

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

Luiz Solon Souza Barreto

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÔMICA DE CICLO DE
VIDA DA GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares.

Florianópolis

2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Barreto, Luiz Solon Souza
Avaliação Ambiental e Econômica de Ciclo de Vida da
Gestão de Resíduos de Construção e Demolição : Disposição em
Aterros versus Valorização dentro da Indústria de Construção
Civil. / Luiz Solon Souza Barreto ; orientador, Sebastião
Roberto Soares - Florianópolis, SC, 2014.
138 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. Resíduos de Construção e
Demolição. 3. Avaliação de Ciclo de Vida. 4. Avaliação
Econômica de Ciclo de Vida. 5. Ecoeficiência. I. Soares,
Sebastião Roberto. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.
III. Título.

AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÔMICA DE CICLO DE VIDA DA GESTÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO.

Disposição em Aterros versus Valorização dentro da Indústria de Construção Civil.

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Ambiental, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade de Santa Catarina.

Aprovado por:

Prof. Sebastião Roberto Soares
Orientador, Dr.
(UFSC)

Prof. Arnaldo Cardim de Carvalho
Filho, Dr.
(UPE)

Prof.^a Janaíde Cavalcante Rocha, Dr.^a.
(UFSC)

Prof.^a Cátia Carvalho Pinto, Dr.^a.
(UFSC)

Prof. William Gerson Matias, Dr.
Coordenador do Curso

Florianópolis/SC, 12 de Setembro de 2014.

Este trabalho é dedicado aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Ao departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Agradeço ao Professor Sebastião pela confiança, orientação e paciência durante todo o mestrado. Pelo suporte e disponibilização dos meios para a realização deste trabalho.

Aos colegas do CICLOG: Edivan, Gui, Cris, Rodrigo, Bruno, Vanessa, Marcos, Henrique e Milton por toda atenção desprendida, sugestões, contribuições e pelos cafezinhos com bolachas compartilhados; a todos os colegas e funcionários do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Às empresas que contribuíram com dados e informações para realização da pesquisa: SCRecibras, ao Aterro Sanitário de Biguaçu, PROACTIVA, CELESC, MAPRE Equipamentos Rodoviários, MERCANTIL CARARINENSE DE EQUIP LTDA, Veículos KOMATSU, BATTISTELLA Veículos Pesados, Akos Consultoria Ambiental, RESILIENS, CERB Caseca, EXPLOPAR, ao Professor Armando por possibilitar alguns dados do Aterro de Itajaí e alguns colegas do curso de Economia da UFSC.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro através da concessão da bolsa de pesquisa.

A todos os amigos que fiz em Floripa por proporcionarem momentos de descontração únicos e parceria.

Ao meu pai, responsável pelo auxílio na busca desta oportunidade e por sempre me idealizar e incentivar na realização deste trabalho. À minha mãe por todo amor incondicional e por nunca deixar me faltar nada. E aos meus irmãos José Victor e Larissa por sempre poder contar com eles.

*"O prêmio por uma coisa bem feita é tê-la feito."
Ralph Waldo Emerson (1803 - 1882)*

RESUMO

Os resíduos de construção e demolição (RCD) representam a maior parte dos resíduos sólidos urbanos gerados na maioria das cidades. Sua crescente produção, aliada ao desenvolvimento regional e dificuldades atuais das empresas em enquadrar a correta disposição desses resíduos, faz com que seja viável o estudo da sua reutilização dentro da indústria de construção civil e sua disposição em aterros controlados como opções de gestão sustentáveis. Desse modo, o presente trabalho visa à avaliação ambiental e econômica dos cenários de disposição dos RCD considerando a sua disposição em aterros *versus* a sua reutilização dentro da indústria de construção civil. Recorreu-se à metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e Avaliação Econômica de Ciclo de Vida (AECV) de modo a definir um indicador de ecoeficiência. Os objetivos específicos propostos para o trabalho consistiram em: Discriminar e mensurar os principais impactos ambientais e econômicos relacionados à disposição final do RCD em cenários praticados no Brasil; identificar os gargalos do sistema para cada cenário proposto e definir um indicador ecoeficiente para o sistema de produto. Foram realizadas visitas técnicas e entrevistas em aterros sanitários e empresas que trabalham com reciclagem de entulho, elaboração de fluxogramas dos processos e levantamento de dados para o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) de custos e ambiental. Na sequência, por meio da Metodologia da ACV, baseada nas normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044, foram quantificados os impactos ambientais associados a cada cenário, complementados pela avaliação econômica dos sistemas de gerenciamento dos RCD, auxiliado pelo *software* Sima-Pro 8.0 através do método de Avaliação de Impacto CML 2001 (v3.0) *baseline*, adaptado pelo Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida da Universidade Federal de Santa Catarina (CICLOG). Os resultados mostraram que o gerenciamento do RCD por meio dos cenários de reciclagem possui o potencial de evitar dispêndios econômicos a partir de 37% e impactos ambientais em até 20% para Depleção Abiótica, 149% para Aquecimento Global e 662% para demanda energética, tornando o cenário de reciclagem mais ecoeficiente ao cenário de Aterro Classe A e ao cenário de Aterro Sanitário Classe IIA, que, por sua vez, se apresentou desfavorável dentre as avaliações.

Palavras-chave: Resíduos de Construção e Demolição; Avaliação de Ciclo de Vida; Avaliação Econômica de Ciclo de Vida; Ecoeficiência.

ABSTRACT

The construction and demolition waste (CDW) represent the largest part of municipal solid waste generated in most cities. Its increasing production coupled with regional development and current business difficulties in framing the correct disposal of this waste, makes it feasible to study the reuse within the construction industry and its disposal in controlled landfills as sustainable management options. Thus, this work aims at assessing the environmental and economic scenarios provision of RCD considering its landfilling *versus* reuse within the construction industry. Appealed to the methodology of Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Costing (LCC) to define an eco-efficiency indicator. The specific objectives proposed were: To discriminate and measure key environmental and economic impacts related to the final disposition of the RCD in scenarios practiced in Brazil; identify hotspots for each proposed scenario; establish an eco-efficient indicator for the product system. To implement these objectives, technical visits and interviews were conducted in landfills and mining companies, flowcharting the processes and data collection for Life Cycle Inventory (LCI). Following through the LCA methodology, based on the standards ISO 14040 and ISO 14044, was quantified environmental impacts associated with each scenario, complemented by economic appraisal of the management of CDW systems aided by Sima-Pro 8.0 software using the method Impact Assessment CML 2001 (v3.0) baseline adjusted by the Research Group on Life Cycle Assessment of the Federal University of Santa Catarina (CICLOG). The results show that the management of the RCD through recycling scenarios have the potential to avoid economic expenditures from 37% and environmental impacts by 20% to Abiotic Depletion, Global Warming 149% and 662% for energy demand, making the scene of more eco-efficient recycling to the landfill scenario and the Inert Landfill scenario, which in turn appeared among the unfavorable reviews.

Keywords: Construction and Demolition Waste. Life Cycle Assessment. Life cycle Costing. Eco-efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cadeia da Construção Civil.	36
Figura 2: Estimativa de RCD coletado nas regiões do Brasil (t/dia).	38
Figura 3. Fases da ACV.	45
Figura 4. Tendência ecoeficiencia.....	51
Figura 5. Fluxograma base da construção civil.	59
Figura 6. Fluxograma das etapas da reciclagem do RCD.....	61
Figura 7. Fluxograma da disposição do RCD em Aterro Classe A.	62
Figura 8. Fluxograma do Sistema de Produto	72
Figura 9. Participação de impacto do cenário AS para Dep. Ab	79
Figura 10. Participação de impacto do cenário AS para GWP.....	80
Figura 11. Participação de impacto do cenário AS para CED.....	81
Figura 12. Participação de impacto do cenário CA para Dep. Ab.....	82
Figura 13. Participação de impacto do cenário CA para GWP	83
Figura 14. Participação de impacto do cenário CA para CED	84
Figura 15. Participação de impacto do cenário UR1 para Dep. Ab.	85
Figura 16. Participação de impacto do cenário UR1 para GWP.	87
Figura 17. Participação de impacto do cenário UR1 para CED.	88
Figura 18. Participação de impacto do cenário UR2 para Dep. Ab.....	89
Figura 19. Participação de impacto do cenário UR2 para GWP	90
Figura 20. Participação de impacto do cenário UR2 para CED	91
Figura 21. Impactos Ambientais normalizados por cenário	93
Figura 22. Impactos ambientais para cada cenário de gestão do RCD..	96
Figura 23. Participação de custos por etapa do cenário AS.....	99
Figura 24. Participação de custos por etapa do cenário CA	100
Figura 25. Participação de custos por etapa do cenário UR1	101
Figura 26. Custos nas etapas para as alternativas de projeto.....	102
Figura 27. Comportamento dos custos no período de análise.	103
Figura 28. Diagrama de ecoeficiencia para os cenários estudados.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos RCD.....	35
Tabela 2. Composição do RCD em algumas cidades brasileiras	41
Tabela 3. Paralelo das considerações entre a ACV e AECV.....	49
Tabela 4. ICV de dados primários dos cenários de reciclagem.....	73
Tabela 5. ICV de dados primários do cenário CA para 1UF.....	74
Tabela 6. ICV de dados primários do cenário AS para 1UF	74
Tabela 7. Inventário Econômico de Ciclo de Vida do cenário UR1	76
Tabela 8. Inventário Econômico de Ciclo de Vida do cenário CA.	77
Tabela 9. Inventário Econômico de Ciclo de Vida do cenário AS.....	77
Tabela 10. Inventário Econômico de Ciclo de Vida evitado.....	78
Tabela 11. Resultado geral dos impactos ambientais para 1UF.	94
Tabela 12. Custo e impacto ambiental por etapa para 1UF.....	105
Tabela 13. Desempenho ambiental e econômico para 1UF.	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABESC	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACV	Análise de Ciclo de Vida
AECV	Análise Econômica de Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
AS	Cenário Aterro Sanitário Classe IIA
CA	Cenário Aterro Classe A
CCV	Custo de Ciclo de Vida
CED	<i>Cumulative Energy Demand</i>
CICLOG	Grupo de Pesquisa em Análise de Ciclo de Vida
CML	<i>Institute of Environmental Sciences/Universiteit Leiden</i>
GWP100	<i>Global Warming Potencial</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Plano Nacional de Saneamento Básico
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SGA	Sistema de Gerenciamento Ambiental
UF	Unidade Funcional
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UR1	Cenário Usina de Reciclagem 1
UR2	Cenário Usina de Reciclagem 2

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

%	Porcentagem
CH ₄	Metano
CO ₂ eq.	Dióxido de Carbono Equivalente
CO ₂	Dióxido de Carbono
Kg	Quilo
KgCO ₂ eq.	Quilo de Dióxido de Carbono Equivalente
KgSb eq.	Quilo de Antimônio Equivalente
Km	Quilômetro
KW.h	Quilowatt-hora
l	Litro
m ²	Metro Quadrado
MJ eq.	Megajoules Equivalente
PVC	Policloreto de Polivinila
R\$	Reais
t	Tonelada
t.km	Tonelada Quilômetro

SUMÁRIO

1.0.	INTRODUÇÃO	27
2.0.	OBJETIVOS	31
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	31
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
3.0.	JUSTIFICATIVAS.....	33
4.0.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	35
4.1.	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DE DEMOLIÇÃO.....	35
4.1.1.	Panorama da reutilização na indústria.....	39
4.1.2.	Composição, caracterização e propriedades do RCD	40
4.1.3.	Valoração do RCD e seus aspectos.....	43
4.2.	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA	45
4.3.	AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE CICLO DE VIDA.....	46
4.4.	ACV e a AECV	48
4.5.	ECOEFICIÊNCIA	50
4.6.	ESTADO DA ARTE	51
5.0.	METODOLOGIA	57
5.1.	DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE PRODUTO.....	57
5.2.	DEFINIÇÃO DA UNIDADE FUNCIONAL (UF)	58
5.3.	DELIMITAÇÃO DAS FRONTEIRAS DO SISTEMA	58
5.4.	CENÁRIOS DE GESTÃO DO RCD	60
5.4.1.	Cenário Aterro Sanitário Classe IIA (AS).....	62
5.4.2.	Cenário Aterro Classe A (CA).....	62
5.4.3.	Cenário Usina de Reciclagem 1 (UR1).....	63
5.4.4.	Cenário Usina de Reciclagem 2 (UR2).....	63
5.5.	ANÁLISE DE INVENTÁRIO	63
5.5.1.	Requisitos dos Dados.....	65
5.5.2.	Pressupostos e Critérios de Corte	66
5.6.	AVALIAÇÃO DE IMPACTO	67

5.7.	INTERPRETAÇÃO	68
5.8.	PROCEDIMENTO DE SUBSTITUIÇÃO.....	68
6.0.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
6.1.	INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA (ICV)	71
6.1.1.	Inventário de Ciclo de Vida (ICV) para ACV	71
6.1.2.	Inventário de Ciclo de Vida (ICV) para AECV.....	75
6.2.	AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA	79
6.2.1.	AICV no cenário AS	79
6.2.1.1.	AS - Depleção Abiótica	79
6.2.1.2.	AS - Aquecimento Global (GWP)	80
6.2.1.3.	AS - Demanda Acumulada de Energia (CED).....	81
6.2.2.	AICV no cenário CA.....	82
6.2.2.1.	CA - Depleção Abiótica.....	82
6.2.2.2.	CA - Aquecimento Global (GWP).....	83
6.2.2.3.	CA - Demanda Total de Energia (CED)	84
6.2.3.	AICV no cenário UR1.....	85
6.2.3.1.	UR1 - Depleção Abiótica	85
6.2.3.2.	UR1 - Aquecimento Global (GWP).....	86
6.2.3.3.	UR1 - Demanda Total de Energia.....	87
6.2.4.	AICV no cenário UR2.....	88
6.2.4.1.	UR2 - Depleção Abiótica.....	89
6.2.4.2.	UR2 - Aquecimento Global (100 anos).....	90
6.2.4.3.	UR2 - Demanda Total de Energia.....	91
6.3.	COMPARAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	92
6.4.	GARGALOS DO SISTEMA DE PRODUTO PARA ACV	98
6.5.	AVALIAÇÃO DE CUSTOS DE CICLO DE VIDA	99
6.6.	COMPARAÇÃO DE CUSTOS	101
6.7.	GARGALOS DO SISTEMA PARA AECV	104

6.8.	AVALIAÇÃO DE ECOEFICIÊNCIA	104
7.0.	CONCLUSÕES	109
8.0.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111

1.0. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma atividade geradora de impactos ambientais, apesar de ser um importante segmento da indústria brasileira, apontada como um indicativo do crescimento econômico e social, mas seus resíduos têm representado um grande problema a ser administrado (BRASIL, 2010).

Pinto (1999) define uma “taxa de geração de resíduos de construção” na ordem de 150 quilos por metro quadrado construído. Porém, dados mais atuais apontam que esse desperdício pode chegar até 30% do material bruto aplicado na obra, o que representa um valor muito alto e passível de reaproveitamento (BOURSCHEID E SOUZA, 2010).

Estima-se que, do total de recursos naturais consumidos pela sociedade, entre 20 e 50% são utilizados pela construção civil (JOHN, 2000), sendo o setor imobiliário responsável pelo consumo de 21% da água tratada e 44,7% de toda energia gerada no país, além de 65% do lixo e 25% das emissões de CO₂ equivalente (GREEN COUNCIL BRASIL, 2013).

Com o intenso consumo de recursos naturais, os grandes empreendimentos colaboram com a alteração da paisagem e, como todas as demais atividades humanas, geram resíduos (ÂNGULO *et al.*, 2001).

Impõe-se assim a necessidade de uma gestão mais proativa e eficiente, de maneira a satisfazer essa carência, nem tanto utópica como Oliveira apontou em 2002 que, embora seja uma conscientização tardia, a construção civil vem tomando ações decisivas para se tornar menos agressiva à natureza.

Porém, com o crescimento da indústria de construção civil, e conseqüentemente dos resíduos de construção e demolição (RCD), os espaços em aterros sanitários municipais para sua disposição, em longo prazo, refletirão em impactos sociais, econômicos e ambientais. Isto torna essencial a gestão sustentável deste resíduo para proteção da saúde pública e dos ecossistemas, como coloca Yeheyis (2012).

Para esta gestão, a quantificação do RCD gerado desde a fase do projeto é essencial para as construtoras planejarem e controlarem sua disposição (SOLÍS-GUZMÁN, 2009). Mesmo repensando e reduzindo ao máximo o desperdício, ainda assim ele acontece.

Diante do montante gerado e ao alcance de tecnologias capazes de torná-lo uma fonte rica de matéria-prima, logo se torna

imprescindível a correta gestão do mesmo a fim de solucionar as inconveniências causadas nos diversos campos, diminuir futuras depleções dos recursos naturais e emissões para fabricação do novo produto, com a geração de áreas degradadas no entorno urbano e transporte intensivo como afirmam Ângulo *et al.* (2005).

Segundo Oliveira (2002), a adoção de uma política de incentivo para o reaproveitamento dos bens minerais descartados pelas obras civis e de demolição pode reduzir a quantidade de minerais extraídos das jazidas e, conseqüentemente, diminuir o impacto ambiental pela reutilização e reciclagem dos rejeitos minerais.

Desta maneira, como afirmam Ângulo *et al.*(2005), a reciclagem de RCD é uma forma de aproximar o setor da sustentabilidade por meio da redução dos impactos negativos dos seus resíduos nas cidades e da geração de matéria-prima que pode ser substituída pela natural, não renovável.

Em uma cidade como São Paulo, o esgotamento das reservas próximas faz com que a areia natural, por exemplo, seja transportada de distâncias superiores a 100 quilômetros, gerando enorme consumo de energia e poluição (JOHN, 2000).

Com essas conseqüências, supõe-se que ações isoladas não irão solucionar os problemas inerentes a este resíduo, e que a indústria deve tentar fechar seu ciclo produtivo de forma a minimizar a saída de resíduos e a entrada de matéria-prima não renovável (DORSTHORST; HENDRIKS, 2000, mencionado por ÂNGULO, 2001).

Neste sentido, é preciso que a escolha da reciclagem de um resíduo seja criteriosa e pondere todas as alternativas possíveis com relação ao consumo de energia e matéria-prima (ÂNGULO 2001).

Apesar de o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) não listar os RCD dentro da Logística Reversa (que inclui: pilhas e baterias, pneus, lâmpadas fluorescentes de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens, embalagens de agrotóxicos e produtos eletroeletrônicos e seus componentes), em 2002, a Resolução CONAMA 307, alterada pela Resolução 348/2004, determinou que o gerador (da construção civil) deva ser o responsável pelo gerenciamento desses resíduos, sendo os mesmos dispostos em áreas destinadas para essas finalidades, e, para isso, devem passar pelo processo de licenciamento ambiental e fiscalizadas pelos órgãos ambientais competentes. Destaca-se, como prioridade, a não geração de

resíduos e, posteriormente, a redução, reutilização, reciclagem e a destinação final.

Assim foi definido, dentre outros conceitos, a reutilização, a reciclagem, beneficiamento e Aterros de resíduos classe A (Aterro Classe A) de reservação de material para usos futuros:

“VI - Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo”,

“VII - Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação”,

“VIII - Beneficiamento: é o ato de submeter um resíduo às operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto”

“IX - Aterro de resíduos classe A: de reservação de material para usos futuros: é a área tecnicamente adequada onde serão empregadas técnicas de destinação de resíduos da construção civil classe A no solo, visando a reservação de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro ou futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente e devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente.”

Essa determinação representou um importante marco legal, atribuindo responsabilidades e estipulando a segregação dos resíduos em diferentes classes e encaminhamento para reciclagem e disposição final adequada (BRASIL, 2011), mas ainda pouco seguida.

Neste sentido, como auxílio na tomada de decisão de alternativas para o gerenciamento dos RCD, destaca-se a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), uma vez que esta considera todas as etapas do ciclo produtivo e permite identificar possíveis gargalos no sistema.

Embora se perceba um número crescente de pesquisas de ACV para RCD no Brasil, esta metodologia ainda se encontra pouco influente nas construtoras e meios de produção atuantes, visto que as recicladoras de “entulho” visam prioritariamente à economia com matéria-prima (na maioria: areia e brita) e transporte (LEVY, 2001).

O PNRS, em 2011, por sua vez, impôs a reservação adequada dos RCD em aterros Classe A como solução, no entanto, a literatura traz poucos estudos que abordem esta opção de destinação final como viável ambientalmente quando comparada com reciclagem do resíduo,

possibilitando, assim, o reuso deste como matéria-prima secundária no ciclo produtivo.

2.0. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho ambiental e econômico de cenários de gestão de resíduos de construção e demolição.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos propostos para o trabalho consistem em:

- ✓ Discriminar e mensurar os custos e principais impactos ambientais relacionados ao serviço de disposição final do RCD em cenários praticados no Brasil por meio da ACV e AECV;
- ✓ Identificar os gargalos do sistema para cada cenário proposto;
- ✓ Definir um indicador de ecoeficiência (do ponto de vista ambiental e de custos) para o sistema de produto;

3.0. JUSTIFICATIVAS

A maior parte dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil provém das atividades de construção e demolição, que varia de 50 a 70% nas maiores capitais (ÂNGULO, 2003; BRASIL, 2011). Sabe-se ainda que sua valoração, apesar de incipiente, é crescente diante da demanda, principalmente nas grandes cidades.

Entretanto, em alguns casos, o aproveitamento do resíduo por meio de reciclagem pode ser mais impactante do que a disposição do mesmo, ocasionando um maior dano ambiental e custos mais elevados em detrimento da extração de uma nova matéria-prima e reprocessamento para produção de um novo produto, que seja, talvez, de qualidade superior (BLENGINI E GARBARINO, 2010; MARINKOVIĆ, S. *et al*, 2010).

Para esta verificação, devem ser consideradas algumas variáveis, como o tipo de resíduo, a tecnologia empregada e a utilização proposta para o material reciclado, tornando-se assim importante tal estudo a fim de auxiliar na tomada de decisão para a correta gestão dos RCD (ÂNGULO, 2001).

O PNRS impõe, entre outras atribuições, o fim dos lixões e dos aterros controlados até 2014 e institui uma maneira de gerenciar os resíduos provenientes das atividades de construção de demolição com a implantação de unidades de recebimento, triagem, transbordo e reservação adequada em locais especiais, os Aterros Classe A (BRASIL, 2011).

Porém, é notório que diante da falta de incentivo, instrução, fiscalização ou mesmo de opção das construtoras para realizar de maneira correta a disposição dos RCD, a mesma seja realizada de maneira incorreta. Muitas vezes os RCD são descartados no meio urbano, causando desconforto visual, contaminação do solo e da água, podendo atrair transmissores de doenças e gerar odor, prejudicando assim a saúde e o bem-estar social.

Diante do exposto, é importante esclarecer qual o cenário para a disposição final é menos impactante ao meio ambiente a fim de gerenciar o resíduo da maneira mais adequada possível, além de oferecer oportunidades de geração de recursos por intermédio do beneficiamento do resíduo reciclado.

Além disso, a comunidade científica carece de análise de custos envolvendo comparações de alternativas para a gestão do RCD, de

modo a evidenciar a escolha menos dispendiosa do ponto de vista do gestor (e não das empresas envolvidas).

Ainda, apesar de existirem bastantes estudos em ACV dentro da indústria civil envolvendo o fim de vida das construções, a comunidade científica ainda carece de pesquisas que envolvam isoladamente os RCD, em especial para os serviços de gerenciamento do resíduo (COELHO e BRITO, 2013).

Para essas questões, a ACV, em complementação à AECV, vê como metodologias capazes de relacionar os impactos ambientais e os custos envolvidos nas etapas da gestão do RCD, de maneira a auxiliar na tomada de decisão para a alternativa mais ecoeficiente.

O presente estudo foi orientado pelo professor Dr. Sebastião Roberto Soares, fundador do Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida (CICLOG) em 2006, junto a CAPES. Esse grupo vem desenvolvendo estudos com base na metodologia de ACV em diversos campos na gestão de resíduos sólidos e prestação de serviços, com a finalidade de contribuir para o auxílio na tomada de decisão e avanço metodológico da gestão ambiental dos RCD.

4.0. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DE DEMOLIÇÃO (RCD)

Depois da água, o concreto é o material mais utilizado pelo homem (DINIZ, 1970; ABESC, 2000).

Por definição, RCD é considerado todo e qualquer resíduo oriundo das atividades de construção, seja ele de novas construções, reformas, demolições, que envolvam atividades de obras de arte e limpeza de terrenos, escavações, com a presença de solos ou vegetação (ÂNGULO, 2005; JOHN, 2002; BRASIL, 2011; YEHEYIS, 2012).

De acordo com a Resolução nº 307/2002 do CONAMA, os resíduos de construção civil e de demolição são classificados como:

Tabela 1: Classificação dos RCD.

Classificação	Tipologia
Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras;
Classe B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras;
Classe C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
Classe D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Adaptado da Resolução nº 307 do CONAMA (2002)

De modo geral, os RCD são vistos como resíduos inertes de baixa periculosidade, sendo o impacto causado pelo grande volume gerado (FREITAS, 2009; BRASIL, 2011).

Assim, como coloca John (2000), o “macrocomplexo” da construção gera resíduos na fase de projeto, produção de materiais e componentes, na atividade de canteiro, na atividade de manutenção, modernização, reformas e finalmente demolição, etapas representadas na Figura 1.

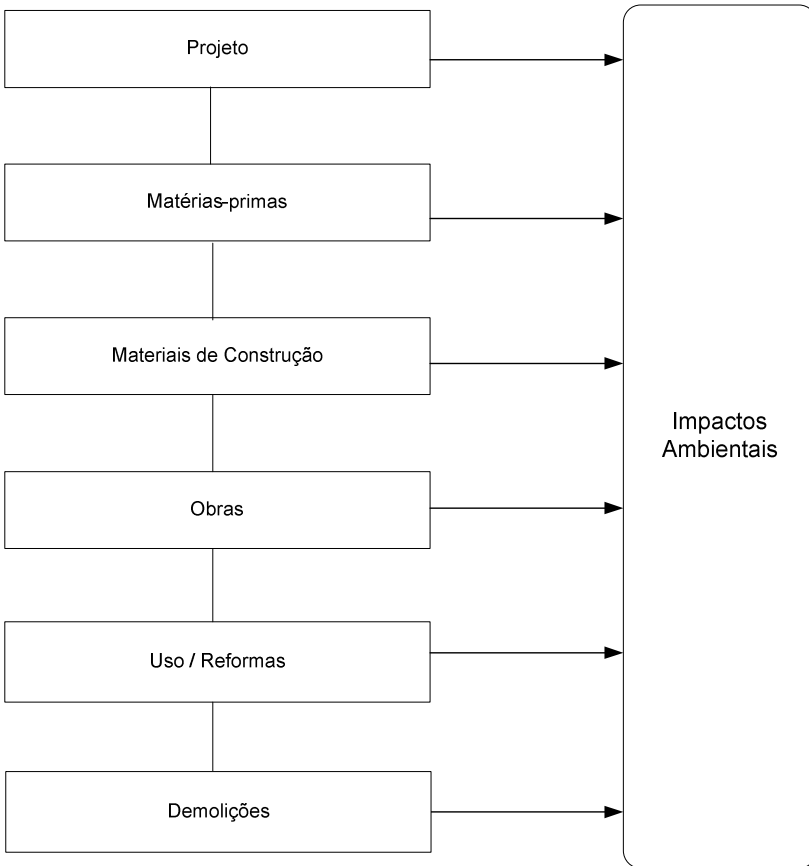


Figura 1. Cadeia da Construção Civil.

Dados levantados em diversos trabalhos sobre a geração dos resíduos da construção civil demonstram que essa questão é mundialmente reconhecida. Como exemplo, os Estados Unidos da América do Norte (EUA) geram, aproximadamente, 136 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição (RCD) por ano, duas vezes mais que o Brasil.

Os dados mostram também que, nos Estados Unidos da América do Norte, existem aproximadamente 3500 unidades de reciclagem desses resíduos, que respondem pela reciclagem de 25% do total gerado. E, nos Países Baixos, 90% do volume dos resíduos gerados pela construção civil são reciclados (KARPINSK, 2009).

Devido ao grande volume gerado, os RCD são um dos responsáveis pelo esgotamento de áreas de aterros sanitário municipais em cidades de médio e grande porte, uma vez que eles correspondem a mais de 50% (m/m) dos resíduos sólidos urbanos como já mencionado anteriormente (BRASIL, 2011; ÂNGULO *et al.*, 2001; BOURSHEID e SOUZA, 2010).

No Brasil, estima-se que é gerado anualmente algo em torno de $68,5 \times 10^6$ t de RCD (ÂNGULO, 2005). Considerando que a população brasileira, segundo estatísticas do IBGE, era de 193.946.556 habitantes no ano de 2012, cada habitante gera aproximadamente 353,2 kg de RCD anualmente, valor similar ao encontrado por Ângulo e Teixeira para o ano de 2011, ou seja, de aproximadamente 367 kg/habitante. Já Karpinsk *et al.* (2009) e Pinto (1999) encontraram um valor aproximado de 500kg/habitante.

Todo esse volume gerado é responsável pelos altos custos socioeconômicos e ambientais nas cidades em função das deposições irregulares. Por exemplo, na cidade de São Paulo, estes gastos são na ordem de R\$ 45.000.000 por ano para a coleta, transporte e deposição destes resíduos (PINTO, 1999; JOHN, 2000; EC, 2000; SCHNEIDER, 2003).

