

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

LINCOLN MARTINS GODOY

**ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO
IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO PELA PRODUÇÃO DE AÇO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2014

LINCOLN MARTINS GODOY

**ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO
IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO PELA PRODUÇÃO DE AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica, do Departamento
Acadêmico de Engenharia Mecânica da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. José Tomadon Júnior

CORNÉLIO PROCOPIO
2014



FOLHA DE APROVAÇÃO

**ESTUDO COMPARATIVO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO IMPACTO
AMBIENTAL CAUSADO PELA PRODUÇÃO DE AÇO**

POR

LINCOLN MARTINS GODOY

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado às 10h30 do dia 01 de dezembro de 2014 como requisito parcial para obtenção do título de ENGENHEIRO MECÂNICO, linha de pesquisa – Tecnologia e Sustentabilidade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. José Tomadon Júnior
(UTFPR)
Orientador

Prof. Dr. Márcio Jacometti
(UTFPR)

Prof. Me. Mauricio Iwama Takano
(UTFPR)

*A folha de aprovação contendo as assinaturas da banca examinadora encontra-se à disposição na Coordenação de Engenharia Mecânica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais e familiares pelo suporte e incentivo durante todos estes anos. Sem eles, nada disto teria sido possível.

A meus amigos que sempre estiveram ao meu lado, apoiando minhas decisões, dividindo as alegrias e servindo de porto seguro nos momentos difíceis.

A meu orientador Prof. Me. José Tomadon Júnior por ter aceitado me ajudar a desenvolver este trabalho, pela orientação, confiança e paciência comigo.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná e todo corpo docente pelo conhecimento adquirido e pelas oportunidades oferecidas.

GODOY, Lincoln Martins. **Estudo comparativo dos métodos de avaliação de impacto ambiental causado pela produção de aço.** 2014. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2014.

RESUMO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) avalia os aspectos e os potenciais impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto. Esta avaliação é realizada desde a extração da matéria-prima da natureza, passando pela produção, uso, tratamento de fim de vida, reciclagem e disposição final. Para realizar a ACV, métodos de quantificação do potencial impacto ambiental podem ser utilizados. O processo de produção do aço envolve diversas etapas. Na maioria delas é necessária a queima de combustíveis fósseis para produzir energia. Nestas etapas, há grande emissão de poluentes para o meio ambiente. Deste modo, este artigo tem o objetivo de avaliar o impacto ambiental causado pela produção de aço utilizando o *software* SimaPro. O processo de produção do aço é modelado no *software* e os métodos utilizados para calcular o potencial impacto ambiental foram: EDIP 2003; IMPACT 2002+; CML-IA; ReCiPe. Na base de dados do *software* (base Ecolnvent v.3) obteve-se os dados referentes às entradas e saídas do processo de produção. Entre os métodos utilizados, o método ReCiPe é o mais apropriado para a avaliação ambiental do ciclo de vida do aço, pois é o que melhor retrata a realidade brasileira. Os resultados deste método mostram que o processo de produção do aço causa danos maiores na categoria de impacto referente a danos aos recursos, em especial a depleção de metais e recursos fósseis, sendo que o níquel é a substância que mais contribui para a depleção de recursos.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida. Aço. SimaPro. ReCiPe.

GODOY, Lincoln Martins. **Comparative study of methods for assessing the environmental impact of steel production**. 2014. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2014.

ABSTRACT

Life cycle assessment (LCA) estimates the aspects and potential environmental impacts throughout a product's life cycle. This assessment goes from raw material extraction, through production, use, end-of-life treatment, recycling and final disposal. To implement LCA, quantification methods of potential environmental impact can be used. The steel production process involves several steps. In some of them, it is necessary to use fossil fuel to produce energy. In these steps, there are many emissions of pollutants to the environment. Thus, this work has the goal to assess the environmental impact caused by the production of steel using SimaPro software. The process of steel production is modeled at the software SimaPro and the methods used to calculate the potential environmental impact were: EDIP 2003, IMPACT 2002+, CML-IA and ReCiPe. Through the software database (base Ecoinvent v.3) data are found in relation to the multiples inputs and outputs of the production process. Between the applied methods, the ReCiPe method is the most appropriate to the environmental assessment of steel's life cycle, because it better represents the Brazilian reality. The results of this method shows that the steel production process yields bigger damages on the category related to the damages to resource availability, in particular, metal and fossil depletion, having nickel as the substance that contributes the most to the resources depletion.

Key words: Life Cycle Assessment. Steel. SimaPro. ReCiPe.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fases de uma ACV	18
Figura 2: Esquema de produção do aço	21
Figura 3: Representação dos parâmetros no método ReCiPe	29
Figura 4: CML-IA, categoria Depleção Abiótica	31
Figura 5: Método CML-IA, categoria Depleção Abiótica (Combustíveis fósseis)	32
Figura 6: Método CML-IA, categoria Aquecimento Global	32
Figura 7: Método CML-IA, categoria Depleção da Camada de Ozônio	33
Figura 8: Método CML-IA, categoria Toxicidade Humana (ar)	34
Figura 9: Método CML-IA, categoria Toxicidade Humana (água)	34
Figura 10: Método CML-IA, categoria Ecotoxicidade Aquática em Água Doce	35
Figura 11: Método CML-IA, categoria Ecotoxicidade Aquática Marinha (ar)	36
Figura 12: Método CML-IA, categoria Ecotoxicidade Aquática Marinha (água)	36
Figura 13: Método CML-IA, categoria Ecotoxicidade Terrestre (ar)	37
Figura 14: Método CML-IA, categoria Ecotoxicidade Terrestre (água)	37
Figura 15: Método CML-IA, categoria Ecotoxicidade Terrestre (solo)	37
Figura 16: Método CML-IA, categoria Oxidação Fotoquímica	38
Figura 17: Método CML-IA, categoria Acidificação	39
Figura 18: Método CML-IA, categoria Eutrofização (ar)	40
Figura 19: Método CML-IA, categoria Eutrofização (água)	40
Figura 20: Método CML-IA, categoria Eutrofização (solo)	40
Figura 21: Método EDIP 2003, categoria Aquecimento Global	41
Figura 22: Método EDIP 2003, categoria Depleção da Camada de Ozônio	42
Figura 23: Método EDIP 2003, categoria Formação de Ozônio (vegetação)	42
Figura 24: Método EDIP 2003, categoria Formação de Ozônio (humanos)	43
Figura 25: Método EDIP 2003, categoria Acidificação	44
Figura 26: Método EDIP 2003, categoria Eutrofização Terrestre	44
Figura 27: Método EDIP 2003, categoria Eutrofização Aquática (N-eq)(ar)	45
Figura 28: Método EDIP 2003, categoria Eutrofização Aquática (N-eq)(água)	45
Figura 29: Método EDIP 2003, categoria Eutrofização Aquática (P-eq)	46

Figura 30: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de exposição ar) (água)	46
Figura 31: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de exposição ar) (ar)	47
Figura 32: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de emissão água) (água)	47
Figura 33: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de emissão água) (ar)	48
Figura 34: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de emissão solo) (água)	48
Figura 35: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de emissão solo) (ar)	49
Figura 36: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de emissão solo) (solo)	49
Figura 37: Método EDIP 2003, categoria Ecotoxicidade Crônica da Água (água).....	50
Figura 38: Método EDIP 2003, categoria Ecotoxicidade Crônica da Água (ar)	50
Figura 39: Método EDIP 2003, categoria Ecotoxicidade Aguda da Água	51
Figura 40: Método EDIP 2003, categoria Ecotoxicidade Crônica do Solo (solo)	52
Figura 41: Método EDIP 2003, categoria Ecotoxicidade Crônica do Solo (água)	52
Figura 42: Método EDIP 2003, categoria Ecotoxicidade Crônica do Solo (ar)	53
Figura 43: Método EDIP 2003, categoria Resíduos Perigosos	53
Figura 44: Método EDIP 2003, categoria Escória/Cinzas	54
Figura 45: Método EDIP 2003, categoria Resíduos em Massa	54
Figura 46: Método EDIP 2003, categoria Lixo Radioativo	55
Figura 47: Método EDIP 2003, categoria Recursos	55
Figura 48: Método Impact 2002+, categoria Cancerígenos (ar)	56
Figura 49: Método Impact 2002+, categoria Cancerígenos (água)	57
Figura 50: Método Impact 2002+, categoria Cancerígenos (solo)	57
Figura 51: Método Impact 2002+, categoria Não cancerígenos (ar)	58
Figura 52: Método Impact 2002+, categoria Não cancerígenos (água)	58
Figura 53: Método Impact 2002+, categoria Não cancerígenos (solo)	59
Figura 54: Método Impact 2002+, categoria Inorgânicos Respiratórios	59
Figura 55: Método Impact 2002+, categoria Radiação Ionizante (ar)	60
Figura 56: Método Impact 2002+, categoria Radiação Ionizante (água)	60
Figura 57: Método Impact 2002+, categoria Depleção da Camada de Ozônio	61

Figura 58: Método Impact 2002+, categoria Orgânicos Respiratórios	62
Figura 59: Método Impact 2002+, categoria Ecotoxicidade Aquática (ar)	62
Figura 60: Método Impact 2002+, categoria Ecotoxicidade Aquática (solo)	63
Figura 61: Método Impact 2002+, categoria Ecotoxicidade Aquática (água).....	63
Figura 62: Método Impact 2002+, categoria Ecotoxicidade Terrestre (ar)	64
Figura 63: Método Impact 2002+, categoria Ecotoxicidade Terrestre (solo)	64
Figura 64: Método Impact 2002+, categoria Acidificação/Nutrição Terrestre	65
Figura 65: Método Impact 2002+, categoria Ocupação de terras	66
Figura 66: Método Impact 2002+, categoria Acidificação Aquática (ar)	66
Figura 67: Método Impact 2002+, categoria Acidificação Aquática (água)	67
Figura 68: Método Impact 2002+, categoria Eutrofização Aquática (água)	67
Figura 69: Método Impact 2002+, categoria Eutrofização Aquática (ar)	68
Figura 70: Método Impact 2002+, categoria Eutrofização Aquática (solo)	68
Figura 71: Método Impact 2002+, categoria Aquecimento Global	69
Figura 72: Método Impact 2002+, categoria Energia Não Renovável	69
Figura 73: Método Impact 2002+, categoria Extração Mineral	70
Figura 74: Método ReCiPe (PM), categoria Mudanças Climáticas	71
Figura 75: Método ReCiPe (PM), categoria Depleção da Camada de Ozônio	71
Figura 76: Método ReCiPe (PM), categoria Acidificação Terrestre	72
Figura 77: Método ReCiPe (PM), categoria Eutrofização de Água Doce (solo)	73
Figura 78: Método ReCiPe (PM), categoria Eutrofização de Água Doce (ar)	73
Figura 79: Método ReCiPe (PM), categoria Eutrofização Marinha (água)	74
Figura 80: Método ReCiPe (PM), categoria Eutrofização Marinha (ar)	74
Figura 81: Método ReCiPe (PM), categoria Toxicidade Humana (ar)	75
Figura 82: Método ReCiPe (PM), categoria Toxicidade Humana (água)	75
Figura 83: Método ReCiPe (PM), categoria Formação de Oxidante Fotoquímico	76
Figura 84: Método ReCiPe (PM), categoria Formação de Particulados	76
Figura 85: Método ReCiPe (PM), categoria Ecotoxicidade Terrestre (ar)	77
Figura 86: Método ReCiPe (PM), categoria Ecotoxicidade Terrestre (água)	77
Figura 87: Método ReCiPe (PM), categoria Ecotoxicidade Terrestre (solo)	78
Figura 88: Método ReCiPe (PM), categoria Ecotoxicidade de Água Doce	78
Figura 89: Método ReCiPe (PM), categoria Ecotoxicidade Marinha (ar)	79

Figura 90: Método ReCiPe (PM), categoria Ecotoxicidade Marinha (água)	79
Figura 91: Método ReCiPe (PM), categoria Radiação Ionizante (água)	80
Figura 92: Método ReCiPe (PM), categoria Radiação Ionizante (ar)	80
Figura 93: Método ReCiPe (PM), categoria Ocupação de Terras Agrícolas	81
Figura 94: Método ReCiPe (PM), categoria Ocupação de Terras Urbanas	82
Figura 95: Método ReCiPe (PM), categoria Transformação de Terras Nativas	83
Figura 96: Método ReCiPe (PM), categoria Depleção da Água	84
Figura 97: Método ReCiPe (PM), categoria Depleção de Metal	84
Figura 98: Método ReCiPe (PM), categoria Depleção Fóssil	85
Figura 99: Método ReCiPe (PF), categoria Dano à Saúde Humana	86
Figura 100: Método ReCiPe (PM), categoria Qualidade do Ecossistema	86
Figura 101: Método ReCiPe (PM), categoria Danos aos Recursos	87
Figura 102: Potencial impacto ambiental da produção do aço nas categorias de dano normalizado	87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	17
2.2 PRINCIPAIS ETAPAS	18
2.2.1 Definição de objetivo e escopo	18
2.2.2 Análise de inventário de ciclo de vida	19
2.2.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida	19
2.2.4 Interpretação	20
2.3 APLICAÇÕES DA ACV	20
2.4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO AÇO	20
2.4.1 Beneficiamento do minério de ferro	21
2.4.2 Aglomeração	21
2.4.3 Redução	22
2.4.4 Oxidação	23
2.4.5 Lingotamento	24
2.5 ESTRUTURA DOS MÉTODOS NO SOFTWARE SIMAPRO	24
2.5.1 Caracterização	24
2.5.2 Avaliação de Danos	24
2.5.3 Normalização	25
2.5.4 Ponderação	25
2.5.5 Agrupamento	26
2.6 MÉTODOS DE ACV DO SOFTWARE SIMAPRO	26
2.6.1 CML-IA	26
2.6.2 EDIP2003	26
2.6.3 IMPACT 2002+	27
2.6.4 ReCiPe	27
3 MÉTODOS E MATERIAIS	30
4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1 CML-IA	31
4.1.1 Depleção Abiótica	31
4.1.2 Depleção Abiótica (combustíveis fósseis)	31
4.1.3 Aquecimento Global	32
4.1.4 Depleção da Camada de Ozônio	33
4.1.5 Toxicidade Humana	34
4.1.6 Ecotoxicidade Aquática em Água Doce	35
4.1.7 Ecotoxicidade Aquática Marinha	35
4.1.8 Ecotoxicidade Terrestre	36
4.1.9 Oxidação Fotoquímica	38
4.1.10 Acidificação	39
4.1.11 Eutrofização	39
4.2 EDIP 2003	41
4.2.1 Aquecimento Global	41
4.2.2 Depleção da camada de ozônio	41
4.2.3 Formação de ozônio (Vegetação)	42

4.2.4	Formação de Ozônio (Humanos)	43
4.2.5	Acidificação	43
4.2.6	Eutrofização Terrestre	44
4.2.7	Eutrofização Aquática (N-eq)	45
4.2.8	Eutrofização Aquática (P-eq)	46
4.2.9	Toxicidade Humana (via de emissão ar)	46
4.2.10	Toxicidade Humana (via de emissão água)	47
4.2.11	Toxicidade Humana (via de emissão solo)	48
4.2.12	Ecotoxicidade crônica da água	49
4.2.13	Ecotoxicidade aguda da água	51
4.2.14	Ecotoxicidade crônica do solo	51
4.2.15	Resíduos Perigosos	53
4.2.16	Escórias/cinzas	54
4.2.17	Resíduos em massa	54
4.2.18	Lixo Radioativo	55
4.2.19	Recursos	55
4.3	Impact 2002+	56
4.3.1	Cancerígenos	56
4.3.2	Não cancerígenos	57
4.3.3	Inorgânicos Respiratórios	59
4.3.4	Radiação Ionizante	60
4.3.5	Depleção da Camada de Ozônio	61
4.3.6	Orgânicos Respiratórios	61
4.3.7	Ecotoxicidade Aquática	62
4.3.8	Ecotoxicidade terrestre	64
4.3.9	Acidificação/Nutrição Terrestre	65
4.3.10	Ocupação de Terras	65
4.3.11	Acidificação Aquática	66
4.3.12	Eutrofização Aquática	67
4.3.13	Aquecimento Global	68
4.3.14	Energia Não Renovável	69
4.3.15	Extração Mineral	70
4.4	ReCiPe (Ponto Médio)	70
4.4.1	Mudanças Climáticas	70
4.4.2	Depleção da Camada de Ozônio	71
4.4.3	Acidificação Terrestre	72
4.4.4	Eutrofização de Água Doce	72
4.4.5	Eutrofização Marinha	73
4.4.6	Toxicidade Humana	74
4.4.7	Formação de Oxidante Fotoquímico	75
4.4.8	Formação de Particulados	76
4.4.9	Ecotoxicidade Terrestre	77
4.4.10	Ecotoxicidade de Água Doce	78
4.4.11	Ecotoxicidade Marinha	79
4.4.12	Radiação Ionizante	80
4.4.13	Ocupação de Terras Agrícolas	81
4.4.14	Ocupação de Terras Urbanas	81
4.4.15	Transformação de Terras Nativas	82
4.4.16	Depleção da Água	83
4.4.17	Depleção de Metal	84

4.4.18 Depleção Fóssil	85
4.5 ReCiPe (Ponto Final)	85
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	89
6 CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS	91

1 INTRODUÇÃO

O tema da sustentabilidade está presente há bastante tempo nas discussões que tratam sobre como o meio ambiente é afetado pelo homem. Em vista dos vários acontecimentos tais como: mudanças climáticas e catástrofes ambientais que ocorreram nas últimas décadas, as intervenções humanas têm sido apontadas como as maiores causas dos prejuízos ambientais. Intervenções estas que por muito tempo desconsideraram toda e qualquer limitação que a natureza poderia ter. Não se considerava por exemplo que muitos dos recursos poderiam um dia acabar. Não se imaginava que as fumaças das chaminés que, durante a Revolução Industrial, eram sinal de progresso e desenvolvimento, seriam as maiores vilãs do ambiente. Isso sem falar nos carros, desmatamentos, e tantos outros causadores de danos ambientais, que muitas vezes são irreversíveis.

A Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, sediada em Estocolmo no ano de 1972 foi o primeiro grande evento da Organização das Nações Unidas a discutir e tentar organizar as relações homem-ambiente. Desde então, diversas leis e normas surgiram numa tentativa de encontrar uma maneira harmoniosa de proteger o ambiente e manter o desenvolvimento. Juntamente a estas leis e normas, vários estudos e métodos surgiram para auxiliar o desenvolvimento sustentável. Dentre elas está a base de nosso estudo, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (ABCV, 2014).

De acordo com Ferreira (2004), o termo Avaliação do Ciclo de Vida foi empregado pela primeira vez na década de 90 nos Estados Unidos da América. Porém um dos primeiros estudos que quantificavam os recursos necessários, suas emissões e os resíduos ocasionados foi coordenado pelo *Midwest Reseach Institute* (MRI) em 1969. O objeto deste estudo foram as diferentes embalagens de bebidas da marca Coca-Cola. Devido ao seu caráter confidencial, o estudo nunca foi publicado, contudo foi utilizado pela companhia na tomada de decisões sobre embalagens. Pelo que se conhece do estudo, nele foi demonstrado que as garrafas de plástico, que tinham uma reputação negativa na época, não eram piores, ambientalmente falando, do que as de vidro. Posteriormente, em 1972, o mesmo instituto realizou um estudo sobre as embalagens de cervejas e sucos para a USEPA (*United States Environmental Protection Agency*), sendo este o marco do início do desenvolvimento da ACV como se conhece hoje.

Com o crescimento das pesquisas na área e devido a resultados discrepantes causados por diferentes metodologias e bases de dados, na década de 90 surgem os primeiros movimentos para a normalização da ACV. Em 1997 surge a primeira norma da Organização Internacional para Padronização (ISO), a ISO 14040. No Brasil, a tradução desta norma só chegou em 2001 (ABCV, 2014).

A norma ISO 14040 (ISO, 2006), define a Avaliação do Ciclo de Vida como sendo uma metodologia aplicada para estimar aspectos ambientais e possíveis impactos relacionados a um produto ao longo do seu ciclo de vida. Esta avaliação é feita mediante a: compilação de um inventário com as entradas e saídas do sistema; avaliação dos impactos devidos a essas entradas e saídas; e por fim a interpretação destes resultados em relação aos objetivos de estudo.

Entre as várias maneiras que a ACV pode ser útil podemos citar, de acordo com a norma 14040 (ISO, 2006): identificação das oportunidades que melhorem as características ambientais no ciclo de vida dos produtos; auxílio na tomada de decisões na indústria (por exemplo: planejamento estratégico, reprojeto de produtos ou processos, definição de prioridades); escolha de parâmetros úteis do desempenho ambiental do produto e até no *marketing*, gerando declarações ambientais e selos ecológicos nos produtos.

Ferreira (2004) cita que a expressão “ciclo de vida” faz referência à praticamente todas as atividades que ocorrem no trajeto da vida do produto levando-se em consideração a aquisição de matéria-prima a ser utilizada na fabricação do produto e também as extrações de recursos ambientais quando possível.

Um recurso ambiental amplamente explorado é o minério de ferro, que dá origem a diversos produtos, entre eles o aço. Segundo o Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico (MME, 2013), em 2012 o Brasil produziu 34,5 Mt de aço bruto, colocando-se na 9ª posição do ranking mundial de produtores.

Ugaya (2001), cita que o processo de produção do aço “consiste basicamente do beneficiamento, da aglomeração por pelotização e sinterização, da redução e da oxidação”. Entre estas etapas, a redução em alto-forno, a sinterização e a oxidação na aciaria, são as que geram maior emissão de poluentes para a atmosfera.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Comparar os diversos métodos de avaliação de impacto ambiental, disponíveis no *software* SimaPro, causado pela produção de aço cromo 18/8.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a descrição do processo de produção do aço com as respectivas entradas de recursos e saída de produto e/ou resíduos.
- Construir o processo de produção do aço cromo 18/8 no *software* SimaPro.
- Simular os dados do respectivo processo nos seguintes métodos: CML-IA; EDIP 2003; IMPACT 2002+; e ReCiPe;
- Comparar os resultados obtidos pelos métodos e identificar o método mais apropriado para avaliação do impacto ambiental do processo de produção do aço.

1.2 JUSTIFICATIVA

Um dos processos mais comuns e mais utilizados para a redução do minério de ferro é o do “alto-forno”. Esta é a primeira etapa para a produção do aço. O alto-forno gera como produto uma liga ferro-carbono, denominada ferro gusa. Esta liga, ainda em estado líquido, é conduzida à aciaria, onde em fornos apropriados, é transformado em aço (CHIAVERINI, 1986). Segundo Milanez (2008) os principais impactos causados pela etapa do alto-forno ocorrem devido à necessidade de carvão vegetal para a execução do processo. Em 2006, metade de todo o carvão vegetal produzido no país era proveniente de mata nativa.

Além dos prejuízos causados na etapa inicial do processo de produção do aço, existem também impactos relacionados ao consumo de energia e à poluição atmosférica, poluição do solo e de recursos hídricos. A produção siderúrgica é caracterizada por possuir grande necessidade de energia, principalmente energia

térmica. Essa energia é proveniente da queima de carvão, que é uma das fontes energéticas que mais prejudica o meio ambiente, causando por exemplo as mudanças climáticas.

Durante o processo de queima do carvão, dióxido de carbono e metano são liberados, contribuindo para o aumento da quantidade de carbono na atmosfera. Ainda está presente a emissão de óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio que, combinados com a umidade do ar formam ácidos de enxofre e ácidos de nitrogênio, fenômeno conhecido como “chuva ácida”. (MILANEZ, 2008).

Com o exposto percebe-se que uma avaliação ambiental dos impactos resultantes do processo de produção do aço torna-se oportuno, visto que o setor siderúrgico é um dos que mais cresce e também um dos que mais polui o ambiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica que avalia os aspectos e os potenciais impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto, desde a aquisição de matéria-prima, passando pela produção, uso, tratamento de fim de vida, reciclagem e disposição final. Geralmente, a ACV não aborda os aspectos econômicos ou sociais de um produto e pode não ser a técnica mais adequada a ser utilizada em determinadas situações (ISO, 2006).

De acordo com Marzullo (2007), um pré-requisito essencial quando se fala de avaliação da sustentabilidade é o conceito de “*Life Cycle Thinking*”, pois não é conveniente realizar uma melhoria, seja ela ambiental, econômica ou social, em somente uma parte do sistema, se esta acabar gerando consequências negativas em outras partes do ciclo. O “pensamento ciclo de vida”, denota a realização de uma avaliação completa, da extração da matéria-prima até a disposição dos resíduos.

A ACV é dita como sendo uma abordagem do “berço ao túmulo” para avaliação de sistemas industriais. O início desta abordagem vem da retirada da matéria-prima do meio ambiente para fabricação do produto e termina quando todos os materiais retornam ao ambiente. Todos os estágios do ciclo de vida do produto são avaliados como interdependentes, isto é, uma operação leva à outra, o que permite que a ACV gere uma estimativa dos impactos ambientais resultantes de todas as fases do ciclo de vida do produto (SAIC, 2006).

Segundo Marzullo (2007), outras técnicas de avaliação ambiental seriam: “análise de fluxo de massa, análise de fluxo de energia, análise de fluxo de substância e análise de fluxo de produto”.

Além da capacidade de conduzir o estudo do “berço ao túmulo”, outros princípios que diferenciam a ACV dos outros métodos de avaliação ambiental são: “referenciação dos aspectos e impactos a uma “unidade funcional” como uma mensuração quantitativa da função ou benefício do sistema” (MARZULLO, 2007) e também a alternativa de ser um mecanismo comparativo. Comparar os resultados de estudos distintos de ACV só é possível caso haja correspondência entre as suposições e o contexto de cada estudo (ISO, 2006).

2.2 PRINCIPAIS ETAPAS

Segundo Marzullo (2007), não há um método único de condução dos estudos da ACV. Por este motivo, as normas da série ISO 14040 sugerem o enfoque nas quatro principais etapas da metodologia: definição de objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impactos e interpretação. A Figura 1 mostra as quatro etapas da ACV e suas principais aplicações.

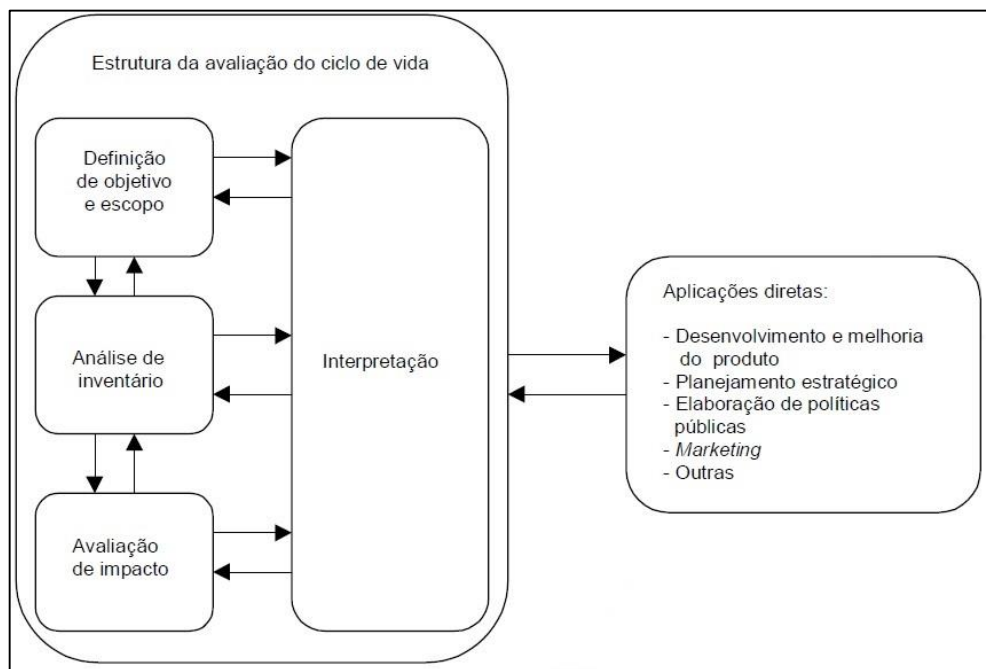


Figura 1 – Fases de uma ACV

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001)

2.2.1 Definição de objetivo e escopo

A ISO 14040:2006 descreve que o objetivo e o escopo do estudo da ACV precisam ser consistentes com a aplicação almejada e devem ser definidos de maneira clara. Além disso, o escopo necessita ser bem definido, pois é necessário garantir que a abrangência, profundidade e detalhamento do estudo realizado atendam de maneira compatível e suficiente os objetivos previamente declarados.

É fundamental que o objetivo de uma ACV declare a aplicação pretendida, os motivos que levaram a realização do estudo, a quem o estudo se dirige e pretende comunicar os seus resultados e, caso exista, a intenção de empregar os resultados

obtidos em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente. Como a ACV é uma técnica iterativa, vários pontos do escopo podem exigir algumas alterações à medida que dados e informações são reunidos, almejando atender ao objetivo original do estudo (ISO, 2006).

2.2.2 Análise de inventário de ciclo de vida

Em um estudo de ACV, a análise do inventário envolve a fase de coleta de dados e os procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas expressivas de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. Conforme os dados vão sendo coletados e o conhecimento sobre o sistema vai se aprimorando, podem ser identificados novos requisitos ou limitações dos dados, o que demandaria algumas mudanças no processo de coleta de dados, de maneira a cumprir os objetivos do estudo (ISO, 2006).

2.2.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida

A avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) faz uso dos resultados obtidos no inventário e os associa às categorias de impacto específicas e indicadores de categoria para examinar a magnitude dos potenciais impactos ambientais, e fornece informações que serão utilizadas durante a interpretação do ciclo de vida, além de auxiliar na compreensão de tais impactos (ISO, 2006).

Durante esta fase, o objetivo e o escopo do estudo podem ser revisados, a fim de verificar se os objetivos iniciais foram alcançados ou ainda para realizar mudanças no objetivo e escopo, caso a avaliação indique que eles não poderão ser atingidos. Além disso, a transparência é um fator crítico na AICV, pois isso garante que os dados que foram presumidos estejam notadamente descritos e relatados (ISO, 2006).

