% | 21.6% | 21.6% | 21.6% | 21.6% |
| | Demolição | 28.8% | 0.1% | 5.6% | 5.7% | 4.6% | 2.2% | 1.9% | 0.0% | 3.1% | 2.2% |
| Materiais | Cimento | 89.0% | 99.9% | 95.6% | 79.8% | 89.9% | 96.8% | 94.3% | 99.9% | 96.1% | 97.0% |
| | Agregado Graúdo | 8.1% | 0.1% | 1.7% | 18.1% | 3.1% | 2.4% | 3.1% | 0.0% | 2.8% | 1.6% |
| | Agregado Miúdo | 2.7% | 0.0% | 0.9% | 0.9% | 1.1% | 0.4% | 0.6% | 0.0% | 0.4% | 0.4% |
| | Água | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 0.0% | 0.1% | 0.0% |
| | Aditivo | 0.2% | 0.0% | 1.8% | 1.3% | 5.8% | 0.4% | 2.0% | 0.0% | 0.6% | 1.0% |
| | CP IV | -51.7% | -43.6% | -41.1% | -42.7% | -43.6% | -39.5% | -51.7% | -15.9% | -41.2% | -46.8% |
| Troca de Materiais | CP V | 6.1% | 6.1% | 6.0% | 5.8% | 5.6% | 5.4% | 6.1% | 2.5% | 5.4% | 5.8% |
| | 50% AG + 50% ARC | 0.3% | 0.2% | -8.2% | -0.4% | -0.7% | -0.9% | 0.3% | -1.6% | -0.8% | -0.2% |
| | 100% ARC | -0.1% | -0.1% | -17.0% | -1.5% | -2.0% | -2.4% | 0.0% | -4.1% | -2.3% | -1.1% |
| | CP II -E + 100% ARC | -51.8% | -43.8% | -58.2% | -44.1% | -45.6% | -41.9% | -51.8% | -20.0% | -43.4% | -47.9% |

Em relação a ciclovia analisada, pode-se resumir os principais resultados do estudo de ACV da seguinte forma:

- Entre as três camadas da ciclovia, a de pavimento rígido de concreto é a maior contribuinte para os impactos ambientais, respondendo por mais de 92% em quase todas as categorias analisadas.
- A produção é a etapa dentro do ciclo de vida responsável pelos maiores impactos com mais de 79% de contribuição para todas as categorias, exceto para o potencial de depleção abiótica (ADP) onde fica em segundo lugar, atrás apenas da etapa de demolição.
- Os cenários de manutenção apresentam um aumento de 11% e 28%, respectivamente para manutenção corretiva e preventiva em cada categoria analisada. São valores baixos quando comparados à necessidade de reconstrução total da ciclovia.
- Em relação aos materiais do pavimento, o cimento é o mais prejudicial ao meio ambiente e a mudança por um cimento com menor quantidade de clínquer produziu uma redução maior que 42% em grande parte das categorias.
- O agregado graúdo fica com o segundo lugar de material mais prejudicial. É importante notar que a substituição dele por agregado reciclado não traz grandes reduções, sendo a maior 17% no potencial de aquecimento global. Mesmo assim, a troca é interessante por diminuir os resíduos destinados a aterros ou descartados em locais inadequados.

Outra forma de avaliar os resultados encontrados nos estudos de ACV é comparando-os com informações da literatura. Antes de se fazer essa comparação, é importante colocar esses resultados em uma mesma unidade funcional. Os trabalhos de temática semelhante costumam trazer os resultados por metro quadrado. Por isso, a Tabela 31 traz um resumo de todos os resultados encontrados nos estudos de ACV na unidade funcional de 1 m² de área da ciclovia.

Tabela 31 - Resumo dos resultados convertidos para a unidade funcional de 1 m² da ciclovía

| ACV | Item | Impactos | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------------------|----------|----------------|-----------|-----------|-----------|---------------|---------------|---------------|----------------|--------------|
| | | ADP | AP | GWP | EP | FAETP | HTP | MAETP | POCP | ODP | TAETP |
| | | Unidade | kg antimony-Eq | kg SO2-Eq | kg CO2-Eq | kg PO4-Eq | kg 1,4-DCB-Eq | kg 1,4-DCB-Eq | kg 1,4-DCB-Eq | kg ethylene-Eq | kg CFC-11-Eq |
| Camada | Subleito | 1.08E-05 | 1.81E-02 | 2.76E+00 | 1.74E-03 | 1.43E-02 | 4.88E-01 | 3.15E+02 | 7.82E-04 | 1.51E-07 | 6.72E-03 |
| | BGS | 1.03E-05 | 2.46E-02 | 3.64E-01 | 3.76E-03 | 4.07E-03 | 2.64E-01 | 1.92E+02 | 3.97E-04 | 7.45E-08 | 2.49E-03 |
| | Pavimento | 4.17E-05 | 2.80E+01 | 4.24E+01 | 2.92E-02 | 2.34E-01 | 1.60E+01 | 9.23E+03 | 1.38E+00 | 3.79E-06 | 2.33E-01 |
| Etapa – Cenário 1 | Produção | 2.38E-05 | 2.80E+01 | 3.76E+01 | 2.95E-02 | 2.12E-01 | 1.55E+01 | 9.01E+03 | 1.38E+00 | 3.66E-06 | 2.25E-01 |
| | Transporte | 4.03E-06 | 1.46E-02 | 2.39E+00 | 1.50E-03 | 1.50E-02 | 3.75E-01 | 2.92E+02 | 5.75E-04 | 9.14E-08 | 5.71E-03 |
| | Construção | 1.10E-05 | 1.49E-02 | 2.48E+00 | 1.57E-03 | 1.18E-02 | 3.62E-01 | 2.06E+02 | 6.42E-04 | 1.16E-07 | 5.38E-03 |
| Etapa – Cenário 2 | Demolição | 2.40E-05 | 3.02E-02 | 4.78E+00 | 3.29E-03 | 2.15E-02 | 7.12E-01 | 3.55E+02 | 1.33E-03 | 2.34E-07 | 1.02E-02 |
| | Produção | 2.30E-05 | 2.79E+01 | 3.75E+01 | 2.60E-02 | 2.09E-01 | 1.52E+01 | 8.79E+03 | 1.38E+00 | 3.58E-06 | 2.22E-01 |
| | Transporte | 3.13E-06 | 1.07E-02 | 1.77E+00 | 1.11E-03 | 1.13E-02 | 2.72E-01 | 2.13E+02 | 4.22E-04 | 6.59E-08 | 4.20E-03 |
| | Construção | 2.44E-07 | 3.26E-04 | 4.11E-02 | 4.09E-05 | 1.93E-04 | 7.16E-03 | 2.50E+00 | 1.52E-05 | 2.15E-09 | 8.64E-05 |
| | Manutenção | 4.66E-06 | 3.08E+00 | 4.68E+00 | 3.23E-03 | 2.59E-02 | 1.76E+00 | 1.02E+03 | 1.52E-01 | 4.19E-07 | 2.57E-02 |
| Etapa – Cenário 3 | Demolição | 1.53E-05 | 1.93E-02 | 3.04E+00 | 2.12E-03 | 1.36E-02 | 4.55E-01 | 2.25E+02 | 8.53E-04 | 1.49E-07 | 6.46E-03 |
| | Produção | 2.30E-05 | 2.79E+01 | 3.75E+01 | 2.60E-02 | 2.09E-01 | 1.52E+01 | 8.79E+03 | 1.38E+00 | 3.58E-06 | 2.22E-01 |
| | Transporte | 3.13E-06 | 1.07E-02 | 1.77E+00 | 1.11E-03 | 1.13E-02 | 2.72E-01 | 2.13E+02 | 4.22E-04 | 6.59E-08 | 4.20E-03 |
| | Construção | 2.44E-07 | 3.26E-04 | 4.11E-02 | 4.09E-05 | 1.93E-04 | 7.16E-03 | 2.50E+00 | 1.52E-05 | 2.15E-09 | 8.64E-05 |
| | Manutenção | 1.16E-05 | 7.70E+00 | 1.17E+01 | 8.06E-03 | 6.46E-02 | 4.40E+00 | 2.54E+03 | 3.79E-01 | 1.05E-06 | 6.42E-02 |
| Materiais | Demolição | 1.53E-05 | 1.93E-02 | 3.04E+00 | 2.12E-03 | 1.36E-02 | 4.55E-01 | 2.25E+02 | 8.53E-04 | 1.49E-07 | 6.46E-03 |
| | Cimento | 2.20E-05 | 2.79E+01 | 3.68E+01 | 2.12E-02 | 1.91E-01 | 1.47E+01 | 8.23E+03 | 1.37E+00 | 3.41E-06 | 2.16E-01 |
| | Agregado Graúdo | 2.01E-06 | 3.18E-02 | 6.52E-01 | 4.80E-03 | 6.63E-03 | 3.60E-01 | 2.69E+02 | 5.38E-04 | 9.83E-08 | 3.60E-03 |
| | Agregado Miúdo | 6.60E-07 | 2.31E-03 | 3.61E-01 | 2.29E-04 | 2.39E-03 | 6.19E-02 | 4.90E+01 | 9.25E-05 | 1.55E-08 | 9.09E-04 |
| | Água | 5.93E-09 | 1.39E-04 | 1.36E-04 | 1.81E-06 | 5.90E-05 | 7.17E-03 | 6.06E+00 | 7.18E-06 | 2.32E-09 | 5.84E-05 |
| Troca de Materiais | Aditivo | 5.25E-08 | 3.44E-03 | 6.79E-01 | 3.39E-04 | 1.23E-02 | 6.14E-02 | 1.70E+02 | 1.68E-04 | 2.29E-08 | 2.12E-03 |
| | CP IV | 1.35E+01 | 2.11E+01 | 1.53E-02 | 1.20E-01 | 8.58E+00 | 5.32E+03 | 6.64E-01 | 1.94E-05 | 2.10E-06 | 1.18E-01 |
| | CP V | 2.96E+01 | 3.97E+01 | 2.72E-02 | 2.20E-01 | 1.60E+01 | 9.23E+03 | 1.46E+00 | 2.36E-05 | 3.76E-06 | 2.35E-01 |
| | 50% AG + 50% ARC | 2.80E+01 | 3.76E+01 | 2.38E-02 | 2.08E-01 | 1.51E+01 | 8.71E+03 | 1.38E+00 | 2.27E-05 | 3.55E-06 | 2.22E-01 |
| | 100% ARC | 2.79E+01 | 3.75E+01 | 2.15E-02 | 2.06E-01 | 1.49E+01 | 8.57E+03 | 1.38E+00 | 2.21E-05 | 3.50E-06 | 2.20E-01 |
| Troca de Materiais | CP II -E + 100% ARC | 1.35E+01 | 2.11E+01 | 1.09E-02 | 1.17E-01 | 8.28E+00 | 5.11E+03 | 6.64E-01 | 1.84E-05 | 2.02E-06 | 1.16E-01 |

Por conta da ausência de trabalhos cujo objeto de estudo seja a ciclovia, utilizou-se trabalhos que tratam de rodovias e calçadas com a ressalva de que é somente para se ter uma ideia geral de comparação, pois essas estruturas apresentam diferenças significativas.

Oliver-Solà *et al.* (2009) e Mendoza *et al.* (2012) trazem alguns resultados interessantes relacionados com os obtidos nesse trabalho. O primeiro apresenta um sistema de calçadas com concreto na espessura de 15 cm. Foi estudado o ciclo de vida contendo as etapas de produção, transporte, construção e demolição. Fazendo as devidas conversões que tornem possível a comparação adequada (área de 1 m² e espessura de 8 cm), os valores estão apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 - Comparação entre os impactos do ciclo de vida de calçadas (OLIVER-SOLÀ *et al.*, 2009) e da ciclovia da Esplanada dos Ministérios em Brasília-DF

| Categorias de impacto | Unidades | Calçadas - Oliver-Solà <i>et al.</i> (2009) | Ciclovia |
|---|------------------------|--|-----------------|
| Potencial de depleção abiótica - ADP | kg antimony-Eq | 7.39E-01 | 6.28E-05 |
| Potencial de acidificação - AP | kg SO ₂ -Eq | 2.28E-01 | 2.80E+01 |
| Potencial de eutrofização -EP | kg PO ₄ -Eq | 4.16E-02 | 3.59E-02 |
| Potencial de aquecimento global - GWP | kg CO ₂ -Eq | 5.33E+01 | 4.72E+01 |
| Potencial de toxicidade humana- HTP | kg 1,4-DCB-Eq | 3.33E+00 | 1.70E+01 |
| Potencial de depleção de ozônio - ODP | kg CFC-11-Eq | 3.32E-06 | 4.11E-06 |
| Potencial de criação de ozônio fotoquímico - POCP | kg ethylene-Eq | 2.14E-02 | 1.38E+00 |

Observando a ordem de grandeza de ambos os sistemas, nota-se uma proximidade na maioria das categorias (EP, GWP, HTP, ODP e POCP). Isso mostra a proximidade entre os sistemas de calçadas do estudo feito por Oliver-Solà *et al.* (2009) e da ciclovia analisada.

Mendoza *et al.* (2012) também traz informações sobre os impactos causados pela construção de calçadas de concreto. Assim como analisado anteriormente, foi necessário fazer algumas conversões de modo a permitir a comparação adequada. Elas estão apresentadas na Tabela 33.

Tabela 33 - Comparação entre calçadas (MENDOZA *et al.*, 2012) e a ciclovia da Esplanada dos Ministérios em Brasília-DF

| Cat. de Imp. | Produção | | Transporte | | Construção | | Demolição | | Total | |
|--------------|----------|----------|------------|----------|------------|----------|-----------|----------|---------|----------|
| | Calçada | Ciclovia | Calçada | Ciclovia | Calçada | Ciclovia | Calçada | Ciclovia | Calçada | Ciclovia |
| ADP | 5.9E-1 | 2.38E-5 | 7.5E-2 | 4.03E-6 | 3.9E-3 | 1.10E-5 | 1.2E-2 | 2.40E-5 | 6.8E-1 | 6.3E-5 |
| AP | 2.3E-1 | 2.80E+1 | 6.9E-2 | 1.46E-2 | 8.0E-3 | 1.49E-2 | 1.8E-2 | 3.02E-2 | 1.5E+1 | 2.8E+1 |
| EP | 3.0E-2 | 2.95E-2 | 1.6E-2 | 1.50E-3 | 1.4E-3 | 1.57E-3 | 3.7E-3 | 3.29E-3 | 6.9E-2 | 3.6E-2 |
| GWP | 4.5E+1 | 3.76E+1 | 1.1E+1 | 2.39E+0 | 5.9E-1 | 2.48E+0 | 1.9E+0 | 4.78E+0 | 8.1E+1 | 4.7E+1 |
| HTP | 4.1E+0 | 1.55E+1 | 1.7E+0 | 3.75E-1 | 4.6E-2 | 3.62E-1 | 1.4E-1 | 7.12E-1 | 1.5E+1 | 1.7E+1 |
| ODP | 2.3E-6 | 3.66E-6 | 1.5E-6 | 9.14E-8 | 6.9E-8 | 1.16E-7 | 2.3E-7 | 2.34E-7 | 6.1E-6 | 4.1E-6 |
| POCP | 1.6E-2 | 1.38E+0 | 1.4E-2 | 5.75E-4 | 7.5E-4 | 6.42E-4 | 2.1E-3 | 1.33E-3 | 7.7E-1 | 1.4E+0 |

Assim como na comparação feita anteriormente, a maioria dos impactos observados apresentam ordem de grandeza semelhante. Os resultados totais mostram que os dois sistemas possuem divergências pontuais em algumas categorias de impacto (ADP e POCP).

A metodologia desenvolvida necessitou de ajustes pela falta de dados disponíveis para caracterizar o trecho. As inspeções ajudaram na obtenção de informações sobre manutenções para montagem dessa etapa no ciclo de vida. A ACV se mostrou uma metodologia complexa pelo grande número de informações de entrada. Mesmo assim trouxe resultados importantes sobre o sistema de pavimento rígido e de materiais para auxiliar na tomada de decisões em futuros projetos desse mesmo tipo de estrutura.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após os levantamentos realizados nesse trabalho, foi possível desenvolver uma proposta de metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida para ciclovias de pavimento rígido, levando em consideração a avaliação de danos, a evolução e a realização de manutenções, durante a sua vida útil. Dessa forma, houve contribuições que possam dar continuidade nas discussões sobre o assunto por conta da dificuldade de se encontrar trabalhos sobre durabilidade e ACV com foco em ciclovias.

As inspeções realizadas em uma ciclovia do Distrito Federal auxiliaram na montagem dos cenários para entender o comportamento da vida útil, considerando as atividades de manutenção. Apesar do intervalo curto entre essas inspeções, detectou-se um aumento significativo dos danos, porém ainda não se refletiu numa piora na classificação do índice FDC. Entretanto, ressalta-se que esses problemas observados podem evoluir e se agravar com o tempo, reduzindo o desempenho desse sistema de pavimentação e afetando a sua vida útil.

Nos estudos de ACV realizados, a camada de pavimento rígido é responsável pela maior parcela nos impactos ambientais avaliados. Dentre as etapas do ciclo de vida, a etapa de produção dessa camada é a que mais traz prejuízos, devido aos impactos gerados durante a produção do cimento, que é o aglomerante utilizado na confecção do concreto. A inclusão de cenários de manutenção faz com que haja um aumento de 11% e 28%, respectivamente, para manutenção corretiva e preventiva em cada categoria analisada. Pode-se colocar que são valores baixos se comparados com a reconstrução total da ciclovia antes do fim da vida útil de projeto.

As avaliações dos materiais constituintes do pavimento, mostraram que o cimento Portland foi o componente que mais impactou de forma prejudicial ao meio ambiente. Uma forma encontrada para reduzir esse impacto é utilizar cimentos com menor quantidade de clínquer. Essa troca produziu resultados que demonstram que é possível obter reduções nos impactos superiores a 42%, na maioria das categorias estudadas. O agregado graúdo é o segundo material mais prejudicial ao desempenho ambiental, porém sua substituição por agregado reciclado não traz uma redução tão significativa quanto à obtida com a troca do tipo de cimento. Deve-se ressaltar que mesmo apresentados valores que confirmam a baixa eficiência na mitigação dos impactos, o uso desses resíduos é importante para dar uma destinação adequada, reduzindo a sua destinação para aterros ou outros locais inadequados para o seu descarte.

A metodologia proposta atingiu os objetivos estabelecidos de avaliar o ciclo de vida e analisar o estado de conservação da ciclovia de pavimento rígido. Essas informações contribuem para uma melhor tomada de decisão em futuros projetos de ampliação da malha cicloviária.

As inspeções periódicas se mostraram fundamentais para o acompanhamento do estado de conservação e no auxílio do entendimento do modelo de envelhecimento da ciclovia. Nessa etapa a obtenção de informações sobre as manutenções e a constatação das intervenções realizadas foram utilizadas para a inclusão dessa etapa para a montagem e avaliação do ciclo de vida das ciclovias de pavimento rígido.