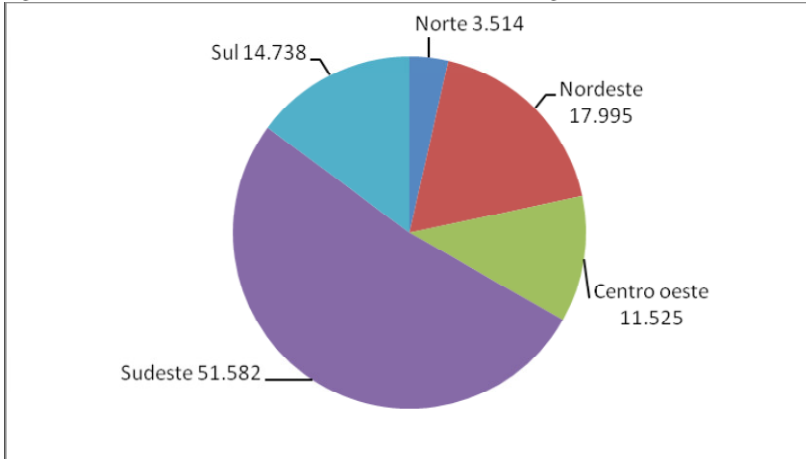
Já segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC) (2001), 65.968.371 m³ de concreto são produzidos por ano nos canteiros de obras e 14.480.862 m³/ano são fabricados em centrais dosadoras, somando um total de 80.449.233 m³/ano. Desse volume de concreto produzido, 55% são advindos do pequeno consumidor que não possui o acompanhamento de um profissional habilitado em engenharia ou arquitetura.

Pinto (2005) afirma que, em alguns municípios brasileiros, mais de 75% dos resíduos de construção civil são provenientes de construções informais (obras não licenciadas), enquanto que apenas 15% a 30% são oriundos de obras formais licenciadas pelo poder público.

Um estudo realizado pela ABRELPE apresenta a quantidade coletada de RCD em 2010, estimada em 99.354 t/dia para o país. A Figura 2 apresenta a quantidade coletada nas diferentes regiões.

Ainda com base nos dados da ABRELPE, em Florianópolis são coletadas 407,3 t/dia de resíduos sólidos urbanos (RSU), o que corresponde a uma geração que pode variar entre 162,9 a 285,1 t/dia de RCD.

Figura 2: Estimativa de RCD coletado nas regiões do Brasil (t/dia).



Fonte: PNRS (2011)

É notória a diferença na região sudeste, com mais da metade dessa geração coletada no Brasil, o que pode ser justificado, em parte, devido à intensidade das atividades industriais e densidade populacional, principalmente em São Paulo e Rio de Janeiro, ocasionando, portanto, um maior volume gerado do resíduo na região sudeste.

Uma pesquisa do Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada pelo IBGE, levantou que, do total de 5.564 municípios brasileiros, 72,44% dos municípios avaliados possuem serviço de manejo de resíduos de construção civil e demolição, sendo

que, desses, 2.937 (52,79%) exercem o controle sobre os serviços de terceiros para os resíduos especiais.

Ainda apontado pelo IBGE, no Brasil, 124 municípios adotam a triagem simples dos RCD reaproveitáveis (classes A e B), 14 realizam a triagem e trituração simples dos resíduos classe A, 20 realizam a triagem e trituração dos resíduos classe A, com classificação granulométrica dos agregados reciclados, 79 fazem o reaproveitamento dos agregados produzidos na fabricação de componentes construtivos e 204 adotam outras formas (BRASIL, 2011).

Diante desses dados, e corroborado por John (2002), a indústria da construção civil torna-se a atividade humana com maior impacto sobre o meio ambiente (KARPINSK, 2009).

4.1.1. Panorama da reutilização na indústria de construção civil

Cunha e Lima (2012) afirmam que a reciclagem dos RCD no Brasil ainda é incipiente, chegando a menos de 10% do total gerado, sendo que as empresas que a realizam, na sua maioria, pertencem ao serviço público de coleta dos resíduos sólidos das cidades, que têm como objetivos o saneamento ambiental e aspectos sociais, como o trabalho em conjunto com as cooperativas de catadores.

Segundo os autores, mesmo com a Lei 12305 de 2010 dos resíduos sólidos, nestas condições, ainda são poucas as firmas privadas com rentabilidade e dinâmicas empresariais, pois o gerenciamento dos resíduos compreende um conjunto de atividades desde a redução da geração do RCD, sua coleta, seu reuso, reciclagem e o descarte, que apresentam custos determinados para cada fluxo bem como para a armazenagem destes materiais.

Desse modo, o PNRS mostra que o gerenciamento adequado dos RCD ainda encontra obstáculos pelo desconhecimento da natureza dos resíduos e pela ausência de cultura de separação, entre outros. Dessa forma, conhecer e diagnosticar os resíduos gerados possibilitará o melhor encaminhamento para o plano de gestão e o gerenciamento dos RCD.

Em 2012, Cunha e Lima já apontaram alguns dados referentes à fração mineral destes resíduos. Após processamento adequado, constituem os agregados reciclados, que complementam a oferta do mercado de agregados com um novo produto, além de reduzir a pressão sobre os estoques de brita e areia naturais.

Assim, os agregados são produtos de mineração de baixo valor agregado, sendo que 2/3 dos custos são relativos às despesas de transporte, segundo Kulaif (2001). O autor ainda julga que, como os RCD são gerados dentro das cidades, pode existir uma grande vantagem competitiva dos agregados reciclados em relação aos naturais.

Entretanto, em ambos os casos, é necessária a produção em larga escala para que a operação seja lucrativa, o que torna muitas vezes a atividade incompatível com a necessidade de ocupação da malha urbana.

Ângulo *et al.* (1999) mostram que, para a otimização da sequência de operações unitárias de beneficiamento, a exploração de novas utilizações e o controle da qualidade dependem de caracterização do resíduo.

Assim como no seu aproveitamento econômico ou em um estudo dirigido ao seu beneficiamento mineral ou de adequação das especificações requeridas para a sua utilização, a caracterização tecnológica, na área da Engenharia Mineral, faz-se necessária afim de compreender o estudo de matérias-primas minerais visando ao seu melhor aproveitamento.

Ademais, como aborda Ulsen (2006), para atingir-se a reciclagem massiva e integrada aos setores da construção, torna-se imperativo o desenvolvimento de novos mercados e melhorias de Usinas capazes de transformar esses resíduos em uma matéria-prima secundária de qualidade adequada e, assim, estimular mais uma vertente ambientalmente amigável na disposição do RCD.

4.1.2. Composição, caracterização e propriedades do RCD

“Na sua maior parte, são materiais semelhantes aos agregados naturais e solos.” (BRASIL, 2011).

De acordo com Carneiro *et al.* (2000), os RCD são constituídos em aproximadamente 90% de massa por frações de natureza mineral (concretos, argamassas, rochas naturais, solos e cerâmicas), tanto no Brasil como na Europa.

Ângulo (2005) ainda estima a composição química do RCD brasileiro, em óxidos, no qual predominam respectivamente a sílica, seguida de alumina e óxido de cálcio, ou seja, fração similar àquela estipulada por Ângulo e Teixeira (2011), com 91% de RCD sendo

Classe A. No Kuwait, com essa proporção, cai para 85% a fração dos RCD correspondentes aos Classe A (KARTAM *et al.*, 2004).

Já Brito Filho (1999) relata que 95% dos RCD depositados no Aterro de Itatinga, São Paulo, são de classe A, dos quais 32% solos, 30% cerâmicos, 25% argamassas e 8% concretos. Fagundes e Miranda (2009) mostraram que, para a construção de um edifício, os resíduos classe A fazem parte em 50,8% do volume e 79,6% em massa.

Em Pelotas, Rio Grande do Sul, Tessaro (2012) chegou à conclusão que 88% dos RCD correspondem à Classe A e que sua densidade é de 1,28 toneladas por metro cúbico.

Com esses dados, pode-se assumir que os resíduos de construção e demolição apresentam maior parcela de resíduos Classe A, independentemente de se considerar apenas a fase de construção das edificações.

A Tabela 2 mostra a composição do RCD em diversas cidades no Brasil. No tocante aos demais rejeitos, comumente chamados resíduos Classe B pelas empresas recicladoras, foi constatada uma considerável discrepância dentre os valores encontrados e diferentes regiões do Brasil.

Tabela 2. Composição do RCD em algumas cidades brasileiras.

Composição dos RCD em massa (%)					
Cidade/Composição	Classe A	Metais	Madeira	Plástico	Outros
Petrolina-PE¹	91,2	3,7	2	0,5	2,6
Recife-PE^{1,2}	89	2	2	-	7
Salvador-BA²	94	-	-	4	2
Viçosa-MG³	92,65	0,62	0,75	0,01	5,97
Macaé-RJ⁴	94,9	0,3	1,6	0,3	2,9
São Carlos-SP⁵	88	2	7	1	2
São Paulo-SP⁶	80	-	13,4	0,5	6,1
Blumenau-SC⁷	85,65	0,2	9,25	-	4,9
Florianópolis-SC⁸	98,26	0,01	1,21	-	0,52
Passo Fundo-RS⁹	94,5	0,3	2,1	0,6	2,5
Pelotas-RS¹⁰	88	2,5	4	2,2	3,3
MÉDIA	90,56	1,29	4,33	1,14	2,68

- Não contabilizado, podendo estar contido em "Outros".

¹SANTOS (2008); ²CARNEIRO (2005); ³AMÉLIA, A.& TINÔCO, P. (2012); ⁴COSTA, L. S. N.& ALMEIDA, S. L. M. DE. (2005); ⁵MARQUES (2010); ⁶OLIVEIRA (2002); ⁷FAGUNDES (2009); ⁸SARDÁ (2003); ⁹BERNARDES (2008); ¹⁰TESSARO (2012).

Desse modo, foi utilizada uma média de algumas regiões do Brasil para o estudo, admitindo então que, do RCD brasileiro: 90,6% é Classe A, 1,29% metais, 4,33% madeira, 1,14 Plástico/PVC e 2,68% os demais resíduos.

Esta tabela confirma a heterogeneidade do RCD brasileiro, que é justificado por alguns autores (CARNEIRO *et al.*, 2000; ÂNGULO, 2005; ÂNGULO E TEIXEIRA, 2011; KARTAN *et al.*, 2004; BRITO FILHO, 1999; TESSARO, 2012) devido à intrínseca qualidade de onde ele foi gerado. Por exemplo, os cimentos empregados na produção dos concretos, além de onde foi produzido, a depender da finalidade empregada, podem ter composições diferentes entre si.

Nos últimos anos, o mercado de cimentos disponibilizou alguns tipos com composição e propriedades diferentes para emprego em obras como edifícios, obras de arte e obras de infraestrutura, cuja definição é determinada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A quantidade e as características dos RCD apropriados para reciclagem, especialmente os provenientes de demolição, dependem do método pelo qual os mesmos foram gerados e retirados do local (YEHEYIS, 2012).

Por isso, os vários tipos de cimentos empregados na construção civil possuem perfis químicos que diferem entre si e adições e aditivos modificadores de propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido que, ao serem descartados, também terão comportamentos diferentes.

Oliveira (2002) aponta que 55% do concreto produzido no Brasil praticamente não tem a sua qualidade garantida por um controle tecnológico, o que torna a sua constituição heterogênea.

Assim, como completa Yeheyis (2012), a quantidade e as características dos RCD apropriados para reciclagem, especialmente os provenientes de demolição, dependem do método pelo qual os mesmos foram gerados e retirados do local.

Ainda segundo Oliveira (2002), corroborado por Fagundes (2009), a maior parte dos resíduos resultantes da demolição é composta por fração fina (argila e silite) do que a parte grosseira. De acordo com a

NBR 11804, o material com essa característica é ideal para base e sub-base de pavimento estabilizado.

Já para o RCD reciclado, um estudo realizado por Silva e Arnosti (2006) demonstrou que o mesmo apresentou substâncias solúveis em sua composição e, portanto, passíveis de contaminação do solo pela lixiviação, sendo, dessa maneira, enquadrado como Classe IIA – não inerte, segundo a NBR ISO 10004 (2004).

4.1.3. Valoração do RCD e seus aspectos

Existem algumas técnicas de valoração dos RCD que são aplicadas a depender do fim pretendido. Os construtores, em geral, têm o papel mais importante, segundo Vieira e Horvath (2008), pois muitas de suas escolhas determinarão as opções de gerenciamento sustentável disponíveis para cada caso.

Primeiramente, independentemente do fim pretendido, é realizada a coleta do resíduo para ser encaminhada a uma triagem, na qual será separada toda a parte do resíduo que não seja enquadrada na Classe A, segundo a Resolução nº 307/2002 do CONAMA (descrita no item 4.1), como papel, papelão, madeira, plástico, PVC, metal, vidro, resíduos orgânicos, etc.

Após a triagem, o RCD já enquadrado na Classe A deverá ser, sempre que possível, reutilizado ou reciclado e, quando não, deverá ser encaminhado para um Aterro Classe A que, por sua vez, possua licenciamento ambiental e requisitos ambientalmente seguros para a acomodação legal desse resíduo que será reservado por tempo indeterminado para ser usado eventualmente no futuro como estabelece o PNRS.

A reutilização dos RCD pode ser feita no próprio canteiro de obras, como agregado para concretagem não estrutural, ou, ainda, a parte mais grosseira pode servir como agregado na substituição de pedras e areia para construção de barragens, aterramento, recobrimento de falhas em rodovias ou para pavimentação.

No entanto, em algumas ocasiões, não é possível reutilizar o resíduo após a sua geração, de modo que o mais usual é o encaminhamento para uma estação de tratamento e reciclagem a fim de transformá-lo em matéria-prima secundária para um novo (ou até o mesmo) produto.

Os resíduos resultantes da construção civil e demolição podem ser triados também ao chegar a uma recicladora de RCD. Depois disso, ele é encaminhado para o britador de impacto, onde a sua granulometria é reduzida até o fim pretendido (LEVY, 2001).

Ao se aproximar do tamanho de partícula pretendido, o RCD passa pelo separador magnético a fim de eliminar resíduos metálicos menores que por ventura ainda restem. Em sequência, ele é peneirado, gerando frações granulométricas diferentes e ainda pode ser submetido a ensaios geotécnicos e análises químicas. Tais operações de redução são conhecidas como cominuição. Elas também podem ser executadas por separação em meio denso e flotação (LENNON, 2005; LUZ et al., 2004).

Existem também as operações de concentração, que são aplicadas quando existem várias espécies minerais presentes em um minério e se tem por objetivo aumentar o teor de mineral útil especificado. Esta concentração pode ser realizada por diferentes propriedades físicas dos minerais, como densidade, cor, forma, propriedades elétricas, propriedades magnéticas, etc (LUZ et al., 2004).

O uso de agregados reciclados em concretos demanda uma grande confiabilidade nas características dos agregados. Certamente o desenvolvimento deste mercado requererá melhorias na gestão do processo de reciclagem, nas ferramentas de controle de qualidade e na tecnologia de beneficiamento (LEVY et al., 2001).

No Brasil, grande parte das atividades de reciclagem de RCD mineral é gerida pelo setor público com a finalidade de produzir agregados que são utilizados em atividades de pavimentação, porém, ainda de forma incipiente conforme apontou Levy (2001) ao apresentar algumas instalações de reciclagem nacionais de diferentes prefeituras como exemplo.

John (2000) afirma que um processo de reciclagem para os RCD só pode ser considerado vantajoso ambientalmente após análises específicas por meio de metodologias como a Análise de Ciclo de Vida.

Na Reciclagem, as contribuições ambientais podem ser facilmente visíveis, como a preservação dos recursos naturais que são subsidiados pelos resíduos reduzindo assim a destruição paisagística, fauna e flora. Esta contribuição se faz importante também em lugares em que ocorre a abundância de recursos naturais, como no caso da argila ou calcário, porque, desse modo, sua extração pode prejudicar a paisagem e assim ecossistema local (JOHN, 2000)

Além disso, a reciclagem atribui ganhos em outras etapas do ciclo produtivo, como a substituição do clínquer por cinzas volantes e escórias, resultando assim na redução em 28% do consumo de combustível pela cimenteira local (YAMAMOTO et. al., 1997 citado por JOHN, 2000)

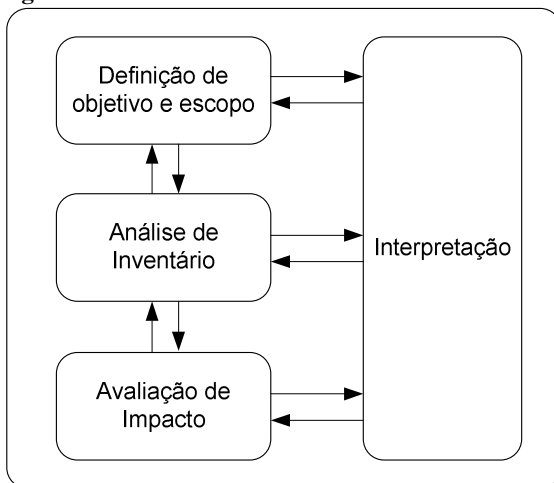
Assim, na maior parte dos casos, a reciclagem promove uma redução no consumo energético de produção de um determinado bem devido ao fato de os materiais já incorporarem energia de formação (FINNVEDEN, 1999; JOHN, 2000; ORTIZ, 2010; YEGEYIS, 2012).

4.2. AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

A ACV é uma metodologia (ou ferramenta) do Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA), normatizada pela NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044, a qual identifica os aspectos ambientais e impactos ambientais potenciais relacionados a tudo que envolve o ciclo de vida de um produto ou serviço.

A ACV está estruturada em quatro fases que estão interligadas de maneira a estabelecer uma interatividade por advento de ajustes que acontecem durante o estudo, como mostra a Figura 3.

Figura 3. Fases da ACV.



Adaptado de NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a).

- Objetivo e Escopo: Etapa inicial onde é previamente estabelecida a razão, o objeto de estudo e seu ciclo de vida (fronteiras do sistema, abrangência do ciclo de vida, métodos de Avaliação de Impacto, pressupostos, entre outras informações do Sistema de produto);
- Análise de inventário: É a etapa correspondente à coleta e tratamento dos dados;
- Avaliação de Impacto: Perante os dados tratados em concordância com o Sistema de produto detalhado, nesta etapa são realizadas as avaliações levando em conta todos os subprocessos abrangidos na primeira fase e convertidas as emissões atmosféricas, solo e água em algum Indicador Ambiental, como: potencial de aquecimento global, depleção dos recursos abióticos, demanda total de energia, entre outros;
- Interpretação: Esta é uma etapa dinâmica e está presente desde a criação do projeto. Representa toda a interatividade entre as etapas, pois, nesta metodologia, é comum que seja preciso retroceder e reavaliar condições que foram estabelecidas anteriormente, já que qualquer detalhe assumido influenciará toda a cadeia e a sequência nos resultados obtidos.

4.3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE CICLO DE VIDA (AECV)

Os primeiros passos da AECV tiveram o intuito de aumentar a eficiência nas aquisições do governo americano, nesse sentido, pode-se defini-la de forma bastante simplificada como a arte de prever custos futuros e de garantir uma “rentabilidade sustentável” dos processos (EMBLEMSVÄG, 2003).

Apesar de este início ter ocorrido por volta dos anos 60 nos Estados Unidos da América do Norte, esta metodologia ainda não era associada à ACV (que, por sua vez, considera-se seu marco no ano de 1974, com a *United States Environmental Protection Agency - USEPA*) (CHEHEBE, 2002).

Assim, analogicamente à ACV, a AECV é utilizada hoje em dia em complementação à ACV como um meio auxiliar na tomada de decisão, de modo a instruir as indústrias e empresas a eliminar custos antes que eles ocorram e administrar alguns riscos de negócios relacionados a custos, fluxo de caixa e rentabilidade.

Esta metodologia “recente”(em relação à ligação com a ACV), ainda não possui uma normatização como, por exemplo, as séries das NBR ISO 14000. Por isso foram criados diversos métodos na literatura por autores diferentes, podendo diferir entre o destino do estudo e sua área de aplicação.

Porém, todas as aplicações têm um objetivo comum: gerar informações sobre questões futuras, analisando todos os custos de um sistema produtivo. Por ser baseada em estimativas futuras, a AECV está estritamente ligada a incertezas e riscos (EMBLEMSVÅG, 2003).

O Departamento de Transporte do Estado da Califórnia (2007) propõe, para realização de uma AECV, o domínio de alguns elementos:

- Alternativas de Projeto: os cenários que compõem a proposta;
- Período de Análise: definição do período de análise para cada cenário;
- Taxa de Desconto: Taxa de juros ou correção de valores futuros para o presente;
- Incertezas: Identificação e ajustes de dados instáveis;
- Sequências de Manutenção e Reabilitação: Identificação do tempo de manutenção e seus procedimentos;
- Custos envolvidos: Custos relacionados à produção e distribuição do produto;

Segundo o Departamento de Transporte do Estado da Califórnia (2007), existem duas abordagens para a AECV: a Determinista (à qual a pesquisa se refere) e a Probabilística. A primeira é a mais tradicional porque se assume que as entradas representem dados fixos geralmente baseados em dados históricos e julgamentos do usuário (ou gerenciador). Já a abordagem Probabilística é mais recente e leva em consideração a incerteza e as variações das entradas e saídas no sistema.

Já Hindman (2011) calcula o custo do ciclo de vida (CCV) para cada Alternativa de Projeto (cenários propostos) baseado na seguinte fórmula:

$CCV = I + Subs - Res + L(OM\&R)$. Onde:

- I = Custo Inicial
- Subs = Custo de Substituições;
- Res = Preço de venda da empresa no fim do Período de Análise (vida útil);

- L = Vida Útil;
- OM&R = Custo das Operações, Manutenções e Reparos durante o ciclo de vida.

Estas variáveis devem estar corrigidas em função das alterações do preço de mercado e da inflação ao longo da sua vida útil.

Por esta metodologia ser mais recente e não possuir ainda uma instrução normatizada pela ABNT, como acontece com a ACV tradicional, isto dá margem para diferentes maneiras de usá-la a depender do fim pretendido, podendo variar em termos de abrangência, nível de detalhes e foco nas etapas avaliadas condicionantes ao objetivo da avaliação.

4.4. AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV) E A AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE CICLO DE VIDA (AECV)

A ACV e a AECV são metodologias que auxiliam a tomada de decisão com base em estudos que envolvam as fases do ciclo de vida de um ou mais produtos ou serviços. A primeira avalia os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados ao sistema de produto para atender a uma determinada função (CHEREBE, 2002).

Para as diferentes tomadas de decisões sugeridas através da ACV, existem consequências econômicas que não são levantadas pela mesma, que a priori são baseadas apenas em aspectos ambientais. Assim, a AECV surge como uma metodologia complementar que avalia a rentabilidade dessas alternativas de um ponto de vista econômico (NORRIS, 2001; MANUAL DE PROCEDIMENTO DE ANÁLISE ECONÔMICA DE CICLO DE VIDA DA CALIFÓRNIA, 2007; GU, L. *et al.*, 2008; CUSSON, LOUNIS E DAIGLE, 2010), tornando o estudo mais completo e compreensível ao considerar dois importantes pilares da sustentabilidade² (HINDMAN, 2011; HEIJUNGS, SETTANNI, GUINÉE, 2012)

Desse modo, essas metodologias possibilitam alcançar um produto (ou serviço) ecoeficiente, ou seja, aquele que é produzido (ou realizado) com a minimização dos impactos ambientais e dispêndios financeiros (CHARMONDUSIT, KEARTPAKPRAEK, 2011).

Na Tabela 3 é possível compreender a interação que existe entre a ACV e a AECV.

Tabela 3. Paralelo das considerações entre a ACV e AECV.

Método	ACV	AECV
Propósito	Comparar o desempenho ambiental relativo de sistemas de produtos alternativos que atendam a mesma função com base em uma perspectiva ampla da sociedade.	Determinar o custo-benefício de alternativas de projeto e decisões de negócios, de acordo com a perspectiva econômica de um tomador de decisão, como uma empresa ou de um consumidor.
Atividades que são consideradas no Ciclo de Vida	Todos os processos causalmente ligados ao ciclo de vida físico do produto, incluindo toda a cadeia de pré-uso, o uso e os processos de fornecimento de utilização, e os processos para o fim de vida.	Atividades que causam custos diretos ou lucros para o tomador de decisão durante a vida econômica do investimento, como resultado do investimento.
Fluxos considerados	Poluentes, recursos e processos interfluxos de materiais e energia.	Fluxos monetários que impactam diretamente o investidor.
Unidades dos fluxos	Principalmente massa e energia, ocasionalmente, volume, outras unidades físicas.	Unidades monetárias (por exemplo, reais, dólares, euros, etc.).
Tempo de tratamento e alcance	A temporização dos processos e os fluxos de saída ou entrada são tradicionalmente ignorados, a avaliação de impacto pode dirigir uma janela de tempo fixo (100 anos para Aquecimento Global), mas impactos futuros geralmente não são descontados.	O tempo é crítico. Considera-se a valorização (desconto) de custos e benefícios e inflações. É adotado um âmbito de horizonte de tempo específico, e quaisquer custos ou benefícios que ocorram fora desse âmbito, são ignorados.

Fonte: Adaptada de Norris (2001).

4.5. ECOEFICIÊNCIA

A avaliação de Ecoeficiência é um instrumento para a análise de sustentabilidade, o qual envolve uma relação empírica entre dois pilares da sustentabilidade que são dispêndios econômicos e impactos ambientais. (HUPPES, & ISHIKAWA, 2007).

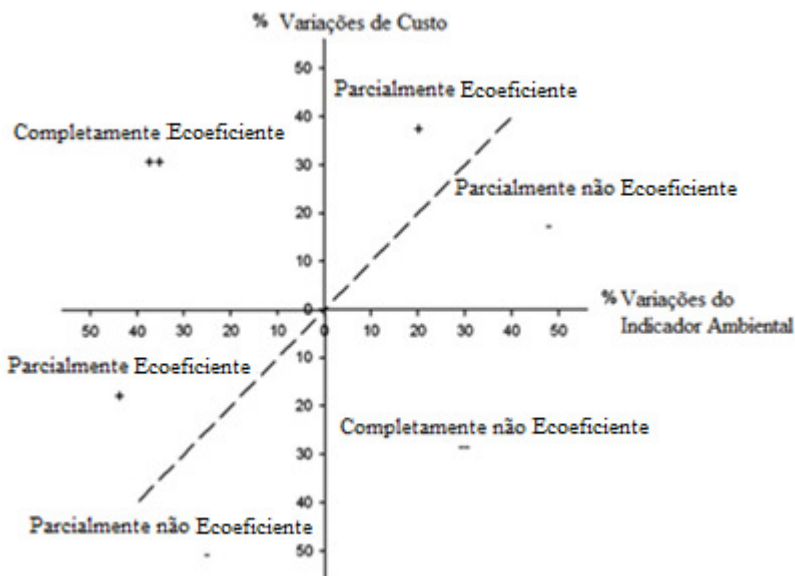
No que se refere a dispêndios econômicos, existem três abordagens básicas baseadas em AECV para avaliação de ecoeficiência:

- Valores relacionados ao custo de mercado: como na contabilidade, gestão e análise de custos para orçamento;
- Análise Custo-Benefício: como os custos e os lucros relacionados ao mercado;
- Estado Estacionário de Custo: conceitualmente está mais ligado a modelos de estado estacionário para a análise ambiental como ACV neste estudo.

Independentemente da abordagem escolhida, chegar a um indicador de ecoeficiência não é algo simples, e é mais fácil compreendida quando comparada em sistemas isoladamente.

O método empregado por Charmondusit e Keartpakpraek (2011) tem esse propósito, já que analisa a consistência para um indicador de ecoeficiência apresentando, em um gráfico X-Y (Figura 4), a variação de custos e a variação dos impactos ambientais normalizados em relação aos melhores resultados obtidos.

Figura 4. Tendência ecoeficiencia.



Fonte: Adaptada de Charmondusit e Keartpakpraek (2011)

4.6. ESTADO DA ARTE

Este item é dedicado aos trabalhos científicos já realizados sobre ACV e AECV para o serviço de gestão dos RCD que envolvam reciclagem, transportes e gerenciamento, com o intuito de apresentar uma visão sobre como e o que já se tem feito sobre o tema na atualidade.

Depois de reconhecido como impactante, a indústria civil vem dando cada vez mais importância às questões ambientais. Assim, como ressalta Passer (2012), as propostas de avaliação de sustentabilidade para as construções abordando seu Ciclo de Vida têm sido cada vez mais comuns nessa área.

Apesar da reconhecida importância, as construtoras não dispõem a atenção necessária para os sistemas de construção inovadores devido ao fato de não haver benefícios diretos em detrimento das construções convencionais. Isso se deve, segundo Hindman (2011), à falta de um pensamento sistêmico no sentido de trabalhar juntamente os elementos da construção, de modo a desenvolver um sistema

estrutural mais eficiente. Desse modo, as maiores atenções são dadas apenas para a fabricação de materiais e montagem.

Coelho e Brito (2013) realizaram um estudo sobre o gerenciamento dos RCD na cidade de Lisboa (Portugal), em que o consumo energético e as emissões de CO₂ equivalentes foram considerados os fatores de impacto. O estudo constatou que a fase operacional da indústria de reciclagem foi mais impactante no tocante ao consumo de energia, representado por aproximadamente 70% do total, seguido pelo transporte, com 32%. Já para as emissões, a fase de transporte foi identificada como a mais impactante, com aproximadamente 54,5% das emissões, seguida de 44% na fase operacional. Os mesmos autores concluíram que os impactos evitados pela substituição da matéria-prima virgem pela matéria-prima reciclada podem chegar a até mais de 10 vezes em termos de emissões de CO₂ eq., e oito vezes para o consumo de energia primária.