2.2.4 Interpretação

A fase de interpretação considera os dados apurados nas fases de análise de inventário e da avaliação de impacto simultaneamente, para fornecer resultados que condizem com o objetivo e o escopo definidos e chegar a conclusões, elucidar algumas possíveis limitações e prover recomendações. Mais uma vez, esta fase também envolve o processo iterativo. Ou seja, após interpretar os resultados, o escopo pode ser revisto e revisado, além de reavaliar a natureza e qualidade dos dados coletados, sempre havendo coerência com o objetivo estabelecido (ISO, 2006).

2.3 APLICAÇÕES DA ACV

Como exemplos de aplicação da ACV pode-se citar: projetos de produtos que atendam parâmetros ambientais, “*marketing verde*”, gerenciamento de resíduos, análises de processos produtivos, comparação entre produtos de mesma função, rotulagem ambiental, entre outros (MARZULLO, 2007).

De acordo com Rocha (2011), em uma empresa, a ACV poderia ser aplicada para identificar áreas de melhoria, auxiliar na escolha de componentes, materiais e processos, além de gerar informação ambiental aos consumidores, por meio da rotulagem ambiental.

2.4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO AÇO

Entre todas as ligas metálicas, as ligas ferrosas são as mais utilizadas, devido à facilidade de obtenção e versatilidade das propriedades físicas e mecânicas. Entre estas ligas encontra-se o aço, uma liga de natureza complexa e de definição complicada. Esta dificuldade de definição ocorre porque, ainda que os principais componentes do aço sejam o ferro e o carbono, há sempre outros elementos secundários em virtude dos processos de fabricação (CHIAVERINI, 2008).

Chiaverini (2008) define aço da seguinte maneira: “Aço é a liga ferro-carbono contendo geralmente entre 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, resultantes dos processos de fabricação”.

Entre as várias matérias-primas indispensáveis à produção de ferro e aço, o minério de ferro é a mais importante. O ferro está presente na natureza sob variadas formas de minerais, sendo os constituídos por óxidos de ferro os maiores representantes das fontes de ferro para a indústria siderúrgica. São eles: Magnetita (Fe_3O_4) e Hematita (Fe_2O_3) (SILVA; MEI, 2006).

Para a produção do aço, o minério de ferro passa por diversas etapas. Uma representação esquemática destas etapas é feita na Figura 2.

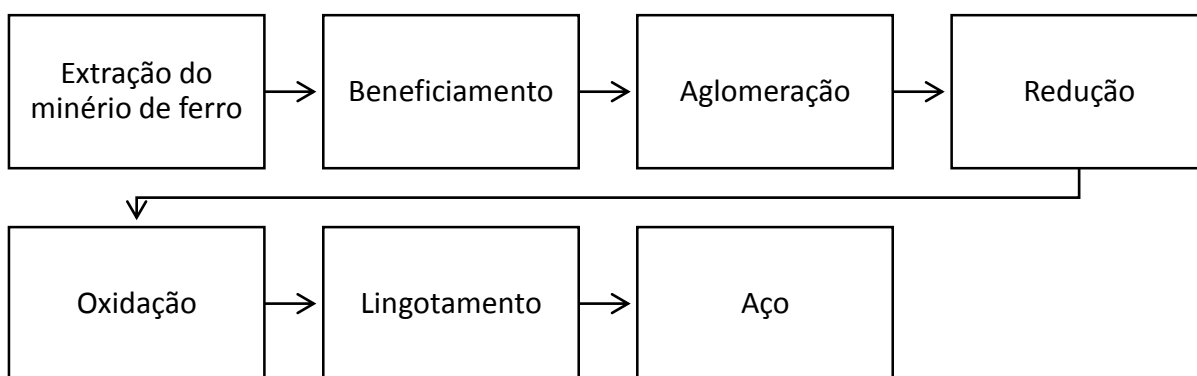


Figura 2 – Esquema de produção do aço

Fonte: Adaptado de Ugaya (2001)

2.4.1 Beneficiamento do minério de ferro

Esta etapa envolve múltiplas operações para alterar as características físicas ou químicas dos minérios de ferro de várias qualidades, a fim de torná-los mais adequados para posterior utilização nos altos-fornos. Usualmente, estas operações são: britamento, peneiramento, mistura, moagem, concentração, classificação e aglomeração (CHIAVERINI, 1986). De acordo com Ugaya (2001), a finalidade desta etapa é separar a ganga, minério sem valor comercial, e concentrar o composto que contém o minério desejado.

2.4.2 Aglomeração

Para Chiaverini (1986), este processo visa aprimorar a permeabilidade da carga do alto-forno, diminuir o consumo de carvão e acelerar o processo de redução.

Além disso, a aglomeração reduz a quantidade de “material pulverulento” ou “finos” emitidos pelo alto-forno e liberados no sistema de recuperação de gases.

Silva e Mei (2006) indicam que em muitas jazidas de minério de ferro há um certo volume de material friável, que se desagrega facilmente, produzindo finos que não podem ser utilizados no alto-forno de maneira direta ou nos processos de redução. A existência destes finos levou ao desenvolvimento dos processos de aglomeração de minério.

O processo de aglomeração possui quatro principais etapas, que são: sinterização; pelotização; briquetagem; e nodulização. As etapas mais importantes são os processos de sinterização e pelotização. Os produtos destes processos são conhecidos como sinter e pelotas, respectivamente (CHIAVERINI, 1986). Conforme Silva e Mei (2006), o uso destes aglomerados no alto-forno trazem vantagens, tais como o controle da permeabilidade, uniformidade da reação, alto rendimento, que tornaram estes materiais os preferidos para a carga dos altos-fornos modernos.

2.4.3 Redução

Para obter o ferro metálico é necessário que os minérios de ferro sejam quimicamente reduzidos. Existem duas técnicas mais importantes para a redução deste minério: o alto-forno e a redução direta. Trata-se neste trabalho somente da redução em alto-forno, pois é utilizada com mais frequência.

No alto-forno, a redução do minério de ferro ocorre pela ação do coque e calcário, gerando ferro gusa, escória, material particulado, além de emitir poluentes atmosféricos. O coque atua como agente redutor, fornecendo também energia para a reação. O calcário age como fundente, ou seja, auxilia na redução da temperatura de fusão dos elementos, tornando a separação de elementos indesejáveis mais simples (UGAYA, 2001).

Neste processo, o alto-forno é carregado com camadas alternadas de minério de ferro (e/ou pelotas ou sinter), coque (combustível e redutor) e fundente (calcário e/ou dolomita). Na parte inferior do forno, pelas “ventaneiras”, ocorre a injeção de ar quente e/ou enriquecido com oxigênio, que queima parte do coque, fornecendo calor para que ocorra as reações químicas e fusão do ferro. O resto do coque e parte do produto desta queima atuam removendo o oxigênio combinado com o metal nas

reações de redução. Após a redução do minério, o metal líquido goteja e é coletado no cadinho, localizado no fundo do forno. Esse metal líquido é conhecido como ferro gusa, que contém de 3,5 a 4,5% de carbono, 0,3 a 0,2% de silício, de 0,01 a 0,1% de enxofre, de 0,05 a 2% de fósforo e de 0,5 a 2% de manganês. (SILVA; MEI, 2006).

Portanto, pode-se dizer que o alto-forno é um complexo reator químico que envolve três fases: gás, sólido e líquido, sendo a fase sólida uma mistura de materiais distintos, com variadas características físicas e químicas (SILVA; MEI, 2006).

2.4.4 Oxidação

Silva e Mei (2006) observam que, para obter o aço com a composição desejada, além da adição de elementos de liga, é necessário reduzir o teor de carbono, silício, manganês, fósforo e enxofre. Essas operações são realizadas, em uma usina siderúrgica, na aciaria, sendo este um processo de oxidação.

Dependendo da composição do ferro gusa e do tipo de aço desejado, pode-se dividir os processos de aciaria em dois processos: Ácidos ou básicos. Os processos ácidos são capazes de reduzir ou remover facilmente os elementos carbono, silício e manganês (CHIAVERINI, 1986). Porém, os elementos fósforo e enxofre somente são reduzidos em condições especiais, atendidas somente pelos processos básicos. Como os processos básicos também remove facilmente os elementos carbono, silício, e manganês, os processos básicos são utilizados na grande maioria dos processos de aciaria modernos (SILVA; MEI, 2006).

O princípio químico utilizado no refino do ferro gusa é a oxidação. Os processos de aciaria sempre envolvem meios de inserir oxigênio em quantidades controladas no metal. Este oxigênio se junta com os elementos indesejáveis e também com uma parte do ferro, formando óxidos que deixam o sistema como gases ou em forma de escória. O processo de oxidação muitas vezes não é capaz de remover o enxofre presente no ferro gusa, dependendo da basicidade da escória e da temperatura atingida no processo. A medida que o ferro gusa é refinado, o seu ponto de fusão aumenta, sendo necessário fornecer calor ao metal por algum meio para manter a carga líquida (SILVA; MEI, 2006).

2.4.5 Lingotamento

Após a etapa de oxidação, o metal ainda em estado líquido segue para moldagem por processos de fundição. O processo mais utilizado é o de lingotamento contínuo. Neste sistema, o aço é vazado em um molde refrigerado de cobre, onde uma primeira casca sólida se forma e vai sendo extraída por um sistema mecânico de rolos e suportes. Em seguida, quando a casca já possui uma espessura suficiente para resistir à pressão ferrostática, o aço deixa o molde e passa a ser resfriado por jatos ou sprays de água, até a conclusão da solidificação (CHIAVERINI, 1986).

2.5 ESTRUTURA DOS MÉTODOS NO SOFTWARE SIMAPRO

No *software* SimaPro, os métodos de avaliação de impacto seguem a seguinte estrutura básica: Caracterização; Avaliação de danos; Normalização; Ponderação; Agrupamento. De acordo com as normas ISO que regem a ACV, as três últimas etapas são opcionais e não estão disponíveis para todos os métodos (PRé, 2014).

2.5.1 Caracterização

A contribuição relativa de determinada substância para uma categoria de impacto é expressa por meio de um fator de caracterização. Por exemplo: o fator de caracterização para CO₂ (dióxido de carbono) na categoria de impacto Mudanças Climáticas pode ser igual a 1, enquanto o fator de caracterização para metano pode ser 25. Isto significa que a liberação de 1 kg de metano gera a mesma quantidade de mudanças climáticas que 25 kg de CO₂. O resultado total é mostrado por meio de indicadores de categoria de impacto (PRé, 2014).

2.5.2 Avaliação de Danos

Este passo é relativamente novo na avaliação de impacto e combina um valor de categoria de impacto à uma categoria de danos. Nesta etapa, indicadores de

impacto com unidades em comum podem ser incorporados. Por exemplo, no método Eco-indicator 99, todas as categorias de impacto que fazem referência à Saúde Humana são expressas em DALY (anos de vida ajustados pela incapacidade). Nesta etapa é permitido agregar os dados em DALY causados por substâncias cancerígenas a DALYs causados por mudanças climáticas (PRé, 2014).

2.5.3 Normalização

De acordo com a Norma ISO 14044 (ISO, 2006), a normalização é o cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores de categoria relativos a alguma informação de referência.

A normalização é um elemento opcional, que auxilia na verificação de inconsistências, fornece informações sobre a significância relativa dos indicadores, além de preparar os dados para procedimentos adicionais, como a interpretação do ciclo de vida (ISO, 2006).

Após a normalização, os indicadores de categoria de impacto possuem a mesma unidade, o que facilita a comparação entre os vários indicadores (PRé, 2014).

2.5.4 Ponderação

O processo de ponderação converte os resultados dos indicadores de diferentes categorias de impacto utilizando fatores numéricos fundamentados em escolha de valores. Assim, como a normalização, a ponderação também é um elemento opcional (ISO, 2006).

Para a obtenção dos resultados, há dois procedimentos possíveis: Converter os resultados dos indicadores ou os resultados normalizados baseando-se em fatores de ponderação selecionados, ou agregar entre as várias categorias de impacto os resultados convertidos dos indicadores ou os resultados normalizados (ISO, 2006).

2.5.5 Agrupamento

Nesta etapa, as categorias de impacto são reunidas em um ou mais conjuntos podendo envolver agregação e/ou hierarquização. Trata-se de um elemento opcional, com dois procedimentos possíveis: Agrupamento das categorias de impacto em uma base nominal, como entradas e saídas ou escalas espaciais globais, regionais e locais por exemplo; Disposição das categorias de impactos conforme uma dada hierarquia (por exemplo, alta, média ou baixa prioridade) (ISO, 2006).

2.6 MÉTODOS DE ACV DO SOFTWARE SIMAPRO

2.6.1 CML-IA

O método de avaliação de impacto CML-IA é definido para abordagem em ponto médio e fornece somente a etapa de normalização. No *software* SimaPro, há duas versões disponíveis deste método: Uma versão que possui dez categorias de impacto, e uma versão estendida, com todas as categorias de impacto.

As categorias de impacto são compiladas em: Categorias de impacto obrigatórias; Categorias de impacto adicionais; Outras categorias de impacto. Caso existam vários métodos para as categorias de impacto obrigatórias, um indicador de base é selecionado. Estes indicadores de base são indicadores de categoria a nível de ponto médio e são recomendados para estudos mais simplificados (PRé, 2014).

Quanto a normalização, se a ACV for simplificada, considera-se a normalização opcional. Porém, para estudos mais detalhados a normalização é obrigatória. Os resultados da normalização são calculados por meio de situações referência. Estas situações referência são Holanda (1997/1998), Europa Ocidental (1995) e Mundo (1990 e 1995) (PRé, 2014).

2.6.2 EDIP2003

É comum entre os métodos de ACV que a análise foque nas propriedades das substâncias, deixando de lado as informações sobre a localização da emissão e características do ambiente que irá receber essas emissões. Isto gera algumas

discrepâncias entre o impacto modelado e a ocorrência real do impacto (POTTING; HAUSCHILD, 2005).

A ocorrência destas discrepâncias foi notada durante o desenvolvimento do método EDIP, portanto a metodologia EDIP97 já estava preparada para levar em conta a diferenciação espacial durante a etapa de caracterização. Porém esta função não era feita de maneira funcional. As informações espaciais eram utilizadas em sua maioria como base para identificar resultados que seriam obviamente falsos. Para reduzir estas discrepâncias, uma nova metodologia foi desenvolvida. Esta nova metodologia é denominada EDIP2003 (POTTING; HAUSCHILD, 2005).

A principal diferença entre os métodos EDIP97 e EDIP2003 reside na inclusão constante da exposição nas principais categorias de impacto não globais, além de introduzir a diferenciação espacial em relação à emissão e ao ambiente receptor. Além disso, o método EDIP2003 pode ser utilizado com ou sem a diferenciação espacial (PRé, 2014).

2.6.3 IMPACT 2002+

O IMPACT 2002+ é uma metodologia que propõe uma implementação possível entre a combinação de pontos médios e uma aproximação de danos. O termo “ponto médio” representa o fato de que este ponto está localizado em algum lugar entre os resultados obtidos no inventário e os danos ao ambiente. Os indicadores de danos são representações simplificadas de uma realidade complexa, fornecendo somente uma aproximação grosseira dos danos reais (JOLLIET et al, 2003).

Este método agrupa as substâncias do resultado da análise do inventário em impactos similares dentro de quatorze categorias de impacto. Estas categorias convergem para quatro categorias de danos (PRé, 2014).

2.6.4 ReCiPe

O método ReCiPe avalia os impactos do ciclo de vida combinando as abordagens de ponto médio e ponto final, e sua metodologia é harmonizada em

termos de princípios de modelagem e escolhas, gerando resultados direcionados a problemas e a danos (GOEDKOOOP et al, 2009).

Este método foi elaborado em três versões de ponderação e normalização das categorias de impacto, com conjuntos consistentes de escolhas subjetivas agrupado em três perspectivas: Individualista, Hierárquica e Igualitária (PIEKARSKI et al, 2012).

A perspectiva Individualista baseia-se numa visão de curto prazo e em tipos incontestáveis de impactos. A perspectiva Hierárquica fundamenta-se em políticas mais comuns de tempo e espaço. Já a perspectiva Igualitária consiste numa visão a longo prazo, exigindo maior precaução quando utilizada pois alguns tipos de impacto ainda não estão completamente estabelecidos, porém estão disponíveis para eventuais indicações (PRÉ, 2014).

O método ReCiPe abrange dois conjuntos de categorias de impacto. No conjunto de ponto médio, dezoito categorias de impacto são compreendidas: Mudanças Climáticas; Destruição da camada de ozônio; Toxicidade humana; Formação de oxidantes fotoquímicos; Formação de partículas; Radiação ionizante; Acidificação terrestre; Eutrofização de água doce; Eutrofização marinha; Ecotoxicidade terrestre; Ecotoxicidade de água doce; Ecotoxicidade marinha; Ocupação de terras agrícolas; Ocupação do solo urbano; Transformação da terra; Esgotamento da água; Esgotamento de metal e Depleção Fóssil (GOEDKOOOP et al, 2009).

No conjunto de ponto final, a maioria destas categorias de impacto são agregadas em três categorias de danos: Danos à saúde humana; Danos ao ecossistema e Danos à disponibilidade de recursos (GOEDKOOOP et al, 2009).

No nível de ponto médio, as categorias de impacto são descritas em função de unidades individuais, enquanto no nível de ponto final é gerada uma pontuação geral única. Esta pontuação não é limitada a somente as três categorias de danos, mas também possui contribuições de vários dos indicadores de ponto médio (PIEKARSKI et al, 2012).

A Figura 3 mostra uma representação das relações entre o inventário, as categorias de ponto médio e as categorias de ponto final.

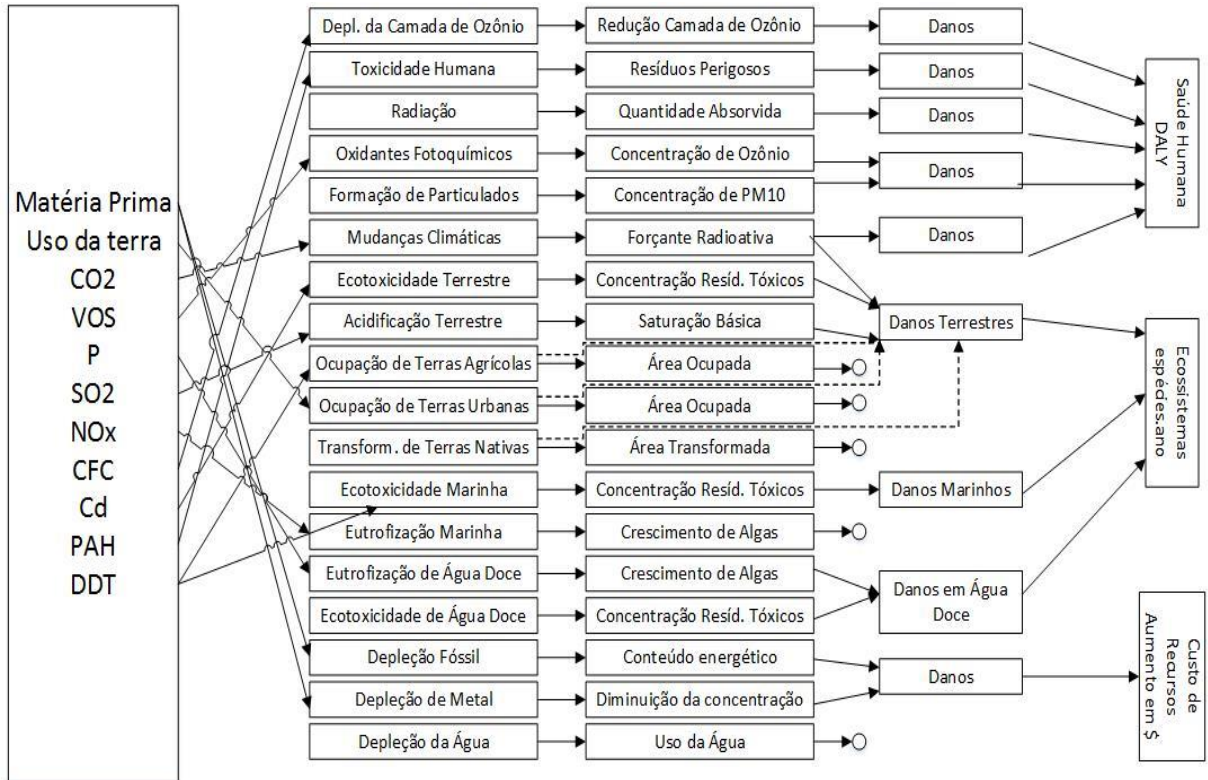


Figura 3: Representação dos parâmetros no método ReCiPe.

Fonte: Adaptado de Goedkoop et al (2009).

3 MÉTODOS E MATERIAIS

Esta pesquisa é classificada quanto aos fins como descritiva e explicativa e, quanto aos meios, como bibliográfica. Foram realizados estudos sobre o processo de produção do aço e sobre a Avaliação do Ciclo de Vida do mesmo.

Os dados necessários para a avaliação do processo de produção do aço foram obtidos na base de dados *Ecoinvent 3*, implementada no *software* SimaPro versão 8, licença *Faculty*. Para os cálculos, foram utilizados os métodos CML-IA, EDIP 2003, Impact 2002+ e ReCiPe.

Neste estudo, analisou-se os impactos relacionados à produção de 1 kg de aço cromo 18/8 (aço com 18% de cromo e 8% de níquel em sua composição). O *software* inclui em seus cálculos, além do processo de produção do aço, o transporte de metal quente e outros materiais de entrada e a fundição.

Na etapa de avaliação de danos, para que fosse possível identificar quais substâncias contribuem majoritariamente para o impacto, usou-se uma fração de corte de 0,1% do processo.

4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 CML-IA

4.1.1 Depleção Abiótica

A Figura 4 apresenta as principais emissões na categoria Depleção Abiótica. Esta categoria de impacto está relacionada à extração de minerais, no compartimento matéria prima. O valor total da quantidade de substâncias geradas nesta categoria foi de 0,000152 [kg Sb eq]. Esta unidade corresponde a “quilogramas equivalentes de antimônio”.

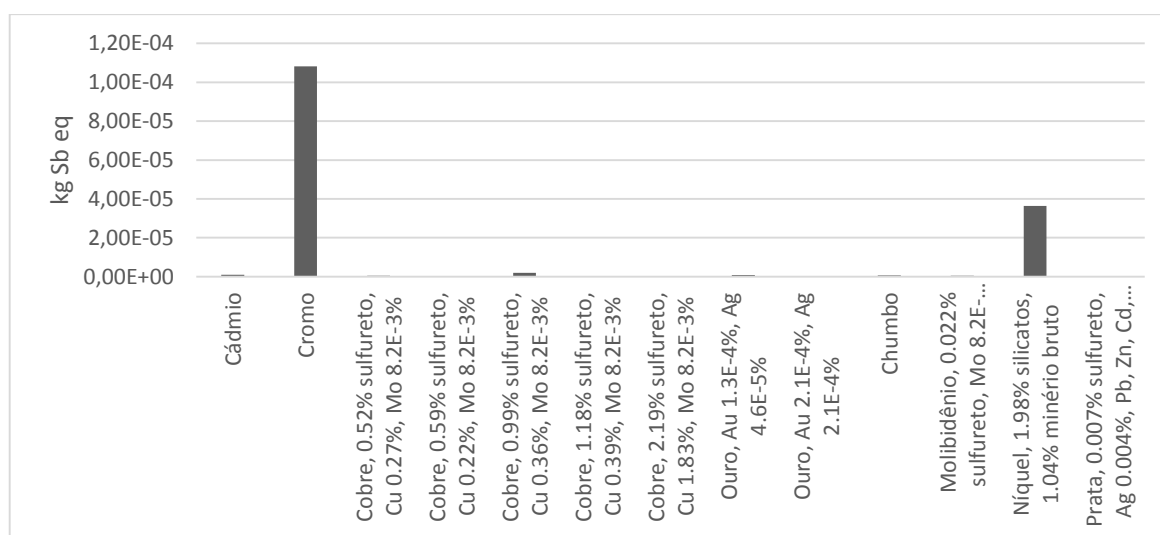


Figura 4: Método CML-IA, categoria Depleção Abiótica.

As emissões em maior número são do Cromo, com 0,000108 [kg Sb eq], e do Níquel (1,98% de silicatos, 1,04% de minério bruto) de 3,46E-05 [kg Sb eq]. Além da emissão destas substâncias, 9,78E-07 [kg Sb eq] de substâncias restantes também são fornecidos pelo *software*.

4.1.2 Depleção Abiótica (combustíveis fósseis)

De maneira similar à categoria anterior, esta categoria apresenta as principais emissões na categoria Depleção Abiótica, porém agora relacionado à extração de combustíveis fósseis. Como pode ser verificado na Figura 5, o valor total de emissões nesta categoria é de 61,36352 MJ (mega joule).

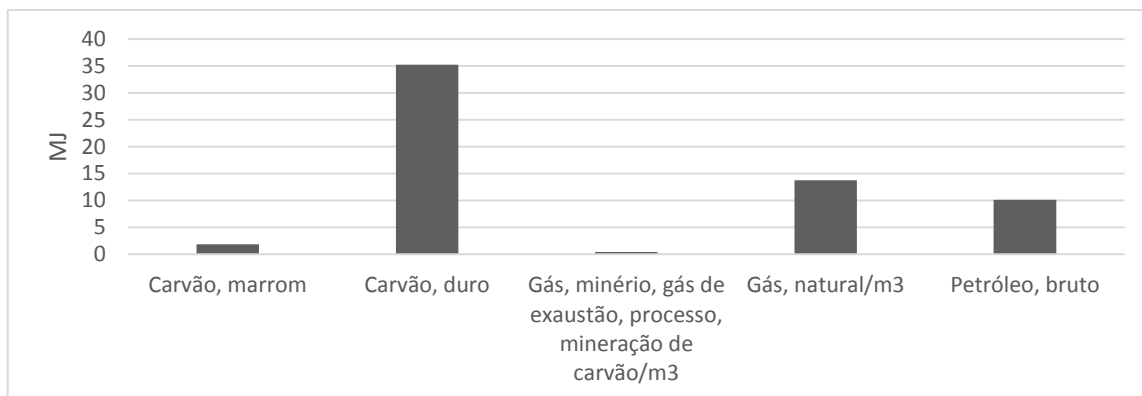


Figura 5: Método CML-IA, categoria Depleção Abiótica (Combustíveis fósseis).

A extração do carvão e de gás natural são as etapas que mais geram emissões ao ambiente, com 35,23707 MJ e 13,77305 MJ respectivamente.

4.1.3 Aquecimento Global

Esta categoria de impacto mostra as substâncias emitidas para o ar. Estas substâncias são basicamente gases de efeito estufa, que como o próprio nome diz, são responsáveis pelo efeito estufa. Os dados encontrados são expressos como Potencial de Aquecimento Global para um horizonte temporal de 100 anos, em quilogramas equivalentes de dióxido de carbono.

No processo de produção do aço, 4,719003 [kg CO₂ eq] são emitidos para o ar. A Figura 6 mostra em detalhes quais são estas substâncias. Além das substâncias apresentadas, outras substâncias também são emitidas ao ambiente em menor escala, num total de 0,009924 [kg CO₂ eq].

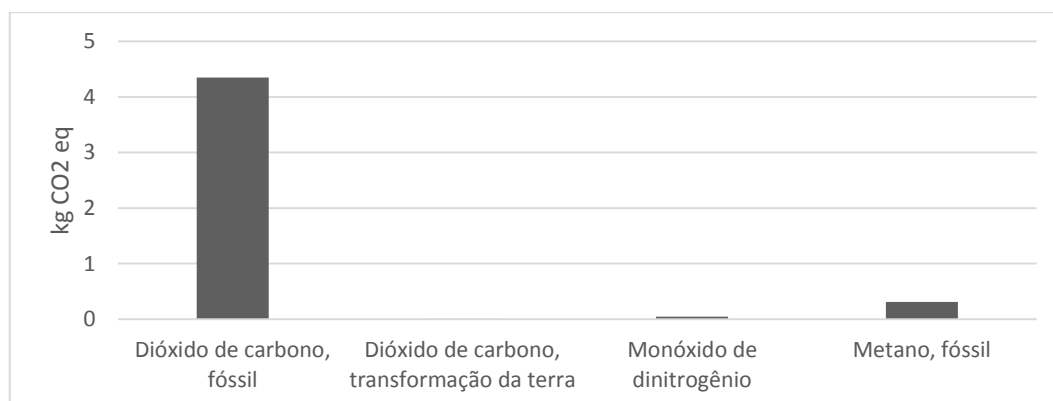


Figura 6: Método CML-IA, categoria Aquecimento Global.

Conforme mostrado na Figura 6, o Dióxido de Carbono é a principal substância que compõe o valor total de emissões, com 4,351332 [kg CO₂ eq], seguido pelo gás Metano, com 0,311359 [kg CO₂ eq].

4.1.4 Depleção da Camada de Ozônio

Nesta categoria de impacto são expostas as substâncias que contribuem para a diminuição da camada de ozônio. A unidade utilizada é [kg CFC-11 eq] (quilogramas equivalentes de triclórofluormetano) num espaço de tempo infinito.

A soma das emissões encontrada é 1,82E-07 [kg CFC-11 eq], sendo que a substância com maior emissão é uma composição de gás Metano (bromotrifluoro-, Halon 1301) que totaliza 6,30E-08 [kg CFC-11 eq], conforme mostrado na Figura 7.

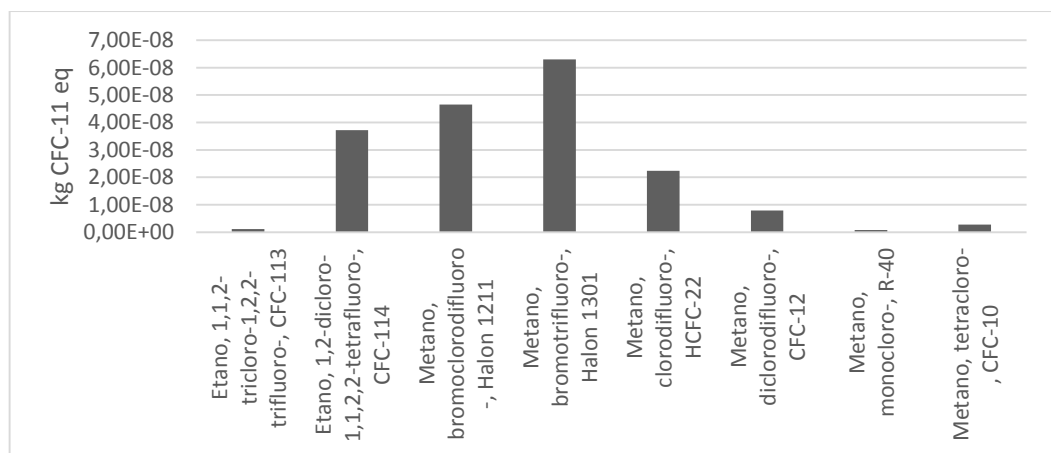


Figura 7: Método CML-IA, categoria Depleção da Camada de Ozônio.