A ACV se revelou como uma ferramenta complexa devido ao grande número de informações necessárias como dados de entrada, muitas delas, para a maioria das ciclovias de pavimento rígido do Distrito Federal, inexistentes ou indisponíveis. Mesmo assim foi possível obter resultados importantes no entendimento o comportamento do sistema de pavimento rígido, durante a sua vida útil, e dos materiais que servirão para auxiliar na tomada de decisões sobre a montagem de um plano de manutenção e principalmente em desenvolvimentos de futuros projetos de ciclovias.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas recomendações para futuras pesquisas que possam avançar ainda mais os estudos sobre ciclovias e ACV:

- Ampliação da amostra para aplicação da metodologia desenvolvida nesse trabalho para outras ciclovias de pavimento de concreto;
- Adequação da metodologia para outros sistemas construtivos de ciclovias, como: de pavimento flexível e de blocos intertravados;
- Desenvolvimento de uma metodologia complementar para criação de modelos que sirvam para estimativa da vida útil de ciclovias;
- Estudo das propriedades químicas, físicas e mecânicas dos materiais constituintes e componentes usuais e da sua substituição por materiais alternativos como requisito de desempenho e durabilidade das ciclovias; e
- Criação de normativas que orientem e padronizem as etapas de projeto, execução e manutenção das ciclovias de pavimento rígido estruturas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M. H. **Pavimento de concreto também requer manutenção.** [Entrevista concedida a] Altair Santos. Cimento Itambé, Curitiba, 06 de jan. de 2014. Disponível em <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/pavimento-de-concreto-tambem-requer-manutencao/>> Acesso em 05 de Abril de 2021.

ANTUNES, L. L. **Avaliação das Infraestruturas cicloviárias implantadas no corredor universitário em Goiânia.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

ARISHA, A. M.; GABR, A. R.; SHWALLY, S. A. **Performance Evaluation of Construction and Demolition Waste Materials for Pavement Construction in Egypt.** Journal of Materials in Civil Engineering, v. 30, n. 2, p. 1–14, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5733** – Cimento Portland de alta resistência inicial - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5736** – Cimento Portland pozolânico - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11578** – Cimento Portland composto - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040** - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Alternativas para pavimentação de ciclovias no DF.** ABCP, São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Cimento: diferentes tipos e aplicações.** ABCP, São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://abcp.org.br/imprensa/banco-de-pautas/pavimento-de-concreto-e-alternativa-para-melhoria-das-rodovias/>>. Acesso em 23 de Abril de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Pavimento de concreto é alternativa para melhoria das rodovias.** ABCP, São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://abcp.org.br/imprensa/banco-de-pautas/pavimento-de-concreto-e-alternativa-para-melhoria-das-rodovias/>>. Acesso em 20 de Abril de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Programa cicloviário do distrito federal: sistema cicloviário intermunicipal, integrado com outros modais de transporte e ação educativa.** Soluções para cidades 2014. Disponível em <https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2014/10/AF_WEB_20_DF%20Plano%20cicloviario%20de%20brasil.pdf>. Acesso em 16 de Outubro de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CAL (ABPC). **Documento para coleta de dados: destinado à ABCP.** São Paulo, 2014

BIANCHI, F. V.; BRITO, I. R. T.; CASTRO, V. A. B. **Estudo comparativo entre pavimento rígido e flexível.** Associação de Ensino Superior Unificado do Centro Leste, Serra, 08 de set. de 2008. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/pav_apresentacoes/isis_raquel.pdf>. Acesso em 24 de Junho de 2020.

BLUMENSCHNEIDER, R. N. **A sustentabilidade na cadeia produtiva da indústria da construção.** Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, 2004.

BOZORG CHENANI, S.; LEHVÄVIRTA, S.; HÄKKINEN, T. **Life cycle assessment of layers of green roofs.** Journal of Cleaner Production, v. 90, p. 153–162, 2015.

BRASIL. **Programa Bicicleta Brasil. Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade por Bicicleta nas Cidades.** Ministério das Cidades e Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana: Brasília, 2007.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 436, de 22 de dezembro de 2011.** Publicada no DOU Nº 247, 26 de dezembro de 2011. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, 2011. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>> Acesso em: 10 jul. 2020.

CAMPOLINA, J. M.; SIGRIST, C. S. L.; MORIS, V. A. DA S. **A review of the literature on software used in studies life cycle assessment.** Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET), v. 19, n. 2, p. 735–750, 2015.

CARLINO, A. E. **Melhorias dos Processos de Manutenção em Prédios Públicos.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

CARVALHO, C. H. R.; PEREIRA, R. H. M. **Efeitos da variação da tarifa e da renda da população sobre a demanda de transporte público coletivo urbano no Brasil**. Brasília: Ipea, 2011. (Texto para Discussão, n. 1595). Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1595.pdf>. Acesso em: 30 de Abril de 2021

CAVALETT, O.; CHAGAS, M. F.; SEABRA, J. E.A.; BONOMI, A. **Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods**. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 18, n. 3, p. 647–658, 2013.

CEMBUREAU – THE EUROPEAN CEMENT. **Activity Report 2020**. Disponível em: <<https://www.cembureau.eu/media/m2ugw54y/cembureau-2020-activity-report.pdf>>. Acesso em: 16 de Julho de 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Emissões veiculares no estado de São Paulo 2019**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2020/11/Relatorio-Emissoes-Veiculares-no-Estado-de-Sao-Paulo-2019.pdf>>. Acesso em: 30 de Abril de 2021.

COMPANHIA URBANIZADORA DA NOVA CAPITAL (NOVACAP). **Termo de referência para elaboração de projeto básico e executivo de pavimentação de vias e ciclovias**. Brasília, 2019.

CHAPPAT, M.; BILAL, J. **The Environmental Road of the Future: Life Cycle Analysis**. Colas SA, Paris, 9, p. 1–34, 2003.

COLANGELO, F.; PETRILLO, A.; CIOFFI, R.; BORRELLI, C.; FORCINA, A. **Life cycle assessment of recycled concretes: A case study in southern Italy**. Science of the Total Environment, v. 615, p. 1506–1517, 2018.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas**. CBCS, p.111, 2014.

CORAZZA, M. V.; DI MASCIO, P.; MORETTI, L. **Managing sidewalk pavement maintenance: A case study to increase pedestrian safety**. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), v. 3, n. 3, p. 203–214, 2016.

CROSARA, F.C. **Ciclovias em concreto mudam a cara de Brasília**. [Entrevista concedida a] Altair Santos. Cimento Itambé, Curitiba, 16 de ago. de 2012. Disponível em <

<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/ciclovias-em-concreto-mudam-a-cara-de-brasilia/>>. Acesso em 20 de Junho de 2020.

CURRAN, M. A. **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**. EPA – Environmental Protection Agency: Cincinnati, EUA, 2006.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Recuperação de Pavimentos Rígidos**. Rio de Janeiro: 2010.

DYNATEST. **Durabilidade e resistência: diferenciais do pavimento rígido**. Dynatest, Brasília, 15 de mar. de 2018. Disponível em < <http://dynatest.com.br/durabilidade-e-resistencia-diferenciais-do-pavimento-rigido/#:~:text=Os%20pavimentos%20rodovi%C3%A1rios%20podem%20ser,tamb%C3%A9m%20chamado%20de%20pavimento%20asf%C3%A1ltico.&text=A%20vida%20%C3%BAtil%20do%20pavimento,30%20anos%2C%20com%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20m%C3%ADnima>>. Acesso em 23 de Junho de 2020.

ECOINVENT. **The life cycle inventory data version 3.6**. SwissCentre for Life Cycle Inventories, 2019. Disponível em <<https://ecoquery.ecoinvent.org/>>. Acesso em 11 de Maio de 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Brazilian Energy Balance 2013**. Ministério de Minas e Energia - MME, p. 288, 2014.

GOMES, R.; SILVESTRE, J. D.; DE BRITO, J. **Environmental life cycle assessment of the manufacture of EPS granulates, lightweight concrete with EPS and high-density EPS boards**. Journal of Building Engineering, v. 28, p. 101031, 2020.

GÖTSCHI, T.; GARRARD, J.; GILES-CORTI, B. **Cycling as a part of daily life: A review of health perspectives**. Transport Reviews, v. 36, n. 1, p. 45-71, 2016.

GREENDELTA. **OpenLCA**. GreenDelta, Berlin, v.1.10.2, 2019.

HAFEZ, H.; KURDA, R.; CHEUNG, W. M.; NAGARATNAM, B. **Comparative life cycle assessment between imported and recovered fly ash for blended cement concrete in the UK**. Journal of Cleaner Production, v. 244, 2020.

HÄKKINEN T, MÄKELÄ K. **Environmental adaption of concrete: Environmental impact of concrete and asphalt pavements**. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, p. 95, 1996.

HASAN, U.; WHYTE, A.; AL JASSMI, H. **Life cycle assessment of roadworks in United Arab Emirates: Recycled construction waste, reclaimed asphalt pavement, warm-mix asphalt and blast furnace slag use against traditional approach.** Journal of Cleaner Production, v. 257, p. 120531, 2020.

HAUSCHILD, M. Z. GOEDKOOP, M.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; JOLLIET, O.; MARGNI, M.; SCHRYVER, A. D.; HUMBERT, S.; LAURENT, A.; SALA, S.; PANT, R. **Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment.** International Journal of Life Cycle Assessment, v. 18, n. 3, p. 683–697, 2013.

HENDERSON, J.; GULSRUD, N. M. **A short history of cycling and car politics in Copenhagen.** In: HENDERSON, J.; GULSRUD, N. M. Street Fights in Copenhagen. London: Routledge, p. 47- 68, 2019

HERRMANN, I. T.; MOLTESEN, A. **Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? - A comparative assessment of SimaPro and GaBi.** Journal of Cleaner Production, v. 86, p. 163–169, 2014.

HOLM, A. L.; GLÜMER, C. e DIDERICHSEN, F. **Health Impact Assessment of increased cycling to place of work or education in Copenhagen.** BMJ Open, v. 2, n. 4, e001135, 2012.

INSTITUTO DE INCENTIVO E DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGENS AMBIENTAIS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE - IDEAIS. **A insustentável lei das sacolas plásticas de São Paulo – Boletim.** São Paulo, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA - IBICT. **Desenvolvimento sustentável e avaliação do ciclo de vida.** Brasília, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA - IBICT. **Inscrições abertas para curso do software openLCA, em São Paulo.** IBICT, Brasília, 03 de ago. de 2017. Disponível em < <http://acv.ibict.br/comunicacao/noticias/3180-inscricoes-abertas-para-curso-do-software-openlca-em-sao-paulo/>>. Acesso em 09 de Junho de 2020.

IRASSAR, E. F.; BONAVENTI, V. L.; MENÉNDEZ, G.; CARRASCO, M. F. **Hidratação e propriedades de cimentos compostos (com três adições) com filler calcário e escória.** Revista Alconpat, v. 5, n. 2, p. 83-95, 2015.

KANG, S.; YANG, R.; OZER, H.; AL-QADI, I. **Life-cycle greenhouse gases and energy consumption for material and construction phases of pavement with traffic delay.** *Transportation Research Record*, v. 2428, n. 2428, p. 27–34, 2014.

KEINER, M. **History, definition (s) and models of sustainable development.** ETH Zurich, 2005.

KIM, T. H.; TAE, S. H. **Proposal of environmental impact assessment method for concrete in South Korea: An application in LCA (life cycle assessment).** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 13, n. 11, 2016.

KLOPFER, W. **Life Cycle Assessment - From the Beginning to the Current State.** *Environment Science Pollution Research*, v. 4, n. 4, p. 223–228, 1997.

KOURA, J.; MANNEH, R.; BELARBI, R.; KHOURY, V.E.; BACHAWATI, M.E. **Comparative cradle to grave environmental life cycle assessment of traditional and extensive vegetative roofs: an application for the Lebanese context.** *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 25, n. 3, p. 423–442, 2020.

KUCUKVAR, M.; TATARI, O. **Towards a triple bottom-line sustainability assessment of the U.S. construction industry.** *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 18, n. 5, p. 958–972, 2013.

KUMAR, R. **Influence of recycled coarse aggregate derived from construction and demolition waste (CDW) on abrasion resistance of pavement concrete.** *Construction and Building Materials*, v. 142, p. 248–255, 2017.

LIU, Y.; WANG, Y.; LI, D. **Estimation and uncertainty analysis on carbon dioxide emissions from construction phase of real highway projects in China.** *Journal of Cleaner Production*, v. 144, p. 337–346, 2017.

MARSMANN, M. **ISO 14040—The first project.** *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 2, p. 121–123, 1997.

MARTÍNEZ-ROCAMORA, A.; SOLÍS-GUZMÁN, J.; MARRERO, M. **LCA databases focused on construction materials: A review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 58, p. 565–573, 2016.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obra.** São Paulo: PINI, 2006.

MEIÇÓ, C. A. **Informações sobre a ciclovia da Esplanada dos Ministérios.** Mensagem recebida por <karolinemhora@gmail.com> em 02 de Outubro de 2020.

MELLO, R. Z. **Avaliação do ciclo de vida da utilização do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em materiais de construção civil à base de cimento.** Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2018.

MENDOZA, J. M. F.; OLIVER-SOLÀ, J.; GABARRELL, X.; JOSA, A.; RIERADEVALL, J. **Life cycle assessment of granite application in sidewalks.** International Journal of Life Cycle Assessment, v. 17, n. 5, p. 580–592, 2012.

METRÓPOLES. **Após quatro anos, faixa extra é inaugurada em balão de Águas Claras.** Metrôpoles, 26 de Setembro de 2019. Disponível em <<https://www.metrosoles.com/distrito-federal/apos-quatro-anos-faixa-extra-e-inaugurada-em-balao-de-aguas-claras>>. Acesso em 11 de Agosto de 2020.

MOHAMMADI, J.; SOUTH, W. **Life cycle assessment (LCA) of benchmark concrete products in Australia.** International Journal of Life Cycle Assessment, v. 22, n. 10, p. 1588–1608, 2017.

MOTTA, R.A. **Método para a determinação da sustentabilidade de ciclovias.** Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OECD. **Cycling, Health and Safety.** Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, 2013.

OLIVER-SOLÀ, J.; ROSI, A.; RIERADEVALL, J.; GABARRELL, X. **Environmental optimization of concrete sidewalks in urban areas.** International Journal of Life Cycle Assessment, v. 14, n. 4, p. 302–312, 2009.

OSSA, A.; GARCÍA, J. L.; BOTERO, E. **Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry.** Journal of Cleaner Production, v. 135, p. 379–386, 2016.

PRAKASAN, S.; PALANIAPPAN, S.; GETTU, R. **Study of Energy Use and CO₂ Emissions in the Manufacturing of Clinker and Cement.** Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, v. 101, n. 1, p. 221–232, 2020.

PRANOLO, S. H.; SETYONO, P.; FAUZI, M. A. **Life cycle analysis of palm kernel shell gasification for supplying heat to an asphalt mixing plant.** Waste Disposal & Sustainable Energy, v. 2, n. 1, p. 55–63, 2020.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Caderno de Encargos para execução de projetos cicloviários.** Rio de Janeiro, p. 54, 2014.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. **Cicloviário.** Disponível em <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p_secao=227>. Acesso em 11 de Agosto de 2020.

PRYSHLAKIVSKY, J.; SEARCY, C. **Fifteen years of ISO 14040: A review.** Journal of Cleaner Production, v. 57, p. 115–123, 2013.

SACHS, I. **Estratégias de Transição para o Século XXI: desenvolvimento e meio ambiente.** São Paulo: Studio Nobel/Fundação do Desenvolvimento Administrativo, 103 p, 1993.

SALGADO, R. A.; APUL, D.; GUNER, S. **Life cycle assessment of seismic retrofit alternatives for reinforced concrete frame buildings.** Journal of Building Engineering, v. 28, n. November 2019, p. 101064, 2020.

SANTERO, N. J.; MASANET, E.; HORVATH, A. **Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review.** Resources, Conservation and Recycling, v. 55, n. 9–10, p. 801–809, 2011.

SECRETARIA DE TRANSPORTE E MOBILIDADE - SEMOB. **Ciclomobilidade.** Semob, Brasília, jul. de 2020. Disponível em <<http://semob.df.gov.br/bicicletas-compartilhadas/>>. Acesso em 07 de Agosto de 2020.

SHI, X.; MUKHOPADHYAY, A.; ZOLLINGER, D; GRASLEY, Z. **Economic input-output life cycle assessment of concrete pavement containing recycled concrete aggregate.** Journal of Cleaner Production, v. 225, p. 414–425, 2019.

SICV BRASIL. **Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida.** Disponível em: <<https://sicv.ibict.br/Node/>>. Acesso em: 7 de Maio de 2020.

SILVA JÚNIOR, A. C. **Proposta de metodologia para avaliação de danos de pavimentos rígidos de ciclovias.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SILVA, L. C. **Avaliação de ciclo de vida de concretos com substituição parcial de cimento por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

SILVEIRA, M. O. **Mobilidade sustentável: a bicicleta como um meio de transporte integrado.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). **Relatório Anual 2013.** Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2013.pdf>. Acesso em: 5 de Maio de 2020.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). **Relatório Anual 2019.** Disponível em: <http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2019.pdf>. Acesso em: 5 de Maio de 2020.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI. **Catálogo de Composições Analíticas.** Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>>. Acesso em: 2 de Setembro de 2020.

SPHERA. **Description of the CML 2001 Method.** Illinois, jul. de 2010. Disponível em <[http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-6-lcia-documentation/cml-2001-nov-2010/#:~:text=CML%202001%20is%20an%20impact,accepted%20groupings%20\(e.g.%20ecotoxicity\)](http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-6-lcia-documentation/cml-2001-nov-2010/#:~:text=CML%202001%20is%20an%20impact,accepted%20groupings%20(e.g.%20ecotoxicity))>. Acesso em 10 de Julho de 2020.

TAIT, M. W.; CHEUNG, W. M. **A comparative cradle-to-gate life cycle assessment of three concrete mix designs.** International Journal of Life Cycle Assessment, v. 21, n. 6, p. 847–860, 2016.

VEGA, D. L.; SANTOS, J.; MARTINEZ-ARGUELLES, G. **Life cycle assessment of hot mix asphalt with recycled concrete aggregates for road pavements construction.** International Journal of Pavement Engineering, v. 0, n. 0, p. 1–14, 2020.

VIEIRA, D. R.; CALMON, J. L.; ZULCÃO, R.; COELHO, F. Z. **Consideration of strength and service life in cradle-to-gate life cycle assessment of self-compacting concrete in a maritime area: a study in the Brazilian context.** *Environment, Development and Sustainability*, v. 20, n. 4, p. 1849–1871, 2017.

XIA, B.; DING, T.; XIAO, J. **Life cycle assessment of concrete structures with reuse and recycling strategies: A novel framework and case study.** *Waste Management*, v. 105, p. 268–278, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.015>>.

YANG, R.; KANG, S.; OZER, H.; AL-QADI, I. L. **Environmental and economic analyses of recycled asphalt concrete mixtures based on material production and potential performance.** *Resources, Conservation & Recycling*, v. 104 parte A, p. 141-151, 2015.

YAZDANBAKHSI, A.; BANK, L.C.; BAEZ, T.; WERNICK, I. **Comparative LCA of concrete with natural and recycled coarse aggregate in the New York City area.** *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 23, n. 6, p. 1163–1173, 2018.