Já no estudo de Blengini e Garbarino (2010), realizado em Turin (Itália), foram adotadas 14 categorias de impactos: (toxicidade humana (efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos), efeitos respiratórios causados por produtos inorgânicos, a radiação ionizante, a depleção da camada de ozônio, oxidação fotoquímica, ecotoxicidade aquática, ecotoxicidade terrestre, acidificação aquática, eutrofização, acidificação terrestre e nitrificação, uso da terra, aquecimento global, a extração de energia não renovável e mineral). Dentre eles, 13 foram considerados satisfatórios por apresentarem impactos evitados maiores do que os impactos induzidos para a cadeia de reciclagem de RCD.

Na análise de Dewulf (2009), na Bélgica, foram pesquisados os restos de demolição de uma habitação com a possibilidade de recuperação em três cenários: reutilização, reciclagem ou incineração com aproveitamento do calor como fonte energética. Dentre as frações integrantes do resíduo estudado, os Classe A demonstraram melhor desempenho no cenário de substituição como agregado nas construções, apresentando melhor eficiência em termos de produto evitado dentre os cenários propostos: a reutilização de telhas, tijolos e azulejos com 172,6 GJex (GJ de exergia) evitados, e o restante da fração que consiste na reciclagem da brita com 17.8GJex evitados. Vale ressaltar que, em seu estudo, 73,9% dos resíduos são de Classe A, tornando essa fração bastante influente nos resultados obtidos.

Ortiz *et. al.* (2010) avaliou, por meio da metodologia de ACV, o desempenho dos RCD para três cenários na Catalunha (Espanha): aterro,

reciclagem e incineração. Foram utilizadas as categorias de impactos: Potencial de Acidificação, Potencial de Aquecimento Global, Eutrofização, Ecotoxicidade Aquática da Água Doce, Toxicidade Humana, Ecotoxicidade Terrestre. Para a categoria Aquecimento Global, analisada pelo método de caracterização do CML 2001, o cenário menos impactante foi o da reciclagem seguida da incineração e, por fim, despejo em aterro sanitário classe IIA. Foi constatado também que, apesar do transporte ser um fator bastante influente em termos de aspectos ambientais, ainda assim, para o aterro sanitário classe IIA, ele se mostrou mais impactante quando consideradas longas distâncias para os cenários.

Na Alemanha, Weil (2006), ao fazer um estudo de reciclagem dos RCD em ciclo fechado, constatou que tijolos construídos com agregados reciclados, em vez de concretos, podem evitar 24,2 milhões de toneladas de agregados virgens ao produzir 34,7 milhões de concreto reciclado. Desse modo, para fins estruturais, serão dispostos aproximadamente 9,2 milhões de toneladas de RCD que já não possuem mais propriedades para voltar ao ciclo produtivo. O estudo mostrou ainda que houve uma redução em 44% de matéria-prima virgem com a produção de concretos usando agregados reciclados em ciclo fechado. Já em relação à Demanda de Energia Acumulada e ao Potencial de Aquecimento Global, a diferença entre os maiores valores e o produto reciclado em relação ao produto feito de materiais virgens não mostrou muita diferença no estudo, correspondendo a 2 e 1% respectivamente.

Um estudo focado na triagem e tratamento dos resíduos sólidos inertes que compõem o RCD, realizado na Espanha por Mercante *et al.* (2011), concluiu que a fase de transporte é crucial para a reciclagem ser benéfica ambientalmente, assim, o impacto pode ser reduzido na fonte com a separação das frações mais leves facilitando ou descartando algumas fases no seu tratamento.

Em Perth, na Austrália, um estudo realizado por Biswas (2008) avaliou o ciclo de vida dos resíduos da construção de uma casa dispostos em Aterro Sanitário. O estudo mostrou que, para cada tonelada do resíduo encaminhado para o Aterro, 397 kg de CO₂ eq. são liberados e 1,890 MJ de energia é incorporada a este processo. O autor avaliou que, com a reciclagem de parte desse resíduo como tijolos, concretos e partes metálicas, há uma redução dos impactos ambientais, tais como Aquecimento Global, Oxidação Fotoquímica, Eutrofização, Efeitos Cancerígenos, Geração de Resíduos Sólidos e Escassez de

combustíveis fósseis em respectivamente 5%, 10%, 8%, 33%, 106% e 5%.

Soares e colaboradores (2012) realizaram análises ambientais e econômicas do ciclo de vida do gerenciamento de resíduos de saúde usando micro-ondas, autoclave e cal hidratada para desinfecção do material. A unidade funcional foi a mesma para as duas análises: 1 kg do resíduo tratado por dia durante 320 dias por ano em 10 anos. O método RECIPE com uma abordagem *endpoint* com a combinação de dois métodos, CML e Ecoindicator 99 foi utilizada para a Análise de Ciclo de Vida. Para a Análise Econômica de Ciclo de Vida foi utilizada uma abordagem estatística para consistência dos dados com base na técnica de Monte Carlo. Os resultados obtidos para as duas análises (ACV e AECV) foram que o método de desinfecção por micro-ondas apresentou melhor ecoeficiência, seguido do autoclave e da cal hidratada.

Cussonet et al. (2010) fez a avaliação econômica de ciclo de vida para três alternativas de tabuleiro de ponte: piso com concreto normal, com materiais suplementares de cimentação SCM e SCM (com endurecimento interno) com o intuito de auxiliar cronologicamente algumas atividades, como inspeção, prevenção, manutenção, reparação e substituição do convés. Foi adotado um período de ciclo de vida de 60 anos para os três cenários, com dois anos para manutenção e cinco anos para atividades de prevenção. Assim, o piso com concreto normal se mostra com maior valor de custo de ciclo de vida devido a sua menor durabilidade, necessidade de manutenção e atividades de substituição mais frequentes; o SCM (sem endurecimento interno) apresentou custos 40% mais baratos do que o de concreto normal devido à sua maior durabilidade e necessidade de reparos e substituições menos frequentes, e o SCM (com endurecimento interno) representou custos 63% menores devido ao seu endurecimento interno, baixa permeabilidade e manutenções menos frequentes.

Santos e Ferreira (2012) avaliaram, por meio da AECV, um novo modelo de otimização de desempenho para pavimentos em Portugal, chamado OPTPAV (sigla em inglês), em que foram avaliadas duas qualidades de pavimentos em horizontes de 20 e 40 anos. O trabalho concluiu que a metodologia de AECV é muito eficaz para decisões sobre a combinação de custos de construção, manutenção, uso e até de valor para valoração residual de maneira a comparar as diferentes soluções para a escolha final do melhor pavimento. O estudo

também revelou que o pavimento português diferiu em 78% dos casos avaliados.

Vercalsteren, Spirinckx e Geerken avaliaram a ecoeficiência de quatro tipos de copos em eventos abertos e fechados: copo de policarbonato retornável, copo de polipropileno descartável, copo revestido de papelão descartável e copo de polilático descartável. Os copos de policarbonato retornáveis se apresentaram mais custosos, porém com menos impacto ao meio ambiente para pequenos eventos fechados.

Independentemente do setor da indústria da construção civil que mais impacta o meio ambiente, a otimização do seu fim de vida pode reduzir os impactos em outras etapas em seu ciclo produtivo, como no caso da reciclagem, em que pode evitar a extração e o processamento dos recursos naturais.

Apesar de existirem bastantes estudos em ACV dentro da indústria civil envolvendo o fim de vida das construções, a comunidade científica ainda carece de pesquisas que envolvam isoladamente os RCD, em especial para os serviços do seu gerenciamento (COELHO e BRITO, 2013). Tais pesquisas apontam que a destinação do RCD para o aterro sanitário comum é mais impactante dentre as alternativas avaliadas (BISWAS, 2008; COELHO e BRITO, 2013; ORTIZ et al., 2010).

No entanto, esta metodologia ainda se encontra pouco influente nas construtoras e em meios de produção atuantes, se for considerado que as mineradoras e recicladoras de “entulho” visam prioritariamente economizar em matéria-prima (na maioria das vezes: areia e brita) e transporte (LEVY, 2001).

Neste sentido, a comunidade científica também carece de análise comparativa de custos envolvendo as alternativas para gestão do RCD, de modo a evidenciar a escolha menos dispendiosa do ponto de vista do gestor (e não das empresas envolvidas).

Para essas questões, a ACV, complementada pela AECV, são metodologias capazes de relacionar os impactos ambientais e os custos envolvidos nas etapas da gestão do RCD, de maneira a auxiliar na tomada de decisão para a alternativa mais ecoeficiente.

5.0. METODOLOGIA

Para execução dos objetivos propostos foi realizada: Caracterização do RCD brasileiro, visitas técnicas ao aterro sanitário classe IIA que atende à grande Florianópolis, visitas, entrevistas e pesquisas de preços de mercado às empresas que trabalham com reciclagem de entulho na região, para a elaboração de fluxogramas dos processos e levantamento de dados para o Inventário do Ciclo de Vida (ICV), os quais são detalhados nos itens a seguir.

Por meio da Metodologia de ACV, baseada nas normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044, foram quantificados os impactos ambientais associados a cada cenário para os sistemas de produto, complementados pelos respectivos custos para a Análise Econômica de Ciclo de Vida (AECV) dos cenários de gerenciamento dos RCD.

A AECV foi conduzida com os mesmos cenários (denominados de alternativas de projeto) e fronteiras da ACV, sempre que possível, para o referido sistema de produto, que envolve os custos para o condicionamento do resíduo em matéria-prima secundária e sua disposição final.

A seguir, foi utilizado o método empregado por Charmondusit e Keartpakpraek (2011) com o propósito de analisar a consistência do indicador para ecoeficiência do serviço de gestão dos RCD Classe A (Figura 4).

Para esse método foram considerados os indicadores específicos alcançados pelas categorias de impacto julgadas como mais importantes (Depleção Abiótica, Potencial de Aquecimento Global e Consumo Energético) e os respectivos custos no ciclo de vida em cada cenário.

A variação nos resultados foi analisada em decorrência dos métodos de substituição, em seguida os gargalos do sistema de produto para a ACV e AECV foram identificados, bem como o cenário de maior rentabilidade. Por fim, procedeu-se a uma análise comparativa entre os cenários de melhor desempenho ambiental e econômico por meio de um indicador de ecoeficiência.

5.1. DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE PRODUTO

O Sistema de produto foi definido como o serviço de gerenciamento do RCD no tocante ao manejo dos rejeitos, excessos e

desperdícios que são gerados durante a construção civil na fase de operação, manutenção e demolição, comumente chamada de entulho, que é constituído de todo o material descartado por essas atividades. Todo o RCD foi considerado após a sua geração e destinação final em diferentes cenários que estão descritos no item 5.4.

De acordo com o estudo de Coelho e Brito (2013), o gerenciamento consiste no transporte do local de geração para aterros ou unidades de triagem, indo em seguida para as recicladoras para tratamento e processamento das matérias-primas secundárias, disposição em aterro e operação da planta de reciclagem.

Para esta avaliação, os impactos da planta de reciclagem em operação e do produto evitado pela substituição de matérias-primas virgens por recicladas foram considerados.

Então, levando em consideração os conceitos de ACV, em que a Unidade Funcional deve ser a mesma entre os produtos e os sistemas de produto, para permitir uma comparação justa e singular, o Sistema de Produto a ser avaliado se refere ao serviço de gerenciamento do RCD na grande Florianópolis.

5.2. DEFINIÇÃO DA UNIDADE FUNCIONAL (UF)

Um Sistema de Produto pode (o que acontece na grande maioria dos casos) possuir mais de uma função. A UF a ser escolhida geralmente é associada à principal função pela qual o produto ou serviço foi criado.

A UF mais coerente a ser analisada foi uma tonelada de resíduo de construção e demolição, gerenciada, de acordo com as práticas peculiares realizadas pela beneficiadora da região em estudo, pois, como já mencionado anteriormente, as características e métodos para reciclagem dos RCD variam de acordo com o local onde o resíduo foi gerado e os métodos pelo qual foi produzido.

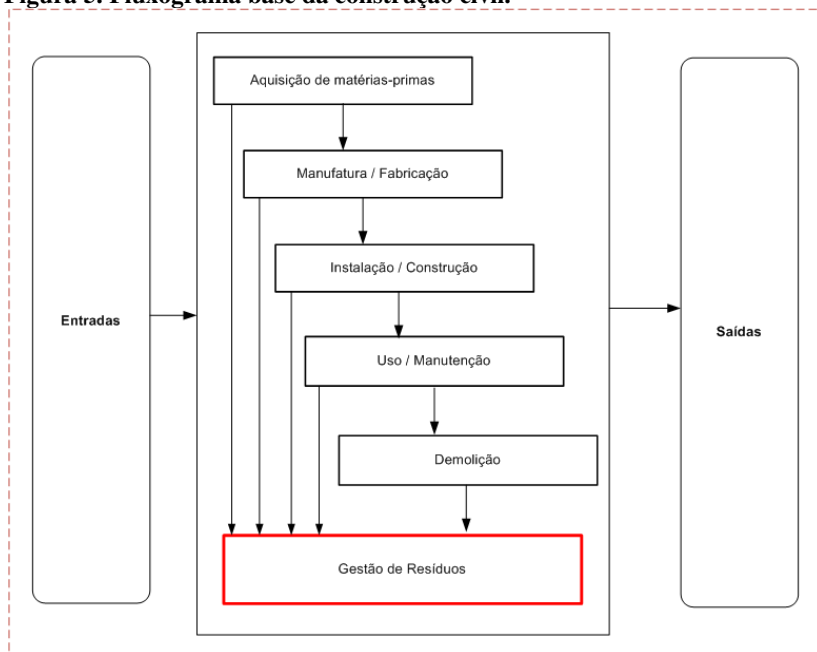
5.3. DELIMITAÇÃO DAS FRONTEIRAS DO SISTEMA

As fronteiras do sistema englobam todas as fases e etapas de fim de vida de uma construção civil, que corresponde aos serviços de gestão para disposição final dos seus resíduos. Isto inclui as possíveis tomadas de decisões que podem ser adotadas no Brasil.

Assim, no que se refere a este estudo, a metodologia de ACV permite, em sua definição, a exclusão dos estágios de ciclo de vida até antes de o produto virar resíduo (FINNVEDEN, 1999).

Desse modo, no estudo, o fluxo de entrada foi considerado o mesmo para todos os cenários. Ou seja, as etapas para a geração de tal fluxo (Figura 5) são consideradas iguais para os cenários propostos, o que permitiu desconsiderar as etapas anteriores e focar a análise exclusivamente no serviço de gerenciamento do RCD gerado.

Figura 5. Fluxograma base da construção civil.



O fluxograma na Figura 5 mostra o sistema de produto simplificado que acontece durante a construção civil. Para o serviço de gerenciamento do RCD nos cenários propostos (item 5.4) foi realizado o enfoque nas etapas de desperdícios e fim de vida de uma construção (Gestão de Resíduos).

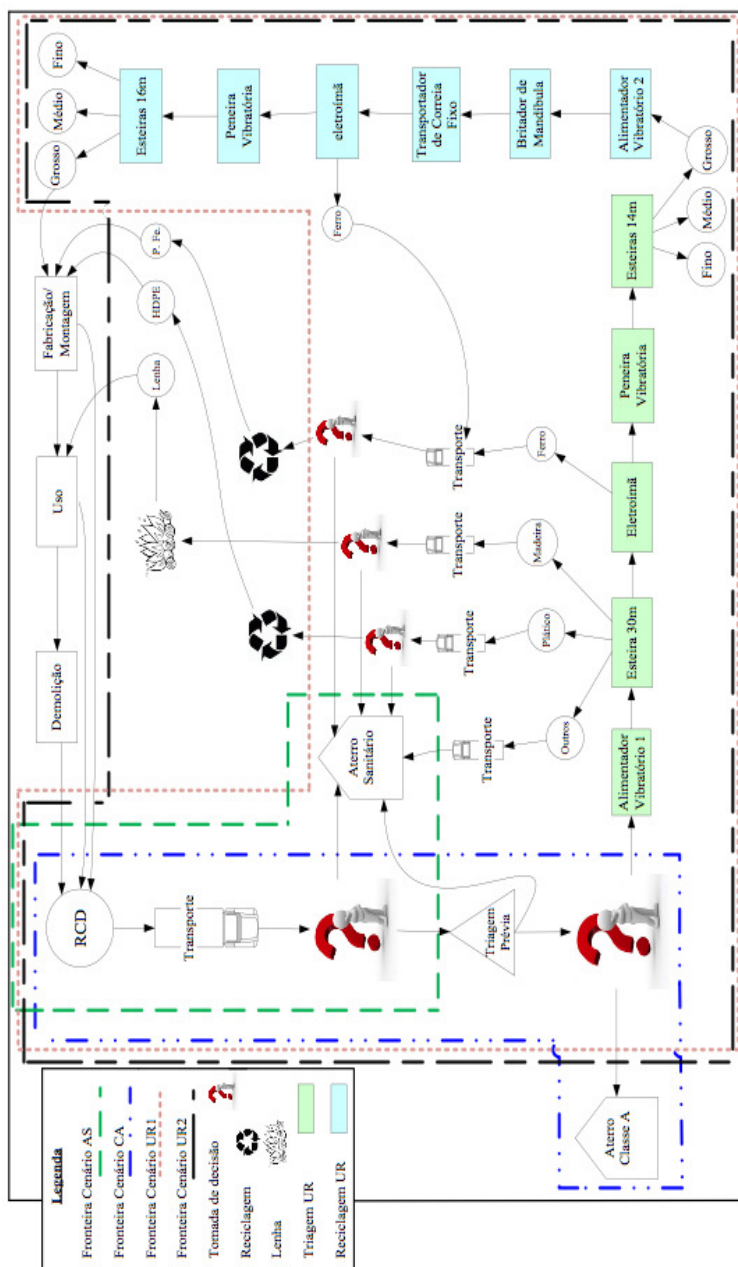
Desse modo, o sistema de produto considera os impactos de transporte do RCD, todos os processos para o processamento do resíduo na reciclagem e disposição final conforme descritos nos itens a seguir.

5.4. CENÁRIOS DE GESTÃO DO RCD

Os cenários adotados para a disposição final foram baseados na prática mais usual da indústria de construção civil e no que sugerem as diretrizes do PNRS: Cenários de Reciclagem e Cenários de Aterramento.

Foram avaliados quatro cenários para gerenciamento e disposição final do RCD no Brasil: Aterro Sanitário Classe IIA (AS), Aterro Classe A (ou Aterro Inerte) (CA), Usina de Reciclagem 1 (UR1) e Usina de Reciclagem 2 (UR2) conforme apresenta a Figura 6.

Figura 6. Fluxograma das etapas da reciclagem do RCD.



5.4.1. Cenário Aterro Sanitário Classe IIA (AS)

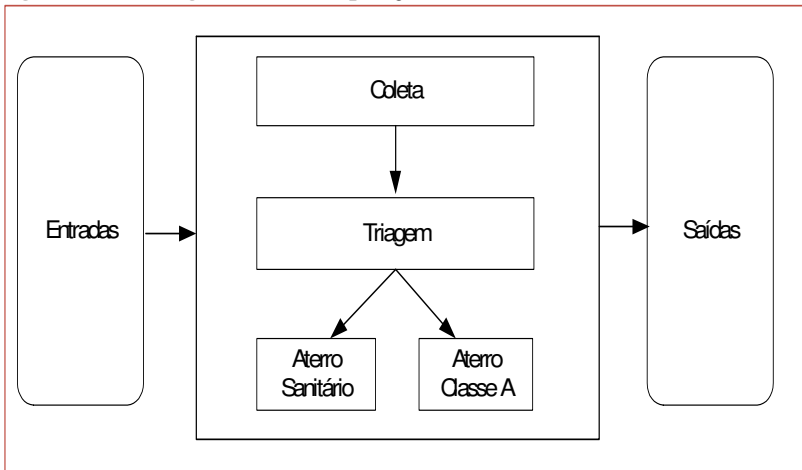
Este cenário (cuja fronteira está delimitada por uma linha pontilhada verde na Figura 6) considera a disposição de todo o RCD sem ser triado, ou seja, a coleta no lugar em que ele foi gerado, o transporte e a disposição em Aterro Sanitário Classe IIA. Este é o cenário base para comparação com as demais opções de disposição do RCD. Apesar de ilegal, ele ainda é praticado em cidades no Brasil.

5.4.2. Cenário Aterro Classe A (CA)

O cenário CA (cuja fronteira está delimitada por uma linha pontilhada azul na Figura 6) necessita de uma triagem prévia em que o resíduo classe A é separado dos demais (madeira, plástico, ferro e outros) a fim de reservá-lo em um galpão especial para resíduos inertes conforme o PNRS.

Neste cenário, são contabilizadas as emissões para o ar, solo e água subterrânea, como Ortiz *et al.* (2010) fizeram em um aterro sanitário, e todos os custos envolvidos durante esta operação como Norris (2001) fez para uma AECV.

Figura 7. Fluxograma da disposição do RCD em Aterro Classe A.



Devido ao fato de a grande Florianópolis possuir somente Aterro Classe A licenciado para pessoa física (até 1t por pessoa), e de ser de responsabilidade do gerador a gestão e disposição final do RCD por parte das construtoras, foi considerada, a título de comparação, a mesma quantidade que vai para os cenários de reciclagem e como sendo um Aterro Classe A de propriedade do gerador.

5.4.3. Cenário Usina de Reciclagem 1 (UR1)

No cenário UR1 (cuja fronteira está limitada por uma linha pontilhada vermelha na Figura 5), o RCD é transportado para a Usina de Reciclagem onde é triado. Os resíduos classe B oriundos da triagem são encaminhados para o aterro sanitário classe IIA, e os resíduos classe A seguem para processamento na planta de reciclagem na produção de agregado reciclado (Fino, Médio e Grosso).

5.4.4. Cenário Usina de Reciclagem 2 (UR2)

No cenário UR2 (cuja fronteira está limitada por uma linha pontilhada preta na Figura 6), o RCD é transportado para a Usina de Reciclagem onde é triado. Os resíduos triados são beneficiados em matéria-prima secundária para suprimento do mercado de areia, cascalho, brita, plástico, metal reciclável e madeira para reutilização como fonte de energia (lenha). Os demais resíduos são encaminhados ao aterro sanitário classe IIA.

Não foram avaliados dispêndios econômicos para o cenário UR2 por falta de acessibilidade e carência de dados, uma vez que ele inclui os processos de reciclagem do plástico e do metal.

Apesar de esses coprodutos representarem respectivamente 1,14% e 1,29% em massa do RCD, isso não permite afirmar que eles são desprezíveis em termos de custos na referida alternativa de projeto. Assim como para os aspectos ambientais, tais frações representam importante diferença.

5.5. ANÁLISE DE INVENTÁRIO

A etapa de Análise de Inventário, que inclui a coleta de dados, se deu prioritariamente de fontes primárias sempre que possível, em que foi possível obter a planta do projeto, dados relativos ao maquinário

para tratamento dos resíduos, transporte, energia, aditivos e produção do material reciclado e respectivos fluxos para ACV: Energia, óleo diesel, RCD, madeira, plástico, metal, resíduo classe A e agregado reciclado, contribuídos por empresas que atuam no mercado em Santa Catarina.

Em complementação, foram consultados alguns fornecedores de máquinas de reciclagem de entulho, concessionárias e da própria literatura em estudos da área. Quando não, recorreu-se ao banco de dados da *Ecoinvent* por meio do software Sima-Pro 8.0 ou de outros estudos já realizados ou da própria literatura.

Os fluxos (monetários) de entrada e saída não foram necessariamente os mesmos utilizados na ACV, pois eles não estão apenas relacionados a entradas físicas, mas sim a toda atividade ou material que represente algum custo financeiro, porém está intimamente relacionada às entradas e saídas consideradas para a ACV, sempre que possível dentro de suas fronteiras.

Na AECV foram realizadas previsões econômicas ao longo da vida útil das alternativas de projetos (cenários). Os custos de coleta, transporte, operação, uso e manutenção do maquinário, operadores, estoque e desativação foram inventariados com suas respectivas Taxas de Descontos (NORRIS, 2001; NATO, 2007; SANTOS E FERREIRA, 2012)

Suposições sobre as futuras tendências econômicas, incluindo inflação, taxa de desconto (depreciação), juros e preços do consumo energético complementaram as previsões econômicas (APÊNDICE B).

Desse modo foi adotada a variação média (crescimento) dos 10 anos anteriores para o óleo diesel e salário mínimo, depreciação para veículos, tratores e maquinários sugerida pela Receita Federal e por Hirschfeld 1988. Para Inflação foi adotado o limite superior da Meta para inflação no Brasil (Banco Central do Brasil) para custos de energia, veículos novos, valorização do terreno, serviços de coleta, manutenção, terceirização veicular, licenciamento e estudos ambientais.

Todos os dados inventariados foram custeados em valor de mercado e atribuídos sua parcela de custo à unidade funcional (UF). Dessa forma obteve-se o custo para gestão de uma tonelada de RCD e também o custo de cada etapa que compõe este serviço, a fim de facilitar a tomada de decisão como objetiva a metodologia em analogia à ACV.

Para inventariar o material a ser evitado, foram tomados como base os principais fornecedores das respectivas matérias-primas para as

construtoras, bem como custos para as técnicas de extração, rotas e manipulação, desperdício, quantidade utilizada durante os processamentos e, porventura, informações complementares da base de dados da *Ecoinvent*.

Assim, foram realizadas relações matemáticas do produto evitado com a matéria-prima virgem, o consumo e as emissões evitadas com os respectivos custos evitados. Para isso foi criada uma nova alternativa de projeto (inserida nas alternativas de reciclagem), na qual foram considerados os custos para produção de agregados finos, médios e grossos provenientes de recursos naturais (areia, cascalho e brita respectivamente).

Como se trata de uma comparação entre alternativas de disposição do RCD, foi adotado o mesmo horizonte temporal para a ACV e AECV, de maneira a evitar influências equivocadas à UF para as alternativas, em virtude, principalmente, da oscilação econômica ao longo dos anos. Assim, os referidos custos se deram em analogia às mesmas fronteiras do sistema de produto delimitado para a ACV (NORRIS, 2001; COELHO e BRITO, 2013).

Desse modo, as alternativas de projeto avaliaram um período de 50 anos. As alternativas de reciclagem, em função da vida útil dos equipamentos. As alternativas de aterramento, a título de comparação, tendo em vista que a vida útil do aterro descrito no projeto é de 20 anos (sendo passível a renovação deste prazo).

Os custos das operações de manutenção, de reparação e das estruturas estão sujeitos ao local geográfico, portanto, se tais custos não fossem os mesmos, foram considerados os mais similares sempre que possível, a fim de realizar uma comparação com foco no desempenho ambiental e econômico do gerenciamento do RCD entre as alternativas de projeto.

5.5.1. Requisitos dos Dados

Os dados associados aos processos elementares foram preferencialmente coletados no local de trabalho, sempre que possível e dentro das fronteiras do sistema. Quando não foi possível, foram calculados por meio de outras fontes ou recorrido a fontes secundárias e da literatura.

Por exemplo, para o transporte, a base de dados oferecida pelo Sima-Pro 8.0 possui uma ampla variedade de veículos, alguns deles são

comparados aos utilizados no Brasil, sendo os mesmos conferidos e expressos claramente a fim de dar credibilidade aos dados do estudo.

Por se tratar de uma análise comparativa entre cenários com destinos paralelos utilizados comumente nas cidades brasileiras, foram de suma importância alguns requisitos de qualidade dos dados, como:

- Cobertura temporal: que os dados de fonte primária não ultrapassassem 5 anos ou 20 anos para os dados literários;
- Cobertura geográfica: que esses dados fossem todos referentes ao estado de Santa Catarina com exceção dos cenários de aterro, nos quais houve complementação com dados do estado de São Paulo;
- Cobertura tecnológica: que os métodos de fabricação e aplicação/uso fossem sempre equivalentes (quando não os idênticos) aos utilizados nos sistemas de produto e devidamente identificados;
- Completeza e/ou representatividade dos dados adquiridos: que, quando fossem necessários cálculos ou estimativas aproximadas por falta de dados primários, estes fossem devidamente comprovados a fim de dar credibilidade.

5.5.2. Pressupostos e Critérios de Corte

Alguns pressupostos tiveram que ser assumidos a fim de garantir a viabilidade da análise e o correto delineamento das fronteiras, bem como o fechamento do ciclo de vida, evitando assim equívocos ou que o estudo entrasse em um “loop” infinito de matéria e energia.

A fim de manter uma comparação justa entre os cenários, para a etapa de transporte foi considerado o mesmo veículo, uma distância de 20 km e as mesmas condições de rodovias para todas as rotas de transporte até a disposição final, tendo em vista que esta etapa é bastante influente em estudos de ACV.

É considerada uma homogeneidade para os RCD ao assumir as características médias de cidades Brasileiras (Tabela 2) já descritas anteriormente para sua composição com dados literários.

Admite-se, nos cálculos, a geração do RCD no mesmo local para todos os cenários, com o mesmo meio de transporte para todas as rotas. Os processos foram considerados com 100% de eficiência e perda de massa por particulado desprezível.

Os impactos de fabricação e disposição final do maquinário foram desprezados com base no critério de corte estabelecido pela NBR ISO 14044 que relata que, se esse impacto for insignificante (até 1% do impacto do sistema de produto) devido ao fato de sua vida útil ser muito longa se comparada à sua produção, o mesmo pode ser considerado desprezível.