O segundo gás que mais contribui para esta categoria é um outro tipo de gás Metano (bromotrifluoro-, Halon 1211), com 4,66E-8 [kg CFC-11 eq]. Além desses gases, outras substâncias que também contribuem para a depleção da camada de ozônio totalizam 2,07E-10 [kg CFC-11 eq].

4.1.5 Toxicidade Humana

Nesta categoria serão analisadas as substâncias tóxicas que afetam o ambiente humano tanto no ar quanto na água. As substâncias que afetam o ar e a água são analisadas separadamente, porém juntas elas somam 74,79206 [kg 1,4-DB eq] (1,4-diclorobenzeno equivalente), com 0,3200665 [kg 1,4-DB eq] de substâncias em menor escala.

Primeiramente, quanto as substâncias que prejudicam o ar, o Crômio VI possui a maior emissão, com 72,1963 [kg 1,4-DB eq], conforme mostrado na Figura 8.

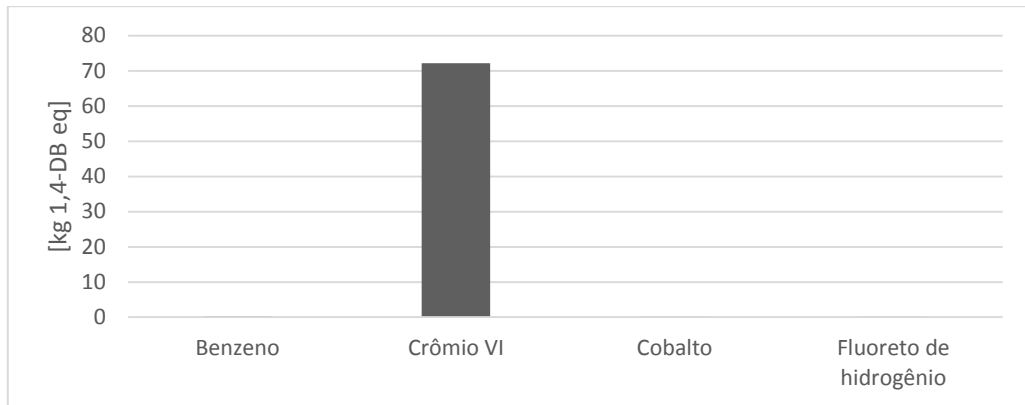


Figura 8: Método CML-IA, categoria Toxicidade Humana (ar).

Os elementos que apresentaram maior impacto ao ambiente humano no compartimento água foram o Níquel e o Selênio, com 1,029331 [kg 1,4-DB eq] e 0,340407 [kg 1,4-DB eq] respectivamente, mostrado na Figura 9.

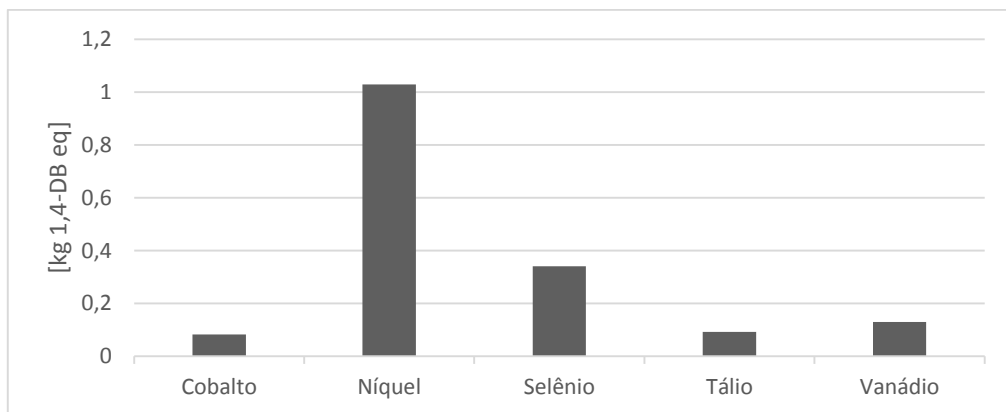


Figura 9: Método CML-IA, categoria Toxicidade Humana (água).

4.1.6 Ecotoxicidade Aquática em Água Doce

Os impactos nos ecossistemas de água doce são analisados nesta categoria. Estes impactos resultam da emissão de substâncias tóxicas para o ar, água e solo. O elemento que mais contribui para este tipo de impacto é o Níquel, com 10,0756 [kg 1,4-DB eq]. Sem seguida vem o Cobalto, com um fator de caracterização de 2,9015 [kg 1,4-DB eq]. A Figura 10 mostra os outros elementos que compõem esta categoria.

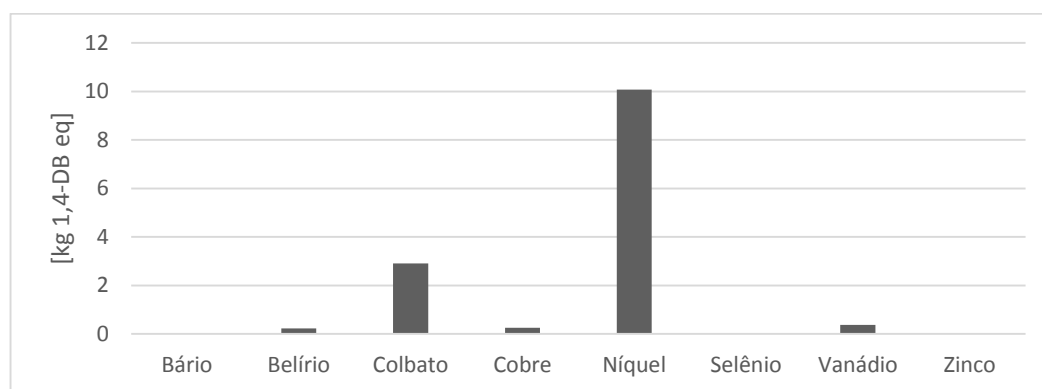


Figura 10: Método CML-IA, categoria Ecotoxicidade Aquática em Água Doce.

Outras substâncias contribuintes para esta categoria totalizam 0,0378 [kg 1,4-DB eq], atingindo a soma geral de 13,9295 [kg 1,4-DB eq] para esta categoria de impacto.

4.1.7 Ecotoxicidade Aquática Marinha

A categoria de impacto Ecotoxicidade Aquática Marinha, de maneira análoga à categoria anterior, também analisa os impactos nos ecossistemas aquáticos. Porém, neste caso são analisados os ecossistemas aquáticos marinhos. Esta categoria divide os elementos em elementos que afetam o ar e elementos que afetam a água.

Somando todos os fatores de caracterização envolvidos nesta categoria, tem-se 15227,46 [kg 1,4-DB eq]. Nesta soma estão os elementos que afetam tanto o ar quanto a água, além de 45,0914 [kg 1,4-DB eq] correspondentes às substâncias que aparecem em menor valor.

Os elementos que afetam o ar são mostrados na Figura 11.

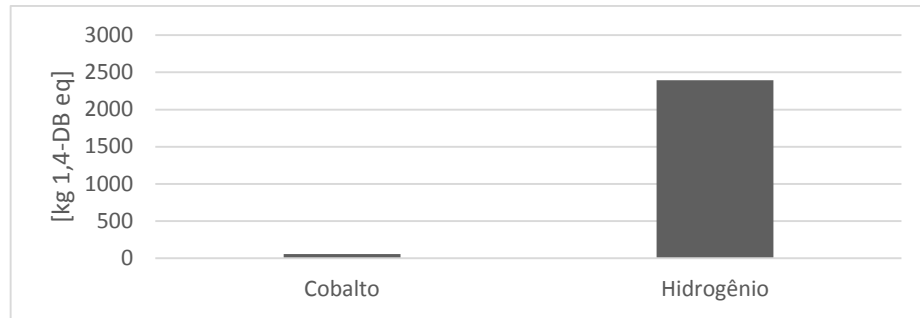


Figura 11: Método CML-IA, categoria Ecotoxicidade Aquática Marinha (ar).

Neste compartimento estão somente o Cobalto e o Hidrogênio, tendo o Hidrogênio o maior valor: 2393,998 [kg 1,4-DB eq] contra 53,9482 [kg 1,4-DB eq] do cobalto.

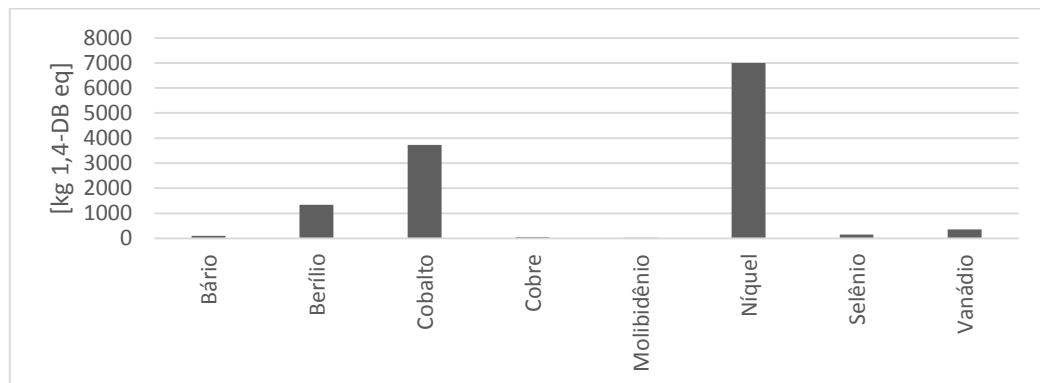


Figura 12: Método CML-IA, categoria Ecotoxicidade Aquática Marinha (água).

Quanto aos elementos que afetam a água, de acordo com a Figura 12, há o Níquel como maior contribuinte, com um fator de caracterização de 6996,965 [kg 1,4-DB eq], seguido pelo Cobalto, com 3726,798 [kg 1,4-DB eq].

4.1.8 Ecotoxicidade Terrestre

Esta categoria refere-se aos impactos de substâncias tóxicas nos ecossistemas terrestres. Os impactos são divididos entre impactos no ar, na água e no solo. Os impactos totalizam 0,0667 [kg 1,4-DB eq], contendo 0,00012 [kg 1,4-DB eq] de outras substâncias que são encontradas em menores quantidades. Os valores referentes aos impactos no ar são expostos na Figura 13.

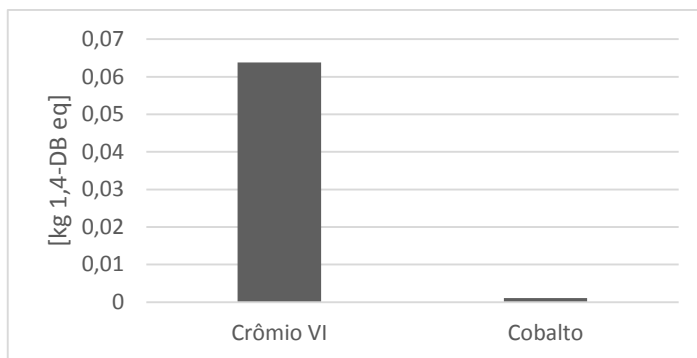


Figura 13: Método CML-IA, categoria Ecotoxicidade Terrestre (ar).

As duas substâncias que afetam o ar são o Crômio VI, com 0,06387 [kg 1,4-DB eq] e o Cobalto, com 0,00108 [kg 1,4-DB eq], sendo o Crômio VI o maior deles.

Nesta categoria, somente o Mercúrio é citado como elemento que afeta a água, com um fator de 0,0033 [kg 1,4-DB eq], como mostra a Figura 14.

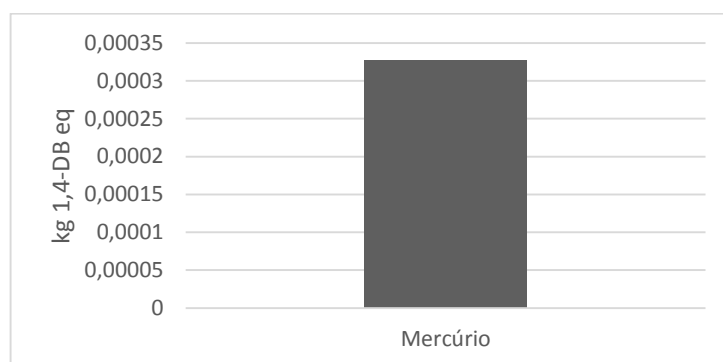


Figura 14: Método CML-IA, categoria Ecotoxicidade Terrestre (água).

Já os elementos que afetam o solo são três: o Aldicarbe (agrotóxico), o Crômio VI (Crômio Hexavalente, altamente tóxico) e a Cipermetrina (inseticida e acacirida). Suas quantidades são mostradas na Figura 15.

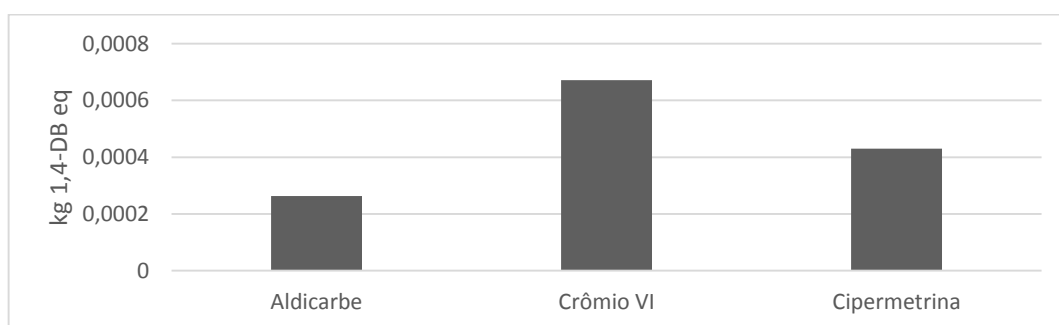


Figura 15: Método CML-IA, categoria Ecotoxicidade Terrestre (solo).

O Crômio VI aparece com o maior fator de caracterização, com 0,00068 [kg 1,4-DB eq]. A Cipermetrina vem em seguida, com 0,00043 [kg 1,4-DB eq], seguido do Aldicarbe, com 0,000263 [kg 1,4-DB eq].

4.1.9 Oxidação Fotoquímica

A formação de foto-oxidantes é a composição de substâncias reativas que são prejudiciais à saúde humana e do ecossistema. Nesta categoria, são analisados os elementos que são emitidos para o ar. Estes elementos totalizam 0,001667 [kg C₂H₂ eq] (quilogramas equivalentes de etileno). Junto a este valor, tem-se 5,42E-06 [kg C₂H₄ eq] relacionados a outras substâncias que estão presentes em menores quantidades. A Figura 16 mostra quais outros elementos são relacionados a esta categoria.

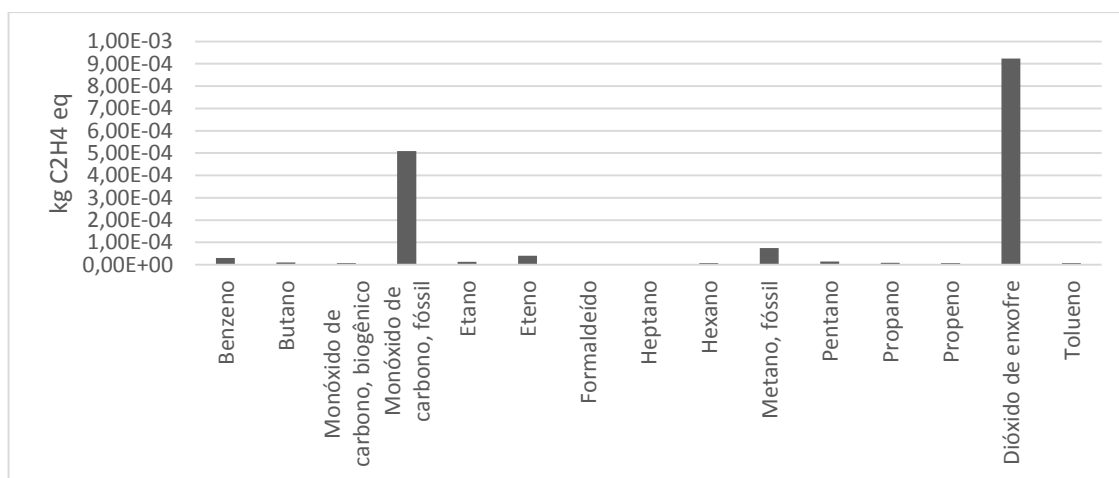


Figura 16: Método CML-IA, categoria Oxidação Fotoquímica.

Entre os elementos listados, o Dióxido de Enxofre é o que tem o maior fator de caracterização, com 0,000923 [kg C₂H₄ eq]. O segundo elemento com maior emissão é o Monóxido de Carbono fóssil, com 0,000509 [kg C₂H₄ eq].

4.1.10 Acidificação

Nesta categoria são analisadas as substâncias acidificantes que afetam o ar. Entre elas está o Dióxido de Enxofre, que é apontado como a maior delas, com 0,02307 [kg SO₂ eq], seguido pelos Óxidos de Nitrogênio com 0,007169 [kg SO₂ eq], conforme mostrado na Figura 17.

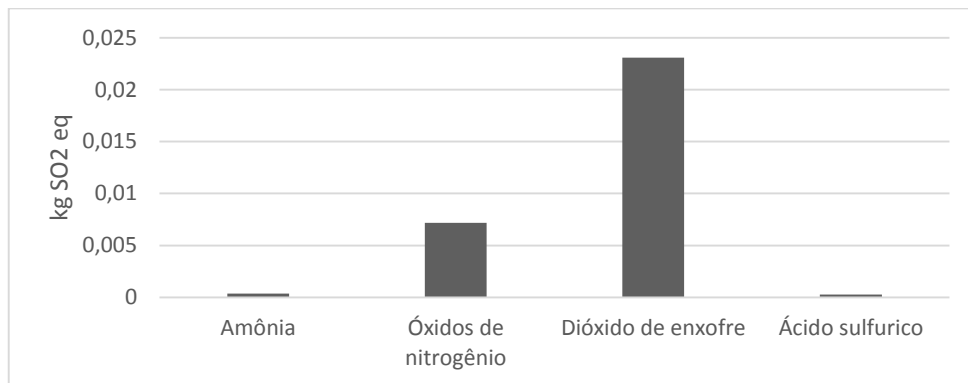


Figura 17: Método CML-IA, categoria Acidificação.

A soma das quatro substâncias é de 0,03087 [kg SO₂ eq]. Além destas quatro substâncias, 2,40E-09 [kg SO₂ eq] de outras substâncias também são contabilizadas neste valor total.

4.1.11 Eutrofização

Nesta categoria são inclusos os impactos devidos a níveis excessivos de macronutrientes no ambiente causados por emissões de nutrientes para o ar, água e solo. Os dados são expressos em quilogramas equivalentes de fosfatos, e separados por compartimentos.

A Figura 18 mostra quais são os elementos no compartimento ar. Entre eles, os Óxidos de Nitrogênio são os que mais causam danos ao ambiente, com 0,001864 [kg PO₄--- eq].

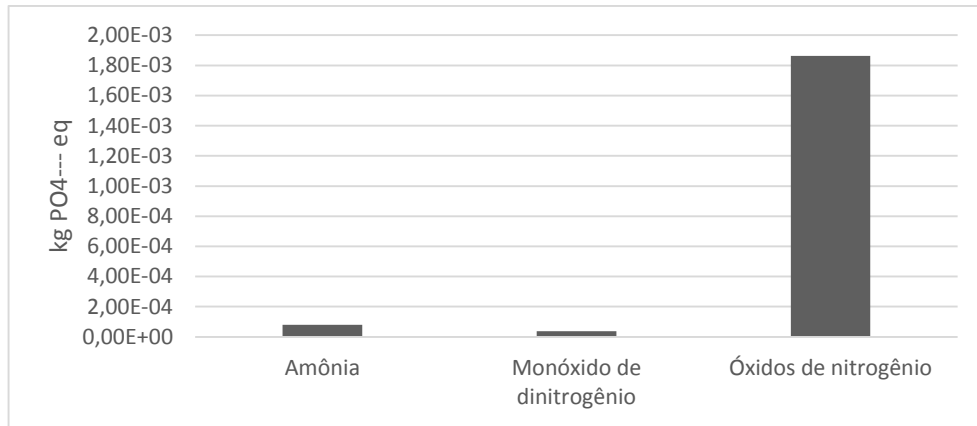


Figura 18: Método CML-IA, categoria Eutrofização (ar).

A Figura 19 mostra os elementos no compartimento água, e o Fosfato é o que possui maior fator de caracterização, com 0,005018 [kg PO4--- eq].

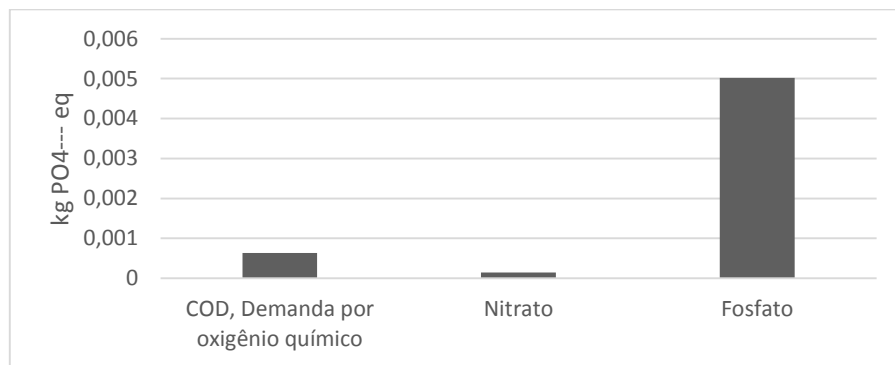


Figura 19: Método CML-IA, categoria Eutrofização (água).

Quanto aos elementos que são emitidos para o solo, há somente o Fósforo, com 1,36E-05 [kg PO4 eq], conforme mostrado na Figura 20.

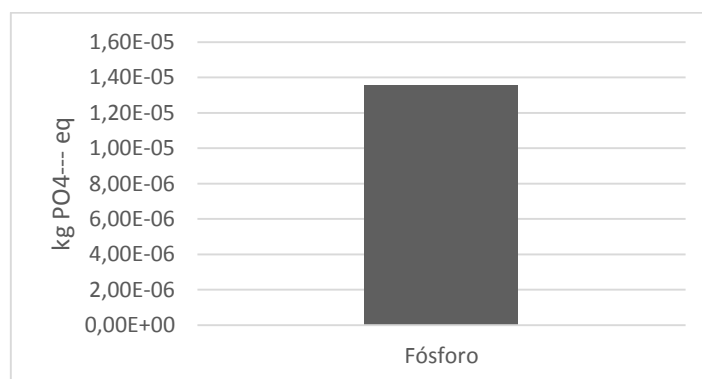


Figura 20: Método CML-IA, categoria Eutrofização (solo).

Somando as emissões de todos os compartimentos, mais $1,47E-05$ de outras substâncias de menor valor, obtém-se o total de $0,007804$ [kg PO4--- eq].

4.2 EDIP 2003

4.2.1 Aquecimento Global

Conforme mostrado na Figura 21, nesta categoria de impacto o Dióxido de carbono é o elemento com maior emissão para o ar, com $4,3513$ [kg CO2 eq]. O gás Metano em sua forma fóssil vem em seguida, com $0,31136$ [kg CO2 eq].

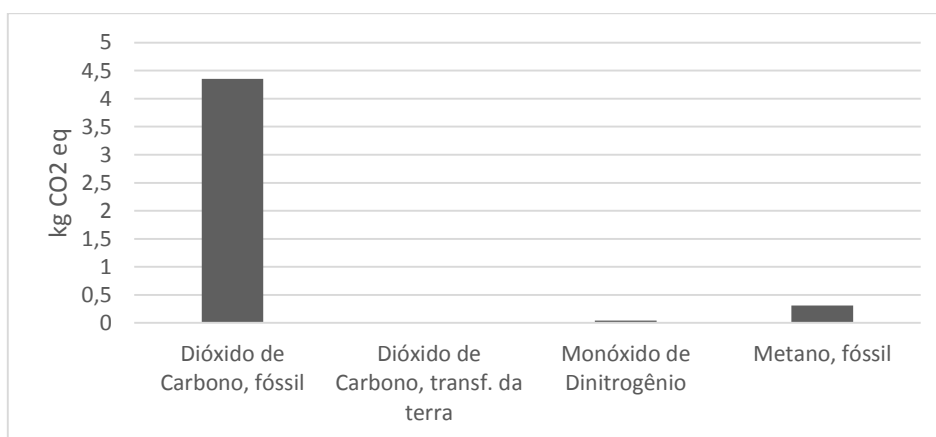


Figura 21: Método EDIP 2003, categoria Aquecimento Global.

Somando os quatro elementos e também $0,000993$ [kg CO2 eq] relativos aos elementos existentes em menor escala, obtém-se $4,7190$ [kg CO2 eq] na categoria de impacto Aquecimento Global.

4.2.2 Depleção da camada de ozônio

Entre as substâncias investigadas e expostas na Figura 22, o Metano, bromotrifluoro-, Halon 1301 destaca-se por sua maior emissão, $6,30E-08$ [kg CFC11 eq]. Uma outra substância com composição parecida, o Metano, bromoclorodifluoro-, Halon 1211, aparece como segunda maior em quantidade de emissões, com $4,66E-08$.

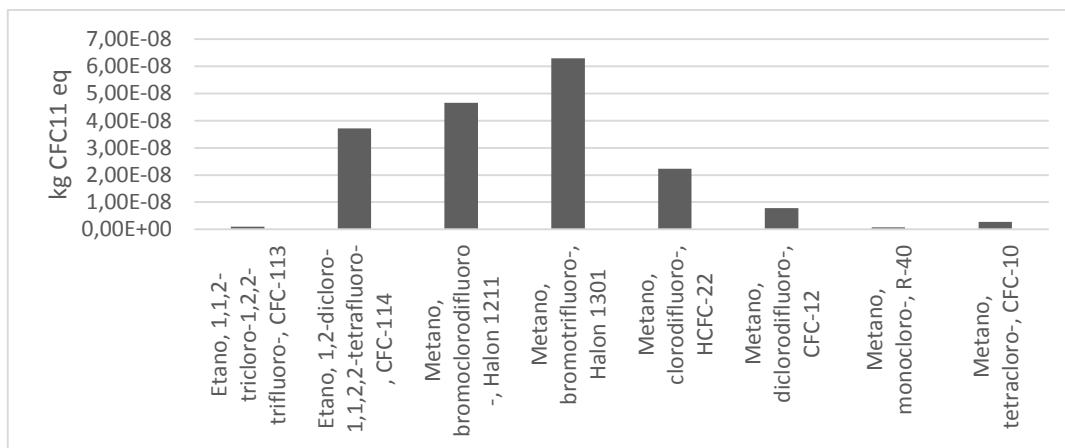


Figura 22: Método EDIP 2003, categoria Depleção da Camada de Ozônio.

Somando todos estes elementos, encontra-se um total de $1,82E-07$ [kg CFC11 eq], estando incorporado neste valor $2,07E-10$ [kg CFC11 eq] de substâncias restantes.

4.2.3 Formação de ozônio (Vegetação)

Neste grupo são observadas as emissões que colaboram com a formação de ozônio no ar e que afeta a vegetação. As emissões totalizam $34,0739$ [$m^2.ppm.h$], contando com $0,1781$ [$m^2.ppm.h$] de substâncias resultantes. As outras substâncias que participam desta categoria são mostradas na Figura 23.

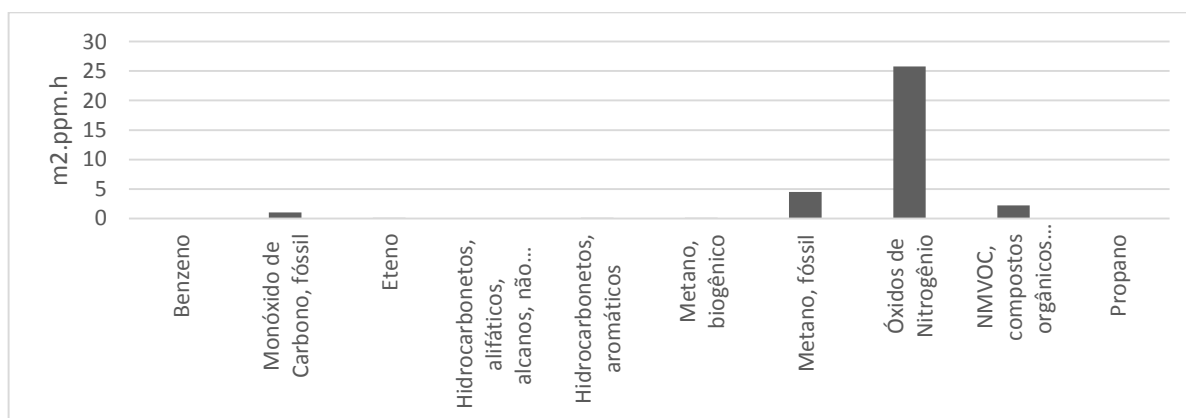


Figura 23: Método EDIP 2003, categoria Formação de Ozônio (vegetação).

Os Óxidos de Nitrogênio têm maior emissão, com $25,8074$ [$m^2.ppm.h$]. Logo em seguida, com $4,4836$ [$m^2.ppm.h$] de emissão, está o gás Metano fóssil.