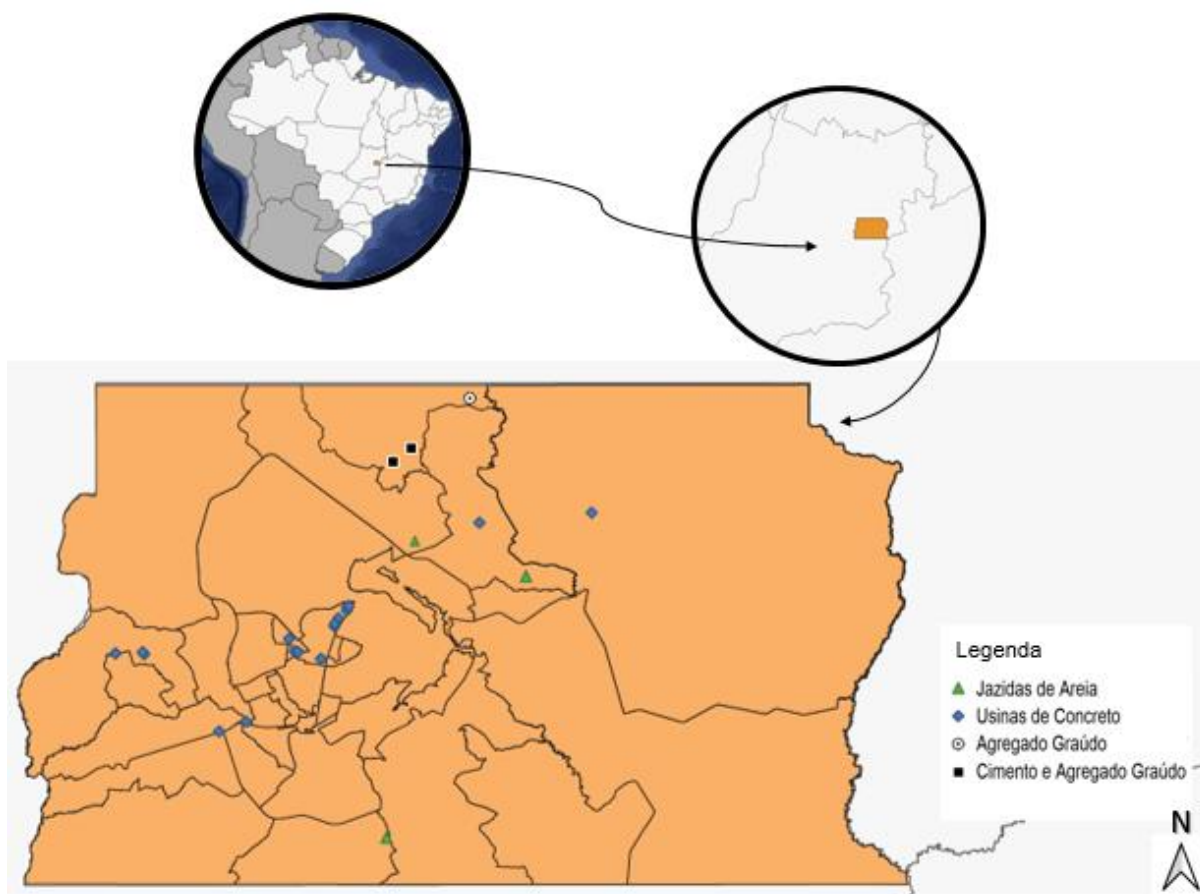
ZHAO, Z.; COURARD, L.; GROSLAMBERT, S.; JEHIN, T.; LÉONARD, A.; XIAO, J. **Use of recycled concrete aggregates from precast block for the production of new building blocks: An industrial scale study.** *Resources, Conservation & Recycling*, v. 157, n. October 2019, p. 104786, 2020.

ANEXO A: Levantamento da indústria do concreto no Distrito Federal

| Insumo | Código | Nome | Cidade | Endereço | CEP | Coordenada X | Coordenada Y |
|-------------------------|--------|---------------------------------|-------------|---|-----------|--------------|--------------|
| Cimento | C1 | CIPLAN | Fercal | DF 205, KM 2.7 | 73151-010 | -47,8543 | -15,5717 |
| | C2 | VOTORANTIM | Fercal | Rodovia DF-150 – Km 18 | 73001-043 | -47,8744 | -15,5862 |
| Jazida de Areia | JA1 | Bracal Brasil Calcário e Areia | Sobradinho | Fazenda Rafaela - DF 440 KM 12 Lote, nº 120 | 73271-001 | -47,7284 | -15,7121 |
| | JA2 | Brimaq Mineração | Santa Maria | Barreiros Área II - DF-003 | 72580-100 | -47,8815 | -15,9989 |
| | JA3 | Fornecedora de Areia Bela Vista | Sobradinho | Condomínio Colorado Ville - s/n It 50 A | 73105-902 | -47,8500 | -15,6734 |
| Jazida de Brita | JB1 | Pedreira Contagem | Sobradinho | Rodovia DF-205, Km 61, s/n | 73151-010 | -47,7900 | -15,5166 |
| | JB2 | Mina Fercal - Votorantim | Fercal | Rodovia DF-150 – Km 18 | 73001-043 | -47,8744 | -15,5862 |
| | JB3 | Ciplan | Fercal | DF 205, KM 2.7 | 73151-010 | -47,8543 | -15,5717 |
| Concreto Usinado | US1 | Ciplan Concreto | Brasília | SOFN Qd 2 s/n cj F It 6/12 | 70634-205 | -47,9245 | -15,7455 |
| | US2 | Ciplan Concreto | Ceilândia | 20 Lote 09/11/13/15, St. de Indústria Qi 17 | 72265-200 | -48,1472 | -15,7976 |
| | US3 | Engemix | Brasília | SOF/NORTE, S/N - QUADRA 1 CONJ A LOTE 16. PARTE B | 70634-100 | -47,9249 | -15,7497 |
| | US4 | Concrecon | Ceilândia | ST/SMC QUADRA 02, LOTES 1 A 10 | 72265-020 | -48,1490 | -15,7953 |
| | US5 | Concrecon | Guará | Lote 06, Strc Trecho 2 Conjunto A - Zona Industrial | 71225-521 | -47,9824 | -15,7941 |
| | US6 | Realmix | Brasília | SOF/Norte Q 2 Conjunto F, Sof Sul Q 2 | 70634-200 | -47,9236 | -15,7454 |
| | US7 | Polimix | Brasília | SAAN Quadra 1 | 70632-100 | -47,9384 | -15,7670 |
| | US8 | Polimix | Brasília | SAAN Quadra 2 | 70632-200 | -47,9345 | -15,7581 |
| | US9 | Concre DF | Ceilândia | Reserva L Gleba 03 Ch. 753, Incra 09 | 71900-001 | -48,1787 | -15,7967 |

| | | | | | | | |
|-------------------------|------|--|------------|---|-----------|----------|----------|
| Concreto Usinado | US10 | Supermix | Brasília | SAAN QUADRA 1 Lote 560 B,570 B, 580 B, 590 B, 600 B | 70632-100 | -47,9383 | -15,7643 |
| | US11 | Supermix | Taguatinga | Q.CSG 14 Lote 1 | 72035-514 | -48,0353 | -15,8714 |
| | US12 | Engetmix | Planaltina | Conjunto 1 Chara 32 Quintas do Amanhecer III | 73367-403 | -47,6563 | -15,6424 |
| | US13 | Redimix | Guará | Sia Trecho 04 lotes 280/290 | 71200-040 | -47,9535 | -15,8025 |
| | US14 | Cone Concretos | Sobradinho | St. de Expansão Econômica Ae 10 para Indústria, 6 | 73050-605 | -47,7795 | -15,6533 |
| | US15 | Topmix Engenharia e Tecnologia de Concreto | Guará | STRC Trecho 1 | 71225-512 | -47,9785 | -15,7952 |
| | US16 | Usina Concreta | Samambaia | ADE - Samambaia Sul | 72314-702 | -48,0652 | -15,8823 |
| | US17 | Brasmix | Brasília | SOF/Norte Q. 02 Conj. F n 5 | 70634-200 | -47,9228 | -15,7447 |
| | US18 | Delmix Lajes e Concreto Usinado | Brasília | SCSV Leste | 70297-400 | -47,9884 | -15,7807 |

Figura 32 - Localização dos fornecedores de agregados, cimento e concreto usinado do Distrito Federal



**ANEXO B: Distâncias entre os insumos do concreto até as usinas
concreteiras e das usinas até a obra**

| Combinação | C - US (Km) | | JA - US (Km) | | JB - US (Km) | | US - OBRA (Km) | |
|-------------------|--------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|-----------------------|------|
| 1 | C1-US1 | 38,4 | JA1-US1 | 27,6 | JB1-C1 | 39,3 | US1-OBRA | 11,2 |
| 2 | C1-US1 | 38,4 | JA1-US1 | 27,6 | JB2-C1 | 24,7 | US1-OBRA | 11,2 |
| 3 | C1-US1 | 38,4 | JA1-US1 | 27,6 | JB3-C1 | 27,2 | US1-OBRA | 11,2 |
| 4 | C1-US1 | 38,4 | JA2-US1 | 43 | JB1-C1 | 39,3 | US1-OBRA | 11,2 |
| 5 | C1-US1 | 38,4 | JA2-US1 | 43 | JB2-C1 | 24,7 | US1-OBRA | 11,2 |
| 6 | C1-US1 | 38,4 | JA2-US1 | 43 | JB3-C1 | 27,2 | US1-OBRA | 11,2 |
| 7 | C1-US1 | 38,4 | JA3-US1 | 13,8 | JB1-C1 | 39,3 | US1-OBRA | 11,2 |
| 8 | C1-US1 | 38,4 | JA3-US1 | 13,8 | JB2-C1 | 24,7 | US1-OBRA | 11,2 |
| 9 | C1-US1 | 38,4 | JA3-US1 | 13,8 | JB3-C1 | 27,2 | US1-OBRA | 11,2 |
| 10 | C2-US1 | 35,9 | JA1-US1 | 27,6 | JB1-C2 | 39,3 | US1-OBRA | 11,2 |
| 11 | C2-US1 | 35,9 | JA1-US1 | 27,6 | JB2-C2 | 24,7 | US1-OBRA | 11,2 |
| 12 | C2-US1 | 35,9 | JA1-US1 | 27,6 | JB3-C2 | 27,2 | US1-OBRA | 11,2 |
| 13 | C2-US1 | 35,9 | JA2-US1 | 43 | JB1-C2 | 39,3 | US1-OBRA | 11,2 |
| 14 | C2-US1 | 35,9 | JA2-US1 | 43 | JB2-C2 | 24,7 | US1-OBRA | 11,2 |
| 15 | C2-US1 | 35,9 | JA2-US1 | 43 | JB3-C2 | 27,2 | US1-OBRA | 11,2 |
| 16 | C2-US1 | 35,9 | JA3-US1 | 13,8 | JB1-C2 | 39,3 | US1-OBRA | 11,2 |
| 17 | C2-US1 | 35,9 | JA3-US1 | 13,8 | JB2-C2 | 24,7 | US1-OBRA | 11,2 |
| 18 | C2-US1 | 35,9 | JA3-US1 | 13,8 | JB3-C2 | 27,2 | US1-OBRA | 11,2 |
| 19 | C1-US2 | 90,3 | JA1-US2 | 57,5 | JB1-C1 | 68,1 | US2-OBRA | 33,1 |
| 20 | C1-US2 | 90,3 | JA1-US2 | 57,5 | JB2-C1 | 54,7 | US2-OBRA | 33,1 |
| 21 | C1-US2 | 90,3 | JA1-US2 | 57,5 | JB3-C1 | 57,2 | US2-OBRA | 33,1 |
| 22 | C1-US2 | 90,3 | JA2-US2 | 63,7 | JB1-C1 | 68,1 | US2-OBRA | 33,1 |
| 23 | C1-US2 | 90,3 | JA2-US2 | 63,7 | JB2-C1 | 54,7 | US2-OBRA | 33,1 |
| 24 | C1-US2 | 90,3 | JA2-US2 | 63,7 | JB3-C1 | 57,2 | US2-OBRA | 33,1 |
| 25 | C1-US2 | 90,3 | JA3-US2 | 43,8 | JB1-C1 | 68,1 | US2-OBRA | 33,1 |
| 26 | C1-US2 | 90,3 | JA3-US2 | 43,8 | JB2-C1 | 54,7 | US2-OBRA | 33,1 |
| 27 | C1-US2 | 90,3 | JA3-US2 | 43,8 | JB3-C1 | 57,2 | US2-OBRA | 33,1 |
| 28 | C2-US2 | 87,8 | JA1-US2 | 57,5 | JB1-C2 | 68,1 | US2-OBRA | 33,1 |
| 29 | C2-US2 | 87,8 | JA1-US2 | 57,5 | JB2-C2 | 54,7 | US2-OBRA | 33,1 |
| 30 | C2-US2 | 87,8 | JA1-US2 | 57,5 | JB3-C2 | 57,2 | US2-OBRA | 33,1 |
| 31 | C2-US2 | 87,8 | JA2-US2 | 63,7 | JB1-C2 | 68,1 | US2-OBRA | 33,1 |
| 32 | C2-US2 | 87,8 | JA2-US2 | 63,7 | JB2-C2 | 54,7 | US2-OBRA | 33,1 |
| 33 | C2-US2 | 87,8 | JA2-US2 | 63,7 | JB3-C2 | 57,2 | US2-OBRA | 33,1 |
| 34 | C2-US2 | 87,8 | JA3-US2 | 43,8 | JB1-C2 | 68,1 | US2-OBRA | 33,1 |
| 35 | C2-US2 | 87,8 | JA3-US2 | 43,8 | JB2-C2 | 54,7 | US2-OBRA | 33,1 |
| 36 | C2-US2 | 87,8 | JA3-US2 | 43,8 | JB3-C2 | 57,2 | US2-OBRA | 33,1 |
| 37 | C1-US3 | 38,5 | JA1-US3 | 28,4 | JB1-C1 | 38,9 | US3-OBRA | 10,5 |
| 38 | C1-US3 | 38,5 | JA1-US3 | 28,4 | JB2-C1 | 25,5 | US3-OBRA | 10,5 |

| | | | | | | | | |
|----|--------|------|---------|------|--------|------|----------|------|
| 39 | C1-US3 | 38,5 | JA1-US3 | 28,4 | JB3-C1 | 28 | US3-OBRA | 10,5 |
| 40 | C1-US3 | 38,5 | JA2-US3 | 42,1 | JB1-C1 | 38,9 | US3-OBRA | 10,5 |
| 41 | C1-US3 | 38,5 | JA2-US3 | 42,1 | JB2-C1 | 25,5 | US3-OBRA | 10,5 |
| 42 | C1-US3 | 38,5 | JA2-US3 | 42,1 | JB3-C1 | 28 | US3-OBRA | 10,5 |
| 43 | C1-US3 | 38,5 | JA3-US3 | 14,6 | JB1-C1 | 38,9 | US3-OBRA | 10,5 |
| 44 | C1-US3 | 38,5 | JA3-US3 | 14,6 | JB2-C1 | 25,5 | US3-OBRA | 10,5 |
| 45 | C1-US3 | 38,5 | JA3-US3 | 14,6 | JB3-C1 | 28 | US3-OBRA | 10,5 |
| 46 | C2-US3 | 36 | JA1-US3 | 28,4 | JB1-C2 | 38,9 | US3-OBRA | 10,5 |
| 47 | C2-US3 | 36 | JA1-US3 | 28,4 | JB2-C2 | 25,5 | US3-OBRA | 10,5 |
| 48 | C2-US3 | 36 | JA1-US3 | 28,4 | JB3-C2 | 28 | US3-OBRA | 10,5 |
| 49 | C2-US3 | 36 | JA2-US3 | 42,1 | JB1-C2 | 38,9 | US3-OBRA | 10,5 |
| 50 | C2-US3 | 36 | JA2-US3 | 42,1 | JB2-C2 | 25,5 | US3-OBRA | 10,5 |
| 51 | C2-US3 | 36 | JA2-US3 | 42,1 | JB3-C2 | 28 | US3-OBRA | 10,5 |
| 52 | C2-US3 | 36 | JA3-US3 | 14,6 | JB1-C2 | 38,9 | US3-OBRA | 10,5 |
| 53 | C2-US3 | 36 | JA3-US3 | 14,6 | JB2-C2 | 25,5 | US3-OBRA | 10,5 |
| 54 | C2-US3 | 36 | JA3-US3 | 14,6 | JB3-C2 | 28 | US3-OBRA | 10,5 |
| 55 | C1-US4 | 90,2 | JA1-US4 | 57,2 | JB1-C1 | 67,8 | US4-OBRA | 33,4 |
| 56 | C1-US4 | 90,2 | JA1-US4 | 57,2 | JB2-C1 | 54,3 | US4-OBRA | 33,4 |
| 57 | C1-US4 | 90,2 | JA1-US4 | 57,2 | JB3-C1 | 56,8 | US4-OBRA | 33,4 |
| 58 | C1-US4 | 90,2 | JA2-US4 | 61,2 | JB1-C1 | 67,8 | US4-OBRA | 33,4 |
| 59 | C1-US4 | 90,2 | JA2-US4 | 61,2 | JB2-C1 | 54,3 | US4-OBRA | 33,4 |
| 60 | C1-US4 | 90,2 | JA2-US4 | 61,2 | JB3-C1 | 56,8 | US4-OBRA | 33,4 |
| 61 | C1-US4 | 90,2 | JA3-US4 | 43,4 | JB1-C1 | 67,8 | US4-OBRA | 33,4 |
| 62 | C1-US4 | 90,2 | JA3-US4 | 43,4 | JB2-C1 | 54,3 | US4-OBRA | 33,4 |
| 63 | C1-US4 | 90,2 | JA3-US4 | 43,4 | JB3-C1 | 56,8 | US4-OBRA | 33,4 |
| 64 | C2-US4 | 87,7 | JA1-US4 | 57,2 | JB1-C2 | 67,8 | US4-OBRA | 33,4 |
| 65 | C2-US4 | 87,7 | JA1-US4 | 57,2 | JB2-C2 | 54,3 | US4-OBRA | 33,4 |
| 66 | C2-US4 | 87,7 | JA1-US4 | 57,2 | JB3-C2 | 56,8 | US4-OBRA | 33,4 |
| 67 | C2-US4 | 87,7 | JA2-US4 | 61,2 | JB1-C2 | 67,8 | US4-OBRA | 33,4 |
| 68 | C2-US4 | 87,7 | JA2-US4 | 61,2 | JB2-C2 | 54,3 | US4-OBRA | 33,4 |
| 69 | C2-US4 | 87,7 | JA2-US4 | 61,2 | JB3-C2 | 56,8 | US4-OBRA | 33,4 |
| 70 | C2-US4 | 87,7 | JA3-US4 | 43,4 | JB1-C2 | 67,8 | US4-OBRA | 33,4 |
| 71 | C2-US4 | 87,7 | JA3-US4 | 43,4 | JB2-C2 | 54,3 | US4-OBRA | 33,4 |
| 72 | C2-US4 | 87,7 | JA3-US4 | 43,4 | JB3-C2 | 56,8 | US4-OBRA | 33,4 |
| 73 | C1-US5 | 50,7 | JA1-US5 | 37,7 | JB1-C1 | 48,2 | US5-OBRA | 13,4 |
| 74 | C1-US5 | 50,7 | JA1-US5 | 37,7 | JB2-C1 | 34,8 | US5-OBRA | 13,4 |
| 75 | C1-US5 | 50,7 | JA1-US5 | 37,7 | JB3-C1 | 37,3 | US5-OBRA | 13,4 |
| 76 | C1-US5 | 50,7 | JA2-US5 | 41,4 | JB1-C1 | 48,2 | US5-OBRA | 13,4 |
| 77 | C1-US5 | 50,7 | JA2-US5 | 41,4 | JB2-C1 | 34,8 | US5-OBRA | 13,4 |
| 78 | C1-US5 | 50,7 | JA2-US5 | 41,4 | JB3-C1 | 37,3 | US5-OBRA | 13,4 |
| 79 | C1-US5 | 50,7 | JA3-US5 | 23,9 | JB1-C1 | 48,2 | US5-OBRA | 13,4 |
| 80 | C1-US5 | 50,7 | JA3-US5 | 23,9 | JB2-C1 | 34,8 | US5-OBRA | 13,4 |