5.6. AVALIAÇÃO DE IMPACTO

Esta fase da ACV foi realizada com o auxílio do software Sima-Pro 8.0, com direito adquirido pelo Grupo de Pesquisa em Análise de Ciclo de Vida (CICLOG) do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

O método utilizado foi o CML 2001 *baseline* (v3.0), desenvolvido pelo Centro de Ciência Ambiental da Universidade Holandesa de Leiden (*Faculty of Science, Institute of Environmental Sciences, Leiden Universiteit, Netherlands*), adaptado pelo Grupo de Pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida da Universidade Federal de Santa Catarina (CICLOG), em adição ao método Demanda Acumulada de Energia (CED, sigla em inglês). Este método é o mais utilizado pelo CICLOG há alguns anos, sendo por isso mais familiar. O método discorre por meio da abordagem “*midpoint*”, que aponta valores de indicadores de impacto após apenas uma caracterização.

As categorias de impacto avaliadas pelo método são: Potencial de Acidificação, Potencial de Aquecimento Global, Potencial de Eutrofização, Potencial de Ecotoxicidade da Água Doce, Potencial de Ecotoxicidade da Água Marinha, Potencial de Toxicidade Humana, Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio, Potencial de Ecotoxicidade Terrestre, Depleção da Camada de Ozônio e Depleção Abiótica.

A escolha das categorias como indicadores ambientais para análise do inventário é sempre uma escolha sensível e subjetiva em ACV (BLENGINI e GARBARINO, 2010).

Ortiz et al. (2010) apontam que o Consumo energético e o Potencial de Aquecimento Global são considerados de fato mais relevantes e estão presentes na maioria das pesquisas científicas que envolvem ACV.

Os impactos julgados a priori por representarem aparentemente impactos diretos ao meio ambiente foram: Consumo Energético, Potencial de Aquecimento Global em um horizonte de 100 anos e

Depleção Abiótica. O primeiro devido à alta demanda de energia necessária para a fabricação de produtos da indústria de construção civil, em sequência as emissões de gases durante as etapas de produção de agregados, decomposição dos resíduos e transportes, e o terceiro, repectivamente, aos impactos no solo, aquíferos, prospecção do petróleo e demais influências causadas pela extração de novas matérias-primas quando não aproveitados os RCD.

Foram utilizados dados de normalização baseados nos dados do método CML-IA (v3.0) no ano de 2000 para Potencial de Aquecimento Global (100 anos) e Depleção Abiótica.

Este método utiliza o impacto ambiental obtido no processo referente à sua caracterização, dividido pelo impacto mundial da categoria de impacto avaliada, para o cálculo de sua normalização. Desse modo, as unidades são canceladas obtendo-se um valor adimensional (normalizado).

Em adição, para normalização da Demanda Acumulada de Energia, foram utilizados dados de caracterização do método CED e do consumo mundial de energia retirados da *U.S. Energy Information Administration* também referentes ao ano 2000.

5.7. INTERPRETAÇÃO

Realizou-se uma análise preliminar geral para todas as categorias de impacto para, em sequência, validar aquelas que foram preestabelecidas. Foi avaliado também cada cenário individualmente, de acordo com as categorias de impacto selecionadas de modo a possuir uma representação fiel às questões apontadas no objetivo do estudo.

Após a análise individual, foi feita uma comparação entre os cenários de reciclagem e os cenários de aterro a fim de levantar gargalos que possam facilitar a tomada de decisão com base nos impactos ambientais e nos custos de ciclo de vida.

5.8. PROCEDIMENTO DE SUBSTITUIÇÃO E A INFLUÊNCIA DA FRONTEIRA NO SISTEMA DE PRODUTO

A usina de reciclagem pode ter coprodutos oriundos da etapa de triagem do RCD. Por isso, o impacto dos cenários de reciclagem foi avaliado, reposicionando a fronteira do sistema de modo a considerar o

beneficiamento dos demais coprodutos, como: plásticos, metais e madeira (cenário UR2).

A avaliação dos cenários de reciclagem foi realizada por meio do procedimento de substituição, uma vez que o RCD, ao sair da etapa de triagem, segue o processamento para a produção de novas matérias-primas análogas àquelas que são utilizadas para os mesmos fins provenientes dos recursos naturais.

Desse mesmo modo, para o plástico e metal, foram avaliados seus respectivos beneficiamentos até a produção da matéria-prima base (HDPE e Pastilhas de Ferro respectivamente) prontos para fabricação de demais produtos, assim como para o agregado reciclado (Fino, Médio e Grosso) na reciclagem do resíduo Classe A. A madeira triada não necessita de beneficiamento (nem transporte), pois ela já se encontra pronta para o uso como lenha.

O cenário UR1 considerou que ele objetiva apenas a reciclagem do resíduo classe A, deixando os demais resíduos como rejeitos a serem enviados ao aterro sanitário classe IIA, de maneira a estabelecer uma razão de ecoeficiência entre as Alternativas de Projeto, como fizeram Gu et al. (2008).

Este cenário é uma adaptação para fins de avaliação econômica, tendo em vista que a reciclagem do ferro e do plástico foi inviabilizada por questões de carência de dados para AECV.

A delimitação da fronteira para AECV se deu somente a considerar a extração de areia bruta, cascalho, brita e demais custos de produção desses recursos virgens, que são evitados por meio da reciclagem do agregado do RCD (cenário UR1), e com base também no preço de mercado no estado de Santa Catarina em 2013. Não foram considerados, portanto os custos causados e evitados por meio da reciclagem dos resíduos Classe B (como no cenário UR2 na ACV).

6.0. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O alcance dos resultados se deu primeiramente com a caracterização do RCD, seguido da ordem de execução da metodologia de ACV, onde, estabelecidos o objetivo e o escopo, foram obtidos primeiramente os dados para avaliação do Inventário de Ciclo de Vida, seguidos da Avaliação de Impacto preliminar geral do sistema de produto e particularmente em cada cenário de gestão.

Os resultados obtidos nessa última etapa permitiu interpretar e discutir sobre o desempenho ambiental e econômico para o alcance dos objetivos propostos na pesquisa, a fim de chegar a uma conclusão ímpar, acrescida de uma análise crítica e de recomendações.

6.1. INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA (ICV)

Esta etapa corresponde à coleta de dados. Eles foram coletados prioritariamente de fontes primárias contribuídas por empresas de reciclagem, empresas de mineração e saneamento, aterros sanitários, concessionárias, levando-se em consideração ainda os preços de mercado praticados em Santa Catarina. A complementação foi feita com elementos do banco de dados da *Ecoinvent*, mais precisamente usando o software Sima-Pro 8.0, além de outros estudos já realizados e da própria literatura.

6.1.1. Inventário de Ciclo de Vida (ICV) para ACV

A etapa de Análise de Inventário para a ACV correspondeu prioritariamente aos dados contribuídos por empresas de reciclagem e empresas de fornecimento de maquinários de mineração e reciclagem em Santa Catarina, quando foi possível obter a planta do projeto e respectivos fluxos para ACV: Energia, óleo diesel, RCD, madeira, plástico, metal, resíduo classe A e agregado reciclado (Fino, Médio e Grosso) de acordo com a Figura 8. Já os dados coletados para compor o ICV da ACV tradicional estão disponíveis nas Tabela 4, 5 e Tabela

Figura 8. Fluxograma do Sistema de Produto.

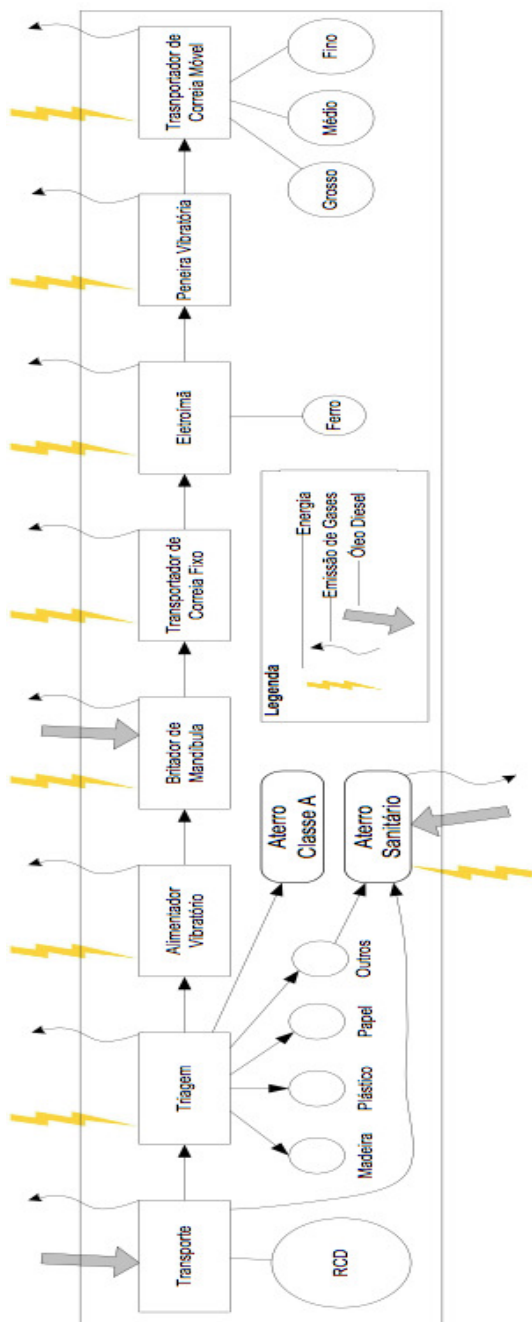


Tabela 4. ICV de dados primários dos cenários de reciclagem para uma IUF.

Usina de Reciclagem				
Etapa	Entrada elementar (KW.h)	Fluxo Intermediário (kg RCD)	Saída elementar	
Transporte	-	1000,0	-	
Triagem	Alimentador Vibratório	14,71	1000,0	-
	Esteira 30m	12,50	1000,0	26,8kg outros*
	Eletróimã	1,47	973,2	12,9kg de Metais
	Peneira Vibratória1	7,35	960,3	11,4 kg de Plástico/PVC
	Esteiras 16m	16,55	948,9	43,3 kg de Madeira
	Reciclagem	Alimentador Vibratório	18,39	905,6
Britador de Mandíbula		73,55	905,6	-
Esteiras 2m		0,02	905,6	-
Esteira 16m		11,03	905,6	305,6 kg de Fino
Peneira Vibratória 2		11,03	600,0	300 kg de Médio
Esteiras 16m		22,06	300,0	300 kg de Grosso
Disposição	Aterro Sanitário	-	26,8	-

*Outros: resíduos destinados ao Aterro Sanitário Classe IIA.

Nos cenários de reciclagem, os dados primários inventariados corresponderam às etapas da usina de reciclagem, maquinários, consumo energético e recebimento do RCD por beneficiadoras.

A fração correspondente aos metais, plástico/PVC e madeira, é encaminhada para o ferro-velho, recicladoras e beneficiadoras de fornos a lenha respectivamente. Desse modo, os impactos referentes a essas frações de RCD estão ligados ao do sistema de produto até o beneficiamento dos mesmos.

Tabela 5. ICV de dados primários do cenário CA para 1UF.

Aterro Classe A				
Etapa		Entrada elementar (KW.h)	Fluxo Intermediário (kg RCD)	Saída Elementar
Transporte			1000,00	
Triagem	Alimentador Vibratório	14,71	1000,00	-
	Esteira 30m	12,50	1000,00	
Disposição	9,44% Aterro Sanitário	-	1000,00	94,4 kg Classe B
	90,56% Aterro Classe A	-	905,60	905,6kg Classe A

O cenário CA considerou apenas algumas etapas da triagem utilizada nos cenários de reciclagem, pois, neste cenário, acontece apenas a separação dos resíduos classe A dos demais (classe B correspondente a 9,44% do RCD), que são dispostos em aterro sanitário comum.

Tabela 6. ICV de dados primários do cenário AS para 1UF.

Aterro Sanitário Classe IIA				
Etapa		Entrada elementar (KW.h)	Fluxo Intermediário (kg RCD)	Saída Elementar
Transporte		-	1000,00	-
Disposição	100% Aterro Sanitário			-
	Classe IIA	28,12	1000,00	

O cenário AS consistiu nos processos de transporte do RCD gerado até a disposição em aterro sanitário classe IIA. Este cenário, portanto, é baseado em dados da *Ecoinvent* e em dados do consumo de energia do Aterro Sanitário de Itajaí.

Os dados secundários do banco de dados da *Ecoinvent* utilizados em processos e subprocessos na modelagem dos cenários no Sima-Pro 8.0 foram adaptados à realidade brasileira.

6.1.2. Inventário de Ciclo de Vida (ICV) para AECV

Os dados inventariados para AECV, cujos resultados são apresentados nas Tabela 7, Tabela 8, Tabela 9 e Tabela 10 (referentes a 1UF) e detalhados no Apêndice B, aconteceram por meio de previsões econômicas considerando a variação média (crescimento) dos 10 anos anteriores para o óleo diesel e salário mínimo; depreciação para veículos, tratores e maquinários sugerida pela Receita Federal e por Hirschfeld (1988). Para Inflação foi adotado o limite superior da Meta para inflação no Brasil (Banco Central do Brasil) para custos de energia, veículos novos, valorização do terreno, serviços de coleta, manutenção, terceirização veicular, licenciamento e estudos ambientais.

Tabela 7. Inventário Econômico de Ciclo de Vida do cenário UR1.

Usina de Reciclagem (UR1)				
	Etapas	Quantidade (UF)*	Custo (R\$)*UF	Custo (R\$)
Transporte	Óleo Diesel ^{2;8} (L)	1,970	7,713	7,950
	Motorista ^{1;4}	4	0,237	
	Óleo Trator ¹ (L)	0,222	0,869	
Triagem	Funcionários ^{1;4}	4	2,097	16,427
	Disposição AS	0,027	10,506	
	Consumo ^{3;4} (kw.h)	1,169	2,944	
	Manutenção ^{1;4}	1/3 anos	0,010	
	Óleo Diesel ^{1;2} (L)	0,004	0,015	
Reciclagem	Funcionários ^{1;4}	3	2,844	10,628
	Consumo ^{3;4} (kw.h)	3,024	7,619	
	Manutenção ^{1;4}	3,9E-06	0,150	
CCV evitado	Fino natural (kg)	305,6	-19,936	-59,079
	Médio natural (kg)	300	-19,571	
	Grosso natural (kg)	300	-19,571	
Instalações	Funcionários ^{1;4}	1	2,015	8,167
	Caminhão ⁶	4	1,316	
	Trator ⁵	1	7,331	
	Maquinário ^{1;4}	1/50anos	0,300	
	Terreno ¹ (m ²)	2.104	-3,098	
	Licenciamento/ Estudos Ambientais ⁷		0,303	
CCV UR		1UF	-15,906	43,172

¹SCRECIBRAS; ²Preço combustível SC; ³CELESC; ⁴MAPRE; ⁵KOMATSU; ⁶Tabela FIPE; ⁷Akos Consultoria Ambiental; ⁸BATTISTELLA Veículos Pesados.

Tabela 8. Inventário Econômico de Ciclo de Vida do cenário CA.

Cenário Aterro Classe A (CA)				
	Etapas	Quantidade (UF)*	Custo (R\$)/UF	Custo (R\$)
Transporte	Óleo diesel ¹ (L)	1,969	7,713	7,950
	Motorista ²	4	0,237	
	Funcionários	4,000	2,097	
Triagem	Disposição AS (Kg)	94,4	10,506	14,266
	Consumo (kw.h) ²	0,6046	1,663	
Instalações	Máquinas/Obras ^{2;3}	1/50anos	0,427	-7,154
	Caminhão ⁴	4,000	1,316	
	Terreno ³ (m ²)	50000	-9,294	
	Licenciamento/ Estudos ambientais ⁵		0,397	
	CCV	1 t gerenciada	15,063	

¹BATTISTELLA Veículos Pesados; ²MAPRE; ³São João da Boa Vista; SP Vista; ⁴Tabela FIPE; ⁵Akos Consultoria Ambiental.

Tabela 9. Inventário Econômico de Ciclo de Vida do cenário AS.

Cenário Aterro Sanitário Classe IIA (AS)				
	Etapas	Quantidade (UF)*	Custo (R\$)/UF	Custo/etapa (R\$)
Transporte	Óleo Diesel ¹	1,80	7,048	7,29
	Motorista ²	15,00	0,246	
	Caminhões ^{2;3}	6,00	14,352	
	Tratores ^{2;3}	10,00	58,300	
	Diesel ²	1,489	5,831	
	Consumo ⁶ (kw.h)	0,003	10,481	
Instalações	Máquinas/obras ⁴		5,657	91,371
	Funcionários ²	87,00	12,633	
	Terreno ⁴ (m ²)	180.000,00	-18,339	
	Licenciamento/ Estudos Ambientais ⁵		2,456	
CCV	1UF	98,665	98,665	

¹BATTISTELLA Veículos Pesados; ²Aterro Sanitário Biguaçu; ³KOMATSU; ⁴São João da Boa Vista - SP; ⁵Akos Consultoria Ambiental; ⁶Aterro Sanitário de Itajaí.

Tabela 10. Inventário Econômico de Ciclo de Vida do produto evitado.

Agregado Natural				
	Etapas	Quantidade	Custo (R\$/t)	Custo/etapa (R\$)
Preparo	Escavadeira ¹	1	6,255	28,699
	Perfuratriz Hidráulica ¹	1	6,255	
	Minas ²	54	8,127	
	Funcionários ¹	60	7,549	
	Óleo diesel ³	0,08	0,313	
	Licenciamento ⁴	-	0,200	
Pré-Beneficiamento	Escavadeira/Rompedor ¹	1	6,255	14,208
	Escavadeira ^{1:3}	1	6,255	
	Carregadeira ^{1:3}	1	1,292	
	Caçamba ^{1:3}	5	0,406	
Beneficiamento		1/50 anos	16,171	16,171
CCV		-	59,079	59,079

¹CERB; ²EXPLOPAR; ³KMATSU; ⁴Akos Consultoria.

6.2. AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA (AICV)

6.2.1. AICV no cenário AS

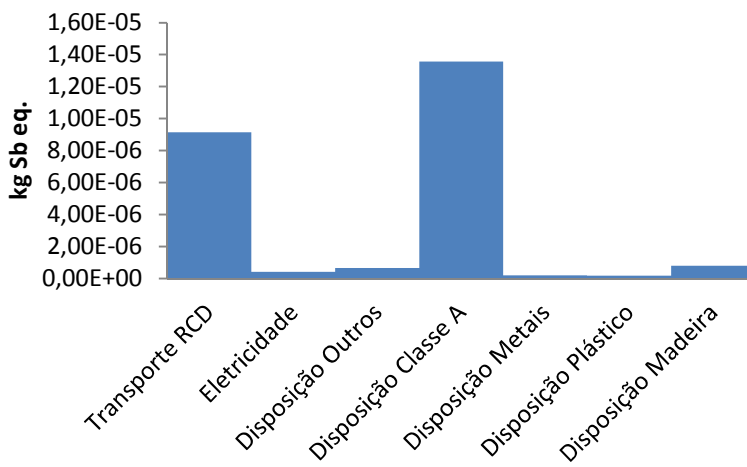
O cenário que consiste em encaminhar o RCD para o aterro sanitário classe IIA o faz em duas etapas: transporte e disposição em aterro sanitário classe IIA.

A etapa de Disposição em aterro sanitário classe IIA se mostrou como mais representativa para as três categorias de impacto avaliadas e foi representada diferenciando-se entre os resíduos classe A, metais, plástico/PVC, madeira e outros como se mostra a seguir.

6.2.1.1. AS - Depleção Abiótica

A Figura 9 mostra que, no cenário AS, a etapa de disposição em aterro sanitário classe IIA se faz mais impactante para os recursos abióticos, com 61,03% do total (incluindo os resíduos Classe A, B e Eletricidade com respectivamente 55,1%, 5,8% e 1,7% dos impactos, Apêndice A).

Figura 9. Participação de impacto do cenário AS para Dep. Abiótica.



Isto acontece predominantemente devido a dois fatores: primeiro aos impactos de construção da infraestrutura (44,5% do

impacto total para este cenário) e dos processos de prospecção do petróleo, refino e condicionamento para a fabricação da manta impermeabilizante do aterro.

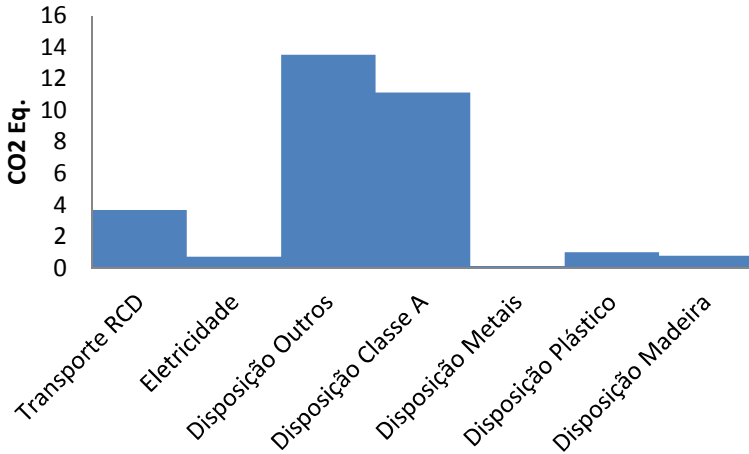
Em segundo devido aos processos específicos que acontecem durante a operação do aterro sanitário classe IIA com 12,62% do impacto total para este cenário, principalmente no tratamento de água e do esgoto com 5,25% e 6,37% respectivamente (Apêndice A).

Nas etapas que compreendem o transporte, o mesmo se torna bastante impactante porque o consumo de óleo diesel repercute na Depleção Abiótica. Em sequência estão as manutenções dos veículos relativos ao transporte com 27,4% dos impactos (Apêndice A).

6.2.1.2. AS - Aquecimento Global (GWP)

Na etapa de Disposição AS, a fração do resíduo Classe B (correspondente a 9,44% em massa) é responsável por 46,81% das emissões atmosféricas, enquanto que a fração Classe A (correspondente a 90,56% em massa) é responsável por apenas 36,4% das emissões (Apêndice A).

Figura 10. Participação de impacto do cenário AS para GWP.

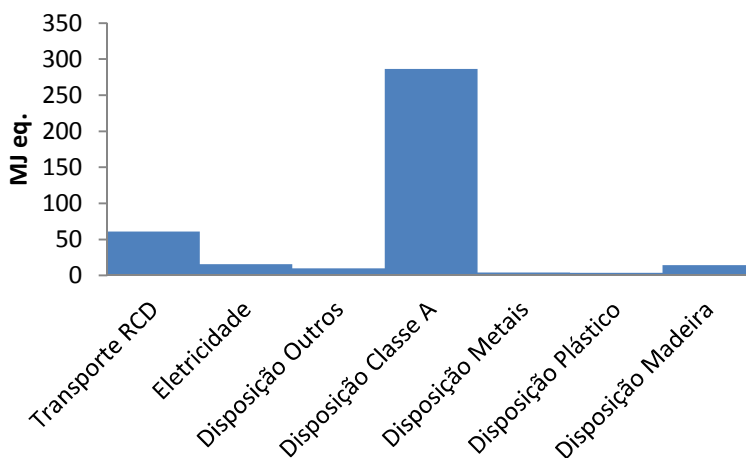


Os impactos para Aquecimento Global (Figura 10) se concentraram também na etapa de disposição em aterro sanitário classe IIA. Em sequência estão as construções e infraestrutura com 22,2%, processos específicos e decomposição dos resíduos no aterro sanitário classe IIA com 15,2%, dentre outros (Apêndice A).

6.2.1.3. AS - Demanda Acumulada de Energia (CED)

Os impactos relacionados à Demanda Total de Energia se deram principalmente com a disposição do resíduo no aterro sanitário classe IIA (77% do total, Apêndice A), em que 73,3% se referem à fração Classe A por causa da sua maior massa (90,65%).

Figura 11. Participação de impacto do cenário AS para CED.



Esta maior participação está relacionada principalmente à construção e infraestrutura do aterro que demandam alto consumo de energia com 59,3% dos impactos para este cenário e 18,6% da energia para encargos específicos do processo (Apêndice A).

Os processos de queima de combustíveis para fornecimento de energia são contemplados nesta categoria. Eles representam 18,8% do total deste cenário e se referem ao consumo de máquinas do aterro (Apêndice A).

6.2.2. AICV no cenário CA

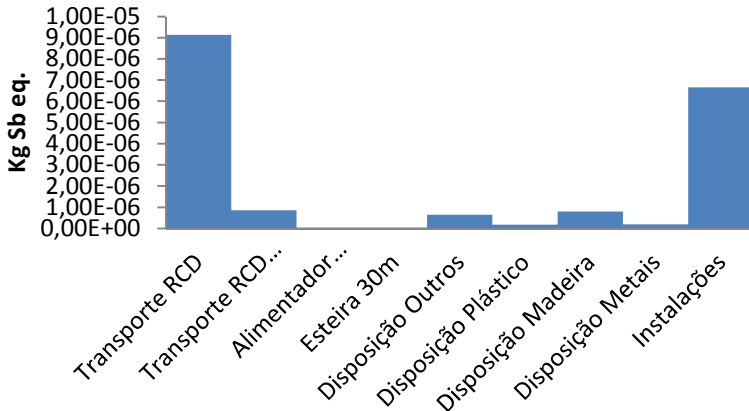
O cenário Aterro Classe A consiste em coletar o RCD para reservá-lo, como dispõe o PNRS. Este cenário consiste nas seguintes etapas: transporte triagem, disposição do resíduo Classe B e reservação do resíduo Classe A.

A etapa do gerenciamento que se fez mais impactante para Depleção Abiótica e Demanda Total de Energia foi a etapa de disposição do RCD classe A no aterro Classe A (ou aterro Inertes), cuja exceção foi o Aquecimento Global. Já etapa de aterro sanitário classe IIA foi a mais impactante.

6.2.2.1. CA - Depleção Abiótica

A Figura 12 mostra que a etapa de Transporte é a mais impactante com 53,8% dos impactos, seguida das instalações do Aterro CA (reservação do resíduo inerte) com 35,9% (Apêndice A). Disposição em aterro sanitário classe IIA e impactos para Triagem (Alimentador Vibratório e Esteira 30m) foram considerados desprezíveis.

Figura 12. Participação de impacto do cenário CA para Dep. Abiótica.



De todo o impacto proveniente deste cenário, o transporte representa 90,3% do total, que também ocorre nas operações e construção do aterro. Dentre esses subprocessos, 36,5% se referem aos

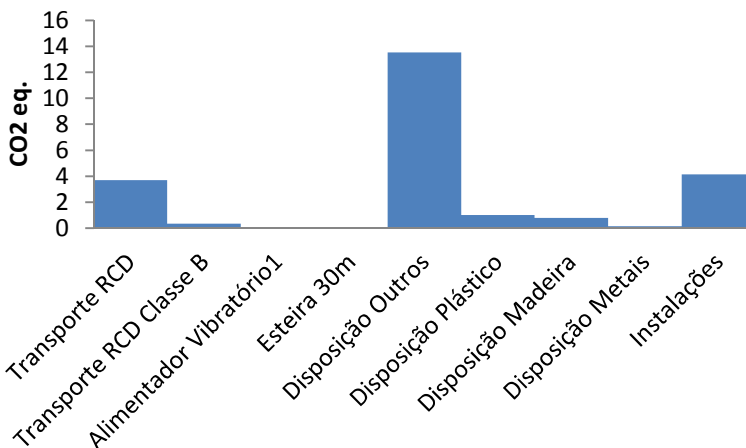
eletrônicos das unidades de controle, 32% à prospecção do chumbo e 13,3% à borracha sintética (Apêndice A).

Nas etapas que compreendem o transporte, ele se torna bastante impactante porque consome óleo diesel, que, por sua vez, possui alto fator de impacto para Depleção Abiótica já que é derivado de um recurso não renovável, o petróleo. Em sequência estão as manutenções com 33,5% dos impactos relativos ao transporte.

6.2.2.2. CA - Aquecimento Global (GWP)

No tocante às emissões responsáveis pelo Aquecimento Global (100 anos), apesar de apenas 9,44% do RCD (fração referente à Classe B) serem encaminhados para o aterro sanitário classe IIA, esta etapa é a mais impactante com 64,4% do total (Figura 13).

Figura 13. Participação de impacto do cenário CA para GWP.



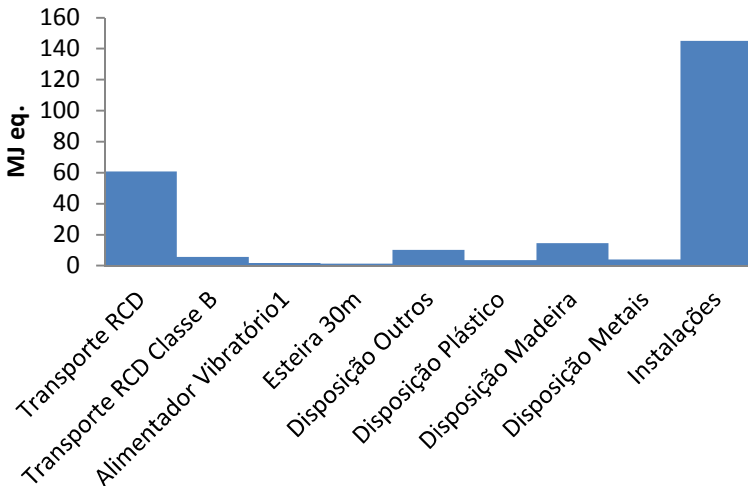
Isso é causado pelos gases provenientes da degradação que acontece nesta etapa (semelhante ao item 6.2.1.2), diferentemente do que acontece no aterro Classe A (inertes), em que são reservados, portanto, a degradação e geração de gases são mínimas ou nenhuma. Por sua vez, as emissões que mais impactam nesta etapa são as provenientes da construção da infraestrutura (17,3% do total para este cenário), em

que 12% são relativos aos transportes envolvidos na construção do aterro (Apêndice A).