4.2.4 Formação de Ozônio (Humanos)

Assim como na categoria anterior, este grupo mostra os elementos responsáveis pela formação de ozônio. Porém desta vez analisa as substâncias que afetam aos humanos. O maior elemento emitido para o ar neste caso é o Óxido de Nitrogênio (0,00172 [person.ppm.h]). Destaca-se também o gás Metano fóssil, com fator de 0,000361 [person.ppm.h], segundo a Figura 24.

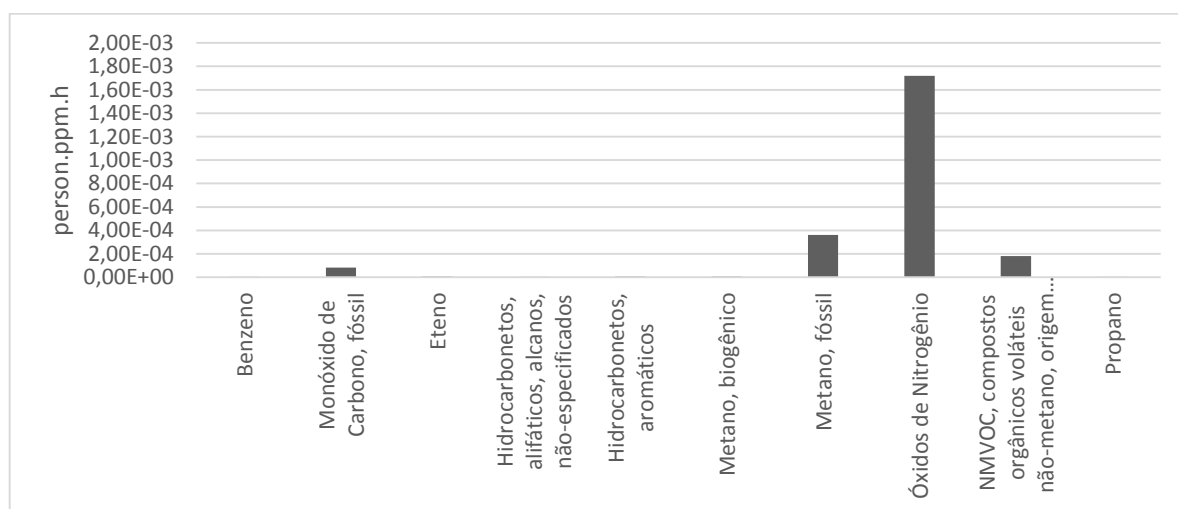


Figura 24: Método EDIP 2003, categoria Formação de Ozônio (humanos).

Estes elementos atingem um valor de 0,00239 [person.ppm.h]. À este valor está contabilizado mais 1,40E-05 [person.ppm.h] de substâncias restantes.

4.2.5 Acidificação

Nesta categoria de impacto, as substâncias somadas geram um fator de caracterização total de 0,5273 m² no compartimento ar. Um valor de 0,000467 é acrescido a estas substâncias, referente a substâncias restantes.

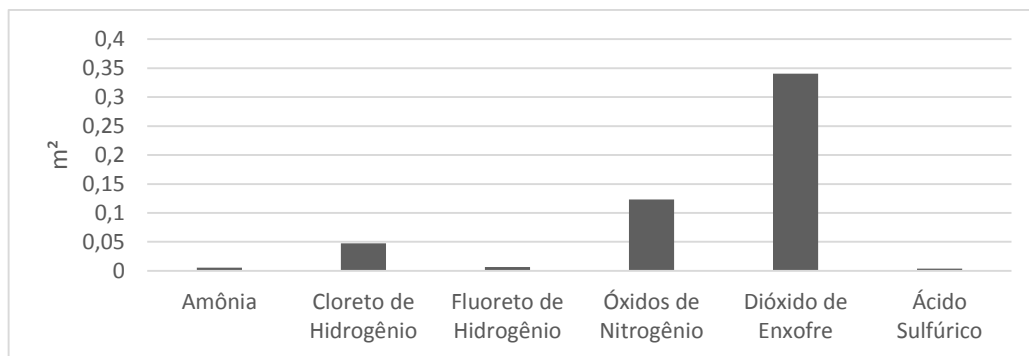


Figura 25: Método EDIP 2003, categoria Acidificação.

Entre os elementos analisados, os que possuem maior valor são o Dióxido de Enxofre (0,3404 m²) e os Óxidos de Nitrogênio (0,1233 m²), como apresentado na Figura 25.

4.2.6 Eutrofização Terrestre

Nesta categoria, duas substâncias são analisadas, os Óxidos de Nitrogênio e a Amônia, como é mostrado na Figura 26.

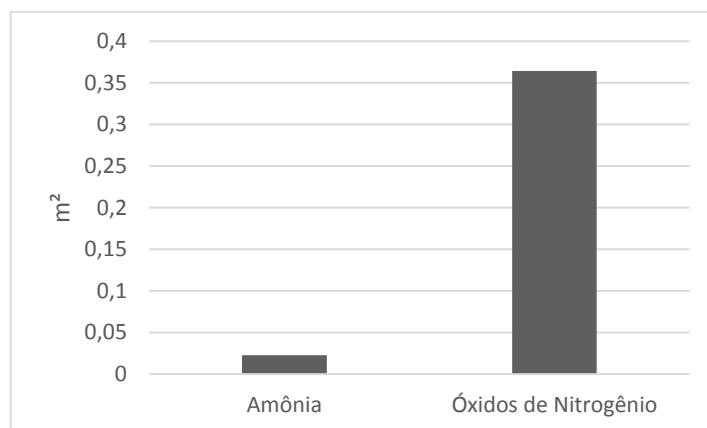


Figura 26: Método EDIP 2003, categoria Eutrofização Terrestre.

Os Óxidos de Nitrogênio têm um fator de caracterização de 0,3642 m² e a Amônia tem um valor de 0,0228 m². Somados, eles elementos contribuem com 0,3871 m² para a eutrofização terrestre

4.2.7 Eutrofização Aquática (N-eq)

Esta categoria analisa a eutrofização aquática em relação ao Nitrogênio e é dividida em dois compartimentos: Água e ar. Somados e levando em consideração $7,01E-07$ de substâncias resultantes, esta categoria em um fator total de $0,001635$ [kg N].

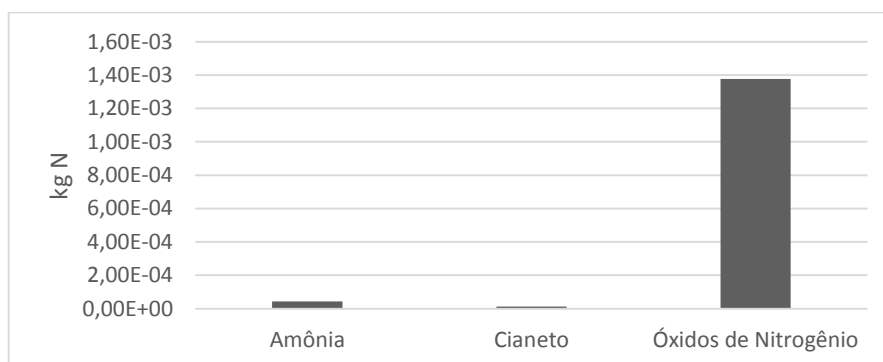


Figura 27: Método EDIP 2003, categoria Eutrofização Aquática (N-eq)(ar).

Através da Figura 27 nota-se que no compartimento ar três elementos são levados em consideração: Amônia, Cianeto e Óxidos de Nitrogênio que possui o maior valor entre eles ($0,001376$ [kg N]).

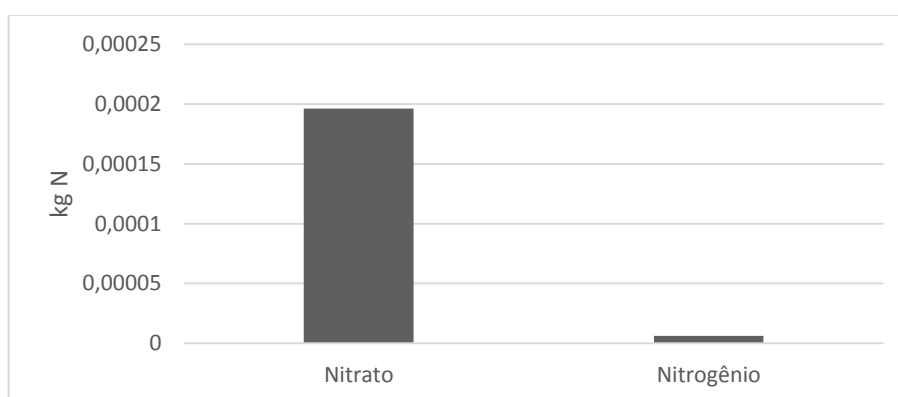


Figura 28: Método EDIP 2003, categoria Eutrofização Aquática (N-eq)(água).

A Figura 28 mostra os dois elementos referentes ao compartimento água. O Nitrato tem um fator de $0,000196$ [kg N] enquanto o Nitrogênio possui um fator de $6,33E-06$ [kg N].

4.2.8 Eutrofização Aquática (P-eq)

Analogamente à categoria anterior, esta analisa a eutrofização aquática pela equivalência de Fósforo. O Fosfato é o único elemento obtido, com um fator de 0,001457 [kg P], como mostrado na Figura 29.

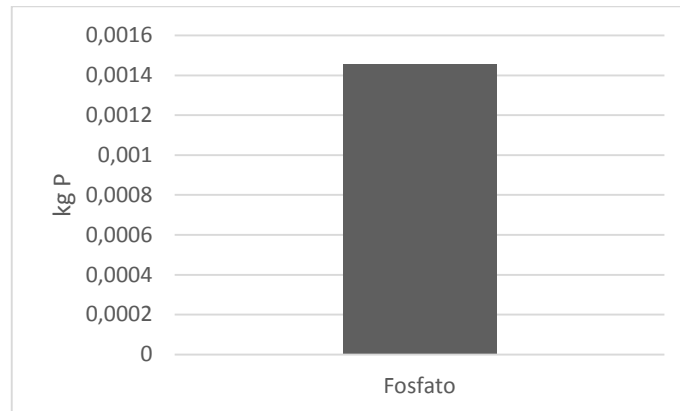


Figura 29: Método EDIP 2003, categoria Eutrofização Aquática (P-eq).

4.2.9 Toxicidade Humana (via de emissão ar)

Nesta categoria são analisadas as substâncias que prejudicam o ser humano emitidos pelo ar. Divide-se em dois grupos que somados totalizam 189020,7 [person], com 375,565 [person] de substâncias restantes.

No compartimento água, o Benzeno se destaca por ser o elemento cuja emissão é maior, com 40937,62 [person]. Destaca-se também o Sulfeto de Hidrogênio, com 35500,32 [person], mostrado na Figura 30.

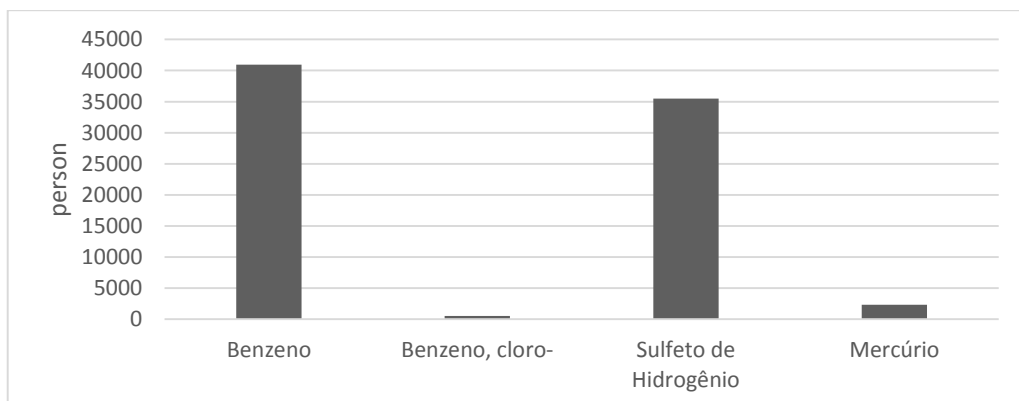


Figura 30: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de exposição ar) (água).

Já no compartimento ar, destacam-se duas substâncias conforme a Figura 31: o Benzeno, com um fator de 77919,58 [person] e o Monóxido de Carbono fóssil, com 15706,172 [person].

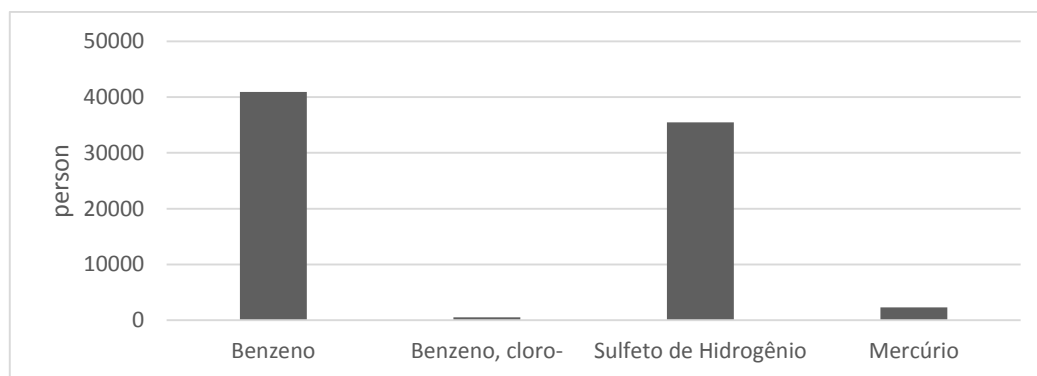


Figura 31: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de exposição ar) (ar).

4.2.10 Toxicidade Humana (via de emissão água)

Agora analisa-se as substâncias que afetam a saúde humana pela via de emissão água. Classificam-se em dois grupos, água e ar, que somados possuem um fator de 215,045 [m³].

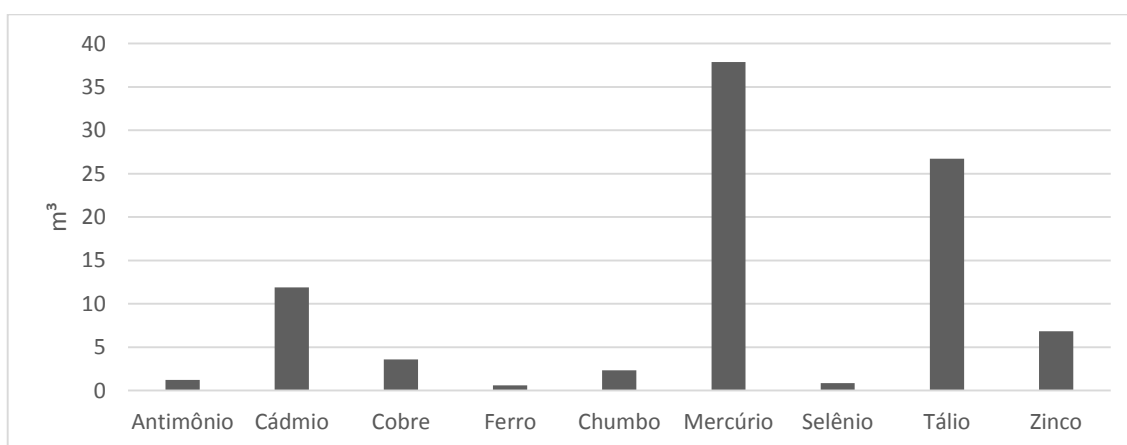


Figura 32: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de emissão água) (água).

A Figura 32 ilustra as substâncias que fazem parte do grupo água. Os elementos que possuem maior valor de emissão são o Mercúrio, com 37,8911 [m³] e o Tálíio, com 26,7274 [m³].

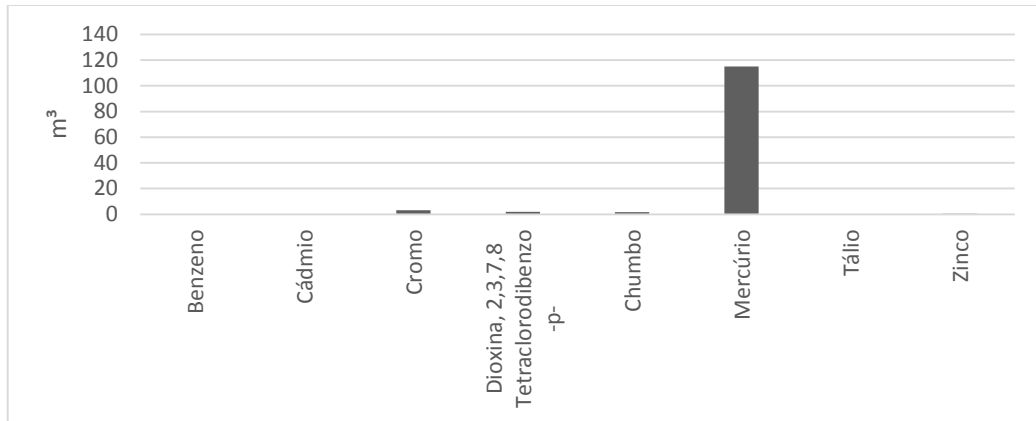


Figura 33: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de emissão água) (ar).

Pela Figura 33 nota-se que os elementos que possuem maior valor de emissão para o ar são o Mercúrio, com 114,945 [m³] e o Cromo, com 3,0692 [m³].

4.2.11 Toxicidade Humana (via de emissão solo)

Com um fator total de 3,3428 [m³], esta categoria demonstra as substâncias que afetam a saúde humana através do solo. Os dados são agrupados em três compartimentos: água, ar e solo. Agregando todos os valores alusivos as substâncias restantes de todos os compartimentos, encontra-se o valor de 0,02019 [m³]

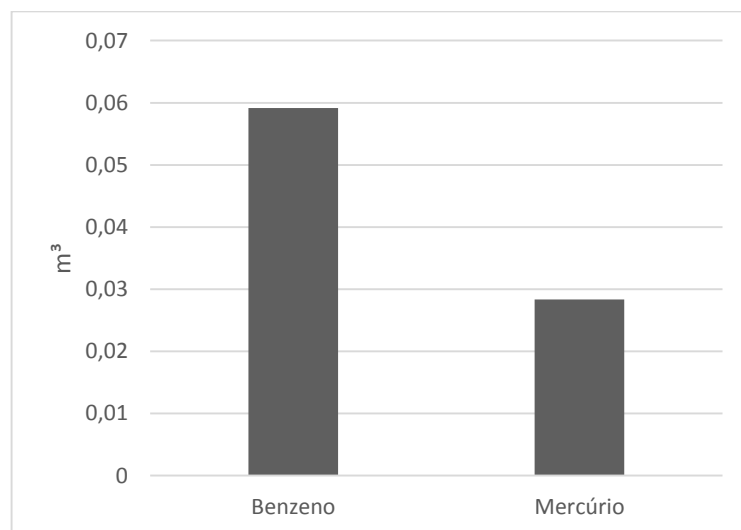


Figura 34: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de emissão solo) (água).

Na Figura 34 estão expostos os elementos referentes às emissões para a água. A maior delas é a do Benzeno, com 0,05916 [m³], enquanto o mercúrio emite 0,02834 [m³] para a água.

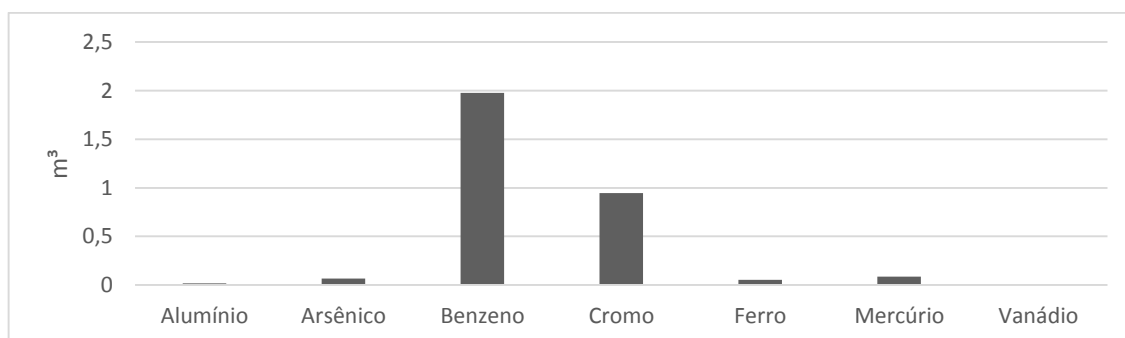


Figura 35: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de emissão solo) (ar).

Já no compartimento referente ao ar, o Benzeno é apontado como o elemento com maior emissão, com 1,9764 [m³]. Em seguida vem o Cromo, com 0,9465 [m³]. A Figura 35 mostra outros que são lançados ao ar.

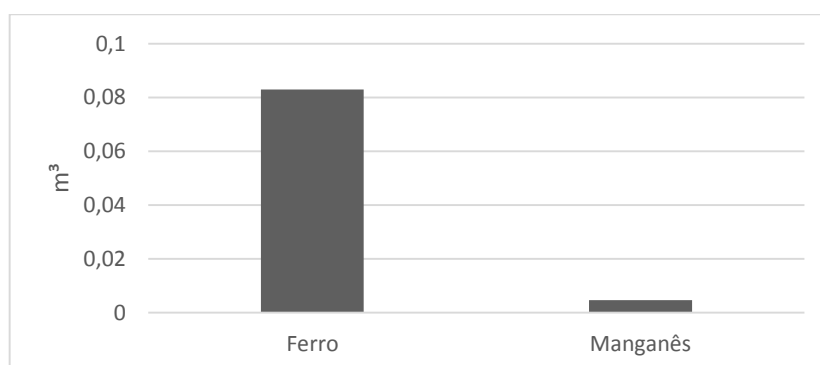


Figura 36: Método EDIP 2003, categoria Toxicidade Humana (via de emissão solo) (solo).

Por fim, no compartimento referente ao solo, o Ferro é o elemento de maior emissão, com 0,0829 [m³], seguido do Manganês, com 0,00468 [m³]. A Figura 36 demonstra estes valores graficamente.

4.2.12 Ecotoxicidade crônica da água

O objetivo desta categoria é mostrar os danos promovidos pelas substâncias químicas nos organismos de um ecossistema que sofre de exposição crônica a estas

substâncias. Divide-se entre o meio aquático e o ar, totalizando 9691,403 [m³] de emissões totais, contando com 43,7376 [m³] de substâncias restantes.

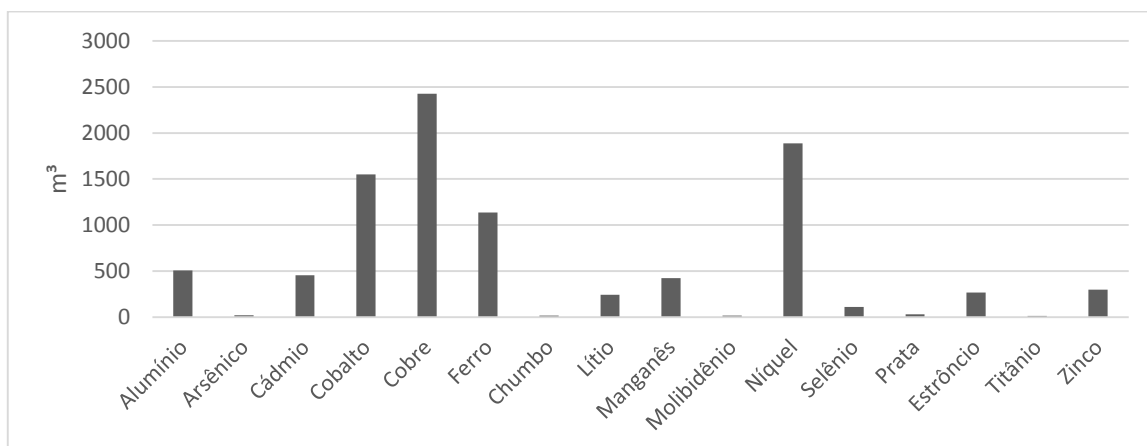


Figura 37: Método EDIP 2003, categoria Ecotoxicidade Crônica da Água (água).

No meio aquático, as substâncias emitidas são mostradas na Figura 37. Os elementos que são emitidos em maior escala são o Cobre e o Níquel, com 2427,46 [m³] e 1886,69 [m³].

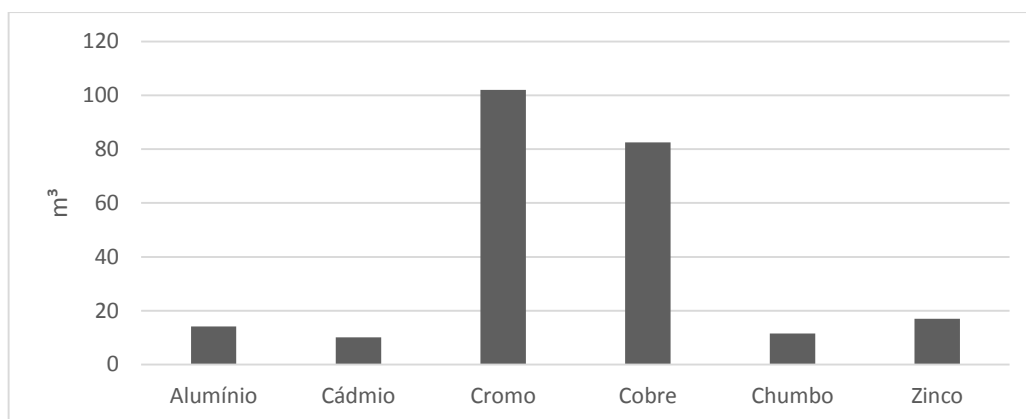


Figura 38: Método EDIP 2003, categoria Ecotoxicidade Crônica da Água (ar).

A Figura 38 mostra os elementos emitidos para o ar. Entre eles, os dois com maior fator de caracterização são o Cromo e o Cobre, com 102,056 [m³] e 82,5220 [m³] respectivamente.

4.2.13 Ecotoxicidade aguda da água

Seguindo o conceito da categoria anterior, a Ecotoxicidade aguda da água estuda as substâncias que causam danos agudos nos organismos do ecossistema. O resultado total desta análise é de 1258,18 [m³].

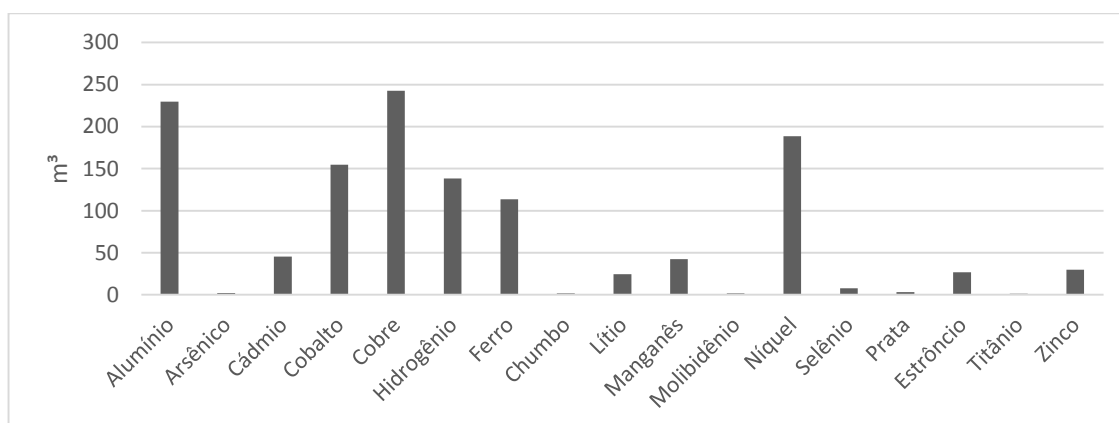


Figura 39: Método EDIP 2003, categoria Ecotoxicidade Aguda da Água.

A Figura 39 mostra que o Cobre e o Alumínio são os elementos que tem maior emissão, com 242,746 [m³] e 229,88 [m³] respectivamente. Junto aos elementos mostrados na Figura 39 estão mais 2,665 [m³] de substâncias restantes.

4.2.14 Ecotoxicidade crônica do solo

Nesta categoria são observadas quais substâncias promovem danos crônicos no solo. Estas substâncias estão divididas entre as presentes no solo, na água e no ar. A soma de todas as substâncias é de 15,8878 [m³]. A Figura 40 mostra quais substâncias são emitidas para o solo.

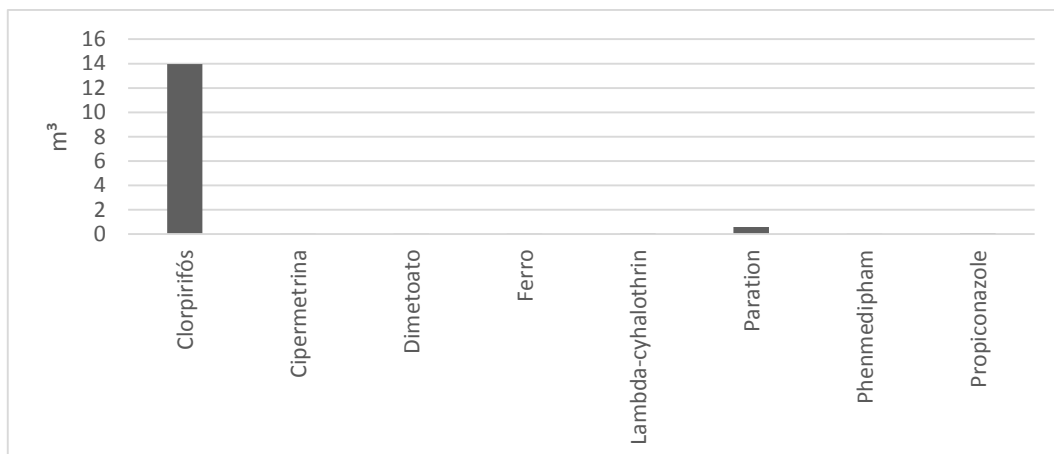


Figura 40: Método EDIP 2003, categoria Ecotoxicidade Crônica do Solo (solo).

As duas principais substâncias são Clorpirifós e Paration, que são dois pesticidas. O Clorpirifós é a substância de maior emissão, com 13,9677 [m³], seguida do Paration, com 0,5789 [m³].