| | | | | | | | | |
|------------|--------|------|---------|------|--------|------|----------|------|
| 81 | C1-US5 | 50,7 | JA3-US5 | 23,9 | JB3-C1 | 37,3 | US5-OBRA | 13,4 |
| 82 | C2-US5 | 48,2 | JA1-US5 | 37,7 | JB1-C2 | 48,2 | US5-OBRA | 13,4 |
| 83 | C2-US5 | 48,2 | JA1-US5 | 37,7 | JB2-C2 | 34,8 | US5-OBRA | 13,4 |
| 84 | C2-US5 | 48,2 | JA1-US5 | 37,7 | JB3-C2 | 37,3 | US5-OBRA | 13,4 |
| 85 | C2-US5 | 48,2 | JA2-US5 | 41,4 | JB1-C2 | 48,2 | US5-OBRA | 13,4 |
| 86 | C2-US5 | 48,2 | JA2-US5 | 41,4 | JB2-C2 | 34,8 | US5-OBRA | 13,4 |
| 87 | C2-US5 | 48,2 | JA2-US5 | 41,4 | JB3-C2 | 37,3 | US5-OBRA | 13,4 |
| 88 | C2-US5 | 48,2 | JA3-US5 | 23,9 | JB1-C2 | 48,2 | US5-OBRA | 13,4 |
| 89 | C2-US5 | 48,2 | JA3-US5 | 23,9 | JB2-C2 | 34,8 | US5-OBRA | 13,4 |
| 90 | C2-US5 | 48,2 | JA3-US5 | 23,9 | JB3-C2 | 37,3 | US5-OBRA | 13,4 |
| 91 | C1-US6 | 38,3 | JA1-US6 | 27,3 | JB1-C1 | 37,9 | US6-OBRA | 11,4 |
| 92 | C1-US6 | 38,3 | JA1-US6 | 27,3 | JB2-C1 | 24,4 | US6-OBRA | 11,4 |
| 93 | C1-US6 | 38,3 | JA1-US6 | 27,3 | JB3-C1 | 26,9 | US6-OBRA | 11,4 |
| 94 | C1-US6 | 38,3 | JA2-US6 | 42,7 | JB1-C1 | 37,9 | US6-OBRA | 11,4 |
| 95 | C1-US6 | 38,3 | JA2-US6 | 42,7 | JB2-C1 | 24,4 | US6-OBRA | 11,4 |
| 96 | C1-US6 | 38,3 | JA2-US6 | 42,7 | JB3-C1 | 26,9 | US6-OBRA | 11,4 |
| 97 | C1-US6 | 38,3 | JA3-US6 | 13,5 | JB1-C1 | 37,9 | US6-OBRA | 11,4 |
| 98 | C1-US6 | 38,3 | JA3-US6 | 13,5 | JB2-C1 | 24,4 | US6-OBRA | 11,4 |
| 99 | C1-US6 | 38,3 | JA3-US6 | 13,5 | JB3-C1 | 26,9 | US6-OBRA | 11,4 |
| 100 | C2-US6 | 35,8 | JA1-US6 | 27,3 | JB1-C2 | 37,9 | US6-OBRA | 11,4 |
| 101 | C2-US6 | 35,8 | JA1-US6 | 27,3 | JB2-C2 | 24,4 | US6-OBRA | 11,4 |
| 102 | C2-US6 | 35,8 | JA1-US6 | 27,3 | JB3-C2 | 26,9 | US6-OBRA | 11,4 |
| 103 | C2-US6 | 35,8 | JA2-US6 | 42,7 | JB1-C2 | 37,9 | US6-OBRA | 11,4 |
| 104 | C2-US6 | 35,8 | JA2-US6 | 42,7 | JB2-C2 | 24,4 | US6-OBRA | 11,4 |
| 105 | C2-US6 | 35,8 | JA2-US6 | 42,7 | JB3-C2 | 26,9 | US6-OBRA | 11,4 |
| 106 | C2-US6 | 35,8 | JA3-US6 | 13,5 | JB1-C2 | 37,9 | US6-OBRA | 11,4 |
| 107 | C2-US6 | 35,8 | JA3-US6 | 13,5 | JB2-C2 | 24,4 | US6-OBRA | 11,4 |
| 108 | C2-US6 | 35,8 | JA3-US6 | 13,5 | JB3-C2 | 26,9 | US6-OBRA | 11,4 |
| 109 | C1-US7 | 39,9 | JA1-US7 | 30,9 | JB1-C1 | 41,5 | US7-OBRA | 9,4 |
| 110 | C1-US7 | 39,9 | JA1-US7 | 30,9 | JB2-C1 | 28 | US7-OBRA | 9,4 |
| 111 | C1-US7 | 39,9 | JA1-US7 | 30,9 | JB3-C1 | 30,5 | US7-OBRA | 9,4 |
| 112 | C1-US7 | 39,9 | JA2-US7 | 39,7 | JB1-C1 | 41,5 | US7-OBRA | 9,4 |
| 113 | C1-US7 | 39,9 | JA2-US7 | 39,7 | JB2-C1 | 28 | US7-OBRA | 9,4 |
| 114 | C1-US7 | 39,9 | JA2-US7 | 39,7 | JB3-C1 | 30,5 | US7-OBRA | 9,4 |
| 115 | C1-US7 | 39,9 | JA3-US7 | 17,1 | JB1-C1 | 41,5 | US7-OBRA | 9,4 |
| 116 | C1-US7 | 39,9 | JA3-US7 | 17,1 | JB2-C1 | 28 | US7-OBRA | 9,4 |
| 117 | C1-US7 | 39,9 | JA3-US7 | 17,1 | JB3-C1 | 30,5 | US7-OBRA | 9,4 |
| 118 | C2-US7 | 37,4 | JA1-US7 | 30,9 | JB1-C2 | 41,5 | US7-OBRA | 9,4 |
| 119 | C2-US7 | 37,4 | JA1-US7 | 30,9 | JB2-C2 | 28 | US7-OBRA | 9,4 |
| 120 | C2-US7 | 37,4 | JA1-US7 | 30,9 | JB3-C2 | 30,5 | US7-OBRA | 9,4 |
| 121 | C2-US7 | 37,4 | JA2-US7 | 39,7 | JB1-C2 | 41,5 | US7-OBRA | 9,4 |
| 122 | C2-US7 | 37,4 | JA2-US7 | 39,7 | JB2-C2 | 28 | US7-OBRA | 9,4 |

| | | | | | | | | |
|-----|---------|------|----------|------|--------|------|-----------|------|
| 123 | C2-US7 | 37,4 | JA2-US7 | 39,7 | JB3-C2 | 30,5 | US7-OBRA | 9,4 |
| 124 | C2-US7 | 37,4 | JA3-US7 | 17,1 | JB1-C2 | 41,5 | US7-OBRA | 9,4 |
| 125 | C2-US7 | 37,4 | JA3-US7 | 17,1 | JB2-C2 | 28 | US7-OBRA | 9,4 |
| 126 | C2-US7 | 37,4 | JA3-US7 | 17,1 | JB3-C2 | 30,5 | US7-OBRA | 9,4 |
| 127 | C1-US8 | 39,5 | JA1-US8 | 29,5 | JB1-C1 | 40,1 | US8-OBRA | 10,3 |
| 128 | C1-US8 | 39,5 | JA1-US8 | 29,5 | JB2-C1 | 26,7 | US8-OBRA | 10,3 |
| 129 | C1-US8 | 39,5 | JA1-US8 | 29,5 | JB3-C1 | 29,2 | US8-OBRA | 10,3 |
| 130 | C1-US8 | 39,5 | JA2-US8 | 41,6 | JB1-C1 | 40,1 | US8-OBRA | 10,3 |
| 131 | C1-US8 | 39,5 | JA2-US8 | 41,6 | JB2-C1 | 26,7 | US8-OBRA | 10,3 |
| 132 | C1-US8 | 39,5 | JA2-US8 | 41,6 | JB3-C1 | 29,2 | US8-OBRA | 10,3 |
| 133 | C1-US8 | 39,5 | JA3-US8 | 15,8 | JB1-C1 | 40,1 | US8-OBRA | 10,3 |
| 134 | C1-US8 | 39,5 | JA3-US8 | 15,8 | JB2-C1 | 26,7 | US8-OBRA | 10,3 |
| 135 | C1-US8 | 39,5 | JA3-US8 | 15,8 | JB3-C1 | 29,2 | US8-OBRA | 10,3 |
| 136 | C2-US8 | 37 | JA1-US8 | 29,5 | JB1-C2 | 40,1 | US8-OBRA | 10,3 |
| 137 | C2-US8 | 37 | JA1-US8 | 29,5 | JB2-C2 | 26,7 | US8-OBRA | 10,3 |
| 138 | C2-US8 | 37 | JA1-US8 | 29,5 | JB3-C2 | 29,2 | US8-OBRA | 10,3 |
| 139 | C2-US8 | 37 | JA2-US8 | 41,6 | JB1-C2 | 40,1 | US8-OBRA | 10,3 |
| 140 | C2-US8 | 37 | JA2-US8 | 41,6 | JB2-C2 | 26,7 | US8-OBRA | 10,3 |
| 141 | C2-US8 | 37 | JA2-US8 | 41,6 | JB3-C2 | 29,2 | US8-OBRA | 10,3 |
| 142 | C2-US8 | 37 | JA3-US8 | 15,8 | JB1-C2 | 40,1 | US8-OBRA | 10,3 |
| 143 | C2-US8 | 37 | JA3-US8 | 15,8 | JB2-C2 | 26,7 | US8-OBRA | 10,3 |
| 144 | C2-US8 | 37 | JA3-US8 | 15,8 | JB3-C2 | 29,2 | US8-OBRA | 10,3 |
| 145 | C1-US9 | 94,9 | JA1-US9 | 58,9 | JB1-C1 | 69,5 | US9-OBRA | 36,4 |
| 146 | C1-US9 | 94,9 | JA1-US9 | 58,9 | JB2-C1 | 56 | US9-OBRA | 36,4 |
| 147 | C1-US9 | 94,9 | JA1-US9 | 58,9 | JB3-C1 | 58,5 | US9-OBRA | 36,4 |
| 148 | C1-US9 | 94,9 | JA2-US9 | 58,9 | JB1-C1 | 69,5 | US9-OBRA | 36,4 |
| 149 | C1-US9 | 94,9 | JA2-US9 | 58,9 | JB2-C1 | 56 | US9-OBRA | 36,4 |
| 150 | C1-US9 | 94,9 | JA2-US9 | 58,9 | JB3-C1 | 58,5 | US9-OBRA | 36,4 |
| 151 | C1-US9 | 94,9 | JA3-US9 | 45,1 | JB1-C1 | 69,5 | US9-OBRA | 36,4 |
| 152 | C1-US9 | 94,9 | JA3-US9 | 45,1 | JB2-C1 | 56 | US9-OBRA | 36,4 |
| 153 | C1-US9 | 94,9 | JA3-US9 | 45,1 | JB3-C1 | 58,5 | US9-OBRA | 36,4 |
| 154 | C2-US9 | 92,4 | JA1-US9 | 58,9 | JB1-C2 | 69,5 | US9-OBRA | 36,4 |
| 155 | C2-US9 | 92,4 | JA1-US9 | 58,9 | JB2-C2 | 56 | US9-OBRA | 36,4 |
| 156 | C2-US9 | 92,4 | JA1-US9 | 58,9 | JB3-C2 | 58,5 | US9-OBRA | 36,4 |
| 157 | C2-US9 | 92,4 | JA2-US9 | 58,9 | JB1-C2 | 69,5 | US9-OBRA | 36,4 |
| 158 | C2-US9 | 92,4 | JA2-US9 | 58,9 | JB2-C2 | 56 | US9-OBRA | 36,4 |
| 159 | C2-US9 | 92,4 | JA2-US9 | 58,9 | JB3-C2 | 58,5 | US9-OBRA | 36,4 |
| 160 | C2-US9 | 92,4 | JA3-US9 | 45,1 | JB1-C2 | 69,5 | US9-OBRA | 36,4 |
| 161 | C2-US9 | 92,4 | JA3-US9 | 45,1 | JB2-C2 | 56 | US9-OBRA | 36,4 |
| 162 | C2-US9 | 92,4 | JA3-US9 | 45,1 | JB3-C2 | 58,5 | US9-OBRA | 36,4 |
| 163 | C1-US10 | 39,7 | JA1-US10 | 30,3 | JB1-C1 | 40,9 | US10-OBRA | 9,7 |
| 164 | C1-US10 | 39,7 | JA1-US10 | 30,3 | JB2-C1 | 27,5 | US10-OBRA | 9,7 |

| | | | | | | | | |
|-----|---------|------|----------|------|--------|------|-----------|------|
| 165 | C1-US10 | 39,7 | JA1-US10 | 30,3 | JB3-C1 | 30 | US10-OBRA | 9,7 |
| 166 | C1-US10 | 39,7 | JA2-US10 | 40,6 | JB1-C1 | 40,9 | US10-OBRA | 9,7 |
| 167 | C1-US10 | 39,7 | JA2-US10 | 40,6 | JB2-C1 | 27,5 | US10-OBRA | 9,7 |
| 168 | C1-US10 | 39,7 | JA2-US10 | 40,6 | JB3-C1 | 30 | US10-OBRA | 9,7 |
| 169 | C1-US10 | 39,7 | JA3-US10 | 16,6 | JB1-C1 | 40,9 | US10-OBRA | 9,7 |
| 170 | C1-US10 | 39,7 | JA3-US10 | 16,6 | JB2-C1 | 27,5 | US10-OBRA | 9,7 |
| 171 | C1-US10 | 39,7 | JA3-US10 | 16,6 | JB3-C1 | 30 | US10-OBRA | 9,7 |
| 172 | C2-US10 | 37,2 | JA1-US10 | 30,3 | JB1-C2 | 40,9 | US10-OBRA | 9,7 |
| 173 | C2-US10 | 37,2 | JA1-US10 | 30,3 | JB2-C2 | 27,5 | US10-OBRA | 9,7 |
| 174 | C2-US10 | 37,2 | JA1-US10 | 30,3 | JB3-C2 | 30 | US10-OBRA | 9,7 |
| 175 | C2-US10 | 37,2 | JA2-US10 | 40,6 | JB1-C2 | 40,9 | US10-OBRA | 9,7 |
| 176 | C2-US10 | 37,2 | JA2-US10 | 40,6 | JB2-C2 | 27,5 | US10-OBRA | 9,7 |
| 177 | C2-US10 | 37,2 | JA2-US10 | 40,6 | JB3-C2 | 30 | US10-OBRA | 9,7 |
| 178 | C2-US10 | 37,2 | JA3-US10 | 16,6 | JB1-C2 | 40,9 | US10-OBRA | 9,7 |
| 179 | C2-US10 | 37,2 | JA3-US10 | 16,6 | JB2-C2 | 27,5 | US10-OBRA | 9,7 |
| 180 | C2-US10 | 37,2 | JA3-US10 | 16,6 | JB3-C2 | 30 | US10-OBRA | 9,7 |
| 181 | C1-US11 | 73,7 | JA1-US11 | 49,8 | JB1-C1 | 60,4 | US11-OBRA | 24,2 |
| 182 | C1-US11 | 73,7 | JA1-US11 | 49,8 | JB2-C1 | 47 | US11-OBRA | 24,2 |
| 183 | C1-US11 | 73,7 | JA1-US11 | 49,8 | JB3-C1 | 49,5 | US11-OBRA | 24,2 |
| 184 | C1-US11 | 73,7 | JA2-US11 | 32,3 | JB1-C1 | 60,4 | US11-OBRA | 24,2 |
| 185 | C1-US11 | 73,7 | JA2-US11 | 32,3 | JB2-C1 | 47 | US11-OBRA | 24,2 |
| 186 | C1-US11 | 73,7 | JA2-US11 | 32,3 | JB3-C1 | 49,5 | US11-OBRA | 24,2 |
| 187 | C1-US11 | 73,7 | JA3-US11 | 36,1 | JB1-C1 | 60,4 | US11-OBRA | 24,2 |
| 188 | C1-US11 | 73,7 | JA3-US11 | 36,1 | JB2-C1 | 47 | US11-OBRA | 24,2 |
| 189 | C1-US11 | 73,7 | JA3-US11 | 36,1 | JB3-C1 | 49,5 | US11-OBRA | 24,2 |
| 190 | C2-US11 | 71,2 | JA1-US11 | 49,8 | JB1-C2 | 60,4 | US11-OBRA | 24,2 |
| 191 | C2-US11 | 71,2 | JA1-US11 | 49,8 | JB2-C2 | 47 | US11-OBRA | 24,2 |
| 192 | C2-US11 | 71,2 | JA1-US11 | 49,8 | JB3-C2 | 49,5 | US11-OBRA | 24,2 |
| 193 | C2-US11 | 71,2 | JA2-US11 | 32,3 | JB1-C2 | 60,4 | US11-OBRA | 24,2 |
| 194 | C2-US11 | 71,2 | JA2-US11 | 32,3 | JB2-C2 | 47 | US11-OBRA | 24,2 |
| 195 | C2-US11 | 71,2 | JA2-US11 | 32,3 | JB3-C2 | 49,5 | US11-OBRA | 24,2 |
| 196 | C2-US11 | 71,2 | JA3-US11 | 36,1 | JB1-C2 | 60,4 | US11-OBRA | 24,2 |
| 197 | C2-US11 | 71,2 | JA3-US11 | 36,1 | JB2-C2 | 47 | US11-OBRA | 24,2 |
| 198 | C2-US11 | 71,2 | JA3-US11 | 36,1 | JB3-C2 | 49,5 | US11-OBRA | 24,2 |
| 199 | C1-US12 | 82 | JA1-US12 | 27 | JB1-C1 | 29,9 | US12-OBRA | 43,9 |
| 200 | C1-US12 | 82 | JA1-US12 | 27 | JB2-C1 | 35,6 | US12-OBRA | 43,9 |
| 201 | C1-US12 | 82 | JA1-US12 | 27 | JB3-C1 | 38,1 | US12-OBRA | 43,9 |
| 202 | C1-US12 | 82 | JA2-US12 | 59,2 | JB1-C1 | 29,9 | US12-OBRA | 43,9 |
| 203 | C1-US12 | 82 | JA2-US12 | 59,2 | JB2-C1 | 35,6 | US12-OBRA | 43,9 |
| 204 | C1-US12 | 82 | JA2-US12 | 59,2 | JB3-C1 | 38,1 | US12-OBRA | 43,9 |
| 205 | C1-US12 | 82 | JA3-US12 | 26,9 | JB1-C1 | 29,9 | US12-OBRA | 43,9 |
| 206 | C1-US12 | 82 | JA3-US12 | 26,9 | JB2-C1 | 35,6 | US12-OBRA | 43,9 |