6.2.2.3. CA - Demanda Total de Energia (CED)

Do total da demanda de energia neste cenário, 58,7% são referentes às instalações, onde, por sua vez, 43,9% dos impactos totais deste cenário são provenientes do consumo energético nas refinarias para produção da manta de impermeabilização (Apêndice A).

Figura 14. Participação de impacto do cenário CA para CED.



Em sequência está o transporte com 26,9% dos impactos no que se refere ao transporte do resíduo ao aterro, somados a 19,6% referentes aos transportes envolvidos na construção do aterro Classe A (Apêndice A).

Desse modo, percebe-se que os impactos de transporte são bastante influentes para esta categoria de impacto, o que, por sua vez, justifica o fato de a disposição dos resíduos Classe A (Instalações) impactarem mais, pois correspondem a 95,6% em massa do total e requerem mais energia para o manejo dessa maior massa.

Os processos de prospecção e refino do petróleo demandam bastante energia, sendo o principal gargalo para estes impactos relativos ao transporte (direta e indiretamente: refinaria, construção de rodovias, manutenção, etc.) no que diz respeito a todas as etapas deste cenário, com 83% da demanda total de energia.

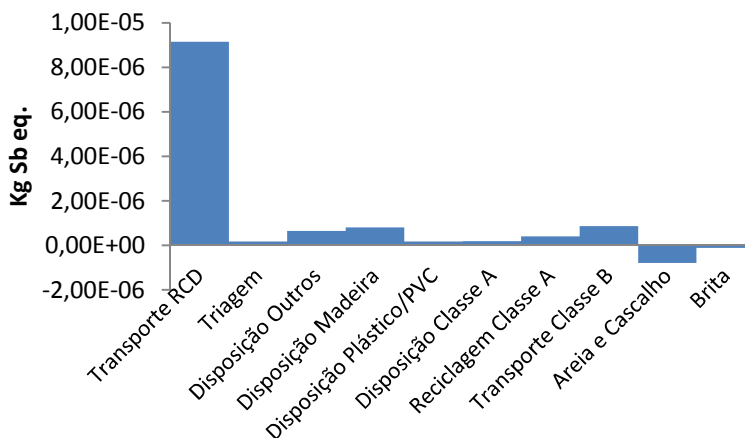
6.2.3. AICV no cenário UR1

No cenário UR1, a etapa de Transporte se fez mais impactante para Depleção Abiótica e Demanda Total de Energia. Já para Aquecimento Global (100 anos), a etapa de disposição em Aterro Sanitário Classe IIA se fez mais geradora de impactos.

6.2.3.1. UR1 - Depleção Abiótica

No serviço de gerenciamento do RCD para reciclagem de inertes, o transporte se fez mais impactante para os recursos abióticos com 80,6% dos impactos, seguido da disposição do RCD classe B com 14,75%. A reciclagem do resíduo Classe A apresentou-se como pouco impactante com 1,76% desses impactos referentes ao Britador de Mandíbula. Em sequência vieram as esteiras com 0,5% dos impactos (Apêndice A).

Figura 15. Participação de impacto do cenário UR1 para Dep. Abiótica.



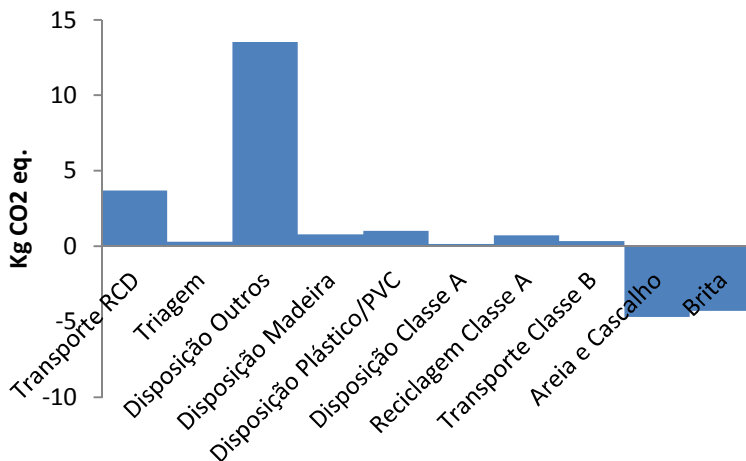
Os impactos elevados relativos ao transporte são provenientes da depleção de minerais como o chumbo com 32%, o ouro nas placas de circuito eletrônico com 26% e o zinco com 12,9% referente à borracha sintética. Os impactos da etapa de Disposição AS se devem principalmente às instalações e eletricidade com respectivamente 8,4% e 6,7% dos impactos para este cenário (Apêndice A).

Neste mesmo contexto, com a reciclagem do resíduo Classe A, o resíduo retorna ao mercado como agregado para produção de concretos para fins não estruturais na substituição de areia brita e cascalho, gerando, assim, um Produto Evitado e seu respectivo impacto ambiental associado equivale a 7% para a areia e cascalho e 1% para a brita.

6.2.3.2. UR1 - Aquecimento Global (GWP)

São grandes as diferenças de impacto entre as etapas para Aquecimento Global. As emissões acontecem principalmente na etapa de disposição em aterro sanitário classe IIA com 3,9% dos impactos para a disposição da madeira, 5% para a disposição do plástico e 65,7% dos impactos para a disposição de outros resíduos pela sua maior degradabilidade. Na etapa de transporte, a principal emissão se faz na operação com 19,6% dos impactos neste cenário (Apêndice A).

Figura 16. Participação de impacto do cenário UR1 para GWP.

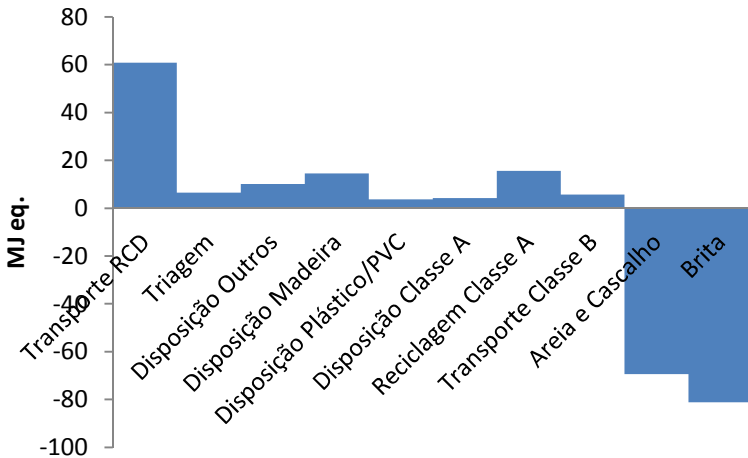


Para esta categoria de impacto são gerados 25% de impactos evitados com a substituição da areia e cascalho pelo agregado reciclado e 23% por evitar a extração de brita das jazidas.

6.2.3.3. UR1 - Demanda Total de Energia

A etapa de Transporte do RCD se faz mais impactante, perfazendo 55% do total, por causa da grande demanda de energia necessária à extração de recursos naturais, principalmente para a operação dos caminhões e rodovias (40,6% e 8% respectivamente para este cenário).

Figura 17. Participação de impacto do cenário UR1 para CED.



Em sequência vem a disposição de outros resíduos em aterro sanitário classe IIA com 26,76% dos impactos, sendo 18,3% referentes à energia demandada para a construção do aterro e 5,75% para os encargos específicos do processo (Apêndice A).

Por fim está a usina de reciclagem com 16,56% (Triagem e Reciclagem Classe A com respectivamente 6,14% e 10,42% dos impactos). Apenas o Britador de Mandíbula demanda 7,12% do total de energia para este cenário, porque, além do alto consumo energético, ele necessita de óleo diesel (Apêndice A).

Para Demanda Total de Energia, mais impactos evitados com potencial de evitar foram obtidos, em torno de 70% com a substituição da areia e cascalho, e 82% com a substituição da brita pelo agregado reciclado, pois esses materiais deixarão de ser produzidos de fontes naturais.

6.2.4. AICV no cenário UR2

O cenário UR2 mostrou maior geração de impactos evitados do que o cenário UR1, porque nele existem mais coprodutos e seus respectivos impactos evitados.

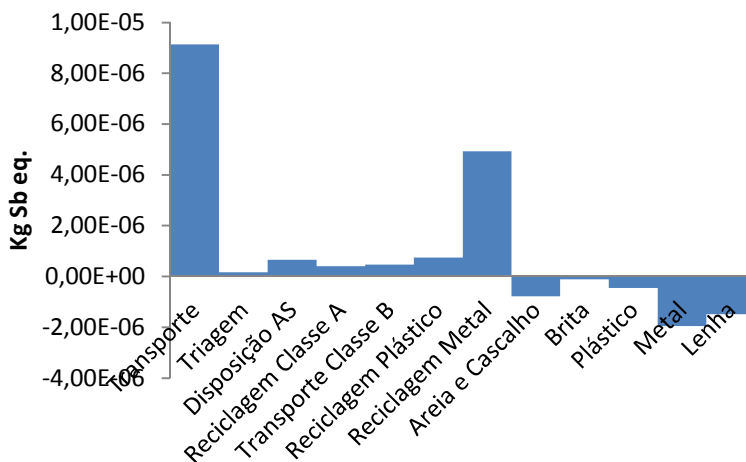
A reciclagem do resíduo Classe A, plástico, metais e reutilização da madeira gera também seus respectivos Produtos Evitados

e impactos ambientais associados com potencial de Impacto Ambiental Evitado, como mostram as Figura 18, Figura 19 e Figura 20.

Os maiores potenciais de impactos evitados estão na Demanda Total de Energia e Aquecimento Global no cenário UR2, devido principalmente aos impactos evitados na produção do plástico, visto que o mesmo requer alto consumo energético e emissões associadas à produção como demonstram os itens a seguir.

6.2.4.1. UR2 - Depleção Abiótica

Figura 18. Participação de impacto do cenário UR2 para Dep. Abiótica.



Para o cenário de reciclagem do RCD, as etapas que mais impactaram os recursos abióticos foram Transporte com 58,2% e a reciclagem dos metais com 29,8% dos impactos para este cenário (Apêndice A). O Transporte se faz mais impactante tendo em vista as mesmas questões abordadas no item 6.2.3.1.

Na etapa que envolve a reciclagem dos metais, 37,4% desses impactos correspondem à liga de cobre, 2,19% a sulfeto, Cu com 1,83% e Mo com 8.2E-3% no minério bruto com matéria-prima. Em seguida vem a liga de cobre com 28,5%, 1,18 % em sulfeto, Cu em 0,39% e Mo com 8.2E-3% no minério bruto como matéria-prima.

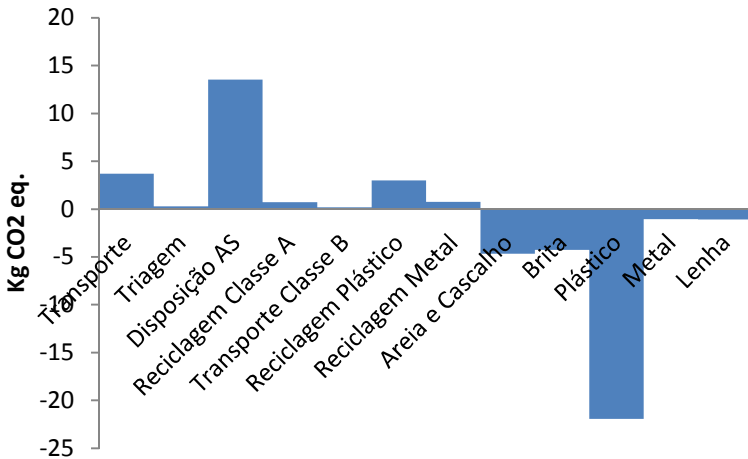
No tocante aos impactos evitados, o metal se sobressaiu, poupando 12% dos impactos na substituição do metal reciclado, em

sequência vieram areia e cascalho com 5%, plástico com 3% e brita com 1% desses impactos.

6.2.4.2. UR2 - Aquecimento Global (100 anos)

Similar ao cenário UR1, as maiores emissões estão na etapa de disposição em aterro sanitário classe IIA com 61%, seguido do transporte com 17,5% e reciclagem do plástico com 13,5% dos impactos totais (Apêndice A).

Figura 19. Participação de impacto do cenário UR2 para GWP.



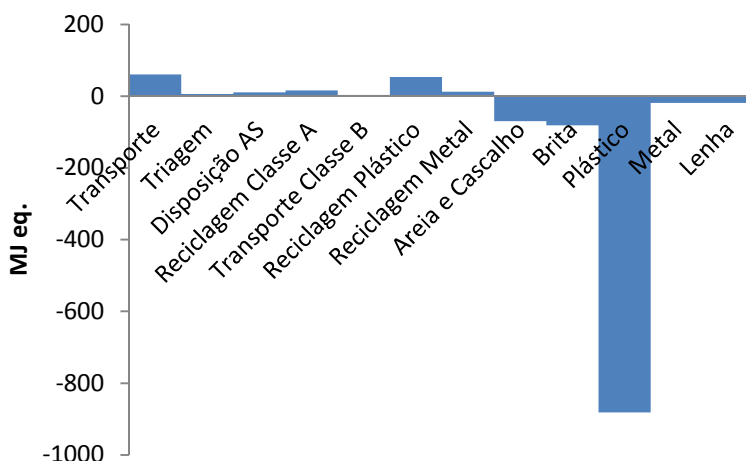
Neste cenário, a etapa de reciclagem do plástico sobressaiu como bastante impactante devido principalmente (e indiretamente) à demanda de energia necessária e do transporte inerente a este processo com respectivamente 5,96% e 5,22% dos impactos totais.

Assim como a reciclagem do plástico demanda bastante energia, produzi-lo por fontes naturais emitiria o equivalente a 99% dos impactos totais gerados neste cenário. Em sequência vem a produção de areia e cascalho com 21%, brita com 19%, lenha com 5% e metal com 5% dos impactos totais deste cenário.

6.2.4.3. UR2 - Demanda Total de Energia

No tocante à demanda de energia, transporte se apresentou como o mais impactante com 47% dos impactos para essa categoria, seguido da reciclagem do plástico com 32,7%, reciclagem do resíduo Classe A com 8,87% (Britador de Mandíbula com 5,34%), Reciclagem do metal com 7,76%, disposição em aterro sanitário classe IIA com 6,26% e triagem com 4,4% dos impactos (Apêndice A).

Figura 20. Participação de impacto do cenário UR2 para CED.



Como mencionado no item anterior, a etapa de reciclagem do plástico demanda alto consumo de energia e transporte em seu processamento, os quais, por sua vez, são responsáveis por 18,4% e 9,77% respectivamente de toda energia demandada.

Já a etapa de transporte se faz mais impactante pela alta demanda de energia nos procedimentos de extração e refino do petróleo, como já mencionado.

Os procedimentos de reciclagem do resíduo classe A, por se tratarem de procedimentos físicos e mecânicos, demandam bastante energia para quebra e manipulação. Os impactos desta categoria são praticamente provenientes das hidrelétricas.

Os impactos relativos à reciclagem dos metais são provenientes da queima do diesel das máquinas de reciclagem e também do transporte, com 3,6% e 5,6% respectivamente do total de impactos para esta categoria.

Os impactos para a triagem e a disposição em aterro sanitário classe IIA devem-se aos mesmos fatores para o cenário UR1 nesta categoria de impacto (item 6.2.3.3).

Neste cenário, a Demanda Total de Energia também representou maiores impactos evitados, em especial o plástico que, por sua vez, chegou ao potencial de evitar em até 545% os impactos causados neste cenário em função da alta demanda de energia na sua produção, como mencionado no item anterior. Em sequência vem a substituição da brita pelo agregado natural com a poupança de 50% dos impactos, areia e cascalho com 43%, lenha com 12% e metal com 12%.

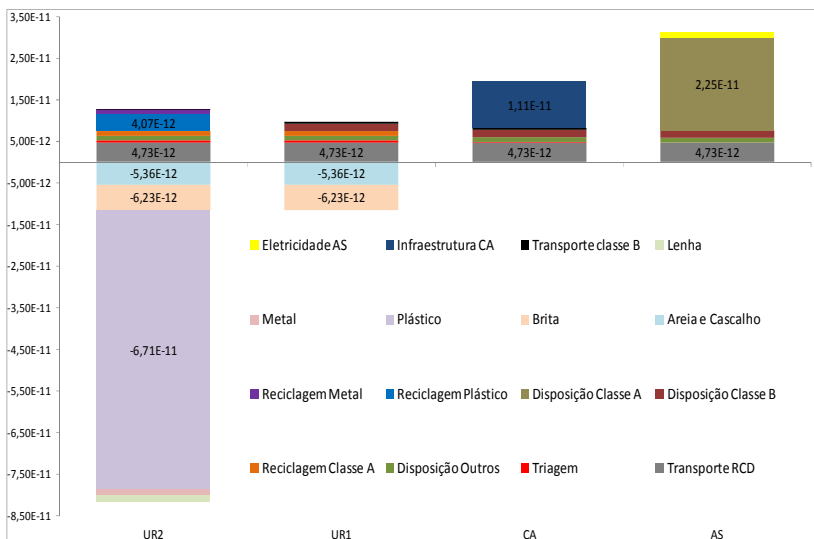
6.3. COMPARAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS ENTRE CENÁRIOS

Ao adotar uma escolha, é preciso abrir mão de outras. O conceito de Produto Evitado se encaixa nesta situação, cuja tomada de decisão gera consequências em outros sistemas de produto que estejam, mesmo que indiretamente, ligados em algum momento ao seu ciclo de vida.

O mesmo acontece com os impactos ambientais associados. A tomada de decisão também gerará impactos e evitará aqueles que são inerentes a outras alternativas, ou seja, aquelas que não foram escolhidas e, portanto, não foram praticadas.

Isto aconteceu nos cenários de reciclagem, em que é possível que alguns produtos retornem ao mercado, evitando assim que sejam produzidos novos materiais provenientes de recursos naturais e seus respectivos impactos ambientais. A Figura 21 mostra a soma dos impactos ambientais normalizados (calculados conforme o item 5.6) para cada cenário.

Figura 21. Impactos Ambientais normalizados por cenário para 1UF.



Os cenários de aterramento se mostraram mais impactantes em relação aos de reciclagem para todas as categorias de impacto ambiental, fato constado por autores como Biswas, 2008; Coelho e Brito, 2013; Ortiz et al., 2010. Em alguns casos, o cenário AS chega a atingir mais que o dobro do impacto para os cenários de reciclagem.

A Caracterização pelo método CML 2001, apresentado na Tabela 11, demonstra os impactos ambientais de cada cenário por categoria avaliada. Seu detalhamento está a seguir.

Tabela 11. Resultado geral dos impactos ambientais para 1UF.

Cenário		UR2			UR1			CA			AS		
Categoria de impacto		GWP	Dep. Abiótica	CED	GWP	Dep. Abiótica	CED	GWP	Dep. Abiótica	CED	GWP	Dep. Abiótica	CED
Triagem	Al. Vibratório1	0,075	4,37E-08	1,632	0,075	4,37E-08	1,632	0,075	4,37E-08	1,632			
	Esteira 30m	0,064	3,72E-08	1,387	0,064	3,72E-08	1,387	0,064	3,72E-08	1,387			
	Eletroímã	0,008	4,37E-09	0,163	0,008	4,37E-09	0,163						
	Peneira Vib.1	0,038	2,19E-08	0,816	0,038	2,19E-08	0,816						
	Esteira 14m	0,113	6,56E-08	2,448	0,113	6,56E-08	2,448						
Reciclagem Classe A	Al. Vibratório2	0,094	5,47E-08	2,040	0,094	5,47E-08	2,040						
	Britador	0,408	2,19E-07	8,626	0,408	2,19E-07	8,626						
	Esteira 2m	0,015	8,75E-09	0,326	0,015	8,75E-09	0,326						
	Eletroímã	0,008	4,37E-09	0,163	0,008	4,37E-09	0,163						
	Peneira Vib.2	0,056	3,28E-08	1,224	0,056	3,28E-08	1,224						
	Esteira2 16m	0,113	6,56E-08	2,448	0,113	6,56E-08	2,448						
	Esteira 14m	0,038	2,19E-08	0,816	0,038	2,19E-08	0,816						
Reciclagem do Plástico		2,990	7,44E-07	52,868									
Reciclagem do Metal		0,744	4,93E-06	12,544									
Transporte	RCD	3,694	9,14E-06	60,827	3,694	9,14E-06	60,827	3,694	9,14E-06	60,827	3,694	9,14E-06	60,827
	Plástico	0,042	1,04E-07	0,693									
	Outros	0,099	2,45E-07	1,630	0,349	8,63E-07	5,742	0,349	8,63E-07	5,742			
	Metal	0,048	1,18E-07	0,785									
Produto / Impacto Evitado	Areia e Cascalho	-4,680	-7,82E-07	-69,413	-4,680	-7,82E-07	-69,413						
	Brita	-4,266	-1,13E-07	-81,093	-4,266	-1,13E-07	-81,093						
	Plástico Natural	-21,936	-4,52E-07	-881,021									
	Metal Natural	-1,038	-1,95E-06	-19,380									
	Lenha Natural	-1,102	-1,48E-06	-19,002									
Disposição Aterro Sanitário Classe IIA	Madeira				0,800	8,05E-07	14,563	0,800	8,05E-07	14,563	0,800	8,05E-07	14,563
	Plástico				1,025	1,80E-07	3,670	1,025	1,80E-07	3,670	1,025	1,80E-07	3,670
	Metais				0,159	1,93E-07	4,081	0,159	1,93E-07	4,081	0,159	1,93E-07	4,081
	Classe A										11,146	1,36E-05	286,463
	Outros	13,528	6,53E-07	10,120	13,528	6,53E-07	10,120	13,528	6,53E-07	10,120	13,528	6,53E-07	10,120
Eletricidade AS											0,731	4,25E-07	15,859
Instalações CA								4,133	6,66E-06	145,070			
Impacto Ambiental	Evitado	-33,021	-4,77E-06	-1069,909	-8,946	-8,95E-07	-150,506						
	Bruto	22,173	1,65E-05	161,560	20,582	1,24E-05	121,094	23,827	1,86E-05	247,092	31,082	2,50E-05	395,582
	Total	-10,848	1,17E-05	-908,349	11,637	1,15E-05	-29,411	23,827	1,86E-05	247,092	31,082	2,50E-05	395,582

*A eletricidade para os cenários UR2, UR1 e CA está inclusa nos equipamentos de operação de cada cenário

A Figura 22 contém a discriminação do impacto ambiental de todas as etapas no ciclo de vida do serviço de gestão dos RCD em cada cenário, considerando a participação percentual de cada etapa em relação ao impacto total de cada cenário. Os valores negativos no eixo das ordenadas do gráfico são referentes aos impactos ambientais evitados.

Os cenários de reciclagem apresentaram um melhor desempenho ambiental, independentemente do produto evitado para todas as categorias de impacto (Tabela 11). Para todos os cenários, a etapa Aterro Sanitário Classe IIA é a principal responsável pelo Aquecimento Global, devido às emissões provenientes da depuração do resíduo Classe B e sua operação de aterramento.

O cenário UR1 se apresentou menos impactante que os cenários de aterro, e evita 33,62 MJ eq. pela não extração e beneficiamento de recursos da natureza (areia, brita e cascalho naturais) que ocorre em consequência do retorno destes materiais ao mercado após processos de reciclagem.

No cenário UR2 observam-se ainda menores impactos gerados (e maiores impactos evitados) para as categorias, pois este cenário também considera a reciclagem para o plástico, metais e reutilização da madeira, aumentando as frações de produtos evitados, se comparado com o Cenário UR1. A reciclagem do plástico (com apenas 1,14% em massa do RCD) gerou um impacto evitado de 545% para Demanda Total de Energia, 99% de CO²eq e 3% para Depleção Abiótica (Figura 22).

Para Demanda de Energia, os impactos evitados superaram os impactos causados para o cenário UR2. Este balanço significa que a reciclagem é energeticamente mais eficiente que a retirada e beneficiamento destes agregados da natureza, pois ela evita emissões atmosféricas.

Para Depleção Abiótica, o transporte é a etapa mais impactante para todos os cenários, justificado pelo consumo dos combustíveis vinculados à extração do petróleo, que é um recurso não renovável, e sua prospecção/refino demanda muita energia, que também está associada indiretamente à Depleção Abiótica.

Em relação à Demanda Total de Energia, o cenário AS também é mais impactante que o CA em função das operações necessárias para aterramento do RCD em aterro comum, que, por sua vez, apresentam-se mais impactantes quando comparadas aos cenários de Reciclagem.

No que se refere ao Potencial de Aquecimento Global, nota-se que há uma pequena diferença entre os cenários de Aterro (apenas 7,3 kg CO₂ eq. a mais para o cenário AS). A degradação biológica dos resíduos ocorre da mesma maneira nos cenários CA e AS e, portanto, essa diferença se deve a outros fatores, como o maior uso de maquinário para a operação de aterramento no cenário AS.

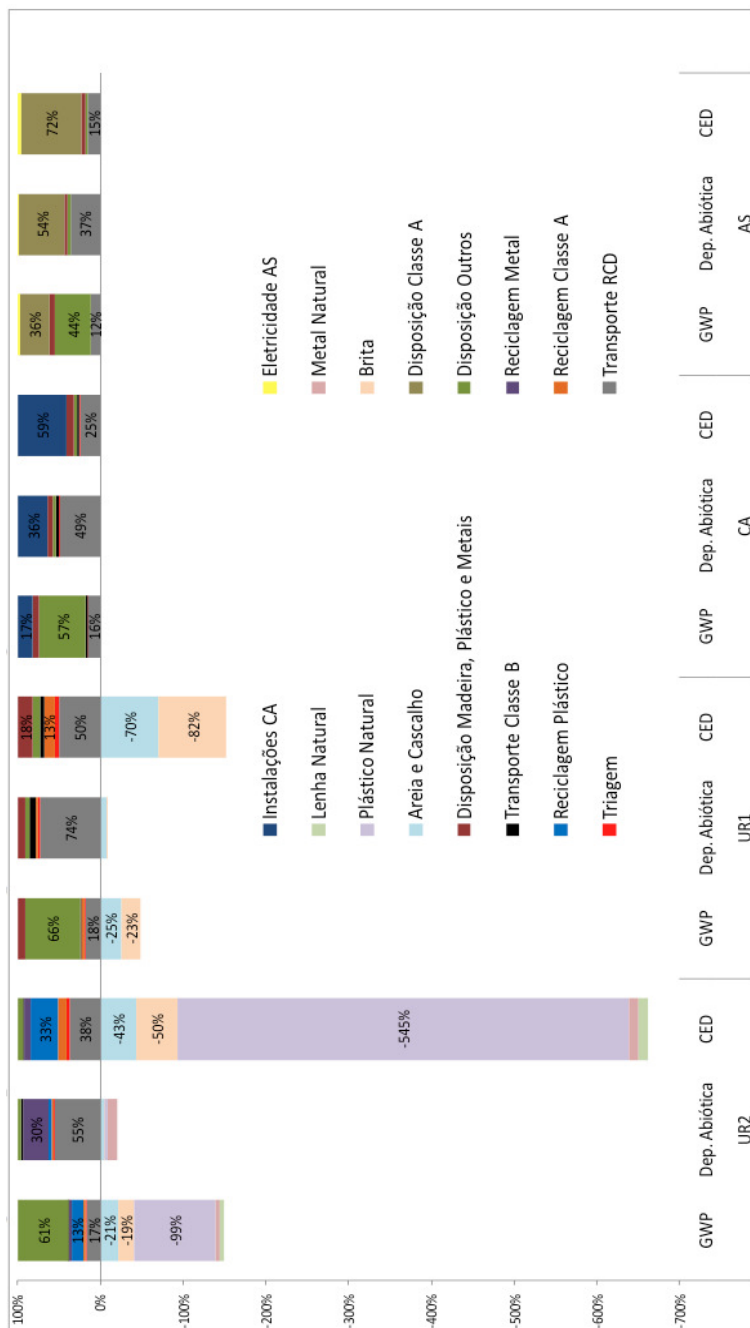
Esses resultados podem ser endossados pelo estudo de Coelho e Brito (2013), que constataram que a fase operacional da indústria de reciclagem se mostrou mais impactante no tocante ao consumo de energia representado por aproximadamente 70% do total, seguido do transporte com 30%.

No cenário AS, a etapa de transporte causa menos impactos ambientais em relação ao cenário CA, pois, nesse último, ocorre o transporte adicional do resíduo Classe B para o aterro sanitário classe IIA depois de sua triagem.

Para o cenário CA, a etapa Aterro Classe A (etapa de operação em reservação do resíduo inerte) é a mais representativa para Depleção Abiótica e Demanda de Energia em decorrência dos procedimentos de construção, infraestrutura e pela etapa da triagem que possui alta demanda de energia.

Ortiz (2010) também avaliou cenários de disposição e reciclagem usando ACV, nos quais o menos impactante foi o de reciclagem, seguido da incineração e, por fim, aterro sanitário classe IIA.

Figura 22. Impactos ambientais para cada cenário de gestão do RCD.