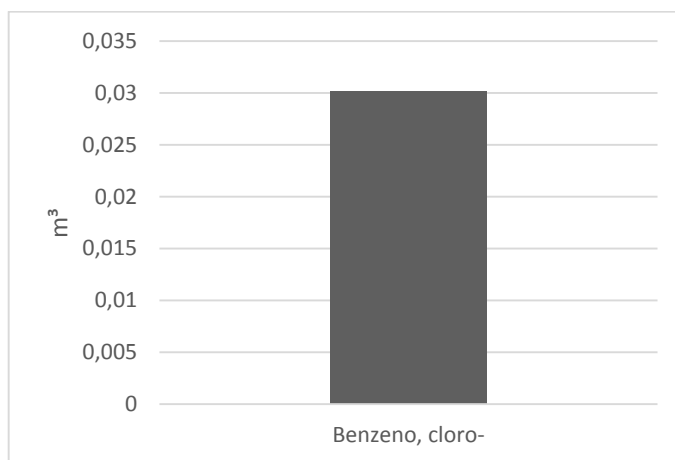


Figura 41: Método EDIP 2003, categoria Ecotoxicidade Crônica do Solo (água).

Os elementos emitidos para a água são mostrados na Figura 41. Nesta categoria, há somente a emissão de um composto Benzeno, cloro- com 0,03017 [m³] de emissão.

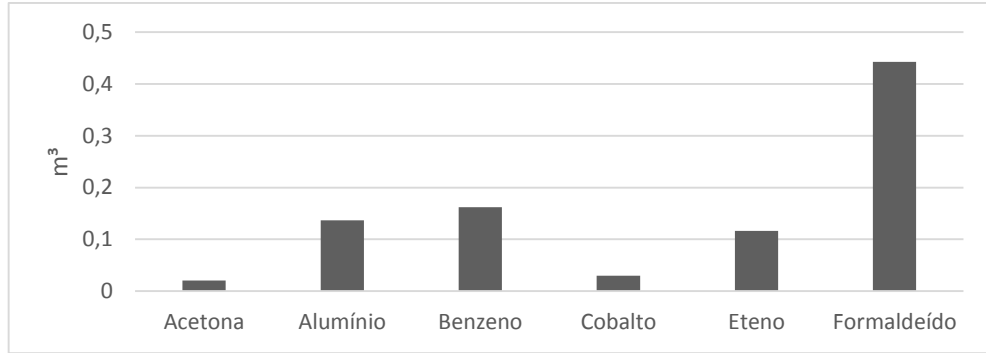


Figura 42: Método EDIP 2003, categoria Ecotoxicidade Crônica do Solo (ar).

Quanto aos elementos emitidos para o ar, tem-se o Formaldeído como o maior deles, com 0,4426 [m³], conforme mostrado na Figura 42. O Benzeno surge logo em seguida, com 0,1622 [m³].

4.2.15 Resíduos Perigosos

Todo lixo perigoso para o ambiente é analisado nesta categoria. Como se nota na Figura 43, esta categoria possui somente um item, que trata sobre o volume ocupado em depósitos subterrâneos. O valor deste componente é de 0,000104 [kg].

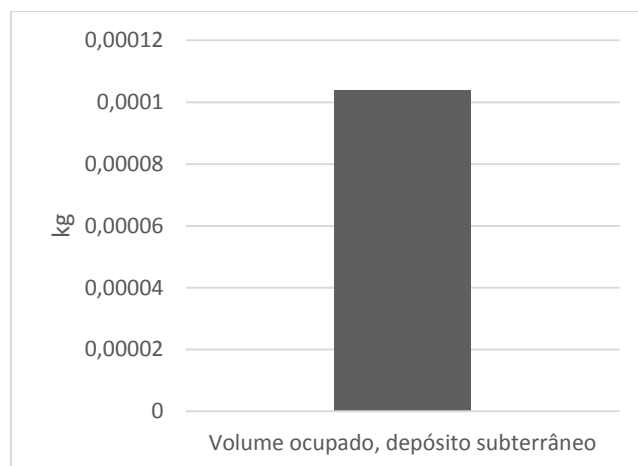


Figura 43: Método EDIP 2003, categoria Resíduos Perigosos.

4.2.16 Escórias/cinzas

As emissões referentes a escórias e cinzas são analisadas nesta categoria. A Figura 44 mostra que há somente um item, Transformação, de aterro, compartimento de escória, com 0,01313 [kg] de emissão.

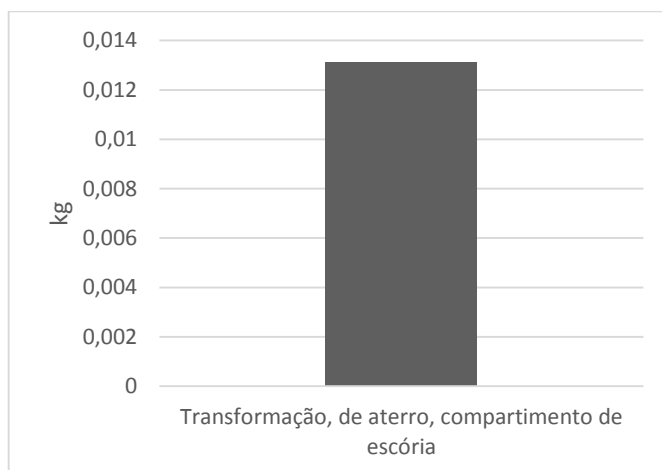


Figura 44: Método EDIP 2003, categoria Escória/Cinzas

4.2.17 Resíduos em massa

Esta categoria apresenta os danos causados ao ambiente pelos resíduos em massa em aterros. Os danos maiores são causados pela transformação de resíduos de material de aterro, com 4,3673 [kg], segundo a Figura 45.

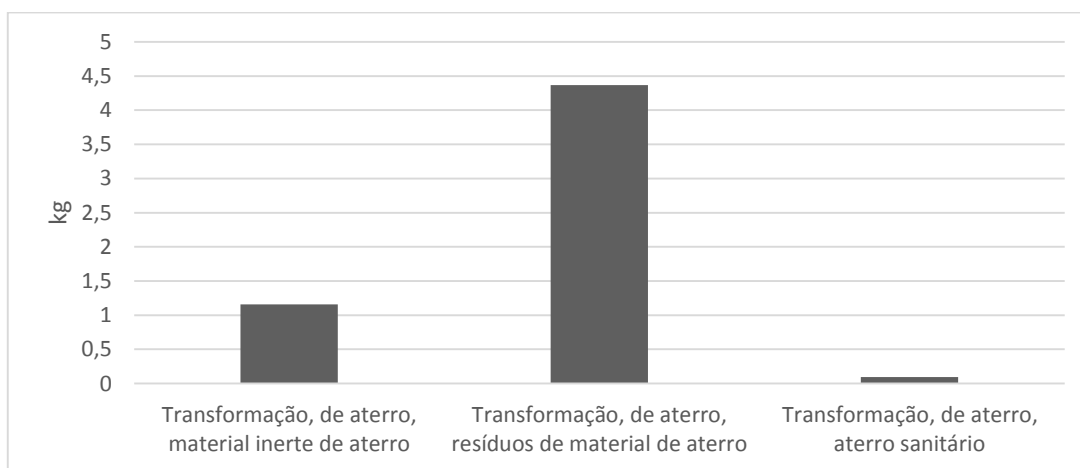


Figura 45: Método EDIP 2003, categoria Resíduos em Massa.

4.2.18 Lixo Radioativo

O lixo radioativo que é proveniente do processo estudado é analisado nesta categoria. O item com maior emissão refere-se ao depósito final para lixo baixo-radioativo, com 0,000144 [kg] de emissão. A Figura 46 mostra graficamente os dados desta categoria.

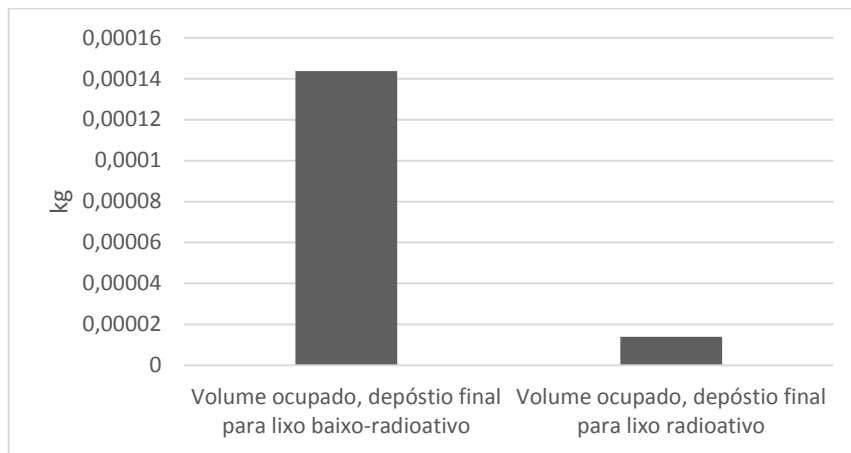


Figura 46: Método EDIP 2003, categoria Lixo Radioativo.

4.2.19 Recursos

A Figura 47 expõe os dados desta categoria, que trata das emissões alusivas aos recursos. O valor total desta categoria é 0,06406 [PR2004]. Esta unidade reflete a parcela do total de reservas conhecidas deste recurso disponíveis para cada pessoa (PRé, 2014).

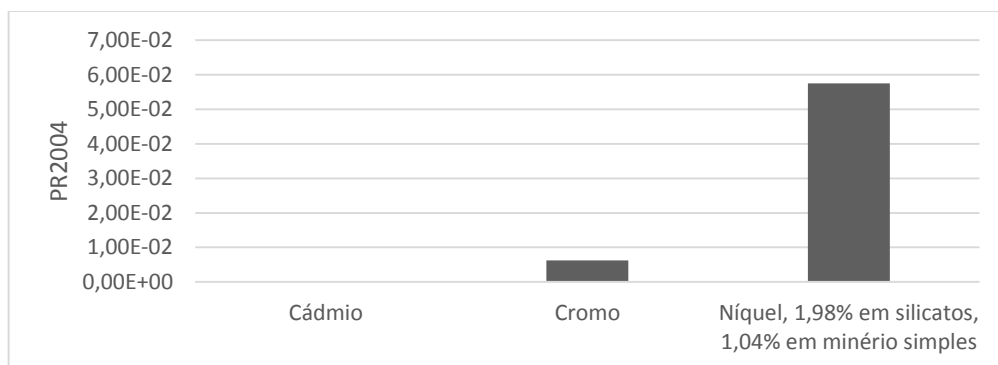


Figura 47: Método EDIP 2003, categoria Recursos.

O elemento com maior emissão é o Níquel, com 0,05748 [PR2004], seguido do Cromo, com 0,00625 [PR2004].

4.3 Impact 2002+

4.3.1 Cancerígenos

Esta categoria estima a ecotoxicidade de substâncias cancerígenas emitidas pelo processo. O valor total desta categoria foi de 0,3545 [kg C₂H₃Cl eq], contendo 0,0007 [kg C₂H₃Cl eq] referente a substâncias restantes. Os fatores de caracterização são dados para o ar, a água e o solo.

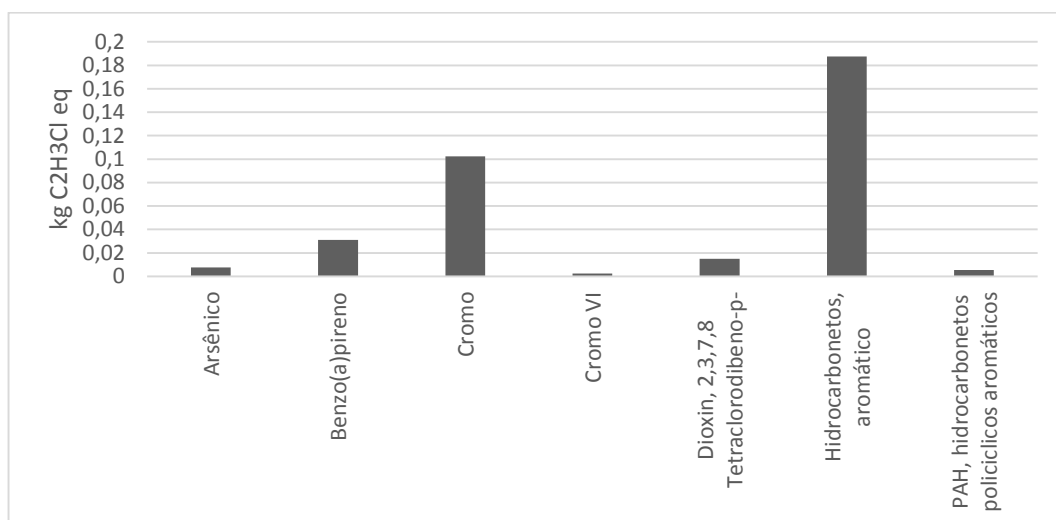


Figura 48: Método Impact 2002+, categoria Cancerígenos (ar).

A Figura 48 mostra os fatores referentes ao ar. O maior entre eles refere-se aos Hidrocarbonetos aromáticos, com 0,1876 [kg C₂H₃Cl eq]. Em seguida há o Cromo 0,1024 [kg C₂H₃Cl eq].

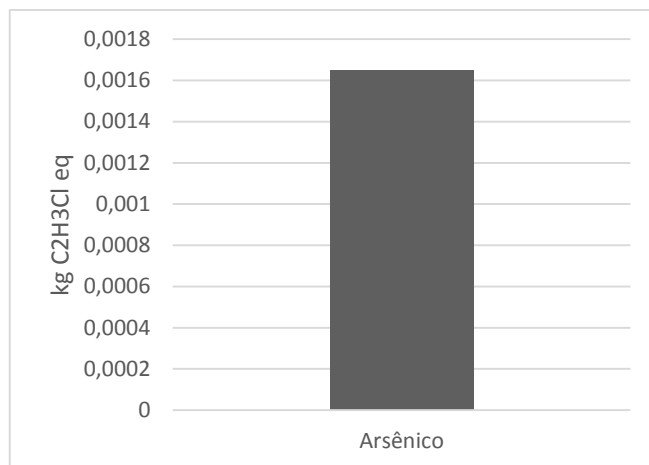


Figura 49: Método Impact 2002+, categoria Cancerígenos (água).

Para o meio aquático há somente um item, como mostrado na Figura 49. O elemento é o Arsênico, com 0,00164 [kg C₂H₃Cl eq].

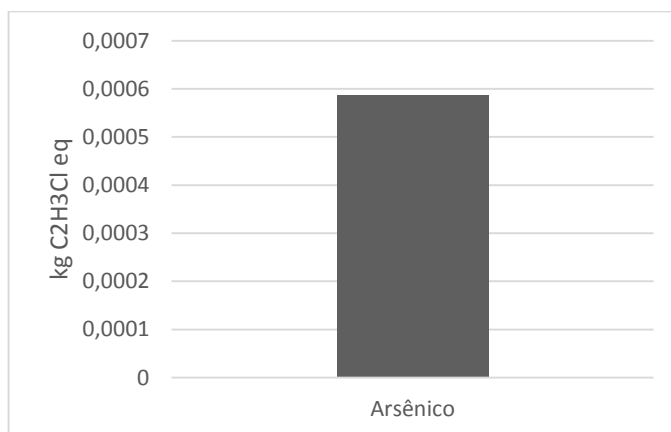


Figura 50: Método Impact 2002+, categoria Cancerígenos (solo).

O Arsênico também é o único elemento desta categoria presente no solo, com 0,00058 [kg C₂H₃Cl eq]. A Figura 50 demonstra graficamente este dado.

4.3.2 Não cancerígenos

Estima-se nesta categoria a ecotoxicidade de substâncias não cancerígenas. Os fatores de caracterização são divididos entre os referentes ao ar, a água e ao solo. O valor total desta categoria foi de 0,21208 [kg C₂H₃Cl eq], com 0,0015 [kg C₂H₃Cl eq] de substâncias restantes.

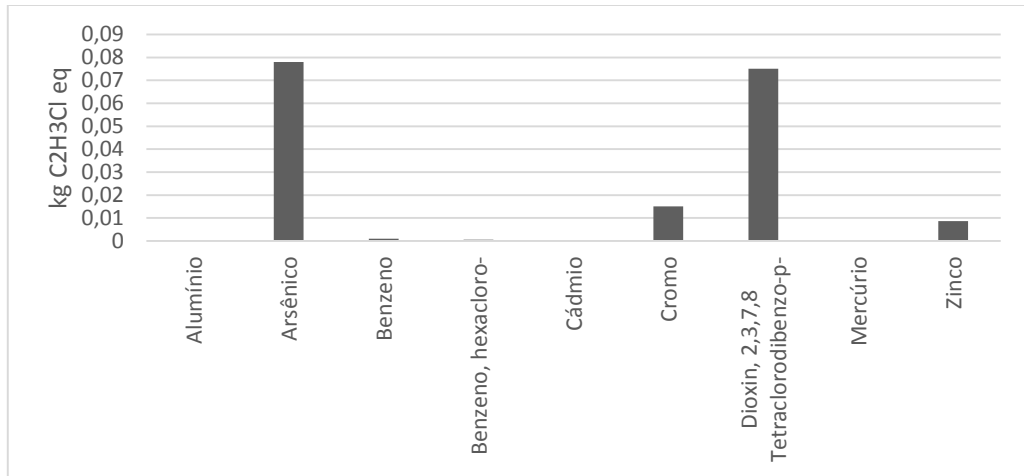


Figura 51: Método Impact 2002+, categoria Não cancerígenos (ar).

A Figura 51 mostra graficamente os dados obtidos para as emissões para o ar. Entre elas, o Arsênico possui maior fator de caracterização, com 0,07793 [kg C₂H₃Cl eq], seguido do Dioxin, com 0,07512 [kg C₂H₃Cl eq].

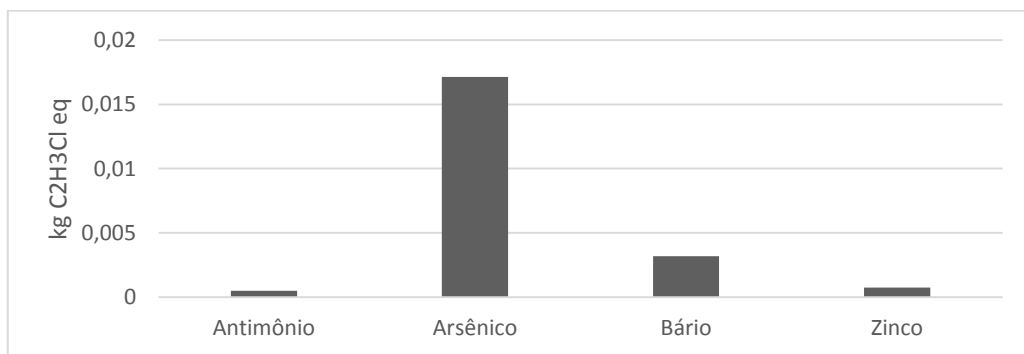


Figura 52: Método Impact 2002+, categoria Não cancerígenos (água).

No meio aquático, o Arsênico e o Bário são os elementos que possuem maior emissão, com 0,01713 [kg C₂H₃Cl eq] e 0,00316 [kg C₂H₃Cl eq] respectivamente. A Figura 52 mostra quais outros elementos estão relacionados a esta categoria.

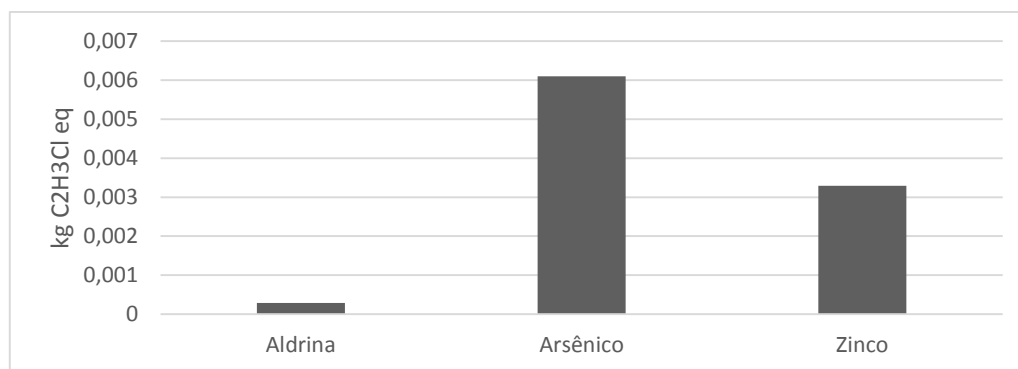


Figura 53: Método Impact 2002+, categoria Não cancerígenos (solo).

Já no solo, as duas substâncias com maior emissão são o Arsênico, com 0,00613 [kg C₂H₃Cl eq] e o Zinco 0,00329 [kg C₂H₃Cl eq], de acordo com a Figura 53.

4.3.3 Inorgânicos Respiratórios

Esta categoria se refere aos efeitos respiratórios causados por substâncias inorgânicas. O valor total das emissões desta categoria é de 0,01411 [kg PM_{2.5} eq], sendo que 1,56E-10 [kg PM_{2.5} eq] referem-se a substâncias restantes. A Figura 54 mostra quais são as substâncias presentes nesta categoria.

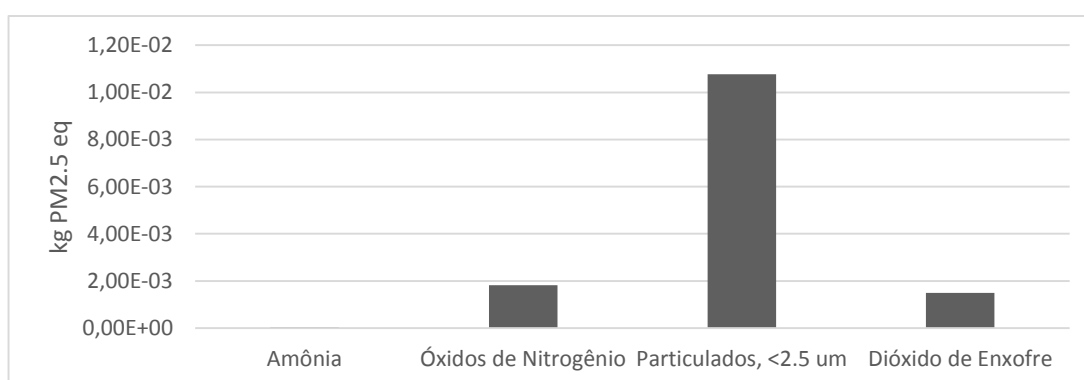


Figura 54: Método Impact 2002+, categoria Inorgânicos Respiratórios.

Nota-se que a presença de Particulados no ar é o fator que mais afeta esta categoria, com 0,0108 [kg PM_{2.5} eq], seguido pelos Óxidos de Nitrogênio, com 0,00182 [kg PM_{2.5} eq].

4.3.4 Radiação Ionizante

Para esta categoria, os fatores de caracterização são dados para a água e o ar. Somando todos os fatores, mais 0,1274 [Bq C-14 eq] referentes a substâncias restantes, encontra-se o valor de 46,1040 [Bq C-14 eq].

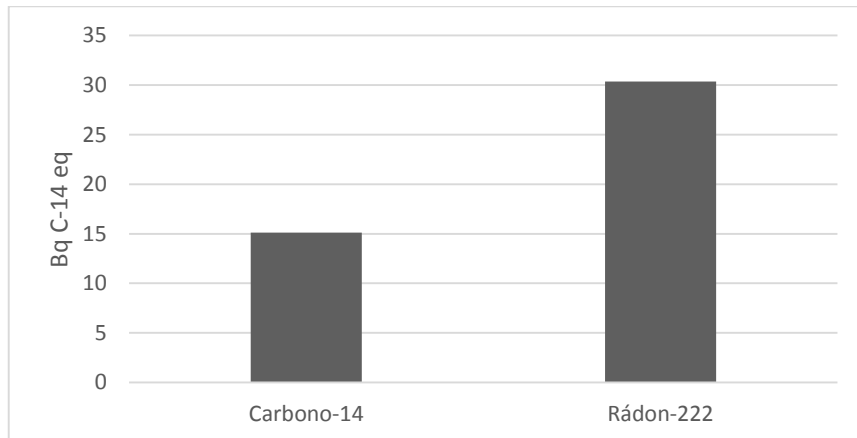


Figura 55: Método Impact 2002+, categoria Radiação Ionizante (ar).

Para o ar, o Rádion-222 tem maior emissão, com 30,3577 [Bq C-14 eq], seguido do Carbono-14, com 15,1055 [Bq C-14 eq], conforme mostra a Figura 55.

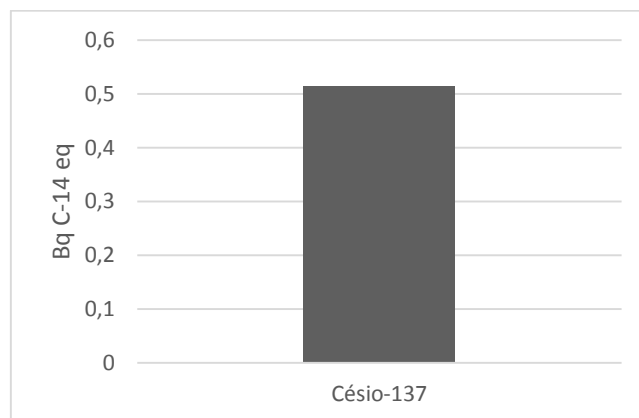


Figura 56: Método Impact 2002+, categoria Radiação Ionizante (água).

Para a água, a Figura 56 mostra que a única substância presente é o Césio-137, com 0,5134 [Bq C-14 eq].

4.3.5 Depleção da Camada de Ozônio

A soma total dos elementos que contribuem para a redução da camada de Ozônio é de $1,87E-07$ [kg CFC-11 eq]. Neste valor estão inclusos $2,07E-10$ [kg CFC-11 eq].

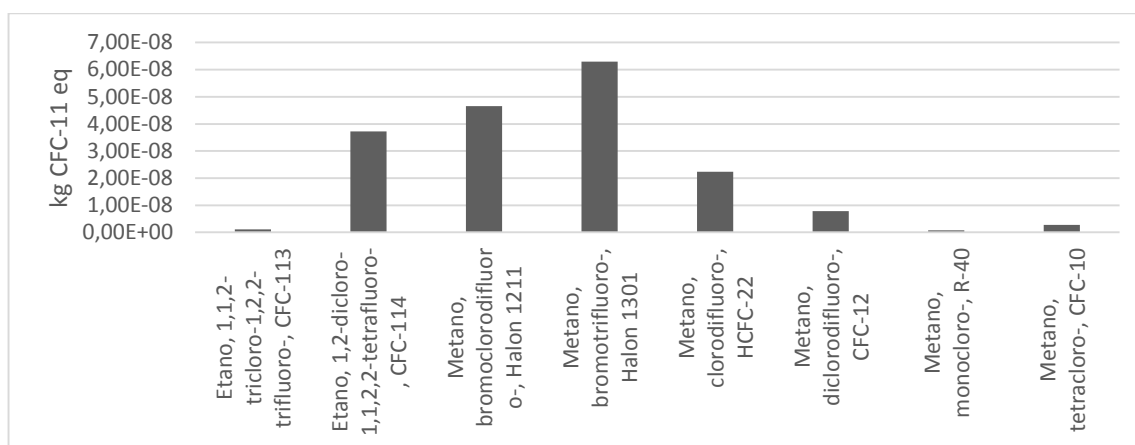


Figura 57: Método Impact 2002+, categoria Depleção da Camada de Ozônio.

A Figura 57 mostra os elementos mais emitidos para o ar. O maior deles é o Metano (bromotrifluoro-, Halon 1301) com $6,30E-08$ [kg CFC-11 eq]. Em seguida vem outra variação do gás Metano (bromoclorodifluoro-, Halon 1211), com $4,66E-08$ [kg CFC-11 eq].

4.3.6 Orgânicos Respiratórios

Esta categoria se refere aos efeitos respiratórios causados por substâncias orgânicas. O valor total das emissões desta categoria é de $0,00208$ [kg C_2H_4 eq], sendo que $6,49E-06$ [kg C_2H_4 eq] referem-se a substâncias restantes. A Figura 58 mostra quais são as substâncias presentes nesta categoria.

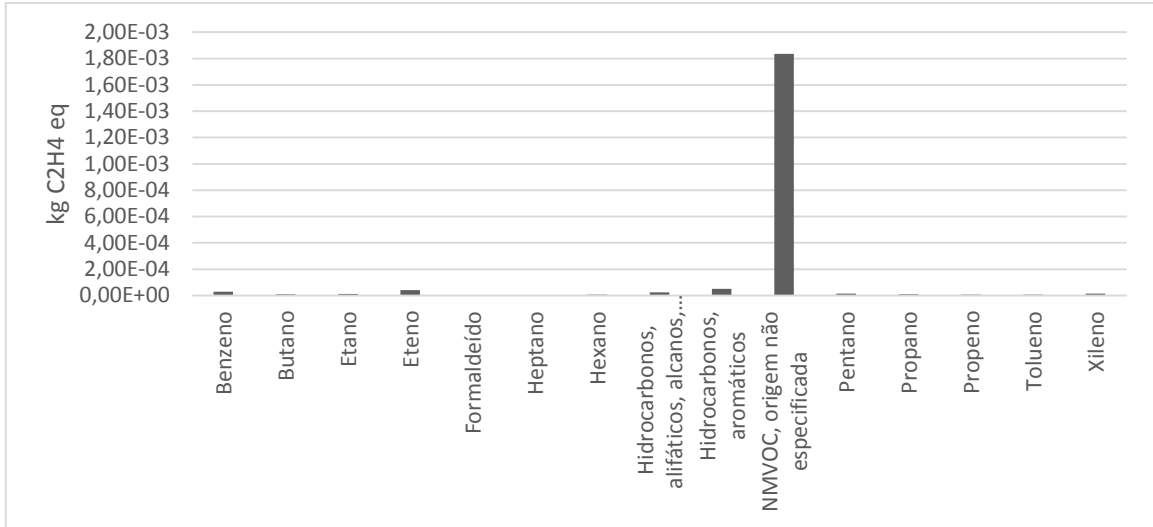


Figura 58: Método Impact 2002+, categoria Orgânicos Respiratórios.

Nota-se claramente que o elemento com maior fator de caracterização é o NMVOC, que é um composto orgânico volátil sem presença de metano. O valor deste elemento é 0,001836 [kg C₂H₄ eq].