| | | | | | | | | |
|-----|---------|------|----------|------|--------|------|-----------|------|
| 207 | C1-US12 | 82 | JA3-US12 | 26,9 | JB3-C1 | 38,1 | US12-OBRA | 43,9 |
| 208 | C2-US12 | 79,5 | JA1-US12 | 27 | JB1-C2 | 29,9 | US12-OBRA | 43,9 |
| 209 | C2-US12 | 79,5 | JA1-US12 | 27 | JB2-C2 | 35,6 | US12-OBRA | 43,9 |
| 210 | C2-US12 | 79,5 | JA1-US12 | 27 | JB3-C2 | 38,1 | US12-OBRA | 43,9 |
| 211 | C2-US12 | 79,5 | JA2-US12 | 59,2 | JB1-C2 | 29,9 | US12-OBRA | 43,9 |
| 212 | C2-US12 | 79,5 | JA2-US12 | 59,2 | JB2-C2 | 35,6 | US12-OBRA | 43,9 |
| 213 | C2-US12 | 79,5 | JA2-US12 | 59,2 | JB3-C2 | 38,1 | US12-OBRA | 43,9 |
| 214 | C2-US12 | 79,5 | JA3-US12 | 26,9 | JB1-C2 | 29,9 | US12-OBRA | 43,9 |
| 215 | C2-US12 | 79,5 | JA3-US12 | 26,9 | JB2-C2 | 35,6 | US12-OBRA | 43,9 |
| 216 | C2-US12 | 79,5 | JA3-US12 | 26,9 | JB3-C2 | 38,1 | US12-OBRA | 43,9 |
| 217 | C1-US13 | 46,3 | JA1-US13 | 34,8 | JB1-C1 | 45,3 | US13-OBRA | 11,9 |
| 218 | C1-US13 | 46,3 | JA1-US13 | 34,8 | JB2-C1 | 31,9 | US13-OBRA | 11,9 |
| 219 | C1-US13 | 46,3 | JA1-US13 | 34,8 | JB3-C1 | 34,4 | US13-OBRA | 11,9 |
| 220 | C1-US13 | 46,3 | JA2-US13 | 35,4 | JB1-C1 | 45,3 | US13-OBRA | 11,9 |
| 221 | C1-US13 | 46,3 | JA2-US13 | 35,4 | JB2-C1 | 31,9 | US13-OBRA | 11,9 |
| 222 | C1-US13 | 46,3 | JA2-US13 | 35,4 | JB3-C1 | 34,4 | US13-OBRA | 11,9 |
| 223 | C1-US13 | 46,3 | JA3-US13 | 21 | JB1-C1 | 45,3 | US13-OBRA | 11,9 |
| 224 | C1-US13 | 46,3 | JA3-US13 | 21 | JB2-C1 | 31,9 | US13-OBRA | 11,9 |
| 225 | C1-US13 | 46,3 | JA3-US13 | 21 | JB3-C1 | 34,4 | US13-OBRA | 11,9 |
| 226 | C2-US13 | 43,8 | JA1-US13 | 34,8 | JB1-C2 | 45,3 | US13-OBRA | 11,9 |
| 227 | C2-US13 | 43,8 | JA1-US13 | 34,8 | JB2-C2 | 31,9 | US13-OBRA | 11,9 |
| 228 | C2-US13 | 43,8 | JA1-US13 | 34,8 | JB3-C2 | 34,4 | US13-OBRA | 11,9 |
| 229 | C2-US13 | 43,8 | JA2-US13 | 35,4 | JB1-C2 | 45,3 | US13-OBRA | 11,9 |
| 230 | C2-US13 | 43,8 | JA2-US13 | 35,4 | JB2-C2 | 31,9 | US13-OBRA | 11,9 |
| 231 | C2-US13 | 43,8 | JA2-US13 | 35,4 | JB3-C2 | 34,4 | US13-OBRA | 11,9 |
| 232 | C2-US13 | 43,8 | JA3-US13 | 21 | JB1-C2 | 45,3 | US13-OBRA | 11,9 |
| 233 | C2-US13 | 43,8 | JA3-US13 | 21 | JB2-C2 | 31,9 | US13-OBRA | 11,9 |
| 234 | C2-US13 | 43,8 | JA3-US13 | 21 | JB3-C2 | 34,4 | US13-OBRA | 11,9 |
| 235 | C1-US14 | 42,7 | JA1-US14 | 12,9 | JB1-C1 | 32,8 | US14-OBRA | 27,3 |
| 236 | C1-US14 | 42,7 | JA1-US14 | 12,9 | JB2-C1 | 19,3 | US14-OBRA | 27,3 |
| 237 | C1-US14 | 42,7 | JA1-US14 | 12,9 | JB3-C1 | 15,4 | US14-OBRA | 27,3 |
| 238 | C1-US14 | 42,7 | JA2-US14 | 51,8 | JB1-C1 | 32,8 | US14-OBRA | 27,3 |
| 239 | C1-US14 | 42,7 | JA2-US14 | 51,8 | JB2-C1 | 19,3 | US14-OBRA | 27,3 |
| 240 | C1-US14 | 42,7 | JA2-US14 | 51,8 | JB3-C1 | 15,4 | US14-OBRA | 27,3 |
| 241 | C1-US14 | 42,7 | JA3-US14 | 10,7 | JB1-C1 | 32,8 | US14-OBRA | 27,3 |
| 242 | C1-US14 | 42,7 | JA3-US14 | 10,7 | JB2-C1 | 19,3 | US14-OBRA | 27,3 |
| 243 | C1-US14 | 42,7 | JA3-US14 | 10,7 | JB3-C1 | 15,4 | US14-OBRA | 27,3 |
| 244 | C2-US14 | 46,6 | JA1-US14 | 12,9 | JB1-C2 | 32,8 | US14-OBRA | 27,3 |
| 245 | C2-US14 | 46,6 | JA1-US14 | 12,9 | JB2-C2 | 19,3 | US14-OBRA | 27,3 |
| 246 | C2-US14 | 46,6 | JA1-US14 | 12,9 | JB3-C2 | 15,4 | US14-OBRA | 27,3 |
| 247 | C2-US14 | 46,6 | JA2-US14 | 51,8 | JB1-C2 | 32,8 | US14-OBRA | 27,3 |
| 248 | C2-US14 | 46,6 | JA2-US14 | 51,8 | JB2-C2 | 19,3 | US14-OBRA | 27,3 |

| | | | | | | | | |
|-----|---------|------|----------|------|--------|------|-----------|------|
| 249 | C2-US14 | 46,6 | JA2-US14 | 51,8 | JB3-C2 | 15,4 | US14-OBRA | 27,3 |
| 250 | C2-US14 | 46,6 | JA3-US14 | 10,7 | JB1-C2 | 32,8 | US14-OBRA | 27,3 |
| 251 | C2-US14 | 46,6 | JA3-US14 | 10,7 | JB2-C2 | 19,3 | US14-OBRA | 27,3 |
| 252 | C2-US14 | 46,6 | JA3-US14 | 10,7 | JB3-C2 | 15,4 | US14-OBRA | 27,3 |
| 253 | C1-US15 | 50,1 | JA1-US15 | 37,5 | JB1-C1 | 48 | US15-OBRA | 13 |
| 254 | C1-US15 | 50,1 | JA1-US15 | 37,5 | JB2-C1 | 34,6 | US15-OBRA | 13 |
| 255 | C1-US15 | 50,1 | JA1-US15 | 37,5 | JB3-C1 | 37,1 | US15-OBRA | 13 |
| 256 | C1-US15 | 50,1 | JA2-US15 | 42 | JB1-C1 | 48 | US15-OBRA | 13 |
| 257 | C1-US15 | 50,1 | JA2-US15 | 42 | JB2-C1 | 34,6 | US15-OBRA | 13 |
| 258 | C1-US15 | 50,1 | JA2-US15 | 42 | JB3-C1 | 37,1 | US15-OBRA | 13 |
| 259 | C1-US15 | 50,1 | JA3-US15 | 23,7 | JB1-C1 | 48 | US15-OBRA | 13 |
| 260 | C1-US15 | 50,1 | JA3-US15 | 23,7 | JB2-C1 | 34,6 | US15-OBRA | 13 |
| 261 | C1-US15 | 50,1 | JA3-US15 | 23,7 | JB3-C1 | 37,1 | US15-OBRA | 13 |
| 262 | C2-US15 | 47,6 | JA1-US15 | 37,5 | JB1-C2 | 48 | US15-OBRA | 13 |
| 263 | C2-US15 | 47,6 | JA1-US15 | 37,5 | JB2-C2 | 34,6 | US15-OBRA | 13 |
| 264 | C2-US15 | 47,6 | JA1-US15 | 37,5 | JB3-C2 | 37,1 | US15-OBRA | 13 |
| 265 | C2-US15 | 47,6 | JA2-US15 | 42 | JB1-C2 | 48 | US15-OBRA | 13 |
| 266 | C2-US15 | 47,6 | JA2-US15 | 42 | JB2-C2 | 34,6 | US15-OBRA | 13 |
| 267 | C2-US15 | 47,6 | JA2-US15 | 42 | JB3-C2 | 37,1 | US15-OBRA | 13 |
| 268 | C2-US15 | 47,6 | JA3-US15 | 23,7 | JB1-C2 | 48 | US15-OBRA | 13 |
| 269 | C2-US15 | 47,6 | JA3-US15 | 23,7 | JB2-C2 | 34,6 | US15-OBRA | 13 |
| 270 | C2-US15 | 47,6 | JA3-US15 | 23,7 | JB3-C2 | 37,1 | US15-OBRA | 13 |
| 271 | C1-US16 | 80,2 | JA1-US16 | 53,3 | JB1-C1 | 63,9 | US16-OBRA | 27,3 |
| 272 | C1-US16 | 80,2 | JA1-US16 | 53,3 | JB2-C1 | 50,4 | US16-OBRA | 27,3 |
| 273 | C1-US16 | 80,2 | JA1-US16 | 53,3 | JB3-C1 | 52,9 | US16-OBRA | 27,3 |
| 274 | C1-US16 | 80,2 | JA2-US16 | 30,4 | JB1-C1 | 63,9 | US16-OBRA | 27,3 |
| 275 | C1-US16 | 80,2 | JA2-US16 | 30,4 | JB2-C1 | 50,4 | US16-OBRA | 27,3 |
| 276 | C1-US16 | 80,2 | JA2-US16 | 30,4 | JB3-C1 | 52,9 | US16-OBRA | 27,3 |
| 277 | C1-US16 | 80,2 | JA3-US16 | 39,5 | JB1-C1 | 63,9 | US16-OBRA | 27,3 |
| 278 | C1-US16 | 80,2 | JA3-US16 | 39,5 | JB2-C1 | 50,4 | US16-OBRA | 27,3 |
| 279 | C1-US16 | 80,2 | JA3-US16 | 39,5 | JB3-C1 | 52,9 | US16-OBRA | 27,3 |
| 280 | C2-US16 | 77,7 | JA1-US16 | 53,3 | JB1-C2 | 63,9 | US16-OBRA | 27,3 |
| 281 | C2-US16 | 77,7 | JA1-US16 | 53,3 | JB2-C2 | 50,4 | US16-OBRA | 27,3 |
| 282 | C2-US16 | 77,7 | JA1-US16 | 53,3 | JB3-C2 | 52,9 | US16-OBRA | 27,3 |
| 283 | C2-US16 | 77,7 | JA2-US16 | 30,4 | JB1-C2 | 63,9 | US16-OBRA | 27,3 |
| 284 | C2-US16 | 77,7 | JA2-US16 | 30,4 | JB2-C2 | 50,4 | US16-OBRA | 27,3 |
| 285 | C2-US16 | 77,7 | JA2-US16 | 30,4 | JB3-C2 | 52,9 | US16-OBRA | 27,3 |
| 286 | C2-US16 | 77,7 | JA3-US16 | 39,5 | JB1-C2 | 63,9 | US16-OBRA | 27,3 |
| 287 | C2-US16 | 77,7 | JA3-US16 | 39,5 | JB2-C2 | 50,4 | US16-OBRA | 27,3 |
| 288 | C2-US16 | 77,7 | JA3-US16 | 39,5 | JB3-C2 | 52,9 | US16-OBRA | 27,3 |
| 289 | C1-US17 | 44,5 | JA1-US17 | 30,2 | JB1-C1 | 37,9 | US17-OBRA | 17,5 |
| 290 | C1-US17 | 44,5 | JA1-US17 | 30,2 | JB2-C1 | 24,5 | US17-OBRA | 17,5 |

| | | | | | | | | |
|--------------|---------|------|----------|------|--------|------|-----------|------|
| 291 | C1-US17 | 44,5 | JA1-US17 | 30,2 | JB3-C1 | 27 | US17-OBRA | 17,5 |
| 292 | C1-US17 | 44,5 | JA2-US17 | 40,6 | JB1-C1 | 37,9 | US17-OBRA | 17,5 |
| 293 | C1-US17 | 44,5 | JA2-US17 | 40,6 | JB2-C1 | 24,5 | US17-OBRA | 17,5 |
| 294 | C1-US17 | 44,5 | JA2-US17 | 40,6 | JB3-C1 | 27 | US17-OBRA | 17,5 |
| 295 | C1-US17 | 44,5 | JA3-US17 | 16,1 | JB1-C1 | 37,9 | US17-OBRA | 17,5 |
| 296 | C1-US17 | 44,5 | JA3-US17 | 16,1 | JB2-C1 | 24,5 | US17-OBRA | 17,5 |
| 297 | C1-US17 | 44,5 | JA3-US17 | 16,1 | JB3-C1 | 27 | US17-OBRA | 17,5 |
| 298 | C2-US17 | 42 | JA1-US17 | 30,2 | JB1-C2 | 37,9 | US17-OBRA | 17,5 |
| 299 | C2-US17 | 42 | JA1-US17 | 30,2 | JB2-C2 | 24,5 | US17-OBRA | 17,5 |
| 300 | C2-US17 | 42 | JA1-US17 | 30,2 | JB3-C2 | 27 | US17-OBRA | 17,5 |
| 301 | C2-US17 | 42 | JA2-US17 | 40,6 | JB1-C2 | 37,9 | US17-OBRA | 17,5 |
| 302 | C2-US17 | 42 | JA2-US17 | 40,6 | JB2-C2 | 24,5 | US17-OBRA | 17,5 |
| 303 | C2-US17 | 42 | JA2-US17 | 40,6 | JB3-C2 | 27 | US17-OBRA | 17,5 |
| 304 | C2-US17 | 42 | JA3-US17 | 16,1 | JB1-C2 | 37,9 | US17-OBRA | 17,5 |
| 305 | C2-US17 | 42 | JA3-US17 | 16,1 | JB2-C2 | 24,5 | US17-OBRA | 17,5 |
| 306 | C2-US17 | 42 | JA3-US17 | 16,1 | JB3-C2 | 27 | US17-OBRA | 17,5 |
| 307 | C1-US18 | 49,4 | JA1-US18 | 38,6 | JB1-C1 | 48,9 | US18-OBRA | 11,4 |
| 308 | C1-US18 | 49,4 | JA1-US18 | 38,6 | JB2-C1 | 35,5 | US18-OBRA | 11,4 |
| 309 | C1-US18 | 49,4 | JA1-US18 | 38,6 | JB3-C1 | 38 | US18-OBRA | 11,4 |
| 310 | C1-US18 | 49,4 | JA2-US18 | 44,5 | JB1-C1 | 48,9 | US18-OBRA | 11,4 |
| 311 | C1-US18 | 49,4 | JA2-US18 | 44,5 | JB2-C1 | 35,5 | US18-OBRA | 11,4 |
| 312 | C1-US18 | 49,4 | JA2-US18 | 44,5 | JB3-C1 | 38 | US18-OBRA | 11,4 |
| 313 | C1-US18 | 49,4 | JA3-US18 | 24,6 | JB1-C1 | 48,9 | US18-OBRA | 11,4 |
| 314 | C1-US18 | 49,4 | JA3-US18 | 24,6 | JB2-C1 | 35,5 | US18-OBRA | 11,4 |
| 315 | C1-US18 | 49,4 | JA3-US18 | 24,6 | JB3-C1 | 38 | US18-OBRA | 11,4 |
| 316 | C2-US18 | 46,9 | JA1-US18 | 38,6 | JB1-C2 | 48,9 | US18-OBRA | 11,4 |
| 317 | C2-US18 | 46,9 | JA1-US18 | 38,6 | JB2-C2 | 35,5 | US18-OBRA | 11,4 |
| 318 | C2-US18 | 46,9 | JA1-US18 | 38,6 | JB3-C2 | 38 | US18-OBRA | 11,4 |
| 319 | C2-US18 | 46,9 | JA2-US18 | 44,5 | JB1-C2 | 48,9 | US18-OBRA | 11,4 |
| 320 | C2-US18 | 46,9 | JA2-US18 | 44,5 | JB2-C2 | 35,5 | US18-OBRA | 11,4 |
| 321 | C2-US18 | 46,9 | JA2-US18 | 44,5 | JB3-C2 | 38 | US18-OBRA | 11,4 |
| 322 | C2-US18 | 46,9 | JA3-US18 | 24,6 | JB1-C2 | 48,9 | US18-OBRA | 11,4 |
| 323 | C2-US18 | 46,9 | JA3-US18 | 24,6 | JB2-C2 | 35,5 | US18-OBRA | 11,4 |
| 324 | C2-US18 | 46,9 | JA3-US18 | 24,6 | JB3-C2 | 38 | US18-OBRA | 11,4 |
| Média | C - US | 56 | JÁ - US | 36 | JB - C | 40 | US - OBRA | 20 |