6.4. GARGALOS DO SISTEMA DE PRODUTO PARA ACV

Analisando a Tabela 11, cujo tema pode ser melhor visualizado na Figura 22, é possível discriminar etapas no sistema de produtos que se destacam por maiores impactos ambientais positivos ou negativos, em alguns casos correspondendo a até mais da metade de todo o impacto no respectivo cenário.

Esses pontos são comumente chamados de *Hotspots*, traduzidos para o português como “pontos de interesse”, ou mais comumente na literatura como Gargalo do Sistema, em que acontece uma maior concentração (ou movimentação) de impactos ambientais, neste caso.

Observou-se a participação dos impactos individualmente para cada cenário no item 6.2., o que tornou possível discriminar as etapas mais impactantes, e, em sequência, neste item, para o Sistema de Produto incluindo todos os cenários. Desse modo, dois principais Gargalos do Sistema de Produto são:

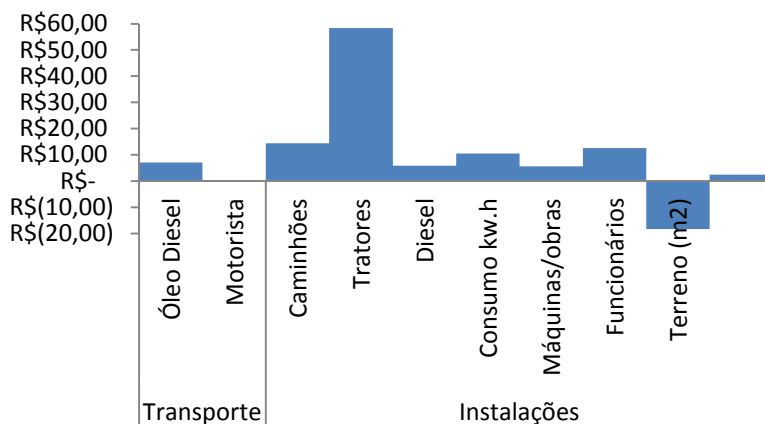
- Disposição AS - Apesar de nos cenários CA, UR1 e UR2 a quantidade de RCD (fração correspondente aos resíduos Classe B) ser pequena (9,4% para CA e UR1, e 2,68% para UR2), a etapa que envolve a disposição do resíduo em aterro sanitário classe IIA se mostrou bastante impactante para Aquecimento Global em todos os cenários na gestão do RCD.
- Transporte – Esta etapa está incluída em diversos subprocessos na base de dados da *Ecoinvent*. Mesmo assim, apenas considerando a etapa como exclusivamente de transporte do RCD, ela se mostrou bastante impactante principalmente para Depleção Abiótica em função do consumo de combustíveis, ligado às atividades de prospecção e refino do petróleo.

6.5. AVALIAÇÃO DE CUSTOS DE CICLO DE VIDA

6.5.1. AECV no cenário AS

Neste cenário, os tratores e caminhões representam juntos 62% dos custos. Isso se deve ao fato de o aterro sanitário classe IIA alugar estes veículos de uma terceirizada, traduzindo em maiores custos do que se fossem comprados, como no caso do cenário UR1.

Figura 23. Participação de custos por etapa do cenário AS para 1UF.



Os funcionários representam grande quantidade (87 atuantes no aterro) se comparada aos demais cenários, com 13% dos custos. Em sequência está o consumo de óleo diesel e energia com respectivamente 11% e 9% dos custos neste cenário.

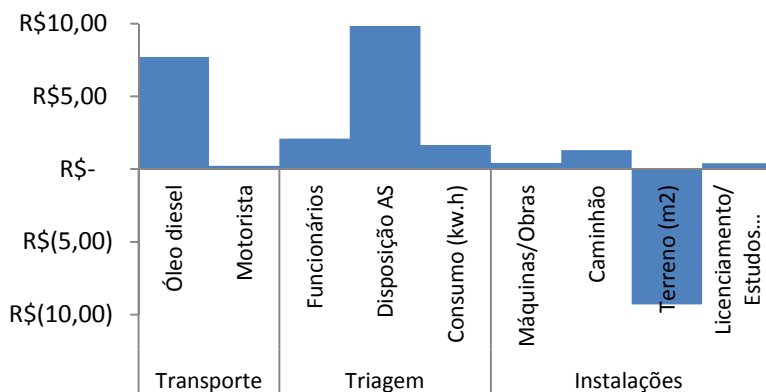
Os dispêndios com obras, máquinas e licenciamento ambiental, apesar de serem bastante elevados nos custos iniciais, representam apenas 7% dos custos no ciclo de vida, pois a margem baseia-se em um período de análise de 50 anos (Apêndice B).

Os veículos considerados no cenário AS correspondem aos utilizados no Aterro Sanitário de Biguaçu, em que são terceirizados. Portanto, tais cálculos não necessariamente podem ser extrapolados a um aterro sanitário classe IIA genérico.

6.5.2. AECV no cenário CA

A etapa Disposição AS é a mais dispendiosa entre as etapas deste cenário, com 41% dos custos, devido principalmente à terceirização dos veículos (Apêndice B), seguido do consumo de óleo diesel com 33%, pois este cenário possui custo total inferior aos demais (desconsiderando os custos evitados) e menos etapas. Por isso os custos de óleo diesel e Disposição AS se sobressaem com maior participação.

Figura 24. Participação de custos por etapa do cenário CA para 1UF.



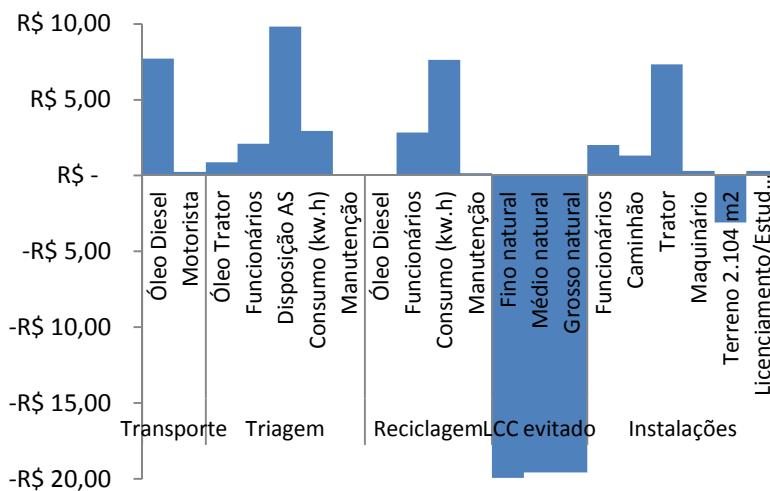
Já os dispêndios com funcionários são proporcionalmente inferiores ao cenário AS, pois consiste basicamente na mão de obra para triagem e motorista com 10% dos custos. O consumo de energia neste cenário é reduzido a uma triagem simples com alimentador vibratório e esteira 30m, totalizando 7% dos custos.

Os custos de máquinas/obras, caminhões e licenciamento ambiental representaram pouca participação (2%, 5% e 2% respectivamente) tendo em vista que este serviço é realizado pelo próprio gerador (geralmente uma construtora). Ele é feito à medida que é gerado, não necessitando assim de maiores quantidades como nos demais cenários, cujo manejo do resíduo por tempo é maior.

6.5.3. AECV no cenário UR1

No cenário UR1, os maiores custos ficaram divididos em consumo de energia com 22,8% dos custos, Disposição AS com 22,7%, tratores e caminhões com 18,7%, óleo diesel com 18,6% e funcionários com 15%. O alto custo para o consumo energético neste cenário se deve aos processos de reciclagem do resíduo classe A, que consistem basicamente em processos físicos e mecânicos na trituração e separação das qualidades do agredado.

Figura 25. Participação de custos por etapa do cenário UR1 para 1UF.



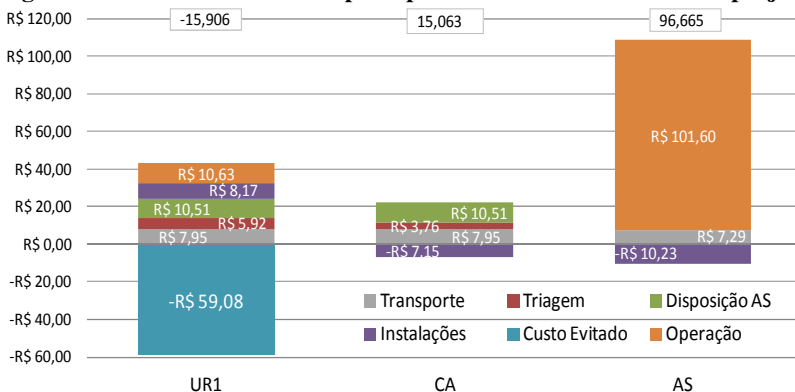
Neste cenário há apenas 15 funcionários, porém a participação se fez relativamente grande devido ao custo reduzido se comparado ao cenário AS, por exemplo. O consumo de óleo diesel representou elevada participação nos custos, pois ele é consumido também pelo Britador de mandíbula na trituração do RCD. Em sequência estão os caminhões e tratores corrigidos pela inflação e tabela FIPE (Apêndice B).

6.6. COMPARAÇÃO DE CUSTOS DO SISTEMA DE PRODUTO

Diferentemente da ACV, na AECV aconteceram custos evitados para todos os cenários. Isso se deve primeiramente à inflação e

valorização do terreno ao longo do tempo para os cenários. O cenário de reciclagem também se considerou o custo necessário para produzir os agregados com recursos naturais.

Figura 26. Custos nas etapas para as alternativas de projeto.



A Figura 26 mostra a participação do custo do gerenciamento do RCD em cada alternativa de projeto para uma UF considerando o período de análise (50 anos). Os valores em negativo representam o custo que é evitado por deixar de extrair e beneficiar os recursos naturais (areia, cascalho e brita) no cenário UR1 e pela valorização do terreno pela inflação no caso dos cenários CA e AS.

A etapa de operação para o cenário AS corresponde ao aterramento do RCD, que se torna mais dispendioso por envolver mais funcionários e terceirizadas do que os cenários UR1 e CA. Para este último cenário, a etapa de operação do aterro consiste (economicamente) na etapa de triagem, que, por sua vez, é menos custosa, pois, neste cenário, a triagem é mais simplificada e carece de menos funcionários e maquinários do que no cenário UR1.

Tais cálculos e adaptações aparentemente simples tornam-se complexos devido aos ajustes referentes à UF e ao fato de muitos dos parâmetros estimados estarem sujeitos ao protecionismo por parte das empresas em ceder dados econômicos, ao mercado imobiliário e à economia brasileira que tem demonstrado grande volatilidade nos anos anteriores.

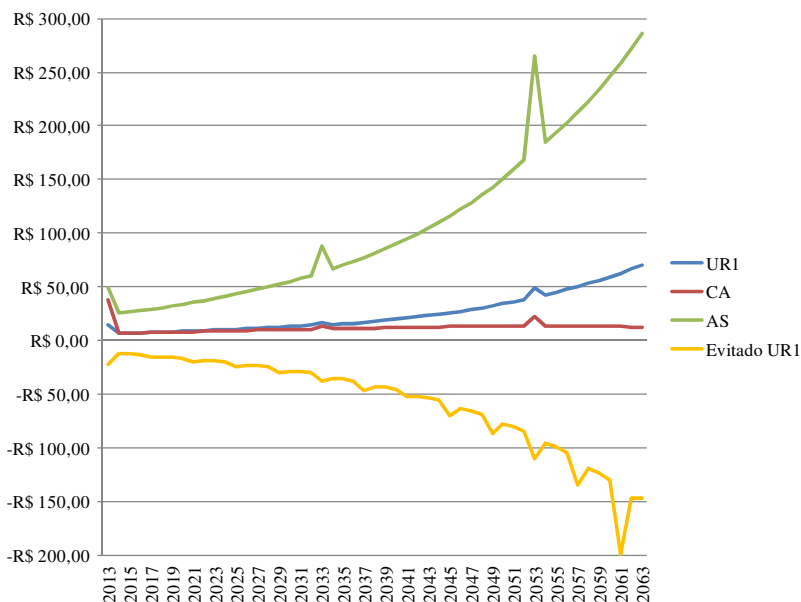
O custo evitado no cenário UR1 não é remetido à empresa (como acontece nos cenários de aterro na valorização do terreno), mas sim ao ciclo de vida do gerenciamento do resíduo por causa dos coprodutos gerados.

Como se observa na Figura 27, o comportamento dos dispêndios durante o período de análise apresentou alguns picos causados pelas substituições de maquinários, veículos, renovações de projetos, licenças e estudos ambientais.

Os maiores picos aconteceram no cenário AS, porque representam a renovação do projeto a cada 20 anos, repercutindo indiretamente nos demais cenários em decorrência da fração do RCD que é encaminhada para o mesmo.

A reta decrescente em amarelo na Figura 27 indica o custo evitado atrelado ao cenário UR1, que representa os dispêndios do cenário adicional, criado para calcular os custos relativos à produção da areia, cascalho e brita provenientes de recursos naturais.

Figura 27. Comportamento dos custos para 1UF no período de análise.



Os resultados para a AECV apresentaram custos evitados para o cenário UR1. Em sequência estão os menores custos para o cenário CA e AS como o mais dispendioso. O custo elevado associado ao cenário AS foi pelo maior uso de maquinários/obras e funcionários no aterramento do resíduo.

É importante ressaltar que estes cálculos foram corrigidos ao longo do tempo, somados em um período de 50 anos e atribuído o CCV total à IUF. Portanto, eles não representam um referido momento temporal.

6.7. GARGALOS DO SISTEMA DE PRODUTO PARA AECV

Observando a Figura 26, a etapa de disposição em aterro sanitário classe IIA se apresentou como a mais dispendiosa para todos os cenários. Por sua vez, no cenário AS é possível notar que os custos que envolvem veículo são os mais dispendiosos (terceirização de caminhões e tratores com 62% dos custos).

A etapa de transporte se apresentou como a mais custosa nos cenários CA e UR1, porém, no cenário AS, é possível também considerar uma modesta participação desta etapa.

Então, as etapas de Disposição AS e Transporte podem ser consideradas como gargalos do sistema para AECV, porque é nelas que acontece a maior concentração de dispêndios.

6.8. AVALIAÇÃO DE ECOEFICIÊNCIA

A Tabela 12 permite analisar a relação custo \times impacto ambiental. Ali é possível identificar gargalos ao se considerar os dois aspectos e se estabelecer uma razão de ecoeficiência. Esta razão pode ser feita de modo a verificar a etapa mais ecoeficiente para um cenário ou verificar a mesma etapa para cenários diferentes.

Tabela 12. Custo e impacto ambiental por etapa para 1UF.

Cenário/Etapa	UR1		CA		AS	
	Impacto Ambiental	Custo (R\$)	Impacto Ambiental	Custo (R\$)	Impacto Ambiental	Custo (R\$)
Transporte	5,18E-12	7,95	5,18E-12	7,95	4,73E-12	7,29
Triagem	4,95E-13	5,92	2,32E-13	3,76	-	-
Disposição AS	2,83E-12	10,51	2,83E-12	10,51	-	-
Instalações		8,17				-10,23
Operação	1,20E-12	10,63	1,11E-11	-7,15	2,60E-11	101,60
Evitado	-1,16E-11	-59,08	0	0,00	0	0,00
Total	-1,89E-12	-15,91	1,93E-11	15,06	3,08E-11	98,66

Porém, neste caso, é importante salientar que as etapas listadas na Tabela 12 são apenas analogias entre os cenários, de modo que não correspondem necessariamente a procedimentos idênticos. Um exemplo é a etapa de triagem, em que o cenário UR1 é composto de mais maquinários do que o cenário CA.

Na etapa de transporte, os impactos ambientais e custos são iguais para os cenários UR1 e CA, porém, no cenário AS, os impactos são menores e menos dispendiosos, pois o transporte do RCD acontece apenas uma vez.

A etapa de triagem que ocorre no cenário CA é menos dispendiosa e menos impactante do que no cenário UR1, porém, não é justo avaliar a ecoeficiência entre elas, pois são triagens diferentes. A triagem do CA é simplificada para fins de reservação do resíduo inerte, por isso possui custos e impactos inferiores à triagem no UR1, que possui eletroímãs, peneiras vibratórias e mais esteiras de transporte.

Na etapa de Instalações e Operação, a diferença entre custos e impacto ambiental se faz ainda maior principalmente no cenário AS. A etapa de operação para o cenário CA consiste apenas na triagem e reservação, enquanto que no cenário AS a etapa de instalações e operação consiste na própria disposição do RCD. Dessa maneira, é mais coerente analisar a ecoeficiência dos cenários como um todo, tendo em vista que as etapas dos cenários não possuem delimitações específicas, podendo ocorrer equívocos ao comparar a ecoeficiência das etapas individualmente.

Os resultados na Tabela 13 representam a variação percentual em relação ao cenário base (melhor cenário), para resultados normalizados da avaliação ambiental e custos em reais (R\$) para a

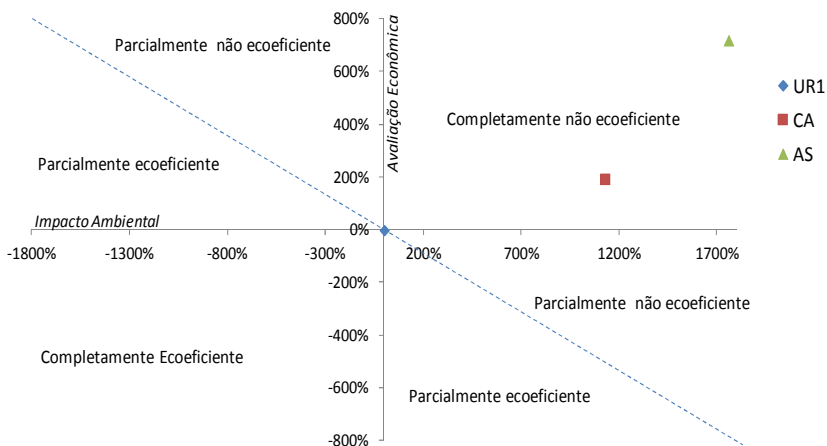
avaliação de custos (Tabela 13). O cenário UR1 apresentou-se menos impactante ambientalmente e menos dispendioso, por isso foi usado como referência para os demais cenários.

Tabela 13. Desempenho ambiental e econômico para 1UF.

Cenário	Custo R\$/UF (Variação %)	Carga ambiental normalizada (Variação %)
UR1	-15,91 (0%)	-1,89E-12(0%)
CA	15,06 (190%)	1,93E-11(1027%)
AS	98,66 (720%)	3,08E-11(1659%)

Ao cruzar os impactos ambientais normalizados da ACV com os resultados da AECV (Tabela 13), permitiu-se avaliar a ecoeficiência para os cenários de gestão dos RCD, representados na Figura 28.

Figura 28. Diagrama de ecoeficiência para os cenários estudados.



Nesta avaliação, os três cenários convergiram de modo que o cenário que obteve melhores resultados para a ACV também apresentou melhores resultados para AECV, acontecendo o mesmo para os piores resultados nas duas avaliações para o cenário menos ecoeficiente.

Se os resultados tivessem divergido, a avaliação que leva em conta os aspectos ambientais e econômicos seria mais influente no

auxílio da tomada de decisão para cenários, etapas ou subprocessos dos sistemas de produtos.

7.0. CONCLUSÕES

Os resultados apontam que os principais impactos ambientais neste sistema de produto estão relacionados à etapa de disposição do RCD em aterro sanitário classe IIA e nas etapas de transporte para todos os cenários. Os resultados para ACV ainda concluem que os cenários de reciclagem não só apresentam menos impactos ambientais para as categorias avaliadas, como também apresentaram o potencial de evitar em até 20% de Sb eq., 149% de emissões atmosféricas e até 662% do consumo energético gasto na gestão do RCD. Em seguida, o cenário CA aparece como preferível ao AS, que, por sua vez, se apresentou desfavorável para todas as categorias de impacto avaliadas.

Assim como em todos os estudos em ACV, esta pesquisa permitiu mostrar que os resultados estão restritos às definições propostas na etapa de Objetivo e Escopo do estudo. Portanto, pequenas alterações em variáveis dentro dos cenários podem alterar os resultados como, por exemplo, neste caso: transporte, caracterização do RCD, maquinário de reciclagem, localização geográfica e delimitação de fronteiras no caso dos cenários UR1 e UR2.

Os principais custos para a gestão do RCD estão ligados também à disposição do resíduo em aterro sanitário classe IIA e ao transporte. Apesar de os investimentos iniciais serem bastante elevados, eles não se tornam dispendiosos, pois o cálculo final leva em consideração todo o período de análise do ciclo de vida da gestão do RCD (50 anos).

Os resultados para AECV concluem que a alternativa UR1 é menos dispendiosa do que as demais. Isto ocorre principalmente pelo custo evitado que a reciclagem proporciona. Ainda, é possível concluir que a alternativa escolhida para o projeto reflete custos que implicam diretamente as empresas de aterro envolvidas (e terceirizadas) e indiretamente as mineradoras e pedreiras.

As duas avaliações permitiram definir um indicador de ecoeficiência entre os cenários, oportunizando concluir que a reciclagem, além de menos dispendiosa, é também ambientalmente favorável se comparada aos cenários de aterro, especialmente pelo custo evitado de uma eventual extração dos recursos virgens da natureza.

Neste estudo, a metodologia usada possibilitou concluir que o cenário UR1 é a opção mais ecoeficiente dentre os cenários para a destinação final dos RCD.

RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho considerou os processos de aterramento baseados nos dados da *Ecoinvent* e custos complementares para o aterro de São João da Bela Vista, São Paulo. Portanto, a critério de completeza dos dados, recomenda-se um estudo de caso com base em dados regionais, relativos ao Aterro Sanitário do Biguaçu (que abastece a grande Florianópolis). Da mesma maneira, este estudo careceu de dados primários, custos para a reciclagem do plástico e metais de modo a excluir o cenário UR2 na avaliação de ecoeficiência.

No tocante à periculosidade e complexidade, os rejeitos dos RCD reciclados podem causar novos problemas, como a impossibilidade de reciclá-los novamente, a falta de tecnologia para o seu tratamento, a falta de locais para dispô-los e todo o custo envolvido no processo, bem como problemas que foram supostamente resolvidos por esta opção. Portanto, é preciso também considerar os resíduos gerados pelos materiais reciclados no final de sua vida útil e na possibilidade de serem novamente reciclados - fechando assim o ciclo como coloca Ângulo (2001).

Por fim, recomenda-se ainda uma avaliação de incertezas para quantificar a incerteza introduzida nos resultados da análise de ICV pelos efeitos cumulativos da imprecisão dos modelos adotados.

8.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2010.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2013.

AMÂNCIO, R. et al. **Políticas e práticas de gestão ambiental: uma análise da gestão dos resíduos da construção civil na cidade de Belo Horizonte (MG)**. Cadernos EBAPE. BR, 2006.

Amélia, A., & Tinôco, P. **Proposta de Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Município de Viçosa, MG**. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Doutor, Minas Gerais, 2012.

ANGULO, S. C. **Resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no estado de São Paulo**. 2005. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia. São Paulo. 2005.

ÂNGULO, S. et al. **Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição**. VI Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações, IBRACON, São Paulo, 2003.

ÂNGULO, S.; TEIXEIRA, C. (2011). **Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação**. Eng Sanit Ambient, (11), pq 299–306. São Paulo, 2011.

ÂNGULO, S.; ZORDAN, S.; JOHN, V. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. São Paulo, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM (ABESC). **Manual do Concreto Dosado em Central**. São Paulo: Park Color Gráfica Editora, 2000. 26 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. 71, Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida. Princípios e estrutura, 21. Rio de Janeiro, 2009a.

_____. **NBR 14044**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida. Requisitos e orientações, 46, Rio de Janeiro, 2009b.

Bernardes, A. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído**, Rio Grande do Sul 65–76, 2008.

BISWAS, W. Life cycle assessment of building construction wastes in Western Australia. **EarthCare Recycling**, Perth, n. October, 2008.

BLENGINI, G. A.; GARBARINO, E. Resources and waste management in Turin (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10-11, p. 1021-1030, jul. 2010.

BOURSCHEID, J. A.; SOUZA, R. L. **Resíduos de construção e demolição como material alternativo**. 1. ed. Florianópolis: IFSC, 2010. 84p. ISBN 9788564426.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, 2011.

BRITO, J.A. Cidade versus entulho. **Areia & Brita**, p.22-26, 1998.

CARNEIRO, A.P. et al. Construction waste characterisation for production of recycled aggregate – Salvador/Brazil. In: **Waste Materials in Construction**, 4, 2000, Leeds. Proceedings. Amsterdam: Elsevier, 2000. p. 825-835.

CARNEIRO, F. P. **Diagnóstico e Ações da Atual Situação dos Resíduos de Construção e Demolição na Cidade do Recife**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Urbana -PPGEU da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos

requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana, Paraíba, 2005.

CHARMONDUSIT, K.; KEARTPAKPRAEK, K. Eco-efficiency evaluation of the petroleum and petrochemical group in the map Ta Phut Industrial Estate, Thailand. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 2-3, p. 241-252, jan. 2011.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 108 p.

COELHO, A.; BRITO, J. DE. Environmental analysis of a construction and demolition waste recycling plant in Portugal - Part I: Energy consumption and CO(2) emissions. **Waste Management** (New York, N.Y.), 16 fev. 2013.

COSTA, L. S. N.; ALMEIDA, S. L. M. de. Caracterização tecnológica dos resíduos de construção e demolição (RCD) da cidade de macaé - RJ, Rio de Janeiro, 1-7, 2005.

CUNHA, G. N. M.; SOUZA LIMA, F. M. R. Análise da reciclagem dos resíduos de construção e demolição (RCD) através de sistemas dinâmicos. In: **JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, 2012, Rio de Janeiro: CETEM, 2012

CUSSON, D.; LOUNIS, Z.; DAIGLE, L. Benefits of internal curing on service life and life-cycle cost of high-performance concrete bridge decks – A case study. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 5, p. 339-350, maio. 2010.

DEWULF, J. et al. Quantification of the impact of the end-of-life scenario on the overall resource consumption for a dwelling house. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 4, p. 231-236, fev. 2009.

DINIZ, J. Z. F. **Manual para cálculo de concreto armado e concreto protendido**. [s.l.]: Siderúrgica Belgo-Mineira, 1970.

EMBLEMSVÅG, J. (2003). **Life-cycle costing: using activity-based costing and Monte Carlo methods to manage future costs and risks**.

Disponível em: <<http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=OQ-IQ611YU4C&oi=fnd&pg=PR5&dq=LIFE-CYCLE+COSTING+USING+ACTIVITY-BASED+COSTING+AND+MONTE+CARLO+METHODS+TO+MANAGE+FUTURE+COSTS+AND+RISKS&ots=Ezr-S0zW68&sig=nc0PxIyOCmxo02JsXO7UG5uM9I0>>. Acesso em: 16 abr. 2013.

FAGUNDES, L.; MIRANDA, R. A. **Reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008**. p. 57-71, 2009.

FINNVEDEN, G. Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 26, p. 173-187, 1999.

FREITAS, I. **Os Resíduos de construção civil no município de Araraquara/SP**. Dissertação apresentada ao Centro Universitário de Araraquara - UNIARA, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento, São Paulo, 2009.

GREEN COUNCIL BRASIL. Disponível em <<http://www.gbcbrasil.org.br/>> . Acesso em 22 set. 2013.

GU, L. et al. Integrated assessment method for building life cycle environmental and economic performance. **Building Simulation**, v. 1, n. 2, p. 169-177, 19 jun. 2008.

HAGIHARA, F.; PUCCAMP, B. **A evolução da preocupação ambiental e seus reflexos no ambiente dos negócios : uma abordagem histórica**. XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção – Porto Alegre, p. 5235-5242, 2005.

HEIJUNGS, R.; SETTANNI, E.; GUINÉE, J. Toward a computational structure for life cycle sustainability analysis: unifying LCA and LCC. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 7 jul. 2012.

HINDMAN, D. P. **Life Cycle Analysis and Life Cycle Costing Tools Applied to Post-frame Building Systems**. Final Report National Frame Building Association. April, 2011. Disponível em:

<http://www.nfba.org/uploads/files/LCA_LCC_Final_Report2.pdf>
Acesso em: 16 abr. 2013.

HUPPES, G.; ISHIKAWA, M. (2007). **Quantified eco-efficiency**. Disponível em: <<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/1-4020-5399-1.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2010). **Estimativas e Projeções da População**. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_Projecoes_Populacao/Estimativas_2012/>. Acesso em: 02 maio 2013.

JOHN, V. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Livre Docente, São Paulo, v. 5, 2000.

KARPINSK, L.; PANDOLFO, A.; REINEHR, R. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009, 163p.

KARTAM, N. et al. Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. **Waste Management** (New York, N.Y.), v. 24, n. 10, p. 1049-59, jan. 2004.

KULAIF, Y. **Análise dos mercados de matérias-primas minerais: estudo de caso da indústria e pedras britadas do estado de SP**. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001. 144 p.

LENNON, M. Recycling construction and demolition wastes: a guide for architects and contractors. **The Institution Recycling Network**. Boston, MA, n. April, 2005.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil, São Paulo, 2001.

LUZ, A.; SAMPAIO, J.; ALMEIDA, J. **Tratamento de minérios**. 4. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 858p.

MARINKOVIĆ, S. et al. Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. **Waste management** (New York, N.Y.), v. 30, n. 11, p. 2255-64, nov. 2010.

MARQUES NETO, J. C. ou NETO, J. C. M. ; SCHALCH, Valdir . **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição: Estudo da Situação do Município de São Carlos-SP, Brasil**. Engenharia Civil UM (Braga), v. 36, p. 41-50, 2010.