4.3.7 Ecotoxicidade Aquática

O impacto de substâncias tóxicas nas águas é analisado nesta categoria. O valor total obtido foi 611,945 [kg TEG water], contendo 3,1980 [kg TAG water] de substâncias restantes. Os fatores de caracterização desta categoria são dados para as emissões para o ar, água e solo. A Figura 59 mostra graficamente os fatores de caracterização para o ar.

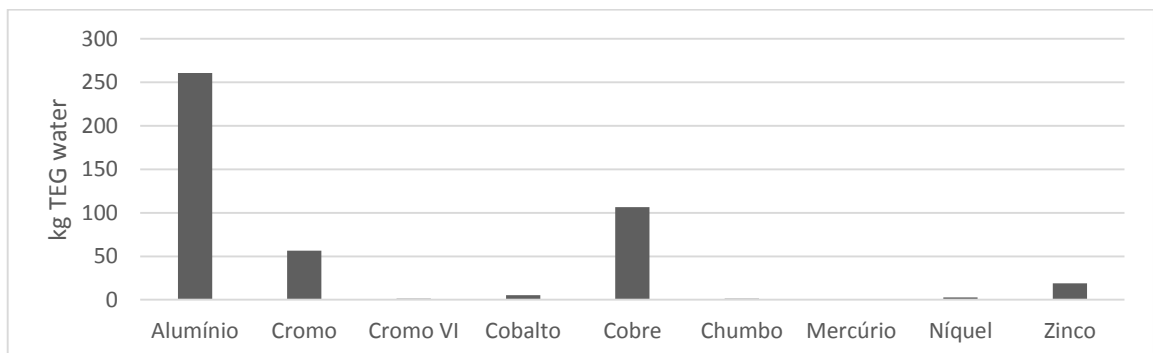


Figura 59: Método Impact 2002+, categoria Ecotoxicidade Aquática (ar).

Entre as substâncias encontradas, o Alumínio apresenta o maior fator de caracterização para o ar, seguido do Cobre, com 260,8342 [kg TAG water] e 106,6642 [kg TAG water] respectivamente.

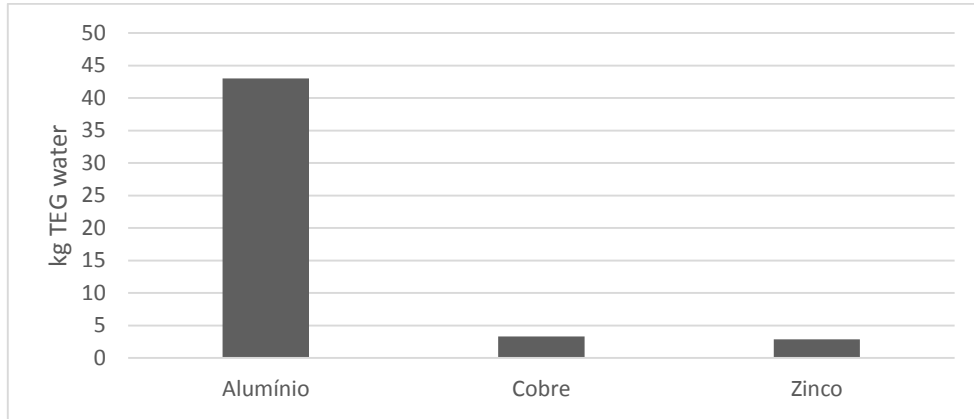


Figura 60: Método Impact 2002+, categoria Ecotoxicidade Aquática (solo).

A Figura 60 mostra as substâncias emitidas para o solo. A que possui o maior fator é o Alumínio, seguido do Cobre, com 43,0132 [kg TAG water] e 3,3073 [kg TAG water] respectivamente.

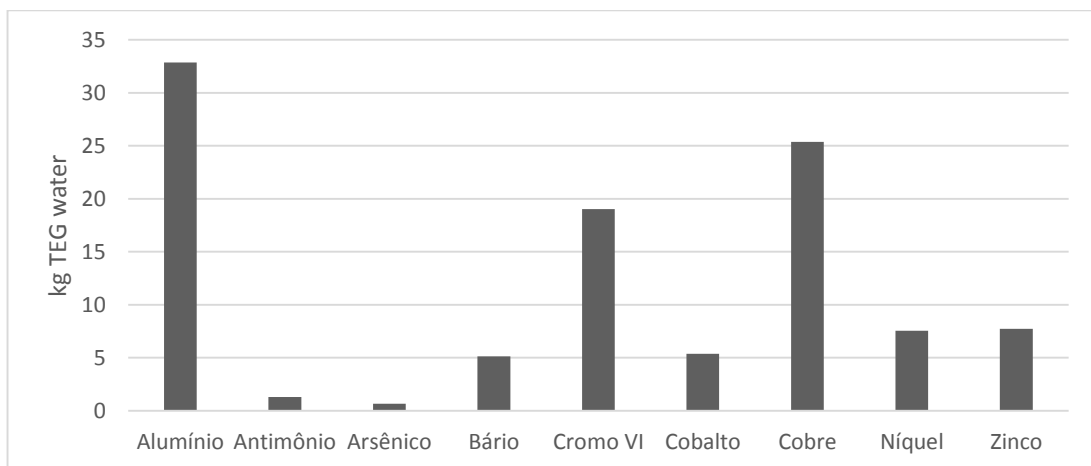


Figura 61: Método Impact 2002+, categoria Ecotoxicidade Aquática (água).

Entre os elementos emitidos para a água mostrados na Figura 61, o Alumínio também possui o maior fator, com 32,8559 [kg TAG water]. O Cobre vem em seguida, com 25,3617 [kg TAG water].

4.3.8 Ecotoxicidade terrestre

Esta categoria divide os fatores de caracterização entre ar e solo. A soma de todos os fatores de caracterização, mais os 1,2294 [kg TEG soil] de substâncias restantes é de 578,946 [kg TEG soil].

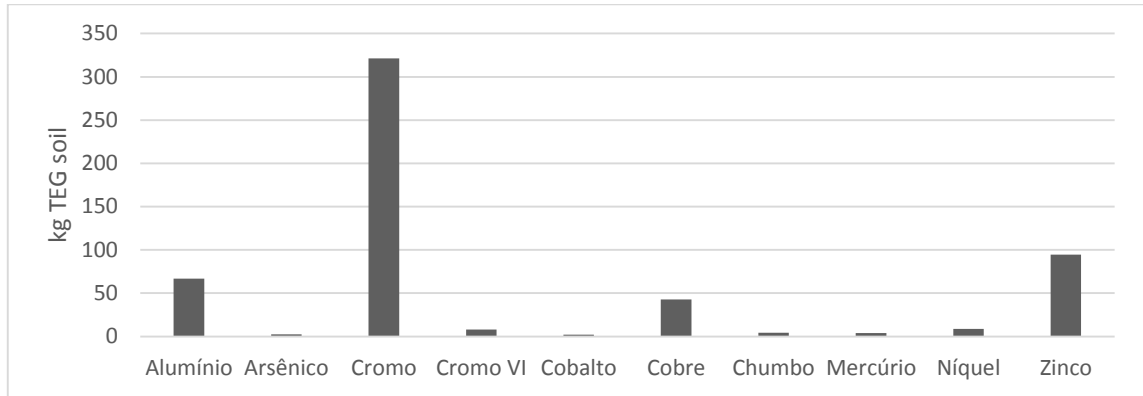


Figura 62: Método Impact 2002+, categoria Ecotoxicidade Terrestre (ar).

A Figura 62 mostra que entre os elementos emitidos para o ar, o Cromo possui maior valor, com 321,181 [kg TEG soil]. O Zinco é o segundo elemento com maior emissão, com 94,4122 [kg TEG soil].

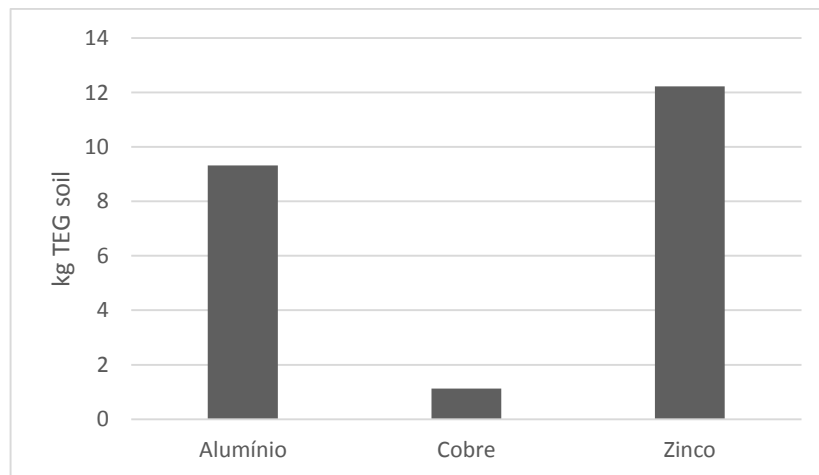


Figura 63: Método Impact 2002+, categoria Ecotoxicidade Terrestre (solo).

Quanto aos elementos emitidos para o solo, a Figura 63 mostra que o Zinco é o que possui maior emissão, com 12,231 [kg TEG soil], seguido do Alumínio, com 9,3287 [kg TEG soil].

4.3.9 Acidificação/Nutrição Terrestre

Esta categoria analisa as mudanças de pH do solo. Os fatores de caracterização se referem ao ar, e a soma deles é de 0,1013 [kg SO₂ eq]. A este valor está acrescido um fator de 2,00E-09 [kg SO₂ eq] referente as substâncias restantes.

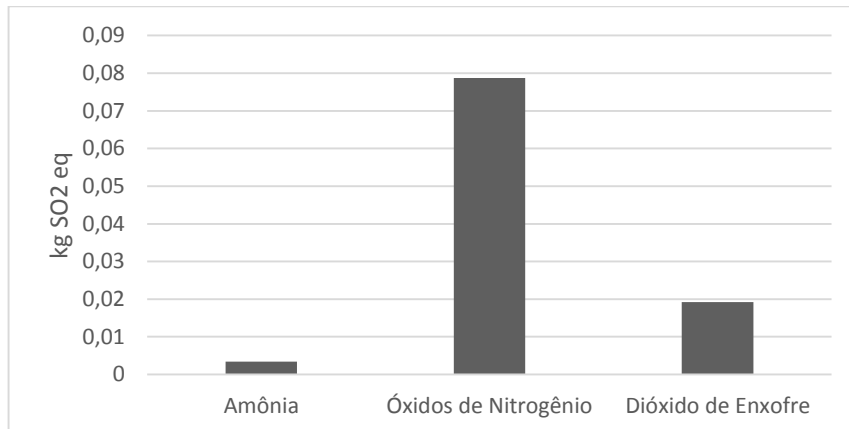


Figura 64: Método Impact 2002+, categoria Acidificação/Nutrição Terrestre.

A Figura 64 mostra que os Óxidos de Nitrogênio possuem maior fator, com 0,07868 [kg SO₂ eq], seguido do Dióxido de Enxofre, com 0,0192 [kg SO₂ eq].

4.3.10 Ocupação de Terras

Nesta categoria analisa-se o impacto causado por diversos tipos de ocupação da terra. A soma de todos os fatores desta categoria é 0,1101 [m²org.arable].

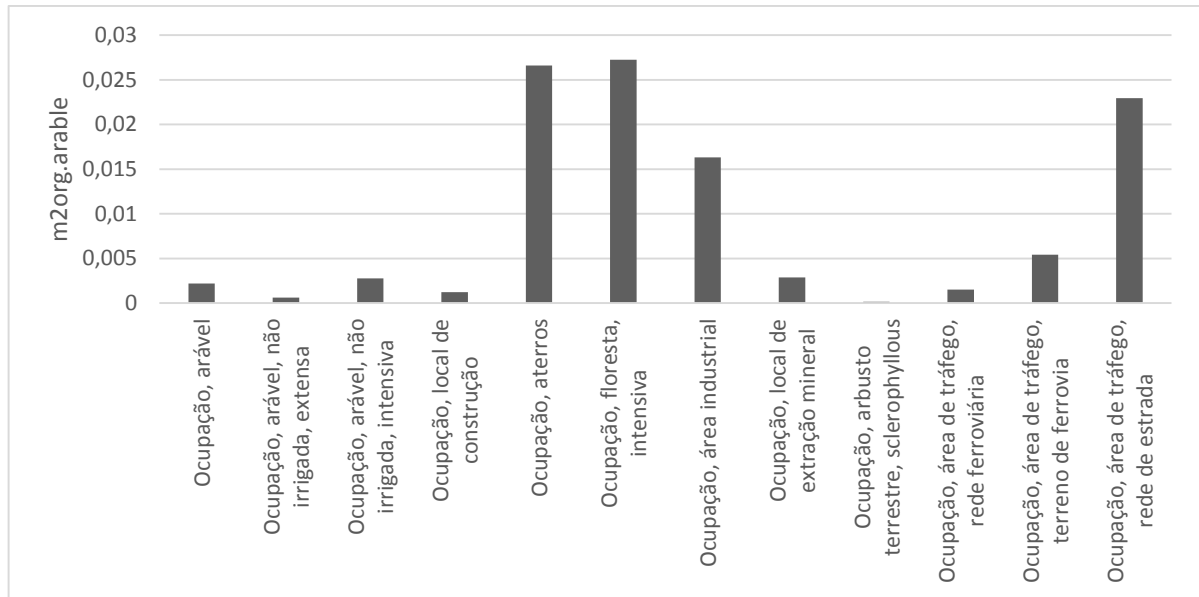


Figura 65: Método Impact 2002+, categoria Ocupação de terras.

A ocupação intensiva de florestas é o tipo de ocupação com maior fator de caracterização, com 0,02724 [m²org.arable]. As ocupações para aterros vêm em seguida, com 0,02659 [m²org.arable]. Os outros tipos de ocupação são mostrados na Figura 65.

4.3.11 Acidificação Aquática

Esta categoria divide os fatores de caracterização entre ar e água, e analisa os elementos que alteram o pH da água. Com 2,72E-05 [kg SO₂ eq] de substâncias restantes, o total dos fatores desta categoria é 0,0308 [kg SO₂ eq].

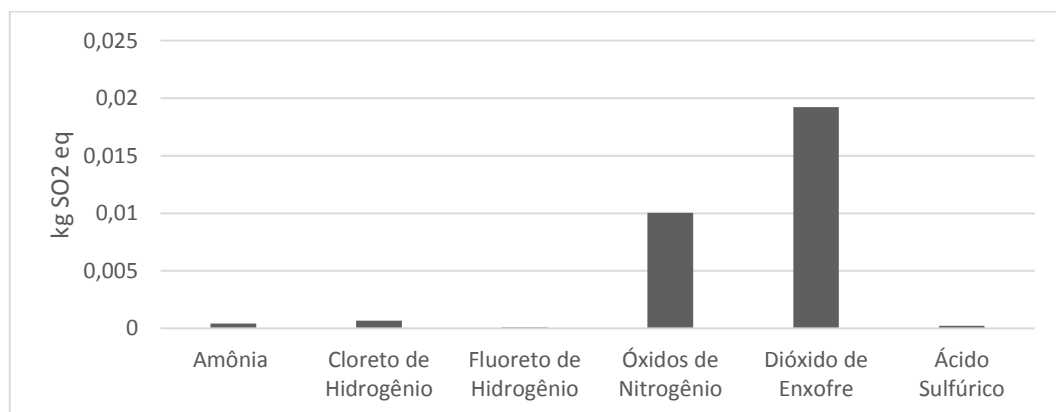


Figura 66: Método Impact 2002+, categoria Acidificação Aquática (ar).

A Figura 66 mostra os valores referentes as emissões para o ar. A substância com maior fator é o Dióxido de Enxofre, com 0,01923 [kg SO₂ eq], seguido de Óxidos de Nitrogênio, com 0,0100 [kg SO₂ eq].

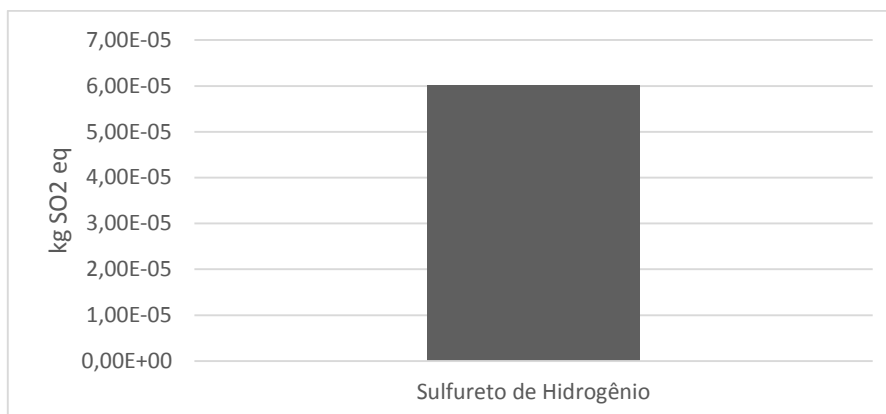


Figura 67: Método Impact 2002+, categoria Acidificação Aquática (água).

Na Figura 67 há o único elemento encontrado nesta categoria referente as emissões para a água. O Sulfureto de Hidrogênio tem um fator de 6,01E-05 [kg SO₂ eq].

4.3.12 Eutrofização Aquática

Com um fator de caracterização total de 0,000776 [kg PO₄ P-lim], esta categoria divide os fatores entre os referentes a água, ar e solo. As substâncias restantes nesta categoria têm um fator de 1,78E-13 [kg PO₄ P-lim].

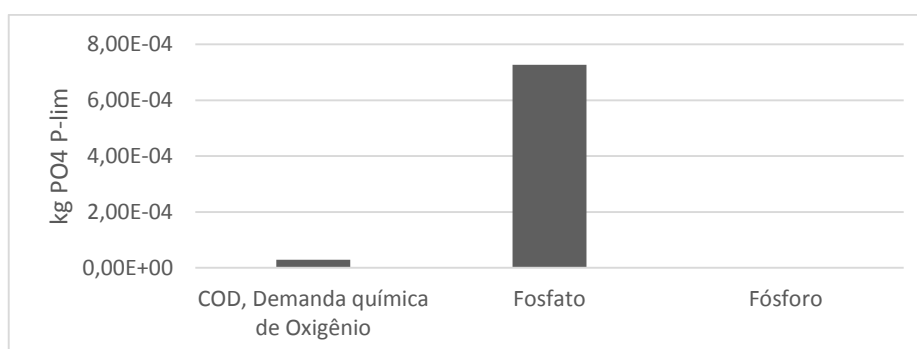


Figura 68: Método Impact 2002+, categoria Eutrofização Aquática (água).

A Figura 68 analisa os valores alusivos as emissões para a água. O maior fator é o do Fosfato, com 0,000727 [kg PO₄ P-lim].

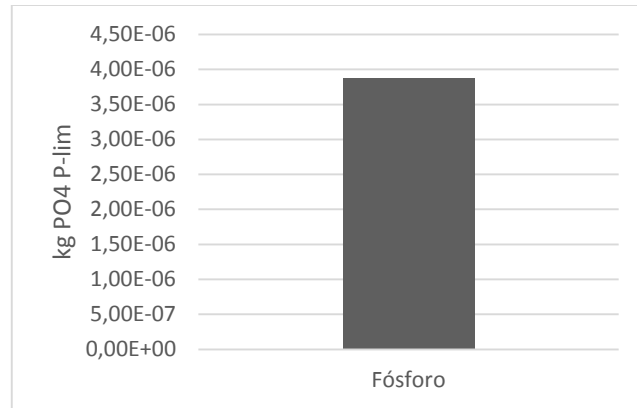


Figura 69: Método Impact 2002+, categoria Eutrofização Aquática (ar).

Um único elemento é emitido para o ar nesta categoria. Segundo a Figura 69, o Fósforo tem um fator de caracterização de $3,88E-06$ [kg PO4 P-lim].

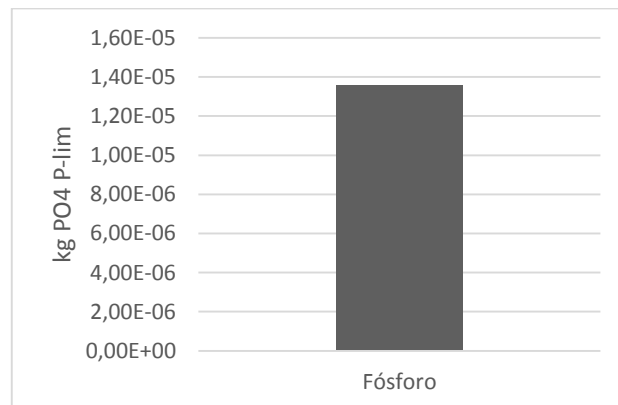


Figura 70: Método Impact 2002+, categoria Eutrofização Aquática (solo).

De acordo com a Figura 70, nas emissões para o solo também está presente somente um elemento, o Fósforo, com $1,36E-05$ [kg PO4 P-lim].

4.3.13 Aquecimento Global

O valor total dos fatores na categoria que analisa as substâncias que aceleram o aquecimento global é de $4,5435$ [kg CO₂ eq]. Além dos $0,00704$ [kg CO₂ eq] de substâncias restantes, outras substâncias também contribuem para esta categoria, como mostra a Figura 71.

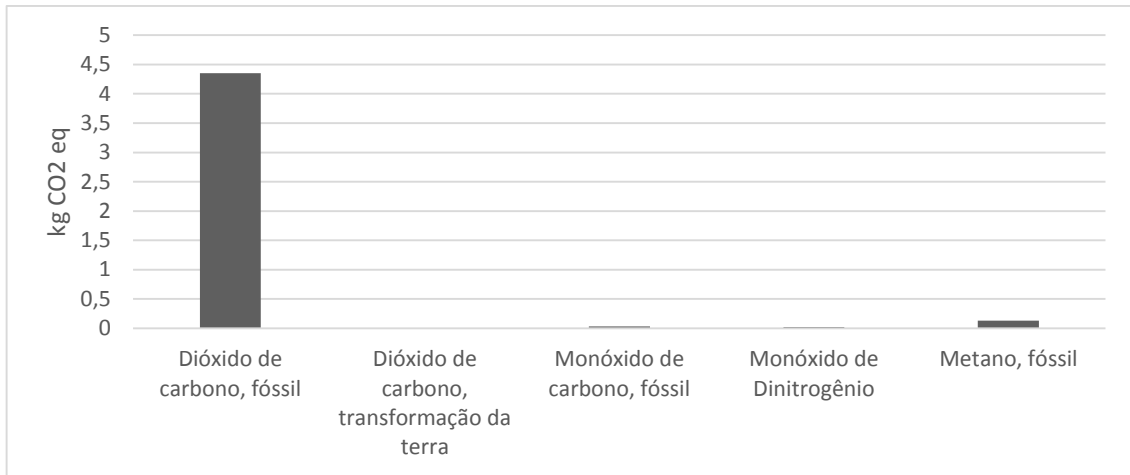


Figura 71: Método Impact 2002+, categoria Aquecimento Global.

O Dióxido de Carbono fóssil é a substância que possui maior fator de caracterização, seguido do Metano fóssil, com 4,3513 [kg CO₂ eq] e 0,1289 [kg CO₂ eq], respectivamente.

4.3.14 Energia Não Renovável

Analisa-se nesta categoria os impactos gerados pelo consumo de energia não renovável. O fator de caracterização refere-se a matéria prima, e tem um valor total de 53,9320 [MJ primary]. A Figura 72 mostra os fatores das fontes de energia não renováveis.

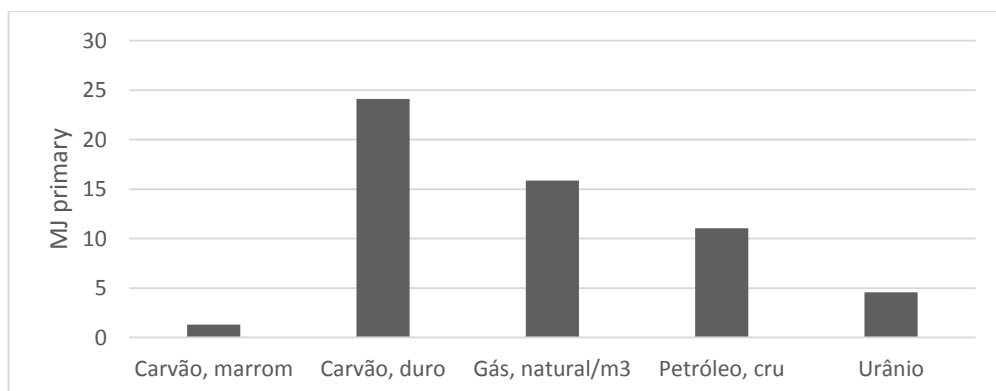


Figura 72: Método Impact 2002+, categoria Energia Não Renovável.

O Carvão duro e o Gás Natural são os que geram maior emissão, com 24,1223 [MJ primary] e 15,8587 [MJ primary] respectivamente. Além destes

elementos, mais 0,02054 [MJ primary] de substâncias restantes são acrescidos para chegar ao valor total da categoria.

4.3.15 Extração Mineral

As emissões decorrentes de extração de minérios são analisadas nesta categoria. O valor total obtido é de 19,5014 [MJ surplus], com 0,0462 [MJ surplus] de substâncias restantes.

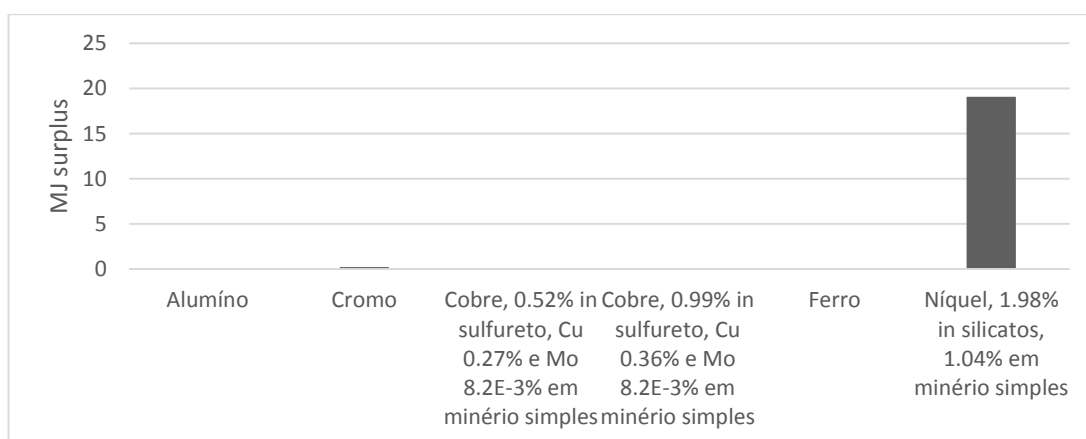


Figura 73: Método Impact 2002+, categoria Extração Mineral.

Na Figura 73 observa-se que o Níquel possui maior fator de caracterização, seguido do Cromo, com 19,0850 [MJ surplus] e 0,2238 [MJ surplus] respectivamente.

4.4 ReCiPe (Ponto Médio)

4.4.1 Mudanças Climáticas

Nesta categoria, que avalia as substâncias emitidas para o ar e que causam mudanças climáticas, o valor total dos fatores de caracterização é de 5,6931 [kg CO₂ eq], com 0,0134 [kg CO₂ eq] de substâncias restantes.

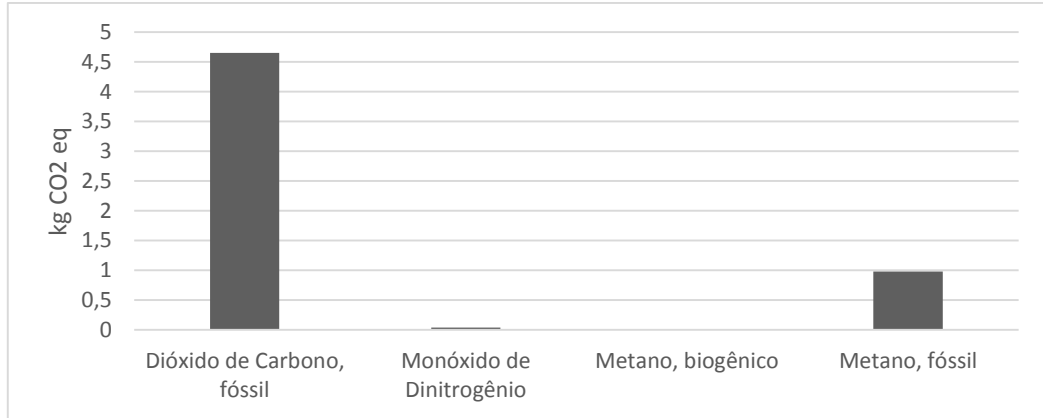


Figura 74: Método ReCiPe (PM), categoria Mudanças Climáticas.

A Figura 74 mostra que a substância que mais contribui para esta categoria é o Dióxido de Carbono, com 4,6511 [kg CO₂ eq], seguido do gás Metano fóssil, com 0,9771 [kg CO₂ eq].

4.4.2 Depleção da Camada de Ozônio

Esta categoria avalia quais elementos emitidos pelo processo de produção do aço geram uma diminuição da camada de Ozônio. O total dos fatores de caracterização desta categoria é de 1,84E-07 [kg CFC-11 eq]. Além dos elementos mostrados na Figura 75, 1,96E-10 [kg CFC-11 eq] de substâncias restantes fazem parte do valor total.