ANEXO C: Levantamento dos produtores de aditivo para concreto no Brasil

| Nome | Cidade | Estado | Endereço | CEP | Coordenada X | Coordenada Y |
|----------------|-------------------------|--------|--|-----------|--------------|--------------|
| Sika Brasil | Osasco | SP | AV Doutor Alberto Jackson Byington, 1525 | 06276-000 | -46,7725 | -23,4907 |
| Sika Brasil | Jandira | SP | Polo Industrial Jandira II - Condomínio g6 Empresarial Galpão g h i j, 151 | 06612-270 | -46,9144 | -23,5227 |
| Sika Brasil | Lençóis Paulista | SP | Rodovia Juliano Lorenzetti - Acesso Pelo KM 304; da Rodovia Marechal; Rondon S/n Pavilhão; Industrial b; Parte Sala 1 Térreo | 18682-970 | -48,8165 | -22,5678 |
| Sika Brasil | Jaboatão Dos Guararapes | PE | Rodovia BR 101 Sul - KM 80 Galpão a, b, c, d | 54320-230 | -34,9413 | -8,543 |
| Viapol | Caçapava | SP | Rodovia Vito Ardito, nº 6401 - Km 118,5 - Jd. Campo Grande | 12282-535 | -45,6559 | -23,0709 |
| Viapol | Candeias | BA | Rod BA 522, Km 03 - Distrito Industrial | 43813-300 | -38,4833 | -12,6955 |
| Vedacit | Salvador | BA | Rua Dr Altino Teixeira, 385 - Portoseco Piraja | 41233-010 | -38,4551 | -12,9137 |
| Bautech Brasil | Itaquaquecetuba | SP | Rua do Córrego, 130 - Parque São Pedro | 08586-250 | -46,3278 | -23,4444 |
| Bautech Brasil | São Paulo | SP | Rua Caio Graco, 59 - Vila Romana | 05044-000 | -46,6943 | -23,5233 |
| Bautech Brasil | Itaquaquecetuba | SP | Rua Flor de Maio, 655 - Quinta da Boa Vista | 08597-610 | -46,3268 | -23,4586 |
| Quartzolit | Anápolis | GO | Rua Viela VI L2, S/N - Quadra1 A, Módulos 3b e 4a - Daia - Distrito Agroindustrial de Anápolis | 75132-010 | -48,9578 | -16,3964 |
| Quartzolit | Viamão | RS | Rodovia Rs-118, 9390 - Km 29 - Vila Elsa | 94420-400 | -50,9947 | -30,0089 |
| Quartzolit | Aracruz | ES | Estrada Reserva Biológica de Comboios, 1000 - Vila do Riacho | 29197-190 | -40,0296 | -19,7441 |
| Quartzolit | Tubarão | SC | Rua Bela Vista, 81 - São Cristóvão | 88703-112 | -49,0575 | -28,5216 |
| Quartzolit | Abreu e Lima | PE | Avenida Assedipe, 500 - Distrito Industrial | 53520-785 | -34,9022 | -7,9231 |
| Quartzolit | Queimados | RJ | Rua e, S/N - Lote 12 e 13 - Distrito Industrial | 26315-020 | -43,6198 | -22,7372 |

| | | | | | | |
|------------|---------------------------|----|--|-----------|----------|----------|
| Quartzolit | Praia Grande | SP | Avenida Diamantino Cruz Ferreira Mourão, 1884 - Galpão - Ribeirópolis | 11714-630 | -46,5067 | -24,0259 |
| Quartzolit | São Jose do Rio Preto | SP | Avenida Percy Gandini, 1385 - Quadra20 Parte Lote 08 - Vila Toninho | 15077-000 | -49,3423 | -20,8516 |
| Quartzolit | Cuiabá | MT | Rodovia dos Imigrantes, 3728 - Km 4,2 - Distrito Industrial | 78098-325 | -56,0168 | -15,6818 |
| Quartzolit | Santa Luzia | MG | Rua Quartzolit, 100 - Sitio Boa Vista | 33040-257 | -43,8721 | -19,8011 |
| Matchem | Santana de Parnaíba | SP | Rua São Paulo, 92 – Jd. Várzea | 06530-075 | -46,8736 | -23,4079 |
| Matchem | Vitoria de Santo Antão | PE | Rodovia Luiz Gonzaga, S/N - Distrito Industrial Jose Augusto Ferrer de Moraes | 55613-010 | -35,2491 | -8.1160 |

Figura 33 - Localização dos principais produtores de aditivo do Brasil



ANEXO D: Levantamento dos produtores de cal no Brasil

| Nome | Cidade | Estado | Endereço | CEP | Coordenada X | Coordenada Y |
|---------------------------|---------------------|--------|---|-----------|--------------|--------------|
| Ical | São José da Lapa | MG | Acesso para Rodovia MG-424, 6 | 33350-000 | -43,9630 | -19,7102 |
| Quimical | Arcos | MG | Avenida Doutor Moacir Dias de Carvalho, 04 Apto 102 Novo Sion | 35588-000 | -45,5391 | -20,2964 |
| Indústria de Cal Cruzeiro | Córrego Fundo | MG | MG-050 Km 212 | 35578-000 | -45,5275 | -20,4611 |
| Cal Nevada | Senhora de Oliveira | MG | Rua Getúlio Vargas 176 , Centro | 36470-000 | -43,3445 | -20,7950 |
| Lhoist do Brasil | São José da Lapa | MG | R. Padre José Dias, 3301 - Centro | 33350-000 | -43,9559 | -19,7000 |
| Brasical | Pains | MG | Rodovia Mg 439 Km 09, S/N | 35582-000 | -45,5817 | -20,3825 |
| Cobrascal | Mairipora | SP | Rodovia Arão Sahm, S/N - Km 44 | 07600-000 | -46,5816 | -23,2696 |
| Carbomil | Limoeiro do Norte | CE | Faz. Baixa Grande, SN - Zona Rural | 62930-000 | -37,9473 | -5,435 |
| Carbomil | Quixeré | CE | Sítio Ubaia, SN - Zona Rural | 62924-000 | -37,7886 | -5,292 |
| GMIC | Salto de Pirapora | SP | Rod. João Guimarães - Bairro Corvinho, KM 10,5 | 18160-000 | -47,5563 | -23,6468 |
| Mineração Lapa Vermelha | Pedro Leopoldo | MG | Fazenda Lapa Vermelha - s/n | 33600-000 | -44,0038 | -19,6097 |
| Dagoberto Barcellos | Caçapava do Sul | RS | Matriz BR 392 – KM 252,5 , Caieiras | 96570-000 | -53,4237 | -30,5423 |
| Cal Trevo | Simão Dias | SE | Povoado Apertado de Pedras, S/N - Zona Rural | 49480-000 | -37,8067 | -10,6699 |
| CaO do Brasil | Iguatama | MG | Rodovia BR 354, Km 455 - INDUSTRIAL | 38910-000 | -45,6996 | -20,1943 |

| | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|----|---|-----------|----------|----------|
| Tancal | Colombo | PR | R. Mal. Floriano Peixoto, 8688 - Centro | 83414-270 | -49,2183 | -25,2895 |
| Calcem | Colombo | PR | Rod. Antônio Gasparin, 9586 - Centro | 83414-520 | -49,2162 | -25,2827 |
| Colombocal | Colombo | PR | Rodovia da Uva, 7620 - Centro | 83414-300 | -49,2236 | -25,2976 |
| Cibracal Indústria de Minérios | Colombo | PR | Rod. da Uva, 7167 - Embu | 83414-300 | -49,2231 | -25,3009 |
| EB Cal | Almirante Tamandaré | PR | Rodovia dos Minérios, 19 - Tranqueira | 83513-000 | -49,3041 | -25,2831 |
| Engecal | Almirante Tamandaré | PR | Rua Antônio Ferro 500 – Bairro – Boicinga | 83513-510 | -49,2750 | -25,2907 |
| Polical | Colombo | PR | Rua Antônio Gasparin, 14.500 Km 14.5 - Morro Grande | 83415-070 | -49,2245 | -25,2302 |

Figura 34 - Localização dos principais produtores de cal do Brasil



ANEXO E: Composições do SINAPI utilizadas pela NOVACAP nos projetos de ciclovias

| ETAPA – CONSTRUÇÃO – RETIRADA DA VEGETAÇÃO | | | | |
|--|----------------|--|-----------|--------------|
| CLASSE/TIPO | CÓDIGOS | DESCRIÇÃO | UNIDADE | COEFICIENTE |
| SERP | 73822/2 | LIMPEZA MECANIZADA DE TERRENO COM REMOCAO DE CAMADA VEGETAL, UTILIZANDO MOTONIVELADORA | M2 | |
| COMPOSICAO | 5932 | MOTONIVELADORA POTÊNCIA BÁSICA LÍQUIDA (PRIMEIRA MARCHA) 125 HP, PESO BRUTO 13032 KG, LARGURA DA LÂMINA DE 3,7 M - CHP DIURNO. AF_06/2014 | CHP | 0,003 |
| COMPOSICAO | 88316 | SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,003 |
| MOVT | 72898 | CARGA E DESCARGA MECANIZADAS DE ENTULHO EM CAMINHAO BASCULANTE 6 M3 | M3 | |
| COMPOSICAO | 5811 | CAMINHÃO BASCULANTE 6 M3, PESO BRUTO TOTAL 16.000 KG, CARGA ÚTIL MÁXIMA 13.071 KG, DISTÂNCIA ENTRE EIXOS 4,80 M, POTÊNCIA 230 CV INCLUSIVE CAÇAMBA METÁLICA - CHP DIURNO. AF_06/2014 | CHP | 0,007 |
| COMPOSICAO | 5940 | PÁ CARREGADEIRA SOBRE RODAS, POTÊNCIA LÍQUIDA 128 HP, CAPACIDADE DA CAÇAMBA 1,7 A 2,8 M3, PESO OPERACIONAL 11632 KG - CHP DIURNO. AF_06/2014 | CHP | 0,018 |
| COMPOSICAO | 88316 | SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,018 |
| ETAPA – CONSTRUÇÃO – EXECUÇÃO DO SUBLEITO | | | | |
| MOVT | 72898 | CARGA E DESCARGA MECANIZADAS DE ENTULHO EM CAMINHAO BASCULANTE 6 M3 | M3 | |
| COMPOSICAO | 5811 | CAMINHÃO BASCULANTE 6 M3, PESO BRUTO TOTAL 16.000 KG, CARGA ÚTIL MÁXIMA 13.071 KG, DISTÂNCIA ENTRE EIXOS 4,80 M, POTÊNCIA 230 CV INCLUSIVE CAÇAMBA METÁLICA - CHP DIURNO. AF_06/2014 | CHP | 0,007 |
| COMPOSICAO | 5940 | PÁ CARREGADEIRA SOBRE RODAS, POTÊNCIA LÍQUIDA 128 HP, CAPACIDADE DA CAÇAMBA 1,7 A 2,8 M3, PESO OPERACIONAL 11632 KG - CHP DIURNO. AF_06/2014 | CHP | 0,018 |
| COMPOSICAO | 88316 | SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,018 |
| MOVT | 74005/1 | COMPACTACAO MECANICA, SEM CONTROLE DO GC (C/COMPACTADOR PLACA 400 KG) | M3 | |
| COMPOSICAO | 88316 | SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,250 |

| | | | | |
|---|-------|--|-----|--------|
| COMPOSICAO | 91277 | PLACA VIBRATÓRIA REVERSÍVEL COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, FORÇA CENTRÍFUGA DE 25 KN (2500 KGF), POTÊNCIA 5,5 CV - CHP DIURNO. AF_08/2015 | CHP | 0,125 |
| ETAPA – CONSTRUÇÃO – EXECUÇÃO DA CAMADA DE BGS | | | | |
| PAVI | 96396 | EXECUÇÃO E COMPACTAÇÃO DE BASE E OU SUB BASE COM BRITA GRADUADA SIMPLES - EXCLUSIVE CARGA E TRANSPORTE. AF_09/2017 | M3 | |
| COMPOSICAO | 5684 | ROLO COMPACTADOR VIBRATÓRIO DE UM CILINDRO AÇO LISO, POTÊNCIA 80 HP, PESO OPERACIONAL MÁXIMO 8,1 T, IMPACTO DINÂMICO 16,15 / 9,5 T, LARGURA DE TRABALHO 1,68 M - CHP DIURNO. AF_06/2014 | CHP | 0,0077 |
| COMPOSICAO | 5685 | ROLO COMPACTADOR VIBRATÓRIO DE UM CILINDRO AÇO LISO, POTÊNCIA 80 HP, PESO OPERACIONAL MÁXIMO 8,1 T, IMPACTO DINÂMICO 16,15 / 9,5 T, LARGURA DE TRABALHO 1,68 M - CHI DIURNO. AF_06/2014 | CHI | 0,0084 |
| COMPOSICAO | 5901 | CAMINHÃO PIPA 10.000 L TRUCADO, PESO BRUTO TOTAL 23.000 KG, CARGA ÚTIL MÁXIMA 15.935 KG, DISTÂNCIA ENTRE EIXOS 4,8 M, POTÊNCIA 230 CV, INCLUSIVE TANQUE DE AÇO PARA TRANSPORTE DE ÁGUA - CHP DIURNO. AF_06/2014 | CHP | 0,0058 |
| COMPOSICAO | 5903 | CAMINHÃO PIPA 10.000 L TRUCADO, PESO BRUTO TOTAL 23.000 KG, CARGA ÚTIL MÁXIMA 15.935 KG, DISTÂNCIA ENTRE EIXOS 4,8 M, POTÊNCIA 230 CV, INCLUSIVE TANQUE DE AÇO PARA TRANSPORTE DE ÁGUA - CHI DIURNO. AF_06/2014 | CHI | 0,0103 |
| COMPOSICAO | 5932 | MOTONIVELADORA POTÊNCIA BÁSICA LÍQUIDA (PRIMEIRA MARCHA) 125 HP, PESO BRUTO 13032 KG, LARGURA DA LÂMINA DE 3,7 M - CHP DIURNO. AF_06/2014 | CHP | 0,0077 |
| COMPOSICAO | 5934 | MOTONIVELADORA POTÊNCIA BÁSICA LÍQUIDA (PRIMEIRA MARCHA) 125 HP, PESO BRUTO 13032 KG, LARGURA DA LÂMINA DE 3,7 M - CHI DIURNO. AF_06/2014 | CHI | 0,0084 |
| COMPOSICAO | 88316 | SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,0563 |
| COMPOSICAO | 96393 | USINAGEM DE BRITA GRADUADA SIMPLES, UTILIZANDO BRITA COMERCIAL COM USINA 300 T/H. AF_06/2017 | M3 | 1,0 |
| COMPOSICAO | 96463 | ROLO COMPACTADOR DE PNEUS, ESTATICO, PRESSAO VARIAVEL, | CHP | 0,0039 |

| | | | | |
|---|--------------|---|-----------|--------|
| | | POTENCIA 110 HP, PESO SEM/COM LASTRO 10,8/27 T, LARGURA DE ROLAGEM 2,30 M - CHP DIURNO. AF_06/2017 | | |
| COMPOSICAO | 96464 | ROLO COMPACTADOR DE PNEUS, ESTATICO, PRESSAO VARIAVEL, POTENCIA 110 HP, PESO SEM/COM LASTRO 10,8/27 T, LARGURA DE ROLAGEM 2,30 M - CHI DIURNO. AF_06/2017 | CHI | 0,0122 |
| ETAPA – CONSTRUÇÃO – CONCRETAGEM | | | | |
| FUES | 97094 | CONCRETAGEM DE RADIER, PISO OU LAJE SOBRE SOLO, FCK 30 MPA, PARA ESPESSURA DE 10 CM - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_09/2017 | M3 | |
| INSUMO | 1525 | CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C30, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953) | M3 | 1,163 |
| COMPOSICAO | 88309 | PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,504 |
| COMPOSICAO | 88316 | SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,504 |
| COMPOSICAO | 90586 | VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015 | CHP | 0,066 |
| COMPOSICAO | 90587 | VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015 | CHI | 0,066 |
| PAVI | 97114 | EXECUÇÃO DE JUNTAS DE CONTRAÇÃO PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO. AF_11/2017 | M | |
| COMPOSICAO | 88309 | PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,0078 |
| COMPOSICAO | 88316 | SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,0078 |
| COMPOSICAO | 91283 | CORTADORA DE PISO COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, POTÊNCIA DE 13 HP, COM DISCO DE CORTE DIAMANTADO SEGMENTADO PARA CONCRETO, DIÂMETRO DE 350 MM, FURO DE 1" (14 X 1") - CHP DIURNO. AF_08/2015 | CHP | 0,0062 |
| ETAPA – DEMOLIÇÃO – CONCRETAGEM | | | | |
| SERP | 97629 | DEMOLIÇÃO DE LAJES, DE FORMA MECANIZADA COM MARTELETE, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017 | M3 | |
| COMPOSICAO | 5795 | MARTELETE OU ROMPEDOR PNEUMÁTICO MANUAL, 28 KG, | CHP | 1,5562 |

| | | | | |
|-------------|----------------|---|-----------|--------|
| | | COM SILENCIADOR - CHP DIURNO. AF_07/2016 | | |
| COMPOSICAO | 5952 | MARTELETE OU ROMPEDOR PNEUMÁTICO MANUAL, 28 KG, COM SILENCIADOR - CHI DIURNO. AF_07/2016 | CHI | 0,4411 |
| COMPOSICAO | 88309 | PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,3051 |
| COMPOSICAO | 88316 | SERVEnte COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 3,153 |
| MOVT | 74010/1 | CARGA E DESCARGA MECANICA DE SOLO UTILIZANDO CAMINHAO BASCULANTE 6,0M3/16T E PA CARREGADEIRA SOBRE PNEUS 128 HP, CAPACIDADE DA CAÇAMBA 1,7 A 2,8 M3, PESO OPERACIONAL 11632 KG | M3 | |
| COMPOSICAO | 5811 | CAMINHÃO BASCULANTE 6 M3, PESO BRUTO TOTAL 16.000 KG, CARGA ÚTIL MÁXIMA 13.071 KG, DISTÂNCIA ENTRE EIXOS 4,80 M, POTÊNCIA 230 CV INCLUSIVE CAÇAMBA METÁLICA - CHP DIURNO. AF_06/2014 | CHP | 0,003 |
| COMPOSICAO | 5940 | PÁ CARREGADEIRA SOBRE RODAS, POTÊNCIA LÍQUIDA 128 HP, CAPACIDADE DA CAÇAMBA 1,7 A 2,8 M3, PESO OPERACIONAL 11632 KG - CHP DIURNO. AF_06/2014 | CHP | 0,008 |
| COMPOSICAO | 88316 | SERVEnte COM ENCARGOS COMPLEMENTARES | H | 0,008 |