MERCANTE, I. T. et al. Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 17, n. 2, p. 232-241, 2 dez. 2011.

MERCANTE, I. T.; BOVEA, M. D.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; ARENA, A. P. (2011). Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: a Spanish case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 17(2), 232–241. doi:10.1007/s11367-011-0350-2.

NORRIS, G. A.; ROAD, B. H.; BERWICK, N. Selected Papers Integrating Life Cycle Cost Analysis and LCA. In: **LCA: Selected Papers**. v. 6, n. 2, p. 118-120, 2001.

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANISATION. **Methods and Models for Life Cycle Costing**. Research and Technology Organisation Final Report 2007. 226p.

OLIVEIRA, M. DE. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. Tese de doutorado elaborada no Curso de Pós-Graduação em Geociências, Área de concentração em Geociências e Meio Ambiente, para obtenção do Título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente. Rio Claro - SP 2002.

ORTIZ, O.; PASQUALINO, J. C.; CASTELLS, F. Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a

case study in Catalonia, Spain. **Waste Management** (New York, N.Y.), v. 30, n. 4, p. 646-54, abr. 2010.

PASSER, A.; KREINER, H.; MAYDL, P. Assessment of the environmental performance of buildings: A critical evaluation of the influence of technical building equipment on residential buildings. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 17, n. 9, p. 1116-1130, 8 maio 2012.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia, São Paulo, 1999.

PINTO, T.; GONZÁLES, J. Manejo e gestão de resíduos da construção civil. **Manual de Orientação**, 2005. Resolução n. v. 12, 2002.

SANTOS, J.; FERREIRA, A. Life-Cycle Cost Analysis System for Pavement Management. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 48, p. 331-340, jan. 2012.

SANTOS, A. D. N. DOS. **Diagnóstico da Situação dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Município de Petrolina (PE)**. Dissertação apresentada à Universidade Católica de Pernambuco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, Pernambuco, 2008.

SCHNEIDER, D. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Saúde Pública São Paulo, 2003.

SARDÁ, M. C. **Diagnóstico do resíduo da construção civil gerado no município de Blumenau-sc**. Potencialidades de uso em obras públicas. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil PPGEC para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, Santa Catarina, 2003.

SILVA, R.W.C.; ARNOSTI JR. S. Caracterização Do Resíduo De Construção E Demolição (RCD). **Holos Environment**, v. 10004, n. 2004, p. 137-151, 2006.

SOARES, S. R. et al. Applications of life cycle assessment and cost analysis in health care waste management. **Waste Management** (New York, N.Y.), v. 33, n. 1, p. 175-83, jan. 2013.

SOLÍS-GUZMÁN, J. et al. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Management** (New York, N.Y.), v. 29, n. 9, p. 2542-8, set. 2009.

TESSARO, A. B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambient. constr.** n. 48, p. 121-130, 2012.

Ulsen, C. **Caracterização Tecnológica de Resíduos de Construção e Demolição**. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Engenharia, São Paulo, 2006.

VERCALSTEREN, A.; SPIRINCKX, C.; GEERKEN, T. (2010). Life cycle assessment and eco-efficiency analysis of drinking cups used at public events. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 15(2), 221–230. doi:10.1007/s11367-009-0143-z.

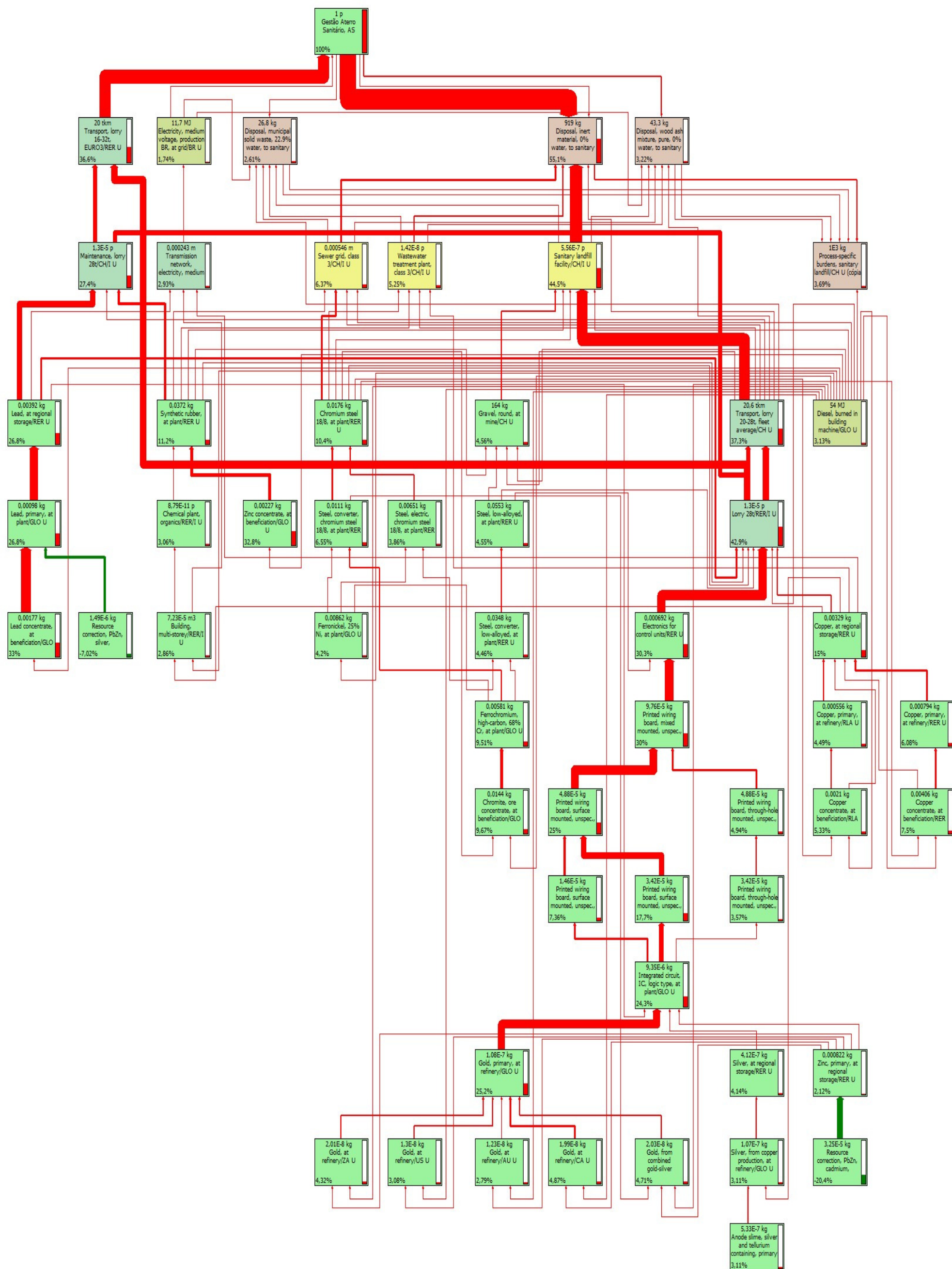
VIEIRA, P. S.; HORVATH, A. Assessing the end-of-life impacts of buildings. **Environmental Science & Technology**, v. 42, n. 13, p. 4663-9, 1 jul. 2008.

WEIL, M. Closed-loop recycling of construction and demolition waste in Germany in view of stricter environmental threshold values. **Waste Management & Research**, v. 24, n. 3, p. 197-206, 1 jun. 2006.

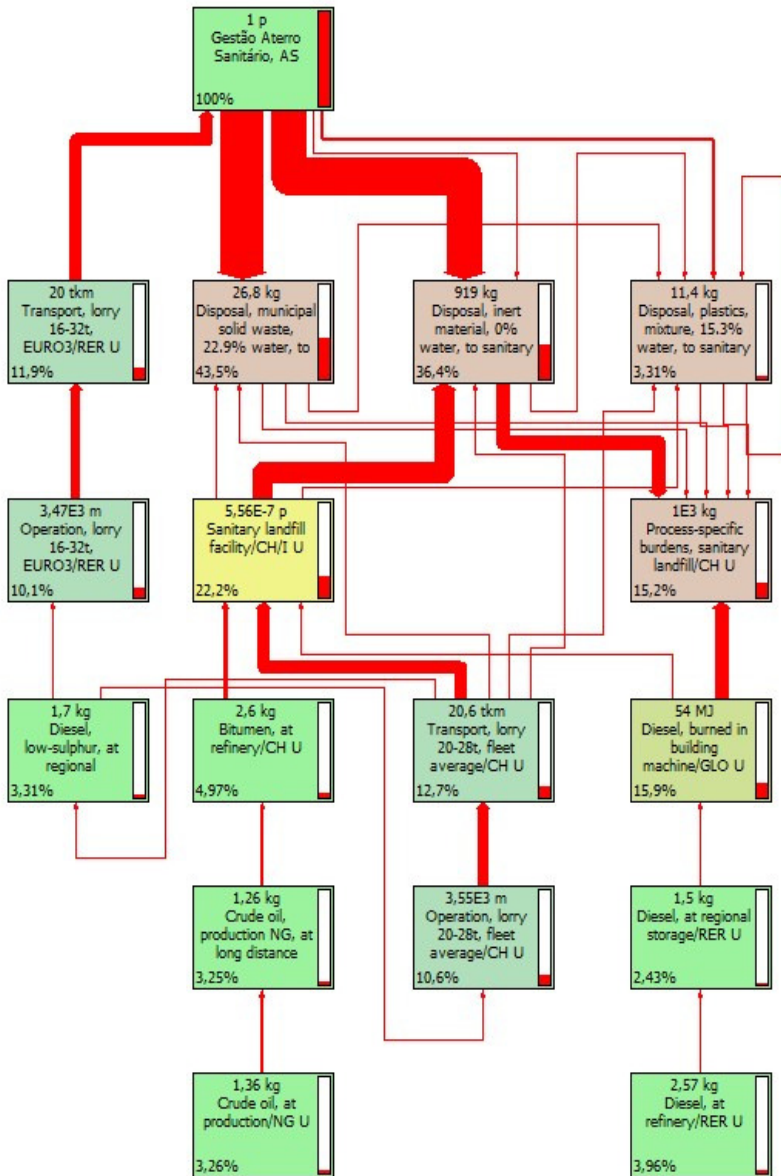
YEHEYIS, M. et al. **An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability**. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 15, n. 1, p. 81-91, 25 mar. 2012.