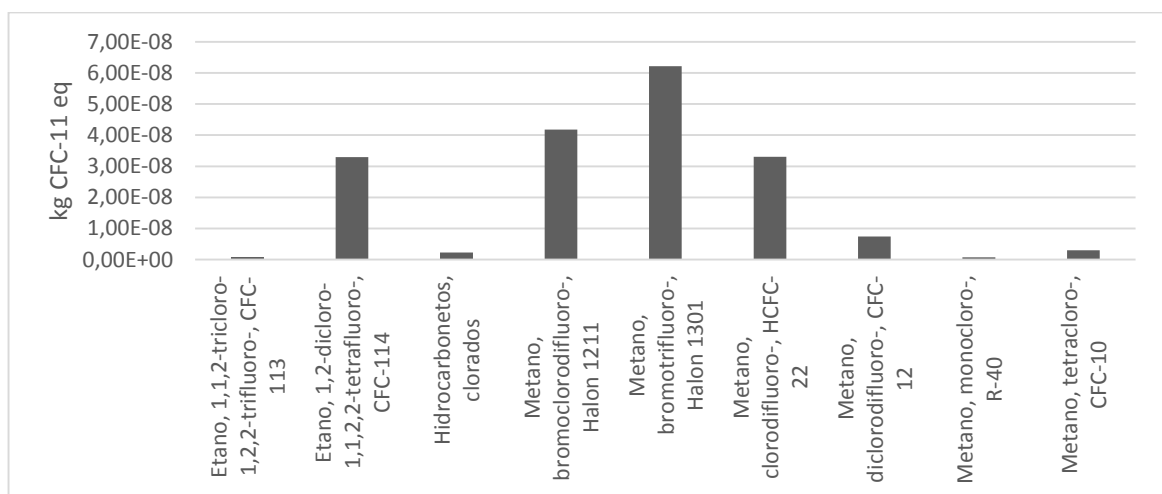


Figura 75: Método ReCiPe (PM), categoria Depleção da Camada de Ozônio.

O gás Metano (bromotrifluoro-, Halon 1301), é o elemento com maior emissão para o ar, com $6,22E-08$ [kg CFC-11 eq]. Em seguida vem o Metano (bromoclorodifluoro-, Halon 1211), com $4,18E-08$ [kg CFC-11 eq].

4.4.3 Acidificação Terrestre

O valor total desta categoria é de $0,0274$ [kg SO₂ eq], possuindo $2,07E-06$ [kg SO₂ eq] de substâncias equivalentes.

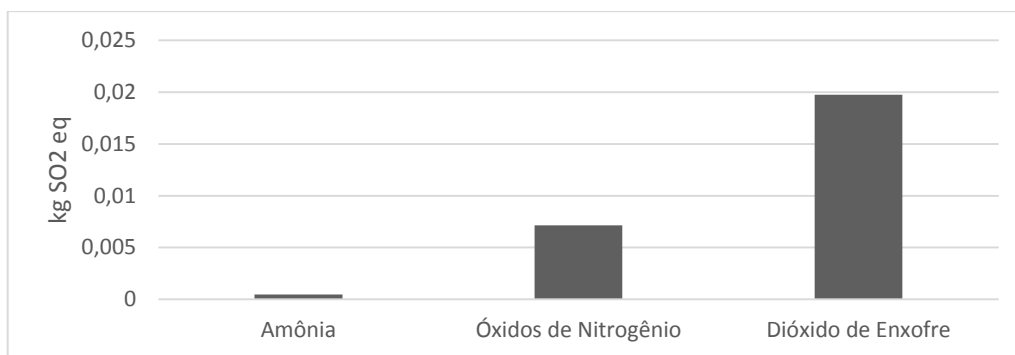


Figura 76: Método ReCiPe (PM), categoria Acidificação Terrestre.

O Dióxido de Enxofre é a substância mais emitida para o ar, seguida dos Óxidos de Nitrogênio, com $0,0198$ [kg SO₂ eq] e $0,0071$ [kg SO₂ eq] respectivamente, conforme mostra a Figura 76.

4.4.4 Eutrofização de Água Doce

O fator de caracterização desta categoria indica o destino da emissão de nutrientes contendo fósforo (PRé, 2014). Os fatores são divididos entre as emissões para água e para o solo. O valor total desta categoria é de $0,0018$ [kg P eq], com $9,18E-07$ [kg P eq] de emissões provenientes de substâncias restantes.

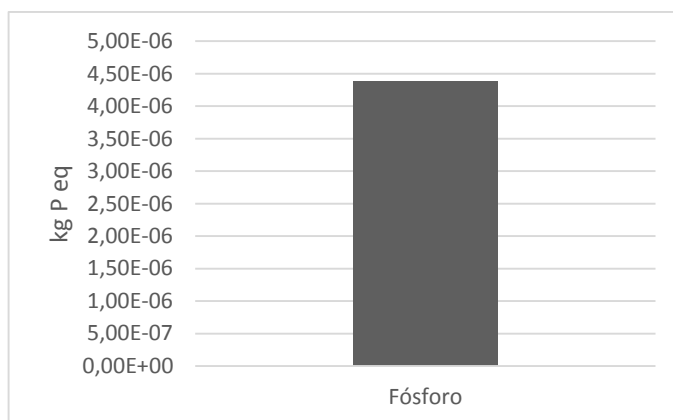


Figura 77: Método ReCiPe (PM), categoria Eutrofização de Água Doce (solo).

A Figura 77 mostra graficamente o fator de caracterização para o solo. O Fósforo é o único elemento presente, com $4,38E-06$ [kg P eq].

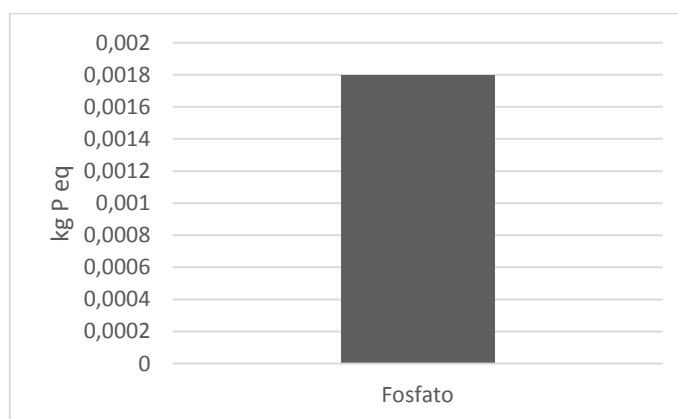


Figura 78: Método ReCiPe (PM), categoria Eutrofização de Água Doce (ar).

O Fosfato é o único elemento presente na água, com $0,00179$ [kg P eq], conforme mostra a Figura 78.

4.4.5 Eutrofização Marinha

O fator de caracterização desta categoria indica o destino da emissão de nutrientes contendo nitrogênio (PRé, 2014). Os fatores são divididos entre as emissões para água e para o ar. O valor total desta categoria é de $0,0010$ [kg N eq], com $6,97E-07$ [kg N eq] de emissões provenientes de substâncias restantes.

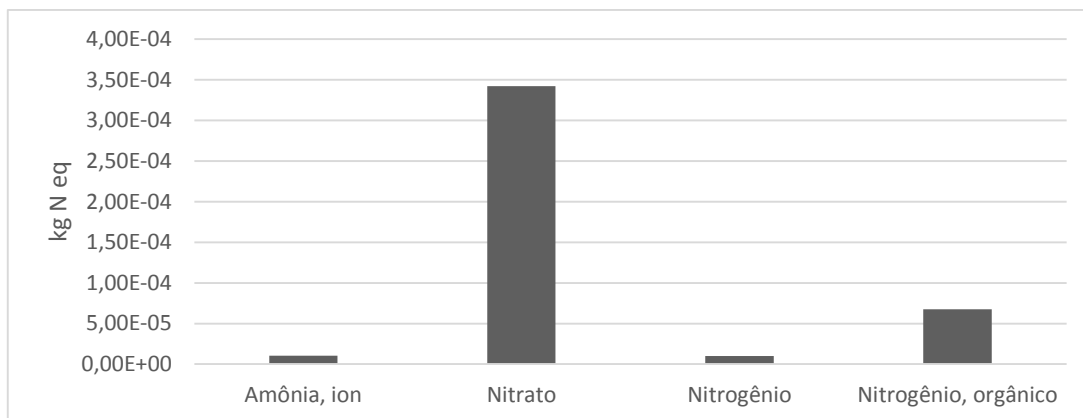


Figura 79: Método ReCiPe (PM), categoria Eutrofização Marinha (água).

A Figura 79 mostra que o Nitrato é o elemento com maior emissão para a água, com 0,00034 [kg N eq]. Em seguida vem o Nitrogênio em sua forma orgânica, com 6,74E-05 [kg N eq].

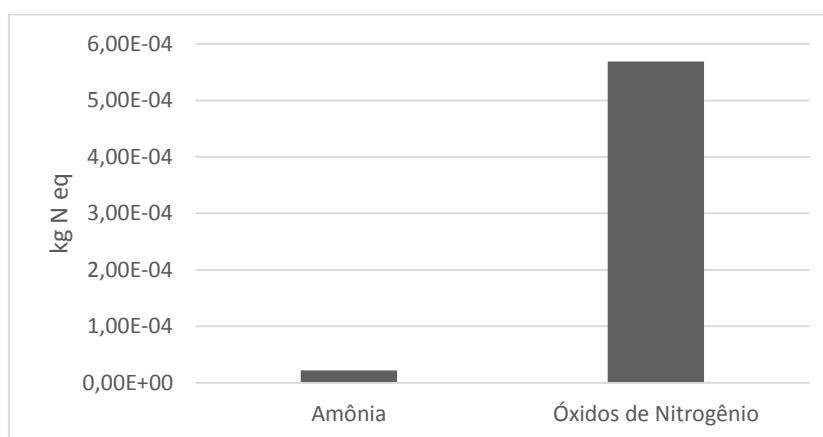


Figura 80: Método ReCiPe (PM), categoria Eutrofização Marinha (ar).

A Amônia e os Óxidos de Nitrogênio são os dois elementos emitidos para o ar, de acordo com a Figura 80. Os Óxidos de Nitrogênio têm maior fator, com 0,00056 [kg N eq], enquanto a Amônia tem 2,21E-05 [kg N eq].

4.4.6 Toxicidade Humana

O fator de caracterização total desta categoria é de 0,1489 [kg 1,4-DB eq], e é dividido entre as emissões para o ar e a água. 0,0011 [kg 1,4-DB eq] fazem parte do valor total, referente as substâncias restantes.

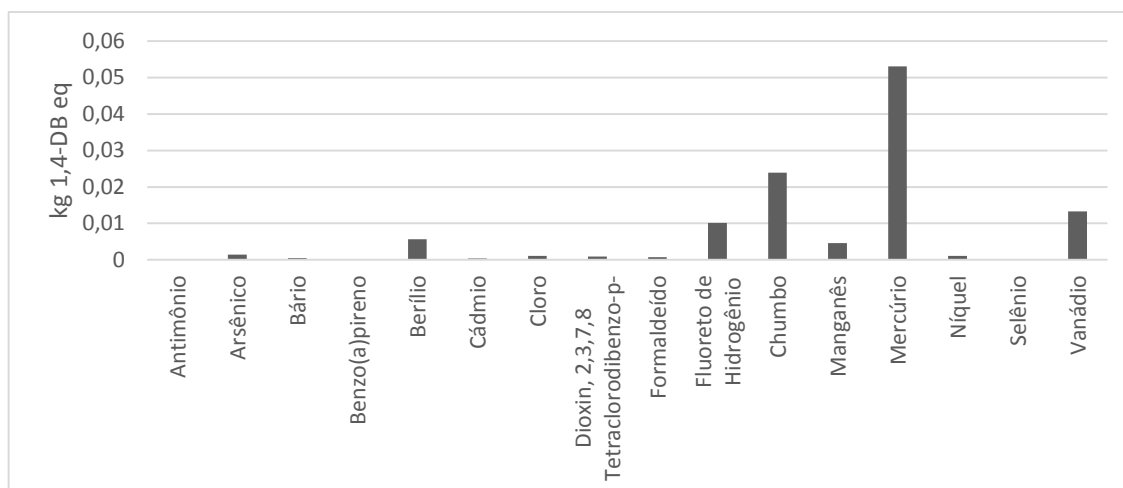


Figura 81: Método ReCiPe (PM), categoria Toxicidade Humana (ar).

A Figura 81 mostra os fatores de caracterização para o ar. O Mercúrio é o elemento com maior emissão, com 0,0531 [kg 1,4-DB eq], seguido do Chumbo, com 0,0239 [kg 1,4-DB eq].

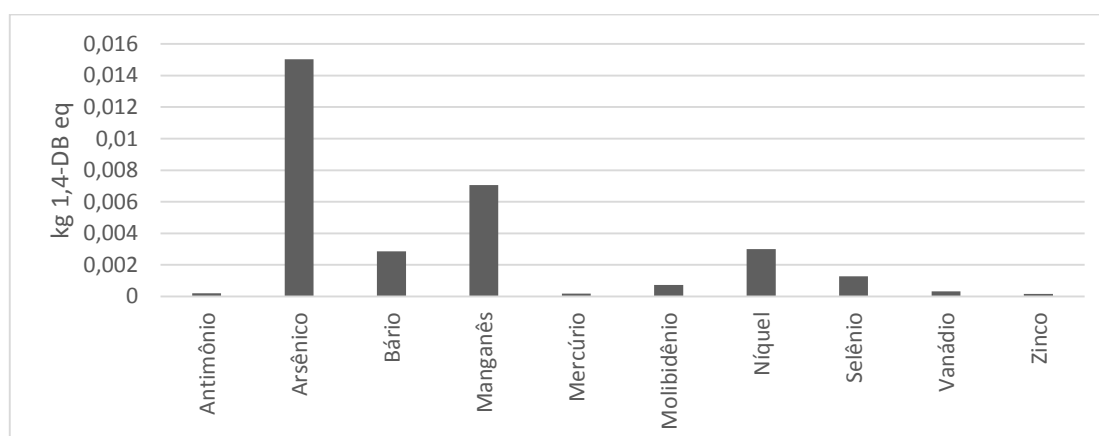


Figura 82: Método ReCiPe (PM), categoria Toxicidade Humana (água).

Na Figura 82 são mostrados os dados das emissões para a água. O Arsênico e o Manganês são os elementos com maior fator, com 0,0150 [kg 1,4-DB eq] e 0,0071 [kg 1,4-DB eq] respectivamente.

4.4.7 Formação de Oxidante Fotoquímico

Esta categoria avalia quais elementos emitidos pelo processo de produção do aço acarretam no aumento da formação de oxidantes fotoquímicos. O valor total

obtido nesta categoria é 0,0216 [kg NMVOC], com 0,00011 [kg NMVOC] de substâncias restantes.

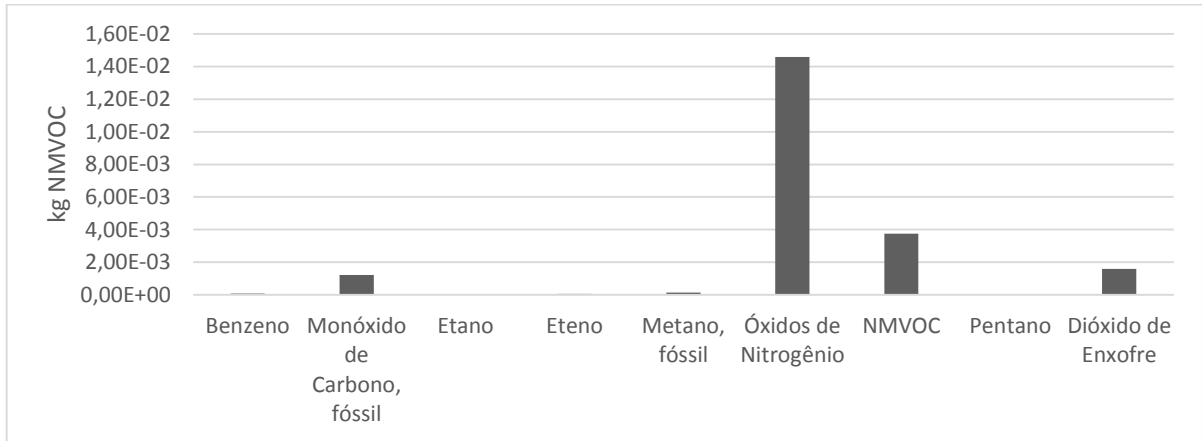


Figura 83: Método ReCiPe (PM), categoria Formação de Oxidante Fotoquímico.

A Figura 83 mostra graficamente os dados referentes a emissão para o ar. Os Óxidos de Nitrogênio possuem maior fator de caracterização, seguido do NMVOC, com 0,0146 [kg NMVOC] e 0,0037 [kg NMVOC] respectivamente.

4.4.8 Formação de Particulados

O total desta categoria é de 0,0256 [kg PM10 eq], com 4,14E-07 [kg PM10 eq] de substâncias restantes.

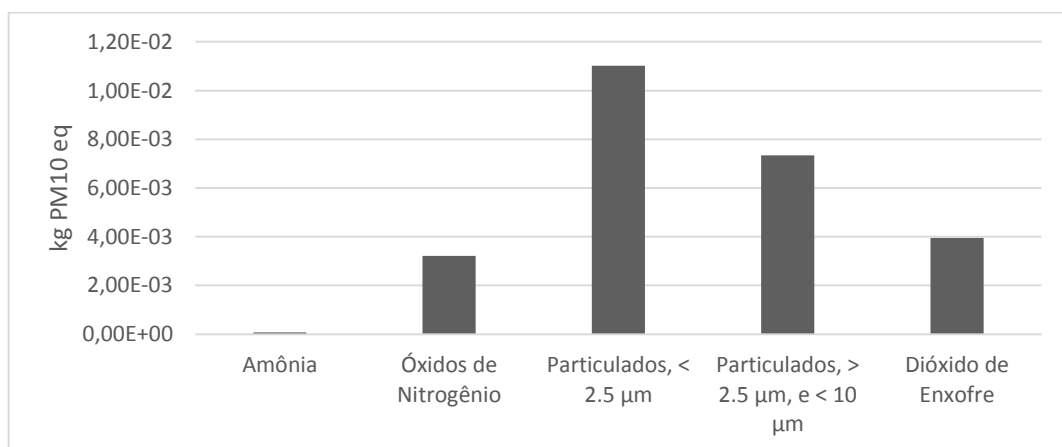


Figura 84: Método ReCiPe (PM), categoria Formação de Particulados.

A Figura 84 mostra que os Particulados menores que 2,5 μm são os que mais contribuem com esta categoria, com 0,0110 [kg PM10 eq]. Em seguida há os Particulados maiores que 2,5 μm e menores que 10 μm , com 0,0073 [kg PM10 eq].

4.4.9 Ecotoxicidade Terrestre

Esta categoria divide os fatores de caracterização entre os referentes ao ar, solo e água. A soma dos fatores é 0,00069 [kg 1,4-DB eq]. Neste valor há 6,53E-06 [kg 1,4-DB eq] de substâncias equivalentes.

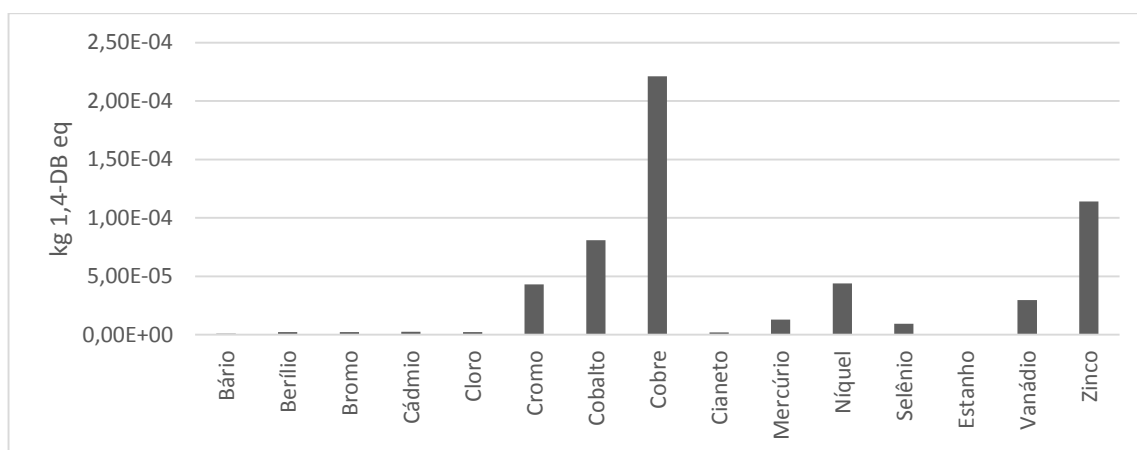


Figura 85: Método ReCiPe (PM), categoria Ecotoxicidade Terrestre (ar).

A Figura 85 mostra os fatores referentes ao ar. O maior deles é o Cobre, seguido do Zinco, com 2,21E-04 [kg 1,4-DB eq] e 1,14E-04 [kg 1,4-DB eq] respectivamente.

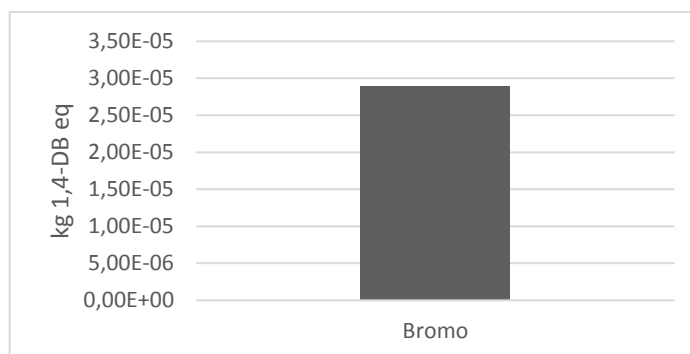


Figura 86: Método ReCiPe (PM), categoria Ecotoxicidade Terrestre (água).

Quanto aos fatores relacionados a água mostrados na Figura 86, o Bromo é o único elemento encontrado, com $2,90E-05$ [kg 1,4-DB eq].

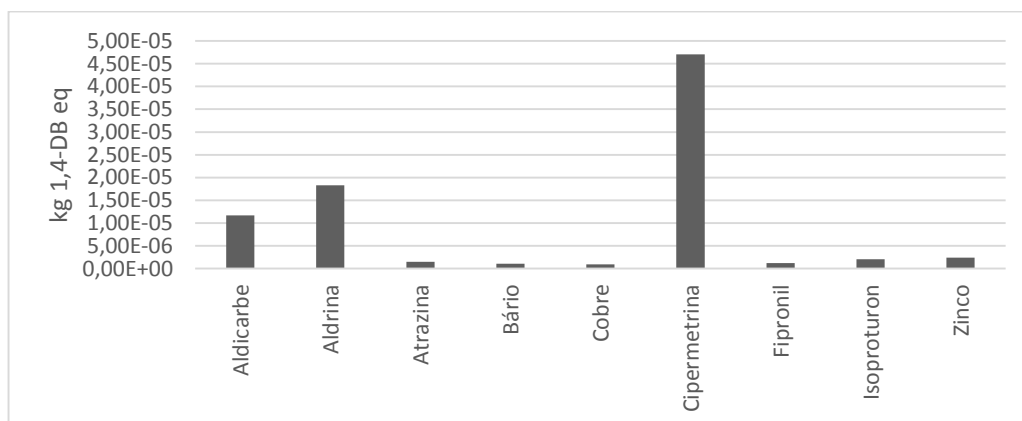


Figura 87: Método ReCiPe (PM), categoria Ecotoxicidade Terrestre (solo).

Já para os fatores referentes ao solo, a Figura 87 mostra que a Cipermetrina tem o maior fator de caracterização, com $4,70E-05$ [kg 1,4-DB eq]. Em seguida vem a Aldrina, com $1,83E-05$ [kg 1,4-DB eq].

4.4.10 Ecotoxicidade de Água Doce

Os impactos nos ecossistemas de água doce totalizam $0,3684$ [kg 1,4-DB eq], com $0,0011$ [kg 1,4-DB eq] de substâncias equivalentes. A Figura 88 mostra que o Níquel é o elemento com maior fator de caracterização, com $0,3029$ [kg 1,4-DB eq], seguido do Cobalto, com $0,0281$ [kg 1,4-DB eq].

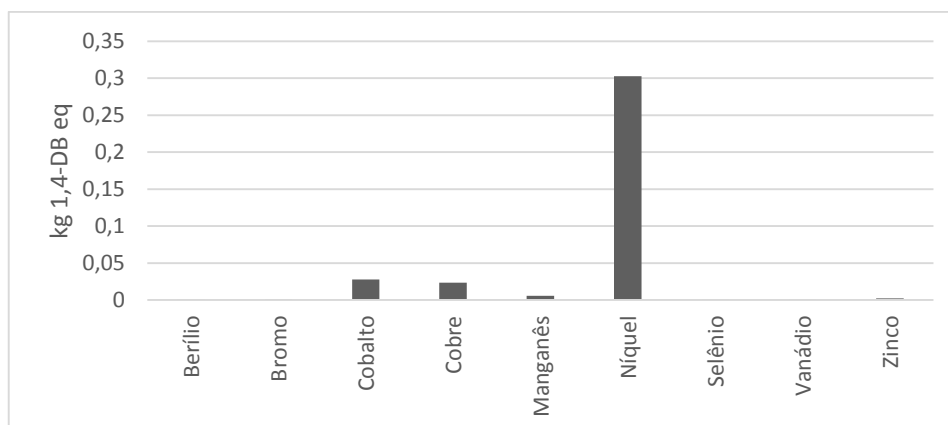


Figura 88: Método ReCiPe (PM), categoria Ecotoxicidade de Água Doce.

4.4.11 Ecotoxicidade Marinha

Os impactos nos ecossistemas marinhos totalizam 0,3317 [kg 1,4-DB eq], com 0,0018 [kg 1,4-DB eq] referente a substâncias equivalentes. Os fatores de caracterização desta categoria dividem-se entre os que se referem ao ar e a água.

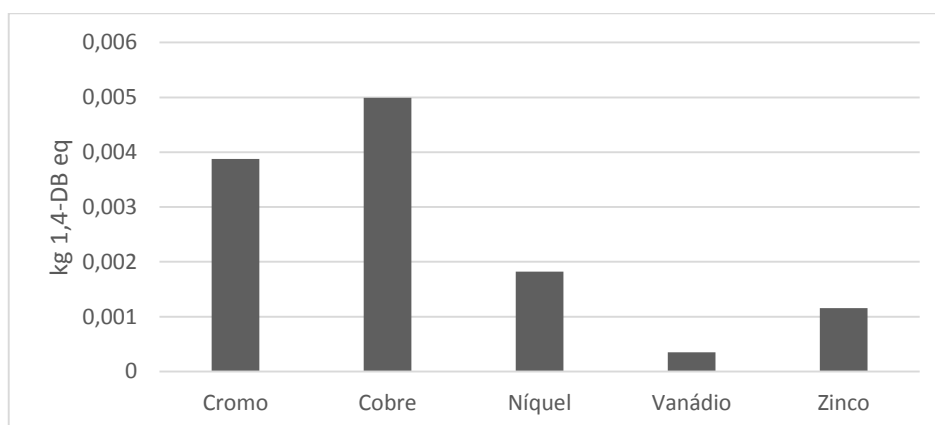


Figura 89: Método ReCiPe (PM), categoria Ecotoxicidade Marinha (ar).

Com relação ao ar, o Cobre é o elemento que tem o maior fator, 0,0049 [kg 1,4-DB eq]. De acordo com a Figura 89, o Cromo é o segundo em quantidade de emissão, com 0,0039 [kg 1,4-DB eq].

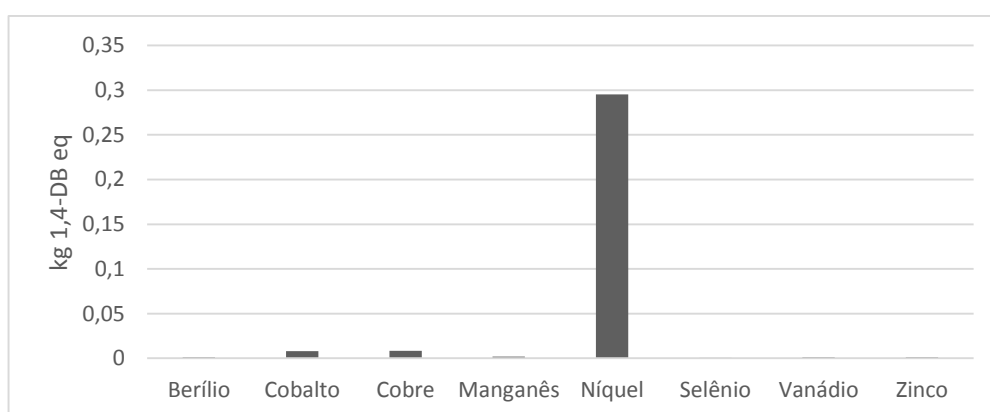


Figura 90: Método ReCiPe (PM), categoria Ecotoxicidade Marinha (água).

Segundo a Figura 90, entre os fatores de caracterização para a água, o Níquel tem o maior valor, com 0,2952 [kg 1,4-DB eq], seguido do Cobre, com 0,0084 [kg 1,4-DB eq].

4.4.12 Radiação Ionizante

Esta categoria divide os fatores de caracterização entre os referentes a água e ao ar, com um total de 0,2832 [kBq U235 eq]. Neste valor está incluso 0,0010 [kBq U235 eq] de substâncias equivalentes.

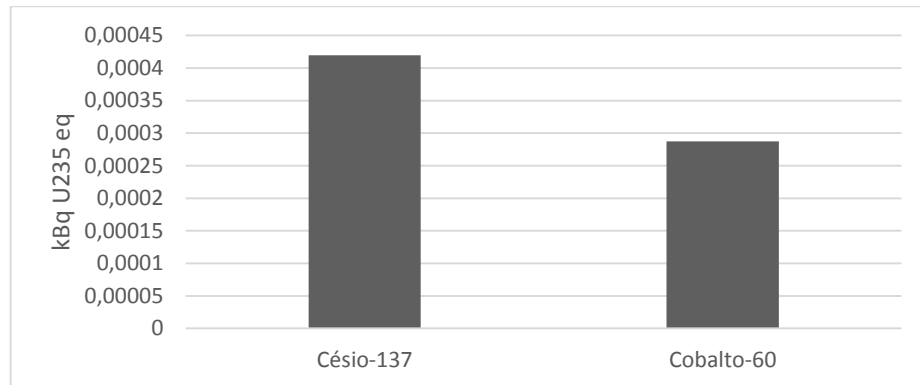


Figura 91: Método ReCiPe (PM), categoria Radiação Ionizante (água).

Entre os elementos emitidos para a água, o Césio-137 é o de maior fator, com 0,00042 [kBq U235 eq], seguido do Cobalto-60, com 0,00029 [kBq U235 eq], como mostra a Figura 91.