ANEXO F: Processos adicionados ao *software* OpenLCA

P Inputs/Outputs: Cal hidratada

| Inputs | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|---------|------|--------------|-------------|-------------|----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| Electricity | Energy carriers and tec... | 0.01272 | kWh | | none | | | | |
| heat | Energy carriers and tec... | 0.00141 | MJ | | none | | | | |
| hydrated lime dry slaked | Materials production/... | 0.76900 | kg | | none | | | | |
| Water, unspecified natural ori... | Resource/in water | 0.00085 | m3 | | none | | | | |

| Outputs | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------------------|----------------|-----------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| Cal hidratada | | 1.00000 | kg | | none | | | | |
| Water | Emission to air/unspec... | 9.03000E-5 | m3 | | none | | | | |
| Water | Emission to water/uns... | 0.00051 | m3 | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Clinker

| Inputs | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------|---------|------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| Charcoal - BR | Energy carriers and tec... | 0.00368 | kg | | none | | P Charc... | | |
| Clay, unspecified, in ground | Resource/in ground | 0.15300 | kg | | none | | | | |
| Diesel | Energy carriers and tec... | 1.74580 | kg | | none | | | | |
| Electricity | Energy carriers and tec... | 0.20880 | MJ | | none | | | | |
| hard coal | Energy carriers and tec... | 0.00592 | kg | | none | | | | |
| heavy fuel oil | Energy carriers and tec... | 0.00038 | kg | | none | | | | |
| Iron ore, in ground | Resource/in ground | 0.00480 | kg | | none | | | | |
| Limestone, in ground | Resource/in ground | 0.92060 | kg | | none | | | | |
| natural gas; 44.1 MJ/kg | Resource/in ground | 0.03230 | MJ | | none | | | | |
| petroleum coke | Energy carriers and tec... | 0.09975 | kg | | none | | P petrol... | | |
| Silicon | Resource/in ground | 0.00720 | kg | | none | | | | |
| wood; 14.7 MJ/kg | Resource/biotic | 0.08580 | MJ | | none | | | | |

| Outputs | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------|-----------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| Carbon dioxide, fossil | Emission to air/unspec... | 0.94250 | kg | | none | | | | |
| Carbon monoxide, fossil | Emission to air/unspec... | 0.05490 | kg | | none | | | | |
| Clinker | | 1.00000 | kg | | none | | | | |
| Dinitrogen monoxide | Emission to air/unspec... | 0.00207 | kg | | none | | | | |
| Methane | Emission to air/unspec... | 0.02590 | kg | | none | | | | |
| Nitrogen oxides | Emission to air/unspec... | 0.00047 | kg | | none | | | | |
| NM VOC, non-methane volati... | Emission to air/unspec... | 0.00828 | kg | | none | | | | |
| Particulates, > 2.5 um, and < ... | Emission to air/unspec... | 0.00025 | kg | | none | | | | |
| Sulfur dioxide | Emission to air/unspec... | 1.29000 | kg | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Cement CP II F

| Inputs | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------------|---------|------|--------------|-------------|-------------|-----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| Clinker | | 0.86540 | kg | | none | | P Clinker | | |
| Electricity | Energy carriers and tec... | 0.05800 | kWh | | none | | | | |
| Gypsum, in ground | Resource/in ground | 0.03460 | kg | | none | | | | |
| Limestone, in ground | Resource/unspecified | 0.10000 | kg | | none | | | | |

| Outputs | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------|----------------|-----------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| Cement CP II F | | 1.00000 | kg | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Cement CP IV

| Inputs | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------------|---------|------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| calcined clay | | 0.50000 | kg | | none | | P calcin... | | |
| Clinker | | 0.41540 | kg | | none | | P Clinker | | |
| Electricity | Energy carriers and tec... | 0.05800 | kWh | | none | | | | |
| Gypsum, in ground | Resource/in ground | 0.03460 | kg | | none | | | | |
| Limestone, in ground | Resource/unspecified | 0.05000 | kg | | none | | | | |

| Outputs | | | | | | | | | |
|---------------|----------|----------------|-----------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| cement | | 1.00000 | kg | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Cement CP V

| Inputs | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------|---------|------|--------------|-------------|-------------|-----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| F ₂ Clinker | | 0.91540 | kg | | none | | P Clinker | | |
| F ₂ Electricity | Energy carriers and tec... | 0.05800 | kWh | | none | | | | |
| F ₂ Gypsum, in ground | Resource/in ground | 0.03460 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Limestone, in ground | Resource/unspecified | 0.05000 | kg | | none | | | | |

| Outputs | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------|---------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| F ₂ Cement CP V | | 1.00000 | kg | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Sand Quartz

| Inputs | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|---------|------------------|--------------|-------------|-------------|----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| F ₂ Electricity | Energy carriers and tec... | 0.00013 | kWh | | none | | | | |
| F ₂ Occupation, mineral extractio... | Resource/unspecified | 0.01548 | m ² a | | none | | | | |
| F ₂ Sand, quartz, in ground | Resource/unspecified | 1.00000 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Transformation, to mineral ex... | Resource/unspecified | 0.00015 | m ² | | none | | | | |

| Outputs | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------|---------|----------------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| F ₂ Sand Quartz | | 1.00000 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Water | Emission to air/unspec... | 0.00015 | m ³ | | none | | | | |
| F ₂ Water | Emission to water/uns... | 0.00800 | m ³ | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Gravel

| Inputs | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|------------|------------------|--------------|-------------|-------------|------------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| F ₂ Blasting | | 0.00037 | kg | | none | | P Blasting | | |
| F ₂ Blasting | | 0.00037 | kg | | none | | P Blasting | | |
| F ₂ Diesel | Energy carriers and tec... | 0.02722 | MJ | | none | | | | |
| F ₂ Electricity | Energy carriers and tec... | 0.00274 | kWh | | none | | | | |
| F ₂ Granite, in ground | Resource/in ground | 1.00000 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Lubricating oil | | 8.56000E-6 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Occupation, lake, artificial | Resource/land | 9.82400E-6 | m ² a | | none | | | | |
| F ₂ Occupation, mineral extractio... | Resource/unspecified | 0.00024 | m ² a | | none | | | | |
| F ₂ Transformation, to mineral ex... | Resource/unspecified | 2.94700E-6 | m ² | | none | | | | |
| F ₂ water | Materials production/... | 0.02050 | kg | | none | | | | |

| Outputs | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|------------|----------------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| F ₂ Gravel | | 1.00000 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Particulates, < 2.5 um | Emission to air/unspec... | 2.17000E-7 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Particulates, > 10 um | Emission to air/high p... | 2.71000E-6 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Particulates, > 2.5 um, and < ... | Emission to air/high p... | 2.78000E-6 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Water | Emission to air/unspec... | 2.05000E-5 | m ³ | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Recycled concrete aggregate - RCA

| Inputs | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------------|---------|------|--------------|-------------|-------------|----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| F ₂ diesel | Energy carriers and tec... | 0.04370 | MJ | | none | | | | |

| Outputs | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|------------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| F ₂ Particulates, < 2.5 um | Emission to air/unspec... | 1.66000E-5 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Particulates, > 10 um | Emission to air/unspec... | 8.35000E-5 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Particulates, > 2.5 um, and < ... | Emission to air/unspec... | 6.34000E-5 | kg | | none | | | | |
| F ₂ waste concrete gravel | | -1.00000 | kg | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Concrete

Inputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|---------------------------------------|----------------------------|------------|------|--------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| CE Cement CP II F | | 309.00000 | kg | | none | | P Ceme... | | |
| CE Electricity | Energy carriers and tec... | 3.07970 | kWh | | none | | | | |
| CE Gravel | | 1149.50000 | kg | | none | | P Gravel | | |
| CE plasticiser, for concrete, base... | | 2.29150 | kg | | none | | P Plastic... | | |
| CE Sand Quartz | | 766.32000 | kg | | none | | P Sand ... | | |
| CE water | Materials production/... | 262.65000 | kg | | none | | | | |

Outputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-------------|---------------------------|---------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| CE Concrete | | 1.00000 | m3 | | none | | | | |
| CE Water | Emission to air/unspec... | 0.03708 | m3 | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Concrete CPIV

Inputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | De ^ |
|---------------------------------------|----------------------------|------------|------|--------------|-------------|-------------|--------------------------|---------------|------|
| CE cement | | 309.00000 | kg | | none | | P Cement CP IV | | |
| CE Electricity | Energy carriers and tec... | 3.07970 | kWh | | none | | | | |
| CE Gravel | | 1149.50000 | kg | | none | | P Gravel | | |
| CE plasticiser, for concrete, base... | | 2.29150 | kg | | none | | P Plasticiser, for co... | | |
| CE Sand Quartz | | 766.32000 | kg | | none | | P Sand Quartz | | |

Outputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-------------|---------------------------|---------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| CE Concrete | | 1.00000 | m3 | | none | | | | |
| CE Water | Emission to air/unspec... | 0.03708 | m3 | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Concrete CPV

Inputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|---------------------------------------|----------------------------|------------|------|--------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| CE Cement CP V | | 309.00000 | kg | | none | | | | |
| CE Electricity | Energy carriers and tec... | 3.07970 | kWh | | none | | | | |
| CE Gravel | | 1149.50000 | kg | | none | | P Gravel | | |
| CE plasticiser, for concrete, base... | | 2.29150 | kg | | none | | P Plastic... | | |
| CE Sand Quartz | | 766.32000 | kg | | none | | P Sand ... | | |
| CE water | Materials production/... | 262.65000 | kg | | none | | | | |

Outputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-------------|---------------------------|---------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| CE Concrete | | 1.00000 | m3 | | none | | | | |
| CE Water | Emission to air/unspec... | 0.03708 | m3 | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Concrete RCA - 50% AG +50% RCA

Inputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|---------------------------------------|----------------------------|-----------|------|--------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| CE Cement CP II F | | 309.00000 | kg | | none | | P Ceme... | | |
| CE Electricity | Energy carriers and tec... | 3.07970 | kWh | | none | | | | |
| CE Gravel | | 574.75000 | kg | | none | | | | |
| CE plasticiser, for concrete, base... | | 2.29150 | kg | | none | | P Plastic... | | |
| CE Sand Quartz | | 766.32000 | kg | | none | | P Sand ... | | |
| CE waste concrete gravel | | 574.75000 | kg | | none | | P Recycl... | | |
| CE water | Materials production/... | 262.65000 | kg | | none | | | | |

Outputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-------------|---------------------------|---------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| CE Concrete | | 1.00000 | m3 | | none | | | | |
| CE Water | Emission to air/unspec... | 0.03708 | m3 | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Concrete RCA - 100% AG - RCA

Inputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|---|----------------------------|------------|------|--------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| F ₂ Cement CP II F | Energy carriers and tec... | 309.00000 | kg | | none | | P Ceme... | | |
| F ₂ Electricity | | 3.07970 | kWh | | none | | | | |
| F ₂ plasticiser, for concrete, base... | | 2.29150 | kg | | none | | P Plastic... | | |
| F ₂ Sand Quartz | | 766.32000 | kg | | none | | P Sand ... | | |
| F ₂ waste concrete gravel | Materials production/... | 1149.50000 | kg | | none | | P Recycl... | | |
| F ₂ water | | 262.65000 | kg | | none | | | | |

Outputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-------------------------|---------------------------|---------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| F ₂ Concrete | Emission to air/unspec... | 1.00000 | m3 | | none | | | | |
| F ₂ Water | | 0.03708 | m3 | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Concrete CP IV - RCA 100%

Inputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|---|----------------------------|------------|------|--------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| F ₂ cement | Energy carriers and tec... | 309.00000 | kg | | none | | P Ceme... | | |
| F ₂ Electricity | | 3.07970 | kWh | | none | | | | |
| F ₂ plasticiser, for concrete, base... | | 2.29150 | kg | | none | | P Plastic... | | |
| F ₂ Sand Quartz | | 766.32000 | kg | | none | | P Sand ... | | |
| F ₂ waste concrete gravel | Materials production/... | 1149.50000 | kg | | none | | P Recycl... | | |
| F ₂ water | | 262.65000 | kg | | none | | | | |

Outputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-------------------------|---------------------------|---------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| F ₂ Concrete | Emission to air/unspec... | 1.00000 | m3 | | none | | | | |
| F ₂ Water | | 0.03708 | kg | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4

Inputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|---|---------------------------|------------|---------|--------------|-------------|-------------|------------|---------------|--------------|
| F ₂ cargo | Transport services/Oth... | 1.00000 | kg | | none | | | | |
| F ₂ diesel low sulfur | | 0.03744 | kg | | none | | | | |
| F ₂ maintenance, lorry 16 metric ... | | 3.20000E-7 | Item(s) | | none | | | | |
| F ₂ road | | 0.00105 | m*a | | none | | | | |
| F ₂ road maintenance | | 0.00022 | m*a | | none | | P road ... | | |

P Inputs/Outputs: transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4

Outputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|--|---------------------------|-------------|------|--------------|-------------|--------------------------|----------|---------------|--------------|
| F ₂ Acetaldehyde | Emission to air/unspec... | 1.89000E-7 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Acrolein | Emission to air/unspec... | 7.34000E-8 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Ammonia | Emission to air/unspec... | 5.18000E-7 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Arsenic | Emission to air/unspec... | 3.74000E-12 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Benzaldehyde | Emission to air/unspec... | 5.68000E-8 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Benzene | Emission to air/unspec... | 2.90000E-9 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Butane | Emission to air/high p... | 6.22000E-9 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Cadmium | Emission to air/unspec... | 3.26000E-10 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Carbon dioxide, fossil | Emission to air/unspec... | 0.11730 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Carbon monoxide, fossil | Emission to air/unspec... | 0.00019 | kg | | none | | | | |
| F ₂ cargo | Transport services/Oth... | 1.00000 | kg | | none | <input type="checkbox"/> | | | |
| F ₂ Chromium | Emission to air/unspec... | 1.12000E-9 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Chromium VI | Emission to air/unspec... | 2.25000E-12 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Copper | Emission to air/unspec... | 7.94000E-10 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Dinitrogen monoxide | Emission to air/unspec... | 2.30000E-6 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Ethane | Emission to air/unspec... | 1.24000E-9 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Formaldehyde | Emission to air/unspec... | 3.48000E-7 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Heptane | Emission to air/unspec... | 1.24000E-8 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Lead | Emission to air/unspec... | 1.95000E-9 | kg | | none | | | | |
| F ₂ m-Xylene | Emission to air/unspec... | 4.06000E-8 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Mercury | Emission to air/unspec... | 1.98000E-10 | kg | | none | | | | |
| F ₂ Methane, fossil | Emission to air/unspec... | 1.02000E-7 | kg | | none | | | | |

| | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------------|-------------|------|--|------|--|--|--|--|
| Nickel | Emission to air/unspec... | 3.30000E-10 | kg | | none | | | | |
| Nitrogen oxides | Emission to air/unspec... | 0.00055 | kg | | none | | | | |
| NM VOC, non-methane volati... | Emission to air/unspec... | 3.37000E-6 | kg | | none | | | | |
| o-Xylene | Emission to air/unspec... | 1.66000E-8 | kg | | none | | | | |
| PAH, polycyclic aromatic hyd... | Emission to air/unspec... | 2.93000E-9 | kg | | none | | | | |
| Particulates, < 2.5 um | Emission to air/unspec... | 3.57000E-6 | kg | | none | | | | |
| Pentane | Emission to air/unspec... | 2.49000E-9 | kg | | none | | | | |
| Propane | Emission to air/unspec... | 4.15000E-9 | kg | | none | | | | |
| Selenium | Emission to air/unspec... | 3.74000E-12 | kg | | none | | | | |
| Styrene | Emission to air/unspec... | 2.32000E-8 | kg | | none | | | | |
| Sulfur dioxide | Emission to air/unspec... | 5.76000E-7 | kg | | none | | | | |
| Toluene | Emission to air/unspec... | 4.15000E-10 | kg | | none | | | | |
| transport, freight, lorry 16-... | | 1.00000 | t*km | | none | | | | |
| Zinc | Emission to air/unspec... | 6.51000E-8 | kg | | none | | | | |

Inputs/Outputs: transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4

Inputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|----------------------------------|---------------------------|------------|---------|--------------|-------------|-------------|------------|---------------|--------------|
| cargo | Transport services/Oth... | 1.00000 | kg | | none | | | | |
| diesel low sulfur | | 0.01915 | kg | | none | | | | |
| maintenance, lorry 16 metric ... | | 9.65000E-8 | Item(s) | | none | | P maint... | | |
| road | | 0.00109 | m²a | | none | | P road | | |
| road maintenance | | 8.09000E-5 | m²a | | none | | P road ... | | |

Inputs/Outputs: transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4

Outputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-------------------------|---------------------------|-------------|------|--------------|-------------|--------------------------|----------|---------------|--------------|
| Acetaldehyde | Emission to air/unspec... | 9.13000E-8 | kg | | none | | | | |
| Acrolein | Emission to air/unspec... | 3.54000E-8 | kg | | none | | | | |
| Ammonia | Emission to air/unspec... | 1.88000E-7 | kg | | none | | | | |
| Arsenic | Emission to air/unspec... | 1.92000E-12 | kg | | none | | | | |
| Benzaldehyde | Emission to air/unspec... | 2.74000E-8 | kg | | none | | | | |
| Benzene | Emission to air/unspec... | 1.40000E-9 | kg | | none | | | | |
| Butane | Emission to air/high p... | 3.00000E-9 | kg | | none | | | | |
| Cadmium | Emission to air/unspec... | 1.67000E-10 | kg | | none | | | | |
| Carbon dioxide, fossil | Emission to air/unspec... | 0.06109 | kg | | none | | | | |
| Carbon monoxide, fossil | Emission to air/unspec... | 9.07000E-5 | kg | | none | | | | |
| cargo | Transport services/Oth... | 1.00000 | kg | | none | <input type="checkbox"/> | | | |
| Chromium | Emission to air/unspec... | 5.75000E-10 | kg | | none | | | | |
| Chromium VI | Emission to air/unspec... | 1.15000E-12 | kg | | none | | | | |
| Copper | Emission to air/unspec... | 4.06000E-10 | kg | | none | | | | |
| Dinitrogen monoxide | Emission to air/unspec... | 1.22000E-6 | kg | | none | | | | |
| Ethane | Emission to air/unspec... | 6.00000E-10 | kg | | none | | | | |
| Formaldehyde | Emission to air/unspec... | 1.68000E-7 | kg | | none | | | | |
| Heptane | Emission to air/unspec... | 6.00000E-9 | kg | | none | | | | |
| Lead | Emission to air/unspec... | 9.98000E-10 | kg | | none | | | | |
| m-Xylene | Emission to air/unspec... | 1.96000E-8 | kg | | none | | | | |
| Mercury | Emission to air/unspec... | 1.02000E-10 | kg | | none | | | | |
| Methane, fossil | Emission to air/unspec... | 4.91000E-8 | kg | | none | | | | |

Inputs/Outputs: Machine operation, diesel, < 18.64 kW, steady-state

Inputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-----------------|----------------------------|---------|------|--------------|-------------|-------------|----------|---------------|--------------|
| Diesel | Energy carriers and tec... | 1.13470 | kg | | none | | | | |
| Lubricating oil | | 0.02496 | kg | | none | | | | |
| oxygen | Materials production/l... | 2.63310 | kg | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Machine operation, diesel, < 18.64 kW, steady-state

| Inputs | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| Outputs | | | | | | | | | |
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| 2,2,4-trimethylpentane | Emission to air/unspec... | 2.58000E-6 | kg | | none | | | | |
| Acenaphthene | Emission to air/unspec... | 2.04000E-7 | kg | | none | | | | |
| Acenaphthylene | Emission to air/unspec... | 1.71000E-7 | kg | | none | | | | |
| Acetaldehyde | Emission to air/unspec... | 0.00019 | kg | | none | | | | |
| Acrolein | Emission to air/unspec... | 1.09000E-5 | kg | | none | | | | |
| Ammonia | Emission to air/unspec... | 2.95000E-5 | kg | | none | | | | |
| Anthracene | Emission to air/unspec... | 8.77000E-10 | kg | | none | | | | |
| Benz(a)anthracene | Emission to air/unspec... | 1.45000E-9 | kg | | none | | | | |
| Benzene | Emission to air/unspec... | 7.31000E-5 | kg | | none | | | | |
| Benzene, ethyl- | Emission to air/unspec... | 1.11000E-5 | kg | | none | | | | |
| Benzo(a)pyrene | Emission to air/unspec... | 7.14000E-10 | kg | | none | | | | |
| Benzo(b)fluoranthene | Emission to air/unspec... | 9.99000E-10 | kg | | none | | | | |
| Benzo(ghi)perylene | Emission to air/unspec... | 3.87000E-10 | kg | | none | | | | |
| Benzo(k)fluoranthene | Emission to air/unspec... | 7.14000E-10 | kg | | none | | | | |
| Butadiene | Emission to air/unspec... | 6.69000E-6 | kg | | none | | | | |
| Cadmium | Emission to air/unspec... | 1.13000E-8 | kg | | none | | | | |
| Carbon dioxide, fossil | Emission to air/unspec... | 3.58100 | kg | | none | | | | |
| Carbon monoxide, fossil | Emission to air/unspec... | 0.01485 | kg | | none | | | | |
| Chromium | Emission to air/unspec... | 1.34000E-10 | kg | | none | | | | |
| Chromium VI | Emission to air/unspec... | 6.89000E-11 | kg | | none | | | | |
| Chrysene | Emission to air/unspec... | 3.87000E-9 | kg | | none | | | | |
| Copper | Emission to air/unspec... | 1.93000E-6 | kg | | none | | | | |
| Dibenz(a,h)anthracene | Emission to air/unspec... | 5.91000E-12 | kg | | none | | | | |
| Dinitrogen monoxide | Emission to air/unspec... | 0.00014 | kg | | none | | | | |
| Dioxins, measured as 2,3,7,8-t... | Emission to air/unspec... | 6.81000E-13 | kg | | none | | | | |
| Ethane | Emission to air/unspec... | 3.41000E-6 | kg | | none | | | | |
| Fluoranthene | Emission to air/unspec... | 3.47000E-8 | kg | | none | | | | |
| Fluorene | Emission to air/unspec... | 2.04000E-7 | kg | | none | | | | |
| Formaldehyde | Emission to air/unspec... | 0.00042 | kg | | none | | | | |
| Hexane | Emission to air/unspec... | 5.72000E-6 | kg | | none | | | | |
| Indeno(1,2,3-cd)pyrene | Emission to air/unspec... | 1.61000E-10 | kg | | none | | | | |
| machine operation, diesel, <... | | 1.00000 | h | | none | | | | |
| Manganese | Emission to air/unspec... | 9.26000E-9 | kg | | none | | | | |
| Methane, fossil | Emission to air/unspec... | 5.46000E-5 | kg | | none | | | | |
| Naphthalene | Emission to air/unspec... | 9.38000E-7 | kg | | none | | | | |
| Nickel | Emission to air/unspec... | 1.38000E-8 | kg | | none | | | | |
| Nitrogen oxides | Emission to air/unspec... | 0.02952 | kg | | none | | | | |
| NM VOC, non-methane volati... | Emission to air/unspec... | 0.00273 | kg | | none | | | | |
| Particulates, < 2.5 um | Emission to air/unspec... | 0.00198 | kg | | none | | | | |
| Particulates, > 10 um | Emission to air/unspec... | 0.00013 | kg | | none | | | | |
| Particulates, > 2.5 um, and < ... | Emission to air/unspec... | 6.12000E-5 | kg | | none | | | | |
| Phenanthrene | Emission to air/unspec... | 5.30000E-7 | kg | | none | | | | |
| Propanal | Emission to air/unspec... | 4.24000E-5 | kg | | none | | | | |
| Pyrene | Emission to air/unspec... | 5.91000E-9 | kg | | none | | | | |
| Selenium | Emission to air/unspec... | 1.13000E-8 | kg | | none | | | | |
| Styrene | Emission to air/unspec... | 2.14000E-6 | kg | | none | | | | |
| Sulfur dioxide | Emission to air/unspec... | 3.32000E-5 | kg | | none | | | | |
| Toluene | Emission to air/unspec... | 5.38000E-5 | kg | | none | | | | |
| Xylene | Emission to air/unspec... | 3.80000E-5 | kg | | none | | | | |
| Zinc | Emission to air/high p... | 1.13000E-6 | kg | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Machine operation, diesel, < 18.64 kW, high load factor