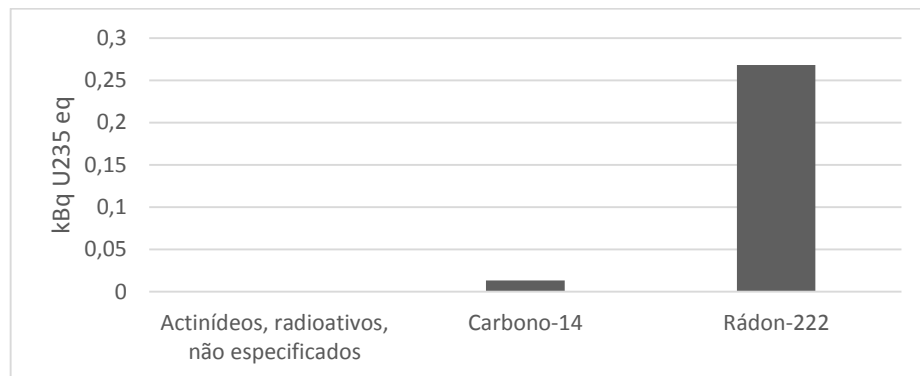


Figura 92: Método ReCiPe (PM), categoria Radiação Ionizante (ar).

Na Figura 92 nota-se que entre os elementos emitidos para o ar, o Rádón-222 tem maior fator, com 0,2678 [kBq U235 eq]. Em seguida vem o Carbono-14, com 0,0131 [kBq U235 eq].

4.4.13 Ocupação de Terras Agrícolas

Os impactos relacionados a ocupação de terras agrícolas são analisados nesta categoria. A maior causa de impactos nesta categoria são as ocupações intensivas de florestas, com um fator de 0,2694 [m²a]. A segunda maior causa são as ocupações intensivas em terras aráveis não irrigadas, com 0,00239 [m²a].

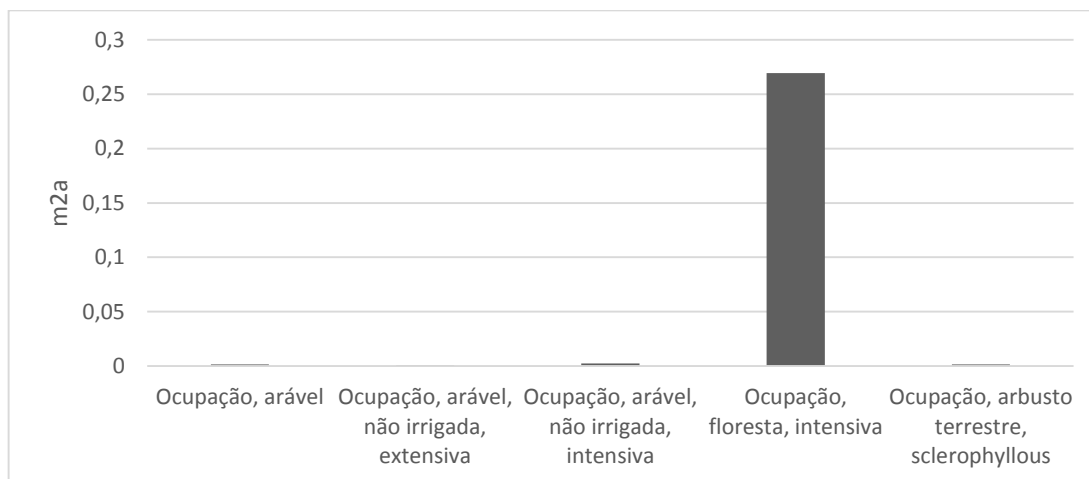


Figura 93: Método ReCiPe (PM), categoria Ocupação de Terras Agrícolas.

O total desta categoria é de 0,2759 [m²a], com 0,00019 [m²a] de substâncias restantes. Outras causas de impactos devido a ocupações de terras agrícolas são mostradas na Figura 93.

4.4.14 Ocupação de Terras Urbanas

Nesta categoria analisa-se os fatores referentes a ocupação de terras urbanas. O valor total encontrado é 0,0999 [m²a], com 7,87E-06 [m²a] de substâncias resultantes.

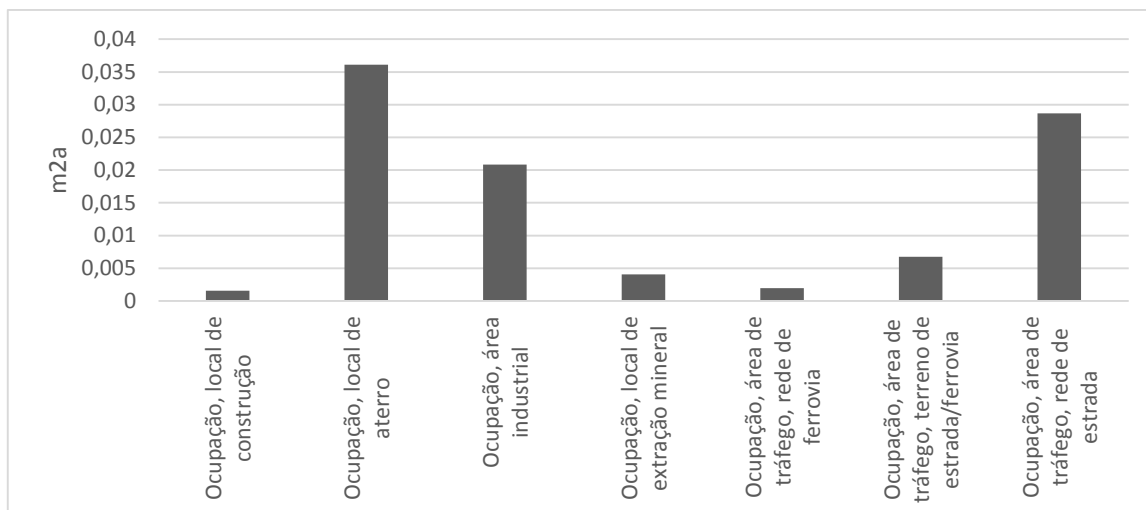


Figura 94: Método ReCiPe (PM), categoria Ocupação de Terras Urbanas.

As ocupações para locais de aterro possuem maior fator de caracterização, com 0,03613 [m²a]. Em seguida vem as ocupações para áreas de tráfego referentes a rede de estradas, com 0,02868 [m²a]. A Figura 94 mostra as outras ocupações que afetam esta categoria.

4.4.15 Transformação de Terras Nativas

As transformações em terras nativas são analisadas nesta categoria. A soma de todos os fatores é 0,00051 [m²]. As substâncias resultantes têm um fator de -2,17E-19 [m²]. Nota-se que o valor das substâncias resultantes tem sinal negativo.

Nesta categoria, três itens possuem sinais negativos. São eles: Transformação, para floresta (-0,00035 [m²]); Transformação, para floresta, intensiva (-0,0191 [m²]) e Transformação, para desconhecido (-2,17E-06 [m²]). Estes valores são negativos pois não impactam o ambiente, já que as áreas analisadas são transformadas em florestas.

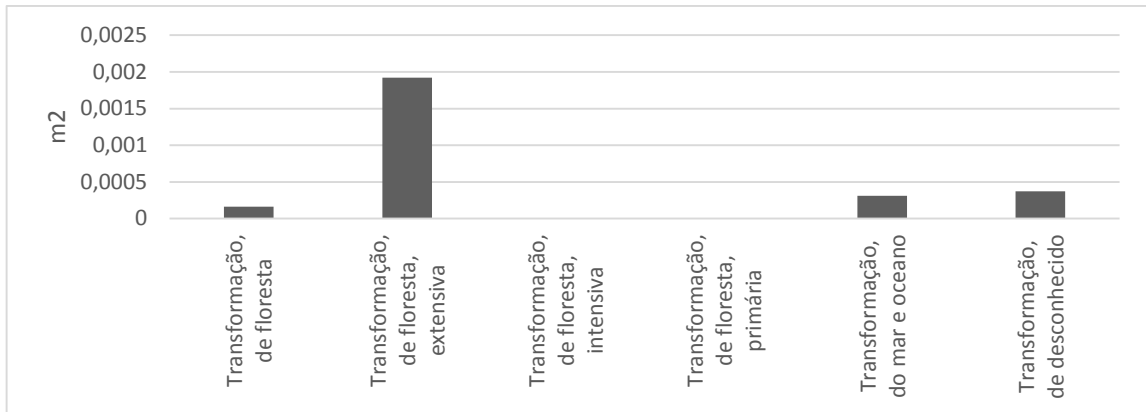


Figura 95: Método ReCiPe (PM), categoria Transformação de Terras Nativas.

Quanto as transformações que geram impactos negativos ao ambiente, as transformações extensivas de florestas possuem maior fator de caracterização, com 0,00192 [m²]. Em seguida vem as transformações de áreas desconhecidas, com 0,00037 [m²], conforme mostra a Figura 95. Na Figura 95, para melhor compreensão, são mostrados somente as transformações que causam impactos negativos ao ambiente.

4.4.16 Depleção da Água

A redução da quantidade de água é analisada nesta categoria. O fator de caracterização total é 112,641 [m³] e refere-se a quantidade de consumo de água doce no processo. Os fatores analisados referem-se ao uso de água em turbinas em diversos países. Porém o que possui maior fator de caracterização refere-se ao resto do mundo (RoW, *Rest of the World*), com um valor de 107,924 [m³]. Os outros fatores são demonstrados na Figura 96.

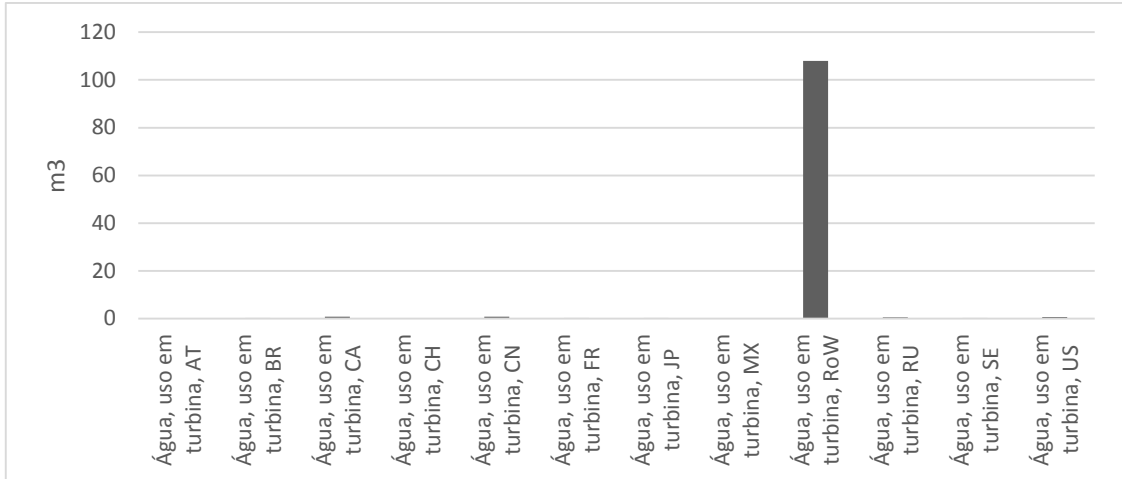


Figura 96: Método ReCiPe (PM), categoria Depleção da Água.

4.4.17 Depleção de Metal

Nesta categoria são estudadas as substâncias que reduzem a quantidade de metais. O total encontrado nesta categoria é 13,8496 [kg Fe eq]. As substâncias restantes totalizam 0,0628 [kg Fe eq].

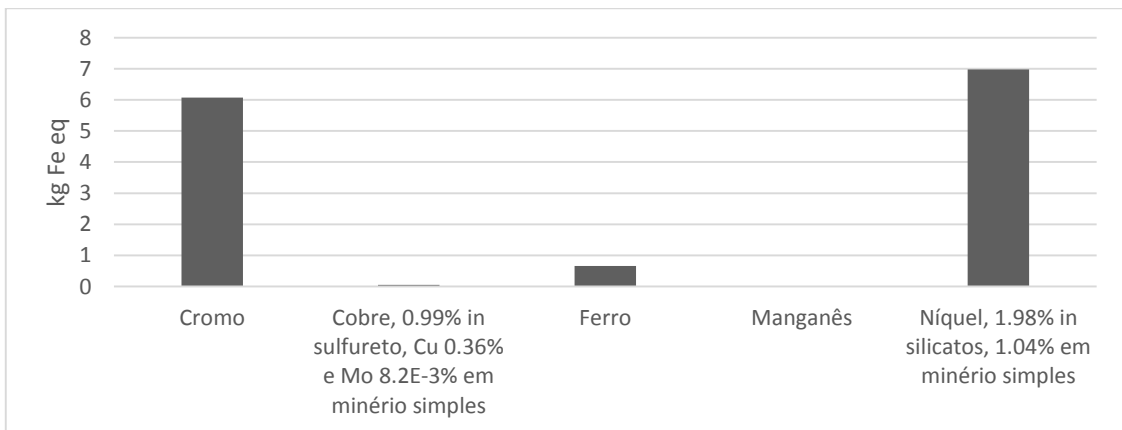


Figura 97: Método ReCiPe (PM), categoria Depleção de Metal.

De acordo com a Figura 97, o Níquel (1.98% em silicatos, 1.04% em minério simples) e o Cromo são os dois elementos com maior fator de caracterização, sendo que o Níquel tem um fator de 6,9747 [kg Fe eq] e o Cromo tem um fator de 6,0735 [kg Fe eq].

4.4.18 Depleção Fóssil

Os impactos relacionados a diminuição dos combustíveis fósseis são analisados nesta categoria. O fator total é de 1,1946 [kg oil eq]. O elemento com maior fator é o Carvão duro, com 0,6048 [kg oil eq]. Em seguida há o Gás Natural, com 0,3077 [kg oil eq]. Na Figura 98 pode-se observar os outros elementos que contribuem para esta categoria.

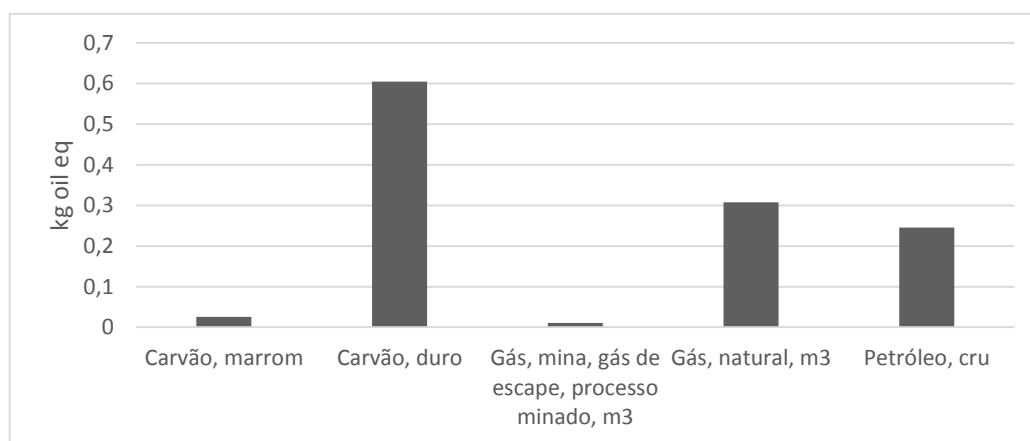


Figura 98: Método ReCiPe (PM), categoria Depleção Fóssil.

4.5 ReCiPe (Ponto Final)

A abordagem ponto final baseia-se na identificação da gravidade ou das consequências das categorias de impacto de ponto médio nas áreas de proteção a nível de ponto final. Estas áreas de proteção se referem a: Dano a Saúde Humana; Dano ao Ecosistema; e Danos aos Recursos. Como os métodos de ponto final são diretamente relacionados ao dano, estes possuem maior importância na tomada de decisão, porém possuem alta subjetividade (PIEKARSKI et al, 2012).

A Figura 99 apresenta o potencial impacto ambiental na categoria de Dano a Saúde Humana. O valor total do potencial impacto nesta categoria foi de 1,31E-05 DALY, que significa anos perdidos por incapacidade. O método ReCiPe considera que o Dano a Saúde Humana é causado pelas seguintes categorias de ponto médio: Mudanças Climáticas (Saúde Humana), Depleção de Ozônio, Toxicidade Humana, Formação de Oxidantes Fotoquímicos, Formação de Particulados e Radiação Ionizante.

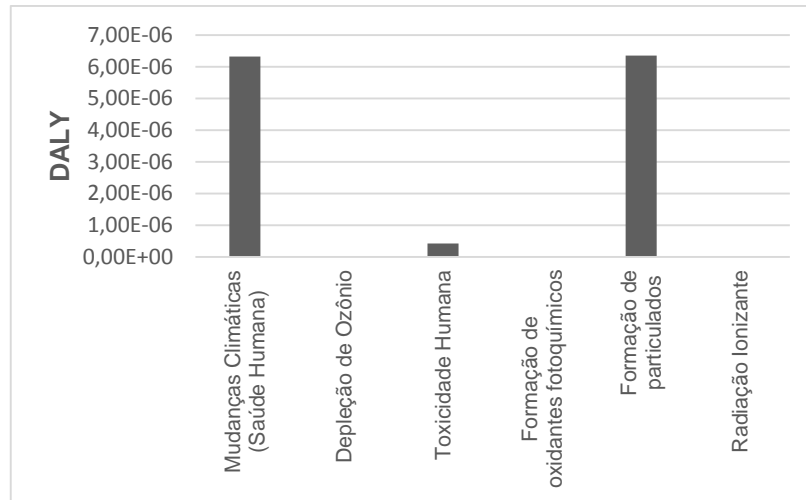


Figura 99: Método ReCiPe (PF), categoria Dano à Saúde Humana.

As categorias que apresentam maior impacto a Saúde Humana são Mudanças Climáticas e Formação de Particulados, que apresentaram um impacto de $6,32E-06$ DALY e $6,36E-06$ DALY respectivamente.

O Dano ao Ecossistema é dividido entre as categorias Mudanças Climáticas (Ecossistema), Acidificação Terrestre, Eutrofização de Água Doce, Ecotoxicidade Terrestre, Ecotoxicidade de Água Doce, Ecotoxicidade Marinha, Ocupação de Terras Agrícolas, Ocupação de Terras Urbanas e Transformação Natural da Terra. O potencial impacto ambiental total nesta categoria foi de $4,64E-08$ espécies.ano. A Figura 100 apresenta os valores correspondentes a cada uma das categorias.

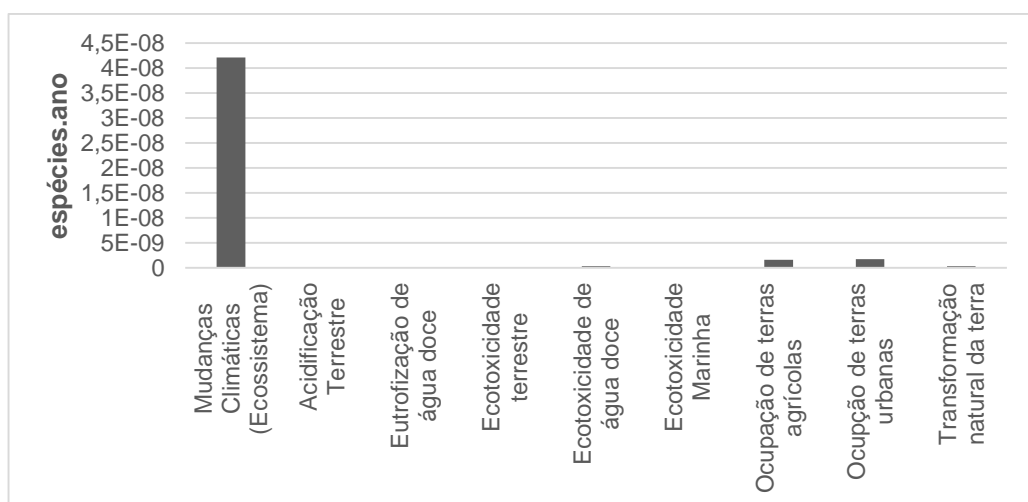


Figura 100: Método ReCiPe (PM), categoria Qualidade do Ecossistema.

A categorias que apresentaram maior impacto a qualidade do ecossistema foram: Mudanças Climáticas, com um impacto de $4,21E-08$ espécies.ano; Ocupação de Terras Urbanas, com $1,76E-09$ espécies.ano; e Ocupação de Terras Agrícolas, que apresentou um impacto de $1,59E-09$ espécies.ano.

O potencial impacto ambiental total na categoria de dano aos Recursos foi de \$1,032623, sendo dividido entre as categorias Depleção de metal e Depleção fóssil, como apresentado na Figura 101.

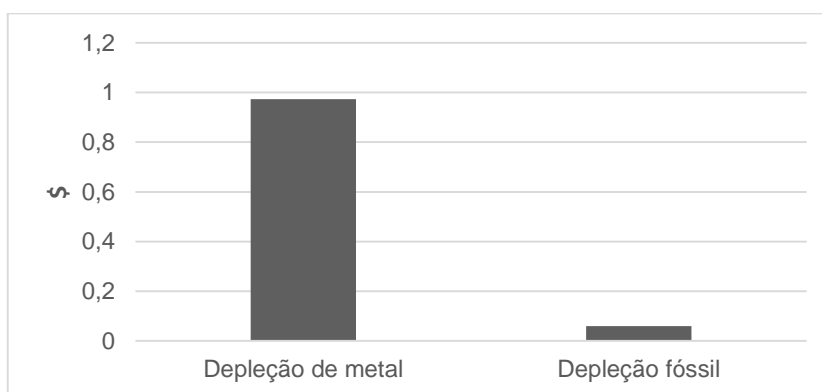


Figura 101: Método ReCiPe (PM), categoria Danos aos Recursos.

A categoria referente a Depleção de metal foi a que apresentou maior impacto ambiental aos recursos, com o total de \$ 0,97258.

Nota-se que cada grupo de dados referentes à cada uma das três categorias de danos tem sua própria unidade de medida. Para fins de comparação e identificação de qual categoria teria maior potencial impacto ambiental, os resultados foram normalizados. Os resultados da normalização estão apresentados na Figura 102.

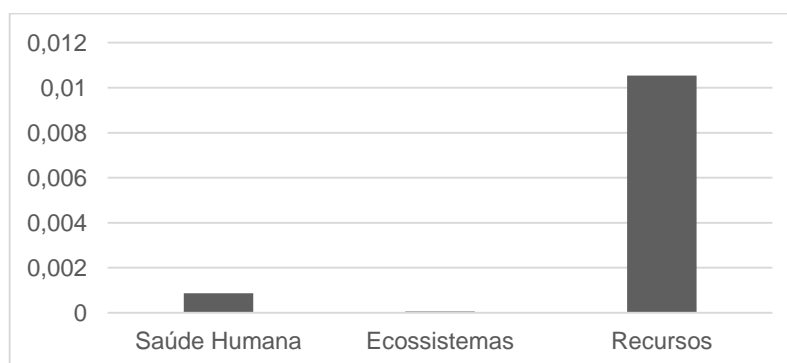


Figura 102: Potencial impacto ambiental da produção do aço nas categorias de dano normalizado.

Graficamente, fica claro que a categoria que mais impacta o ambiente é a referente aos Recursos, com um valor de 0,01053. Por meio do *software* é possível obter mais informações desta categoria e conhecer quais substâncias que mais contribuem para a depleção dos recursos. Para isso, empregou-se uma fração de corte de 0,1% do processo, o que facilita a obtenção das substâncias que contribuem de forma majoritária ao impacto. Estas substâncias são mostradas na Tabela 1.

Substâncias	Unidade	Total
Níquel, 1.98% em silicatos, 1.04% em minério bruto	\$	0,498889379
Cromo	\$	0,43459177
Ferro	\$	0,028870761
Carvão, duro	\$	0,028290688
Gás, natural/m3	\$	0,016763764
Petróleo, bruto	\$	0,012947422
Cobre, 0.99% em sulfeto, Cu 0.36% e Mo 8.2E-3% em minério bruto	\$	0,004190668
Carvão, marrom	\$	0,001525768
Manganês	\$	0,001297962

Tabela 1: Principais substâncias contribuintes para a depleção de recursos.

Entre as substâncias apresentadas na Tabela 1, o níquel, o cromo e o ferro são as que mais contribuem para a depleção dos recursos, sendo o níquel o maior contribuinte, com um valor total de \$ 0,498889379, seguido pelo cromo e o ferro, cada um com o valor de \$ 0,43459177 e \$ 0,028870761 respectivamente.

A escolha do método de ACV deve levar em conta os objetivos e características do processo estudado. É necessário também conhecer previamente o método empregado, facilitando a escolha daquele método que melhor atenda às necessidades do estudo e garantindo melhor confiabilidade dos resultados obtidos.

Neste estudo, quatro métodos de ACV foram demonstrados. Apesar de algumas categorias de impacto serem comuns a um ou mais métodos, não é possível compará-las diretamente, pois cada uma possui uma unidade específica. Outra dificuldade encontrada para realizar a análise dos resultados é a inexistência de um método específico para as condições brasileiras.

De acordo com Alvarenga (2010), em consequência desta dificuldade em encontrar um método ideal para um determinado estudo, é interessante que os estudos de ACV sejam realizados com mais de um método. No caso de resultados

divergentes, ou na impossibilidade de uma comparação efetiva entre eles, cabe ao responsável pelo estudo definir antecipadamente critérios de escolha do método que será aceito como resposta final.

Em todos os métodos aplicados, há modelagens referentes ao ponto médio. Os resultados alcançados nesta classe não representam as implicações finais sobre o percurso ambiental das emissões. Estes resultados apenas indicam os impactos em potencial. Porém, no método ReCiPe, além da abordagem em ponto médio, há também a abordagem em ponto final.

Os resultados em ponto final têm a vantagem de serem direcionados ao dano, o que auxilia de maneira mais efetiva a tomada de decisões. Esta modelagem caracteriza a gravidade ou as consequências de categorias de impacto de ponto médio nas áreas de proteção em termos de ponto final, o que acaba gerando alta subjetividade nos resultados (PIEKARSKI et al, 2012).

Contudo, entre os métodos explorados, o ReCiPe é o que fornece resultados finais mais compreensíveis. Mesmo havendo subjetividade nestes resultados, este método ainda é o que melhor avalia o ciclo de vida do processo, pois utiliza os dados de ponto médio para obter os dados de ponto final. Além disso, foi utilizado normalização e ponderação globais, que retratam com maior precisão a realidade brasileira.

6 CONCLUSÃO

O objeto de estudo deste artigo foi a produção de aço cromo 18/8 e, com base na avaliação de inventário e nos resultados das avaliações de impacto pode-se concluir que o processo de produção de 1 kg do aço gera danos consideráveis ao ambiente.

Não foi possível comparar de maneira direta os resultados obtidos pelos métodos, pois mesmo com algumas categorias de impacto em comum, cada método possui uma unidade própria. Ainda assim, pelos dados demonstrados graficamente é possível notar que os impactos devido à produção do aço são significativos em todos os métodos.

Mesmo com as subjetividades contidas nos resultados, o método mais apropriado para a avaliação do impacto ambiental do processo de produção do aço é o método ReCiPe, pois é o que melhor retrata a realidade brasileira. Além disso, entre os quatro métodos analisados, este é o único método que possui uma abordagem referente ao ponto final. Estes dados de ponto final são capazes de mostrar de maneira mais concreta os impactos auxiliando assim a tomada de decisões.

Analisando os dados obtidos através do software *SimaPro*, pelo método ReCiPe, observa-se que as categorias de impacto cujos danos foram mais significativos ao ambiente foram as Mudanças Climáticas (Saúde Humana), Formação de particulados, Mudanças climáticas (Ecossistemas) e Depleção de metal (Recursos).

Utilizando dados normalizados, notou-se que entre as três categorias de danos abrangidas pelo método ReCiPe, a categoria referente à depleção de recursos é a que mais gera potencial impacto ambiental. Nesta categoria estão relacionadas as categorias de impacto que tratam da depleção de metais e recursos fósseis, sendo que as principais substâncias consumidas foram o níquel, o cromo e o ferro.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Rodrigo A. F de. **Avaliação de métodos de AICV: um estudo de caso de quatro cenários de ração para frangos de corte.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CICLO DE VIDA. **Histórico do desenvolvimento da ACV.** Disponível em:< <http://abcvbrasil.org.br/historia-acv.php>> Acesso em: 09 jun. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:** Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos:** características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos. 7. ed. ampl e rev. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia, 2008.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica.** 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986. v. 3.

FERREIRA, José V. F. **Análise de ciclo de vida dos produtos.** Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

GOEDKOOOP, Mark et al. **ReCiPe 2008: Report I: Characterization.** 1ª ed. Ruimite en Milieu: Holanda, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDZATION. **ISO 14040:** Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. Suíça, 2006.

JOLLIET, Oliver et al. **IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology**. Industrial Ecology & Life Cycle System Group: Suíça, 2003.

MARZULLO, Rita de C. M. **Análise de ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da soja e palma, visando a produção de biodiesel**. 2007. 302 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2007.

MILANEZ, Bruno. Siderurgia, sociedade e meio ambiente. **ECO A – Ecologia e Ação**. Disponível em: <<http://www.riosvivos.org.br/Noticia/Siderurgia++sociedade+e+meio+ambiente/12591>> Acesso em: 29 mai. 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário estatístico do setor metalúrgico**. Brasília, 2013.

PIEKARSKI, Cassiano M. et al. **Métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras**. Revista Gestão Industrial. Ponta Grossa, 2012.

POTTING, José; HAUSCHILD, Michael. **Background for spatial differentiation in LCA Impact assessment: The EDIP2003 methodology**. Danish Ministry of the Environment. Dinamarca, 2005.

PRé. **SimaPro Database Manual: Methods Library**. Holanda, 2014.

ROCHA, Tiago B. **Harmonização de inventários de ciclo de vida de biocombustíveis no Brasil**. 2011. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SCIENTIFIC APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION. **Life cycle assessment: principles and practice.** Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/lca.html>> Acesso em: 05 abr. 2014. U.S. Environmental Protection Agency, 2006.

SILVA, André L. V. C. ; MEI, Paulo R. **Aços e ligas especiais.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

UGAYA, Cássia M. L. **Análise de ciclo de vida: estudo de caso para materiais e componentes automotivos no Brasil.** 2001. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.