| Inputs | | | | | | | | | |
|------------------------|----------------------------|-------------|------|--------------|-------------|-------------|----------|---------------|--------------|
| Outputs | | | | | | | | | |
| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
| Diesel | Energy carriers and tec... | 1.60200 | kg | | none | | | | |
| Lubricating oil | | 0.03524 | kg | | none | | | | |
| oxygen | Materials production/l... | 3.71730 | kg | | none | | | | |
| 2,2,4-trimethylpentane | Emission to air/unspec... | 2.86000E-6 | kg | | none | | | | |
| Acenaphthene | Emission to air/unspec... | 2.37000E-7 | kg | | none | | | | |
| Acenaphthylene | Emission to air/unspec... | 1.99000E-7 | kg | | none | | | | |
| Acetaldehyde | Emission to air/unspec... | 0.00021 | kg | | none | | | | |
| Acrolein | Emission to air/unspec... | 1.20000E-5 | kg | | none | | | | |
| Ammonia | Emission to air/unspec... | 4.16000E-5 | kg | | none | | | | |
| Anthracene | Emission to air/unspec... | 1.02000E-9 | kg | | none | | | | |
| Benz(a)anthracene | Emission to air/unspec... | 1.68000E-9 | kg | | none | | | | |
| Benzene | Emission to air/unspec... | 8.08000E-5 | kg | | none | | | | |
| Benzene, ethyl- | Emission to air/unspec... | 1.23000E-5 | kg | | none | | | | |
| Benzo(a)pyrene | Emission to air/unspec... | 8.29000E-10 | kg | | none | | | | |
| Benzo(b)fluoranthene | Emission to air/unspec... | 1.16000E-9 | kg | | none | | | | |

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| Benzo(b)fluoranthene | Emission to air/unspec... | 1.16000E-9 | kg | | none | | | | |
| Benzo(ghi)perylene | Emission to air/unspec... | 4.50000E-10 | kg | | none | | | | |
| Benzo(k)fluoranthene | Emission to air/unspec... | 8.29000E-10 | kg | | none | | | | |
| Butadiene | Emission to air/unspec... | 7.40000E-6 | kg | | none | | | | |
| Cadmium | Emission to air/unspec... | 1.60000E-8 | kg | | none | | | | |
| Carbon dioxide, fossil | Emission to air/unspec... | 5.06100 | kg | | none | | | | |
| Carbon monoxide, fossil | Emission to air/unspec... | 0.01858 | kg | | none | | | | |
| Chromium | Emission to air/unspec... | 1.89000E-10 | kg | | none | | | | |
| Chromium VI | Emission to air/unspec... | 9.73000E-11 | kg | | none | | | | |
| Chrysene | Emission to air/unspec... | 4.50000E-9 | kg | | none | | | | |
| Copper | Emission to air/unspec... | 2.72000E-6 | kg | | none | | | | |
| Dibenz(a,h)anthracene | Emission to air/unspec... | 6.87000E-12 | kg | | none | | | | |
| Dinitrogen monoxide | Emission to air/unspec... | 0.00019 | kg | | none | | | | |
| Dioxins, measured as 2,3,7,8-t... | Emission to air/unspec... | 9.62000E-13 | kg | | none | | | | |
| Ethane | Emission to air/unspec... | 3.77000E-6 | kg | | none | | | | |
| Fluoranthene | Emission to air/unspec... | 4.03000E-8 | kg | | none | | | | |
| Fluorene | Emission to air/unspec... | 2.37000E-7 | kg | | none | | | | |
| Formaldehyde | Emission to air/unspec... | 0.00047 | kg | | none | | | | |
| Hexane | Emission to air/unspec... | 6.32000E-6 | kg | | none | | | | |
| Indeno(1,2,3-cd)pyrene | Emission to air/unspec... | 1.87000E-10 | kg | | none | | | | |
| machine operation, diesel, <... | | 1.00000 | h | | none | | | | |
| Manganese | Emission to air/unspec... | 1.31000E-8 | kg | | none | | | | |
| Methane, fossil | Emission to air/unspec... | 6.04000E-5 | kg | | none | | | | |
| Naphthalene | Emission to air/unspec... | 1.09000E-6 | kg | | none | | | | |
| Nickel | Emission to air/unspec... | 1.94000E-8 | kg | | none | | | | |
| Nitrogen oxides | Emission to air/unspec... | 0.03805 | kg | | none | | | | |
| NM VOC, non-methane volati... | Emission to air/unspec... | 0.00302 | kg | | none | | | | |
| Particulates, < 2.5 um | Emission to air/unspec... | 0.00230 | kg | | none | | | | |
| Particulates, > 10 um | Emission to air/unspec... | 0.00015 | kg | | none | | | | |
| Particulates, > 2.5 um, and < ... | Emission to air/unspec... | 7.11000E-5 | kg | | none | | | | |
| Phenanthrene | Emission to air/unspec... | 6.16000E-7 | kg | | none | | | | |
| Propanal | Emission to air/unspec... | 4.69000E-5 | kg | | none | | | | |
| Pyrene | Emission to air/unspec... | 6.87000E-9 | kg | | none | | | | |
| Selenium | Emission to air/unspec... | 1.60000E-8 | kg | | none | | | | |
| Styrene | Emission to air/unspec... | 2.36000E-6 | kg | | none | | | | |
| Sulfur dioxide | Emission to air/unspec... | 4.69000E-5 | kg | | none | | | | |
| Toluene | Emission to air/unspec... | 5.95000E-5 | kg | | none | | | | |
| Xylene | Emission to air/unspec... | 4.20000E-5 | kg | | none | | | | |
| Zinc | Emission to air/high p... | 1.60000E-6 | kg | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Machine operation, diesel, > = 74.57 kW, low load factor

Inputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|------------------|----------------------------|----------|------|--------------|-------------|-------------|----------|---------------|--------------|
| Diesel | Energy carriers and tec... | 5.95980 | kg | | none | | | | |
| Lubricanting oil | | 0.13112 | kg | | none | | | | |
| oxygen | Materials production/l... | 13.77000 | kg | | none | | | | |

Outputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|------------------------|---------------------------|------------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| 2,2,4-trimethylpentane | Emission to air/unspec... | 6.11000E-6 | kg | | none | | | | |
| Acenaphthene | Emission to air/unspec... | 5.74000E-7 | kg | | none | | | | |
| Acenaphthylene | Emission to air/unspec... | 4.82000E-7 | kg | | none | | | | |
| Acetaldehyde | Emission to air/unspec... | 0.00045 | kg | | none | | | | |
| Acrolein | Emission to air/unspec... | 2.58000E-5 | kg | | none | | | | |
| Ammonia | Emission to air/unspec... | 0.00015 | kg | | none | | | | |
| Anthracene | Emission to air/unspec... | 2.47000E-9 | kg | | none | | | | |
| Benz(a)anthracene | Emission to air/unspec... | 4.07000E-9 | kg | | none | | | | |
| Benzene | Emission to air/unspec... | 0.00017 | kg | | none | | | | |
| Benzene, ethyl- | Emission to air/unspec... | 2.63000E-5 | kg | | none | | | | |
| Benzo(a)pyrene | Emission to air/unspec... | 2.01000E-9 | kg | | none | | | | |
| Benzo(b)fluoranthene | Emission to air/unspec... | 2.81000E-9 | kg | | none | | | | |
| Benzo(ghi)perylene | Emission to air/unspec... | 1.09000E-9 | kg | | none | | | | |
| Benzo(k)fluoranthene | Emission to air/unspec... | 2.01000E-9 | kg | | none | | | | |
| Butadiene | Emission to air/unspec... | 1.58000E-5 | kg | | none | | | | |
| Cadmium | Emission to air/unspec... | 5.96000E-8 | kg | | none | | | | |

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| Carbon dioxide, fossil | Emission to air/unspec... | 18.85700 | kg | | none | | | | |
| Carbon monoxide, fossil | Emission to air/unspec... | 0.02988 | kg | | none | | | | |
| Chromium | Emission to air/unspec... | 7.03000E-10 | kg | | none | | | | |
| Chromium VI | Emission to air/unspec... | 3.62000E-10 | kg | | none | | | | |
| Chrysene | Emission to air/unspec... | 1.09000E-8 | kg | | none | | | | |
| Copper | Emission to air/unspec... | 1.01000E-5 | kg | | none | | | | |
| Dibenz(a,h)anthracene | Emission to air/unspec... | 1.66000E-11 | kg | | none | | | | |
| Dinitrogen monoxide | Emission to air/unspec... | 0.00072 | kg | | none | | | | |
| Dioxins, measured as 2,3,7,8-t... | Emission to air/unspec... | 3.58000E-12 | kg | | none | | | | |
| Ethane | Emission to air/unspec... | 8.07000E-6 | kg | | none | | | | |
| Fluoranthene | Emission to air/unspec... | 9.75000E-8 | kg | | none | | | | |
| Fluorene | Emission to air/unspec... | 5.74000E-7 | kg | | none | | | | |
| Formaldehyde | Emission to air/unspec... | 0.00100 | kg | | none | | | | |

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| F Formaldehyde | Emission to air/unspec... | 0.00100 | kg | | none | | | | |
| F Hexane | Emission to air/unspec... | 1.35000E-5 | kg | | none | | | | |
| F Indeno(1,2,3-cd)pyrene | Emission to air/unspec... | 4.53000E-10 | kg | | none | | | | |
| F machine operation, diesel, >... | | 1.00000 | h | | none | | | | |
| F Manganese | Emission to air/unspec... | 4.86000E-8 | kg | | none | | | | |
| F Methane, fossil | Emission to air/unspec... | 0.00013 | kg | | none | | | | |
| F Naphthalene | Emission to air/unspec... | 2.64000E-6 | kg | | none | | | | |
| F Nickel | Emission to air/unspec... | 7.22000E-8 | kg | | none | | | | |
| F Nitrogen oxides | Emission to air/unspec... | 0.05862 | kg | | none | | | | |
| F NMVOC, non-methane volati... | Emission to air/unspec... | 0.00646 | kg | | none | | | | |
| F Particulates, < 2.5 um | Emission to air/unspec... | 0.00556 | kg | | none | | | | |
| F Particulates, > 10 um | Emission to air/unspec... | 0.00037 | kg | | none | | | | |
| F Particulates, > 2.5 um, and < ... | Emission to air/unspec... | 0.00017 | kg | | none | | | | |
| F Phenanthrene | Emission to air/unspec... | 1.49000E-6 | kg | | none | | | | |
| F Propanal | Emission to air/unspec... | 0.00010 | kg | | none | | | | |
| F Pyrene | Emission to air/unspec... | 1.66000E-8 | kg | | none | | | | |
| F Selenium | Emission to air/unspec... | 5.96000E-8 | kg | | none | | | | |
| F Styrene | Emission to air/unspec... | 5.05000E-6 | kg | | none | | | | |
| F Sulfur dioxide | Emission to air/unspec... | 0.00017 | kg | | none | | | | |
| F Toluene | Emission to air/unspec... | 0.00013 | kg | | none | | | | |
| F Xylene | Emission to air/unspec... | 8.99000E-5 | kg | | none | | | | |
| F Zinc | Emission to air/high p... | 5.96000E-6 | kg | | none | | | | |

P Inputs/Outputs: Machine operation, diesel, >= 74.57 kW, high load factor

Inputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided ... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-------------------|----------------------------|----------|------|--------------|-------------|-------------|----------|---------------|--------------|
| F Diesel | Energy carriers and tec... | 37.63200 | kg | | none | | | | |
| F Lubricating oil | | 0.82791 | kg | | none | | | | |
| F oxygen | Materials production/l... | 87.08700 | kg | | none | | | | |

Outputs

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|--------------------------|---------------------------|------------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| F 2,2,4-trimethylpentane | Emission to air/unspec... | 2.67000E-5 | kg | | none | | | | |
| F Acenaphthene | Emission to air/unspec... | 2.36000E-6 | kg | | none | | | | |
| F Acenaphthylene | Emission to air/unspec... | 1.98000E-6 | kg | | none | | | | |
| F Acetaldehyde | Emission to air/unspec... | 0.00197 | kg | | none | | | | |
| F Acrolein | Emission to air/unspec... | 0.00011 | kg | | none | | | | |
| F Ammonia | Emission to air/unspec... | 0.00098 | kg | | none | | | | |
| F Anthracene | Emission to air/unspec... | 1.01000E-8 | kg | | none | | | | |
| F Benz(a)anthracene | Emission to air/unspec... | 1.67000E-8 | kg | | none | | | | |
| F Benzene | Emission to air/unspec... | 0.00076 | kg | | none | | | | |
| F Benzene, ethyl- | Emission to air/unspec... | 0.00012 | kg | | none | | | | |
| F Benzo(a)pyrene | Emission to air/unspec... | 8.24000E-9 | kg | | none | | | | |
| F Benzo(b)fluoranthene | Emission to air/unspec... | 1.15000E-8 | kg | | none | | | | |
| F Benzo(ghi)perylene | Emission to air/unspec... | 4.48000E-9 | kg | | none | | | | |
| F Benzo(k)fluoranthene | Emission to air/unspec... | 8.24000E-9 | kg | | none | | | | |
| F Butadiene | Emission to air/unspec... | 6.92000E-5 | kg | | none | | | | |
| F Cadmium | Emission to air/unspec... | 3.76000E-7 | kg | | none | | | | |

| Flow | Category | Amount | Unit | Costs/Rev... | Uncertainty | Avoided p... | Provider | Data quali... | Descripti... |
|-------------------------------------|---------------------------|-------------|------|--------------|-------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| F Carbon dioxide, fossil | Emission to air/unspec... | 119.16000 | kg | | none | | | | |
| F Carbon monoxide, fossil | Emission to air/unspec... | 0.16305 | kg | | none | | | | |
| F Chromium | Emission to air/unspec... | 4.44000E-9 | kg | | none | | | | |
| F Chromium VI | Emission to air/unspec... | 2.29000E-9 | kg | | none | | | | |
| F Chrysene | Emission to air/unspec... | 4.48000E-8 | kg | | none | | | | |
| F Copper | Emission to air/unspec... | 6.40000E-5 | kg | | none | | | | |
| F Dibenz(a,h)anthracene | Emission to air/unspec... | 6.83000E-11 | kg | | none | | | | |
| F Dinitrogen monoxide | Emission to air/unspec... | 0.00452 | kg | | none | | | | |
| F Dioxins, measured as 2,3,7,8-t... | Emission to air/unspec... | 2.26000E-11 | kg | | none | | | | |
| F Ethane | Emission to air/unspec... | 3.53000E-5 | kg | | none | | | | |
| F Fluoranthene | Emission to air/unspec... | 4.00000E-7 | kg | | none | | | | |
| F Fluorene | Emission to air/unspec... | 2.36000E-6 | kg | | none | | | | |
| F Formaldehyde | Emission to air/unspec... | 0.00439 | kg | | none | | | | |
| F Hexane | Emission to air/unspec... | 5.91000E-5 | kg | | none | | | | |
| F Indeno(1,2,3-cd)pyrene | Emission to air/unspec... | 1.86000E-9 | kg | | none | | | | |
| F machine operation, diesel, >... | | 1.00000 | h | | none | | | | |
| F Manganese | Emission to air/unspec... | 3.07000E-7 | kg | | none | | | | |
| F Methane, fossil | Emission to air/unspec... | 0.00056 | kg | | none | | | | |
| F Naphthalene | Emission to air/unspec... | 1.08000E-5 | kg | | none | | | | |
| F Nickel | Emission to air/unspec... | 4.56000E-7 | kg | | none | | | | |
| F Nitrogen oxides | Emission to air/unspec... | 0.49868 | kg | | none | | | | |
| F NMVOC, non-methane volati... | Emission to air/unspec... | 0.02826 | kg | | none | | | | |
| F Particulates, < 2.5 um | Emission to air/unspec... | 0.02285 | kg | | none | | | | |
| F Particulates, > 10 um | Emission to air/unspec... | 0.00150 | kg | | none | | | | |
| F Particulates, > 2.5 um, and < ... | Emission to air/unspec... | 0.00071 | kg | | none | | | | |
| F Phenanthrene | Emission to air/unspec... | 6.12000E-6 | kg | | none | | | | |
| F Propanal | Emission to air/unspec... | 0.00044 | kg | | none | | | | |
| F Pyrene | Emission to air/unspec... | 6.83000E-8 | kg | | none | | | | |
| F Selenium | Emission to air/unspec... | 3.76000E-7 | kg | | none | | | | |
| F Styrene | Emission to air/unspec... | 2.21000E-5 | kg | | none | | | | |
| F Sulfur dioxide | Emission to air/unspec... | 0.00110 | kg | | none | | | | |
| F Toluene | Emission to air/unspec... | 0.00056 | kg | | none | | | | |
| F Xylene | Emission to air/unspec... | 0.00039 | kg | | none | | | | |
| F Zinc | Emission to air/high p... | 3.76000E-5 | kg | | none | | | | |