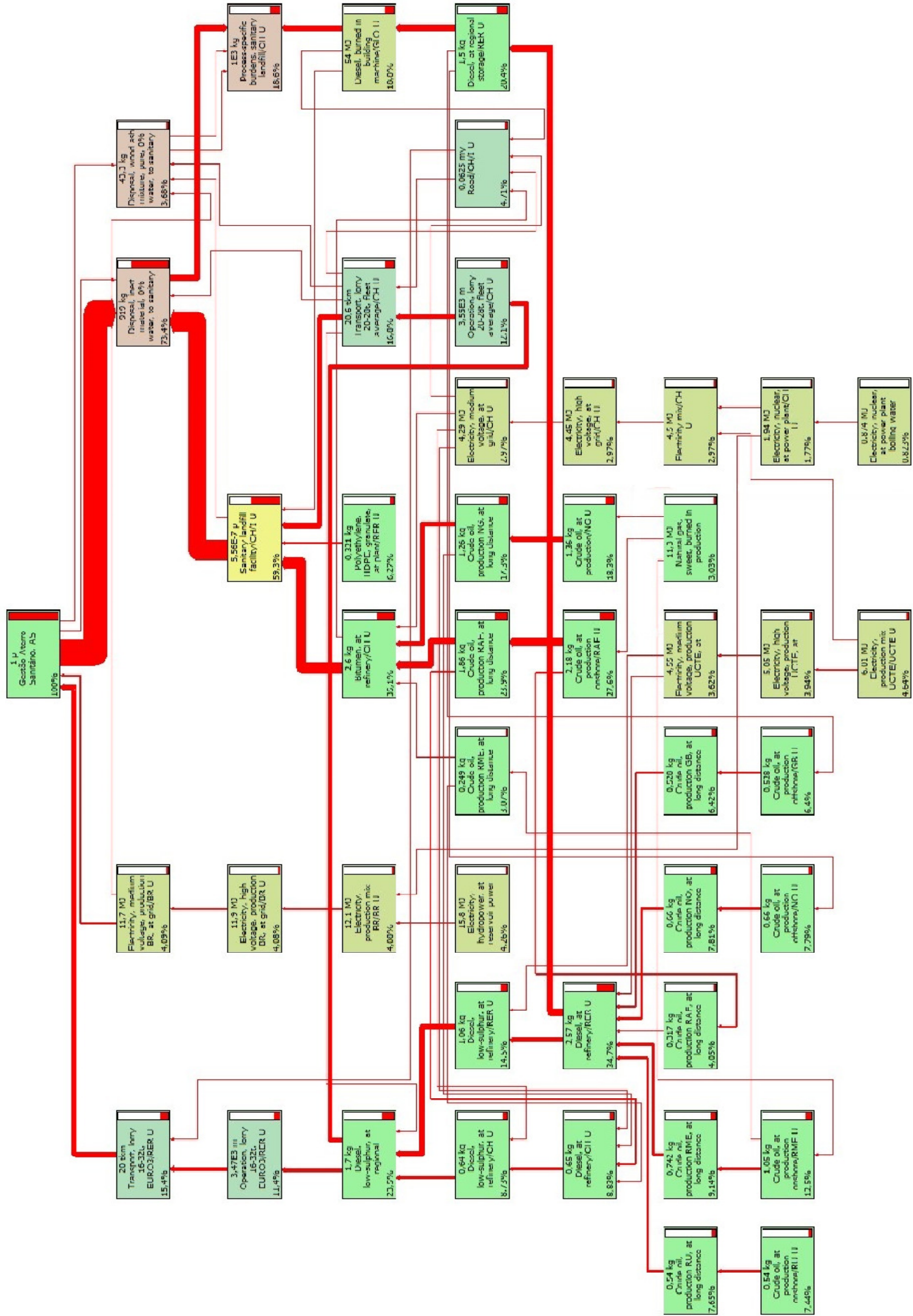
APÊNDICE A – Rede de impacto ambiental

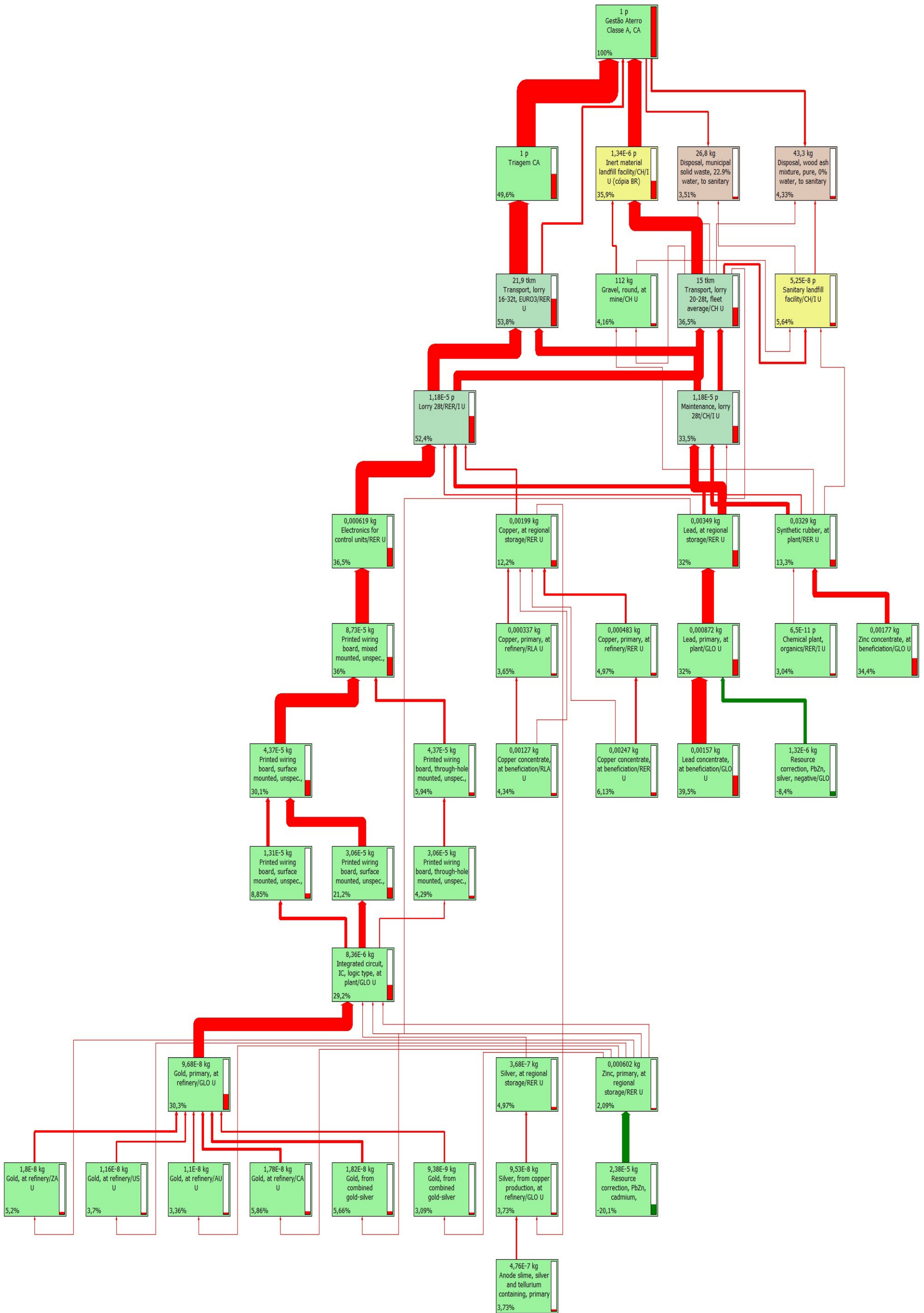
Cenário AS – Depleção Abiótica



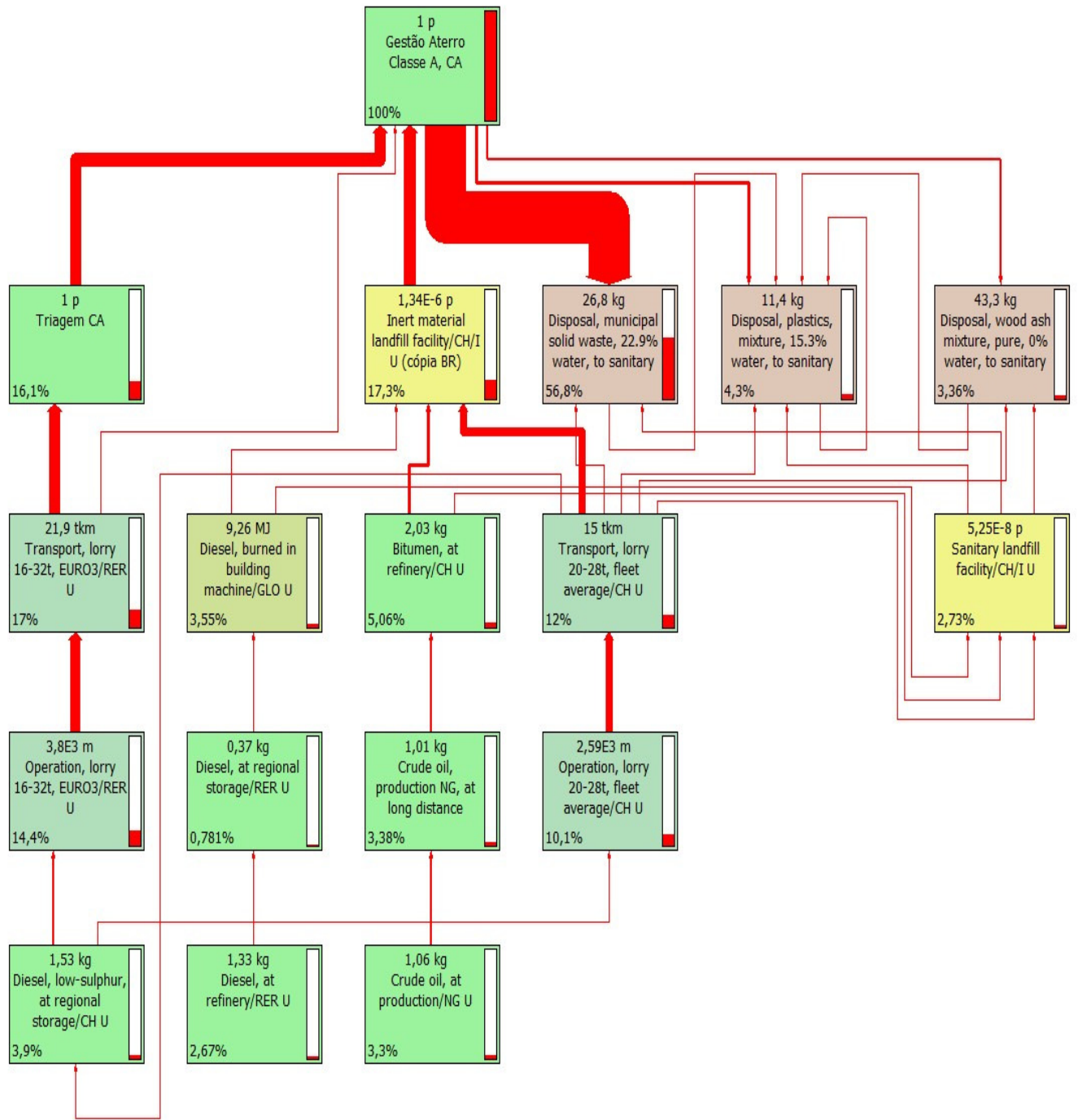
Cenário AS – Aquecimento Global

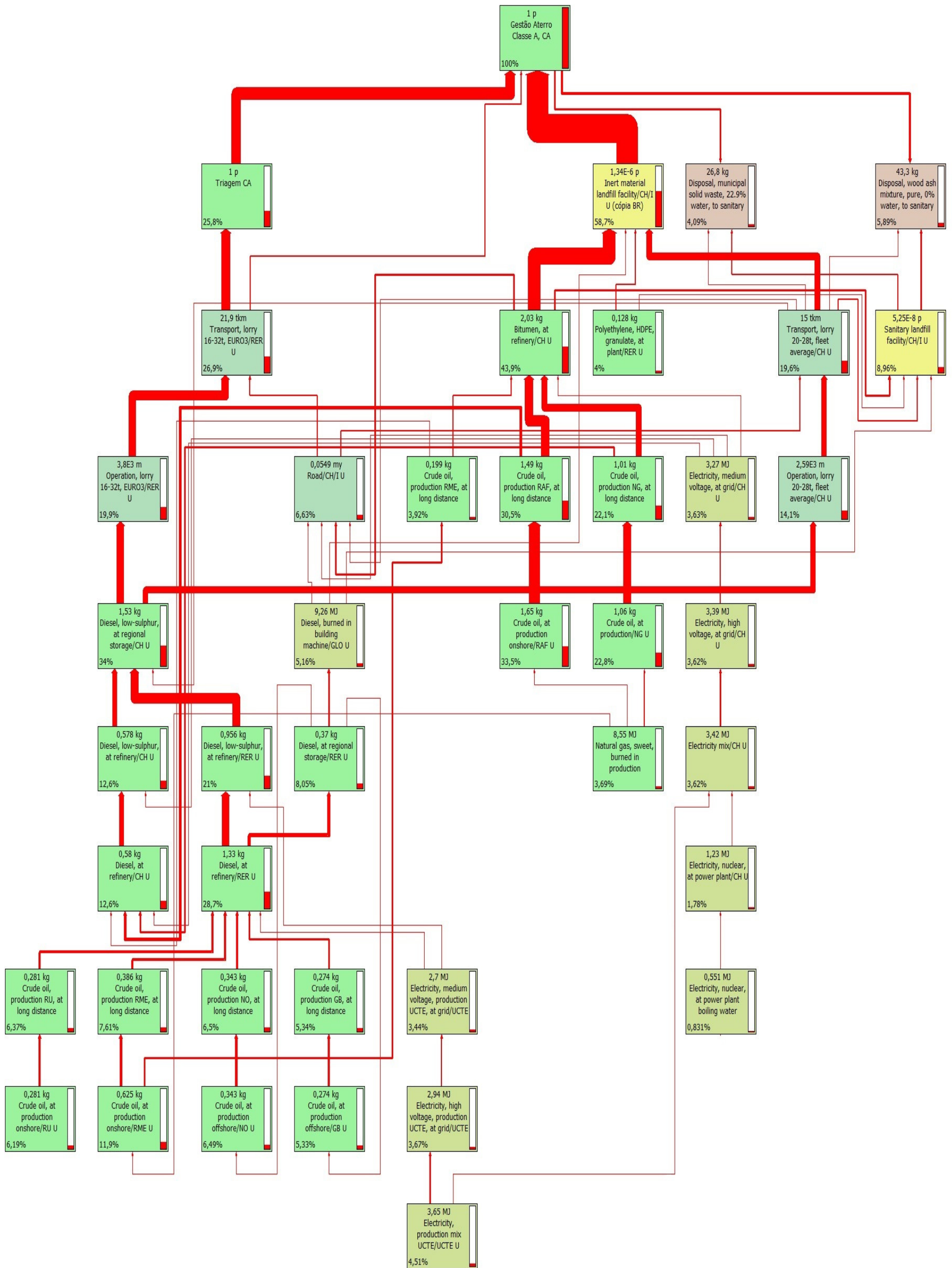




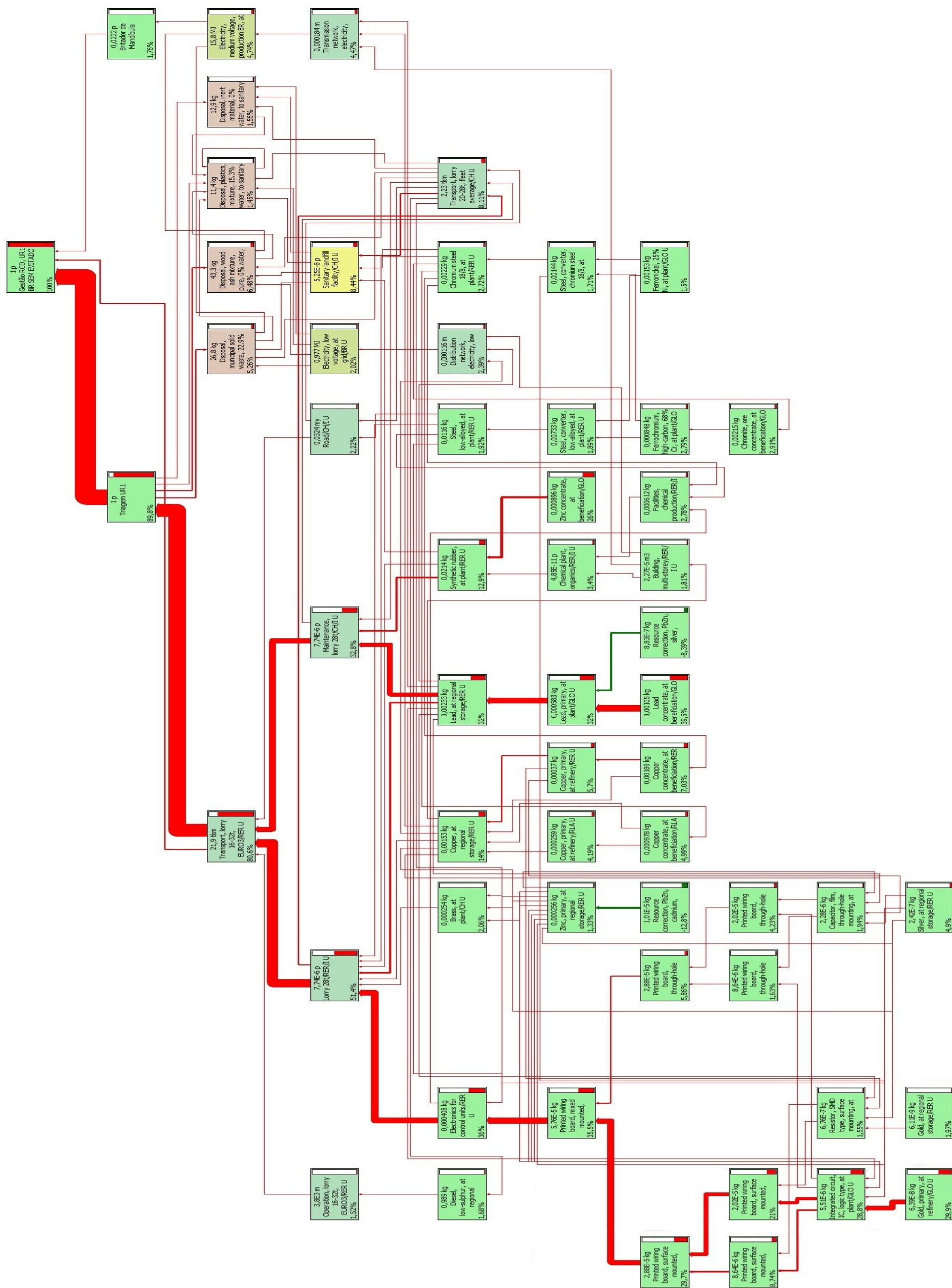


Cenário CA – Aquecimento Global

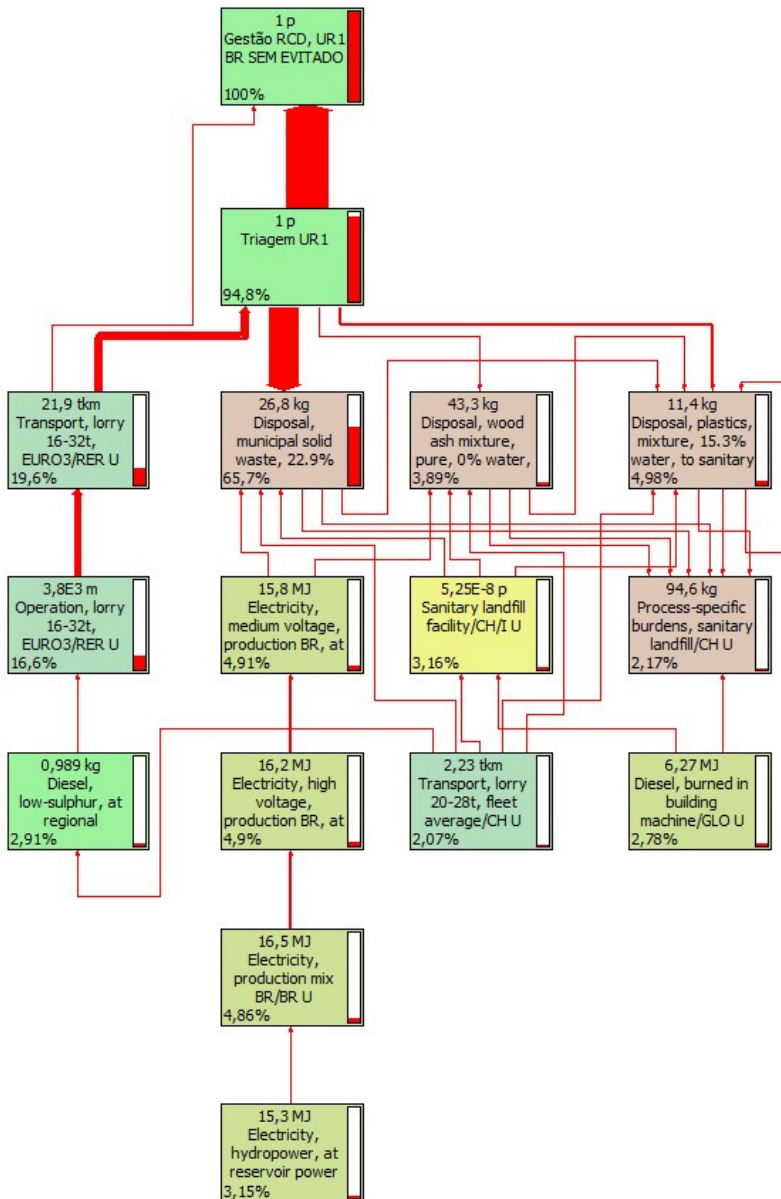




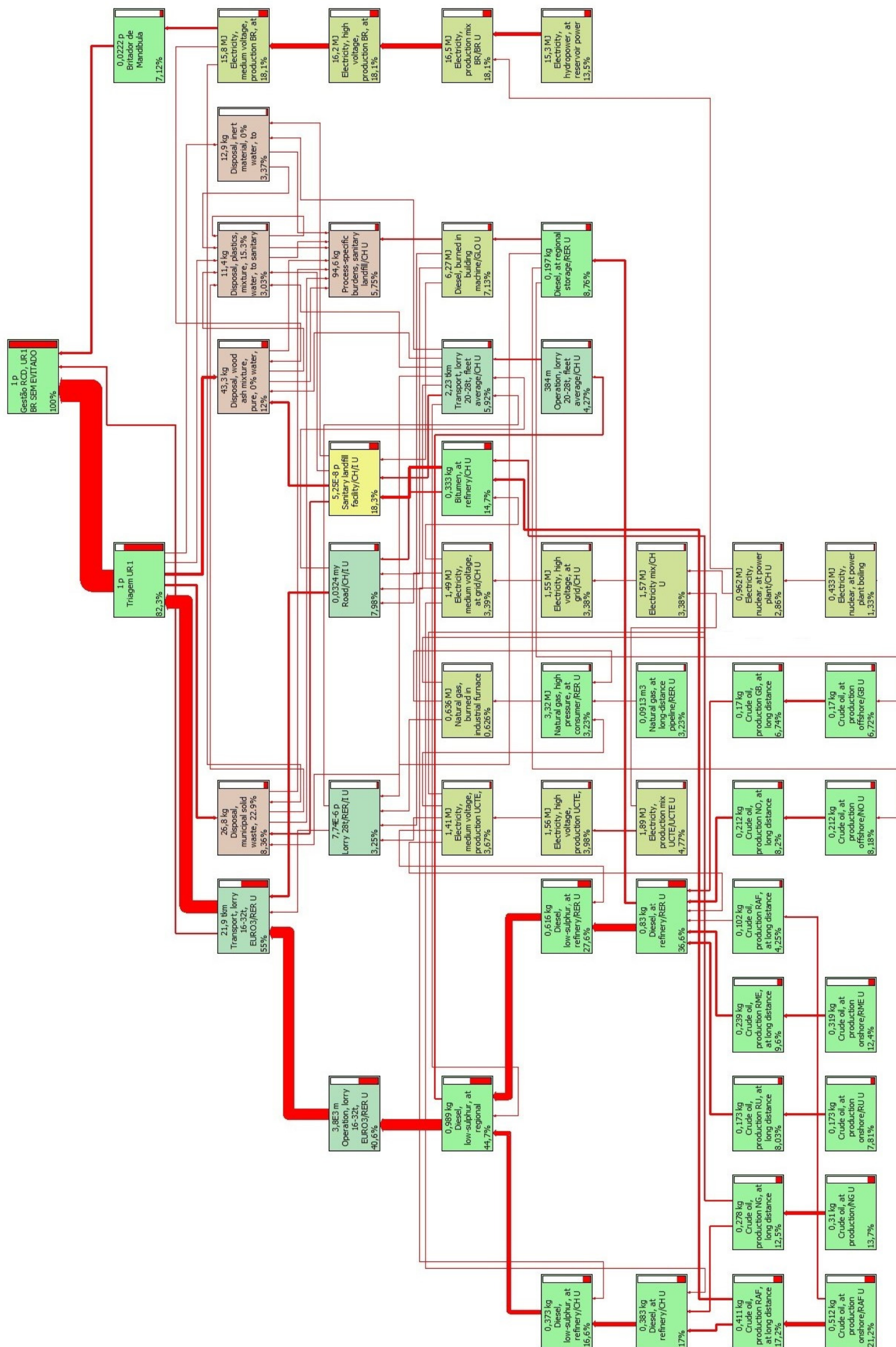
Cenário UR1 – Depleção Abiótica

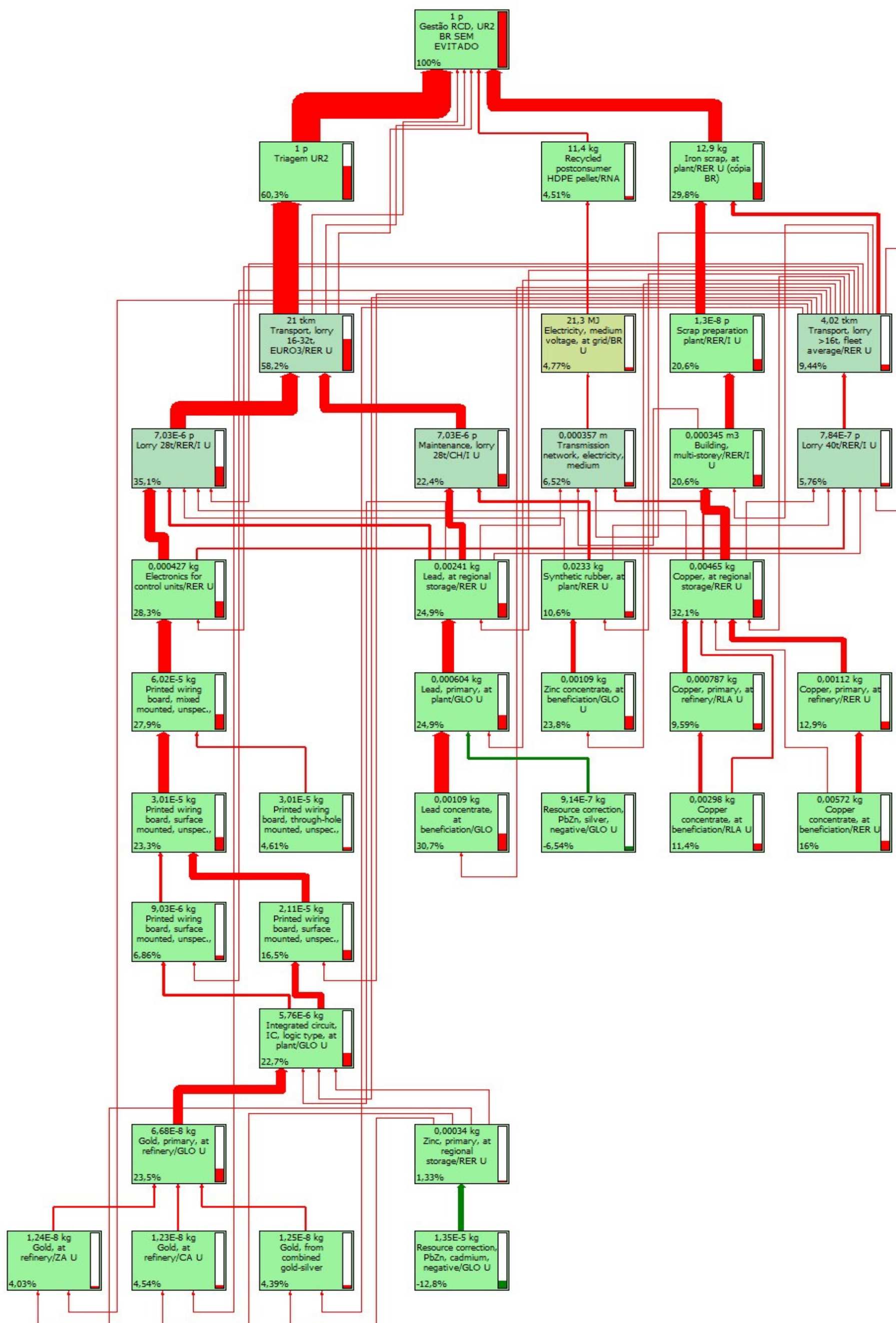


Cenário UR1 - Aquecimento Global

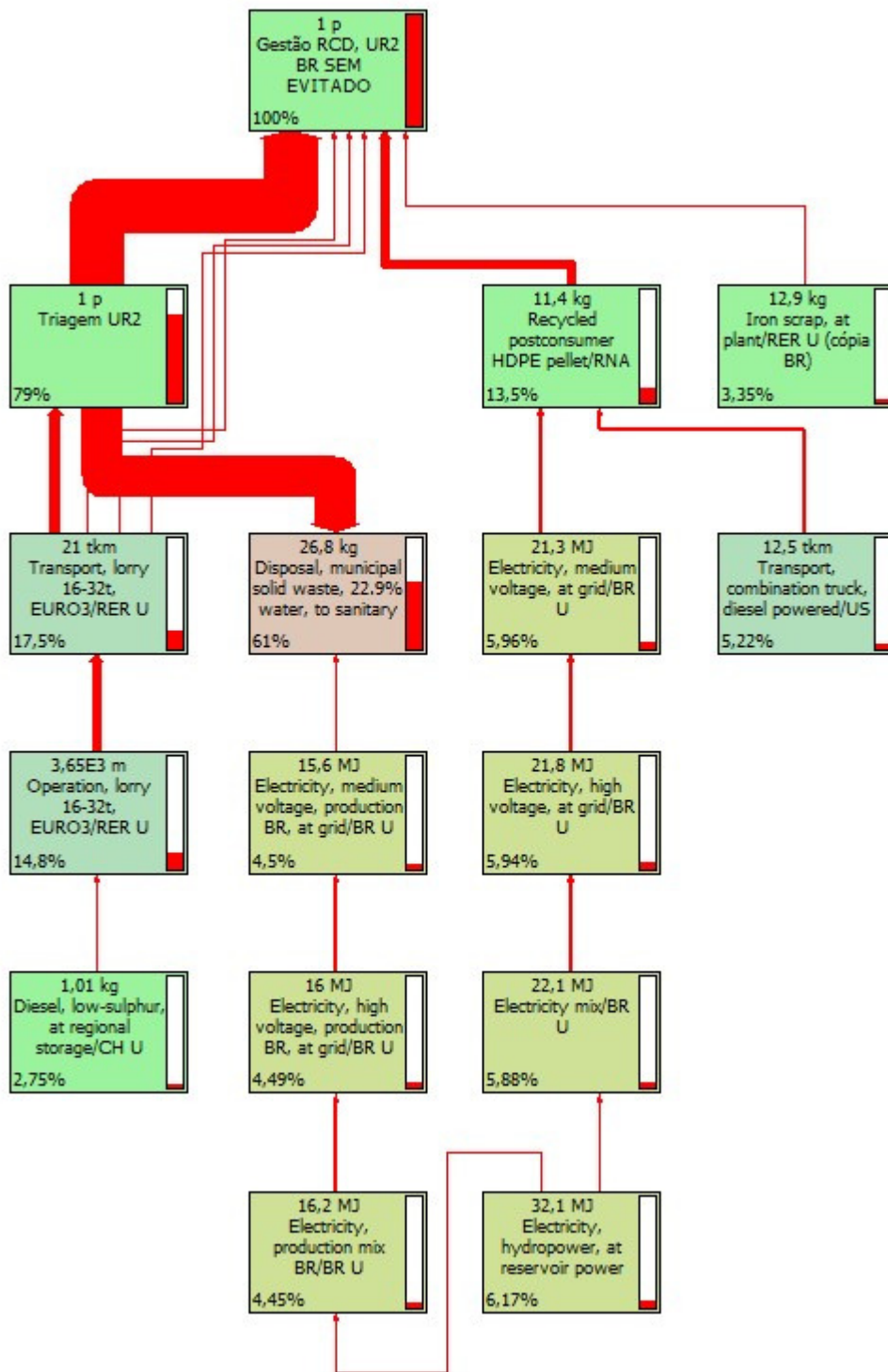


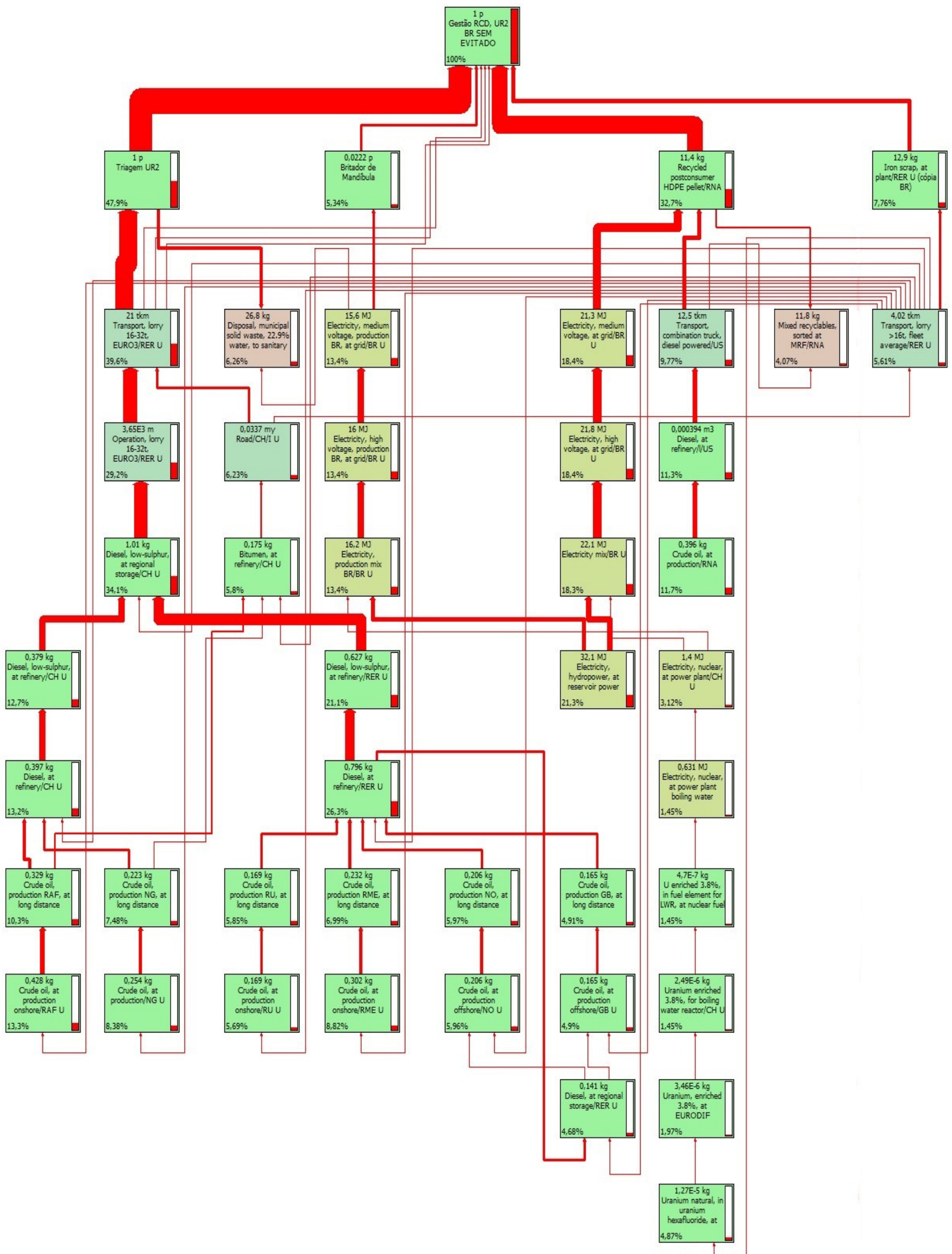
Cenário UR1 – Demanda Total de Energia





Cenário UR2 – Aquecimento Global





APÊNDICE B – Inventário detalhado da AECV

Inventário detalhado da AECV para o cenário AS

Etapa	Transporte						Operação									Investimento Inicial						AS							
	Óleo Diesel			Motorista			Caminhões		Tratores		Diesel			Consumo kw.h		Funcionários			Máquinas/obras		Terreno (m²)			Licenciamento/ Estudos Ambientais			LCC (R\$)		
	N	R\$	R\$/UF	N	R\$	RS/UF	R\$	RS/U F	R\$	RS/UF	N	R\$	RS/UF	R\$	RS/UF	N	R\$	RS/U F	R\$	RS/UF	N	R\$	RS/UF	N	R\$	RS/UF	IUF	Ano	
2013	1,8	2,17	3,90	15,00	2034,00	0,10	610922,85	1,96	2481600,00	7,95	1,49	2,17	3,23	0,25	1,43	87,00	1500,00	5,02	8141275,00	1,30	180000,00	5400000,00	0,00	17,31	2200000,00	0,00	7,05	49,25	15367144,22
2014	1,8	2,28	4,10	15,00	2172,00	0,10	650632,84	2,09	2642904,00	8,47	1,49	2,28	3,39	0,25	1,52	87,00	1601,77	5,36	8670457,88	1,39	180000,00	5751000,00	351000,00	-1,13	2343000,00	3195,00	0,01	25,31	7896140,39
2015	1,8	2,34	4,22	15,00	2187,49	0,11	692923,97	2,22	2814692,76	9,02	1,49	2,34	3,49	0,25	1,62	87,00	1613,19	5,40	9234037,64	1,48	180000,00	6124815,00	373815,00	-1,20	2495295,00	3402,68	0,01	26,36	8225640,47
2016	1,8	2,41	4,33	15,00	2310,42	0,11	737964,03	2,37	2997647,79	9,61	1,49	2,41	3,59	0,25	1,73	87,00	1703,85	5,70	9834250,08	1,58	180000,00	6522927,98	398112,98	-1,28	2657489,18	3623,85	0,01	27,74	8655764,21
2017	1,8	2,47	4,45	15,00	2433,36	0,12	785931,69	2,52	3192494,90	10,23	1,49	2,47	3,68	0,25	1,84	87,00	1794,51	6,00	10473476,34	1,68	180000,00	6946918,29	423990,32	-1,36	2830225,97	3859,40	0,01	29,18	9103231,38
2018	1,8	2,54	4,57	15,00	2556,29	0,12	837017,25	2,68	3400007,06	10,90	1,49	2,54	3,78	0,25	1,96	87,00	1885,17	6,31	11154252,30	1,79	180000,00	7398467,98	451549,69	-1,45	3014190,66	4110,26	0,01	30,67	9569169,28
2019	1,8	2,60	4,68	15,00	2679,23	0,13	891423,37	2,86	3621007,52	11,61	1,49	2,60	3,88	0,25	2,09	87,00	1975,83	6,61	11879278,70	1,90	180000,00	7879368,40	480900,42	-1,54	3210113,05	4377,43	0,01	32,23	10054778,52
2020	1,8	2,67	4,80	15,00	2802,16	0,13	949365,89	3,04	3856373,01	12,36	1,49	2,67	3,97	0,25	2,22	87,00	2066,49	6,91	12651431,82	2,03	180000,00	8391527,35	512158,95	-1,64	3418770,40	4661,96	0,01	33,85	10561337,74
2021	1,8	2,73	4,92	15,00	2925,10	0,14	1011074,67	3,24	4107037,26	13,16	1,49	2,73	4,07	0,25	2,37	87,00	2157,15	7,22	13473774,88	2,16	180000,00	8936976,62	545449,28	-1,75	3640990,48	4964,99	0,02	35,55	11090208,69
2022	1,8	2,80	5,04	15,00	3048,04	0,15	1076794,53	3,45	4373994,68	14,02	1,49	2,80	4,17	0,25	2,52	87,00	2247,81	7,52	14349570,25	2,30	180000,00	9517880,11	580903,48	-1,86	3877654,86	5287,71	0,02	37,32	11642841,62
2023	1,8	2,86	5,15	15,00	3170,97	0,15	1146786,17	3,68	4658304,33	14,93	1,49	2,86	4,26	0,25	2,68	87,00	2338,48	7,82	15282292,32	2,45	180000,00	10136542,31	618662,21	-1,98	4129702,42	5631,41	0,02	39,17	12220781,07
2024	1,8	2,93	5,27	15,00	3293,91	0,16	1221327,27	3,91	4961094,12	15,90	1,49	2,93	4,36	0,25	2,86	87,00	2429,14	8,13	16275641,32	2,61	180000,00	10795417,56	658875,25	-2,11	4398133,08	5997,45	0,02	41,11	12825671,96
2025	1,8	2,99	5,39	15,00	3416,84	0,16	1300713,55	4,17	5283565,23	16,93	1,49	2,99	4,46	0,25	3,04	87,00	2519,80	8,43	17333558,00	2,78	180000,00	11497119,70	701702,14	-2,25	4684011,73	6387,29	0,02	43,14	13459266,14
2026	1,8	3,06	5,51	15,00	3539,78	0,17	1385259,93	4,44	5626996,97	18,04	1,49	3,06	4,55	0,25	3,24	87,00	2610,46	8,73	18460239,27	2,96	180000,00	12244432,49	747312,78	-2,40	4988472,49	6802,46	0,02	45,27	14123429,31
2027	1,8	3,12	5,62	15,00	3662,71	0,18	1475301,82	4,73	5992751,78	19,21	1,49	3,12	4,65	0,25	3,45	87,00	2701,12	9,04	19660154,83	3,15	180000,00	13040320,60	795888,11	-2,55	5312723,21	7244,62	0,02	47,50	14820148,46
2028	1,8	3,19	5,74	15,00	3785,65	0,18	1571196,44	5,04	6382280,64	20,46	1,49	3,19	4,75	0,25	3,68	87,00	2791,78	9,34	20938064,89	3,36	180000,00	13887941,44	847620,84	-2,72	5658050,21	7715,52	0,02	49,84	15551539,74
2029	1,8	3,25	5,86	15,00	3908,59	0,19	1673324,21	5,36	6797128,88	21,79	1,49	3,25	4,85	0,25	3,92	87,00	2882,44	9,65	22299039,11	3,57	180000,00	14790657,63	902716,19	-2,89	6025823,48	8217,03	0,03	52,31	16319856,82
2030	1,8	3,32	5,97	15,00	4031,52	0,19	1782090,28	5,71	7238942,26	23,20	1,49	3,32	4,94	0,25	4,17	87,00	2973,10	9,95	23748476,65	3,81	180000,00	15752050,37	961392,75	-3,08	6417502,00	8751,14	0,03	54,90	17127499,89
2031	1,8	3,38	6,09	15,00	4154,46	0,20	1897926,15	6,08	7709473,51	24,71	1,49	3,38	5,04	0,25	4,44	87,00	3063,76	10,25	25292127,63	4,05	180000,00	16775933,65	1023883,27	-3,28	6834639,63	9319,96	0,03	57,62	17977025,14
2032	1,8	3,45	6,21	15,00	4277,39	0,21	2021291,35	6,48	8210589,29	26,32	1,49	3,45	5,14	0,25	4,73	87,00	3154,42	10,56	26936115,93	4,32	180000,00	17866369,34	1090435,69	-3,49	7278891,21	9925,76	0,03	60,48	18871154,90
2033	1,8	3,51	6,33	15,00	4400,33	0,21	2152675,29	6,90	8744277,59	28,03	1,49	3,51	5,23	0,25	5,04	87,00	3245,08	10,86	28686963,46	4,60	180000,00	19027683,34	1161314,01	-3,72	7752019,14	10570,94	24,85	88,31	27554236,68
2034	1,8	3,58	6,44	15,00	4523,26	0,22	2292599,18	7,35	9312655,63	29,85	1,49	3,58	5,33	0,25	5,37	87,00	3335,74	11,16	30551616,09	4,90	180000,00	20264482,76	1236799,42	-3,96	8255900,38	11258,05	0,04	66,68	20805013,61
2035	1,8	3,64	6,56	15,00	4646,20	0,22	2441618,13	7,83	9917978,25	31,79	1,49	3,64	5,43	0,25	5,72	87,00	3426,40	11,47	32537471,14	5,21	180000,00	21581674,14	1317191,38	-4,22	8792533,91	11989,82	0,04	70,04	21851118,75
2036	1,8	3,71	6,68	15,00	4769,14	0,23	2600323,31	8,33	10562646,84	33,85	1,49	3,71	5,52	0,25	6,09	87,00	3517,06	11,77	34652406,76	5,55	180000,00	22984482,96	1402808,82	-4,50	9364048,61	12769,16	0,04	73,57	22954606,10
2037	1,8	3,77	6,79	15,00	4892,07	0,24	2769344,32	8,88	11249218,88	36,06	1,49	3,77	5,62	0,25	6,48	87,00	3607,72	12,07	36904813,20	5,91	180000,00	24478474,35	1493991,39	-4,79	9972711,77	13599,15	0,04	77,31	24119205,51
2038	1,8	3,84	6,91	15,00	5015,01	0,24	2949351,71	9,45	11980418,11	38,40	1,49	3,84	5,72	0,25	6,90	87,00	3698,38	12,38	39303626,06	6,30	180000,00	26069575,18	1591100,83	-5,10	10620938,04	14483,10	0,05	81,25	25348889,25
2039	1,8	3,90	7,03	15,00	5137,94	0,25	3141059,57	10,07	12759145,28	40,89	1,49	3,90	5,81	0,25	7,35	87,00	3789,04	12,68	41858361,75	6,71	180000,00	27764097,57	1694522,39	-5,43	11311299,01	15424,50	0,05	85,41	26647887,81
2040	1,8	3,97	7,15	15,00	5260,88	0,25	3345228,44	10,72	13588489,73	43,55	1,49	3,97	5,91	0,25	7,83	87,00	3879,71	12,98	44579155,26	7,14	180000,00	29568763,91	1804666,34	-5,78	12046533,45	16427,09	0,05	89,81	28020706,66
2041	1,8	4,03	7,26	15,00	5383,81	0,26	3562668,29	11,42	14471741,56	46,38	1,49	4,03	6,01	0,25	8,34	87,00	3970,37	13,29	47476800,36	7,61	180000,00	31490733,57	1921969,65	-6,16	12829558,12	17494,85	0,06	94,46	29472144,10
2042	1,8	4,10	7,38	15,00	5506,75	0,26	3794241,73	12,16	15412404,76	49,40	1,49	4,10	6,11	0,25	8,88	87,00	4061,03	13,59	50562792,38	8,10	180000,00	33537631,25	2046897,68	-6,56	13663479,40	18632,02	0,06	99,38	31007310,36
2043	1,8	4,17	7,50	15,00	5629,69	0,27	4040867,44	12,95	16414211,07	52,61	1,49	4,17	6,20	0,25	9,46	87,00	4151,69	13,89	53849373,88	8,63	180000,00	35717577,28	2179946,03	-6,99	14551605,56	19843,10	0,06	104,59	32631647,80
2044	1,8	4,23	7,61	15,00	5752,62	0,28	4303523,82	13,79	17481134,79	56,03	1,49	4,23	6,30	0,25	10,07	87,00	4242,35	14,20	57349583,19	9,19	180000,00	38039219,80	2321642,52	-7,44	15497459,92	21132,90	0,07	110,10	34350952,55
2045	1,8	4,30	7,73	15,00	5875,56	0,28	4583252,87	14,69	18617408,55	59,67	1,49	4,30	6,40	0,25	10,73	87,00	4333,01	14,50	61077306,09	9,79	180000,00	40511769,09	2472549,29	-7,92	16504794,81	22506,54	0,07	115,93	36171397,48
2046	1,8	4,36	7,85	15,00	5998,49	0,29	4881164,31	15,64	19827540,11	63,55	1,49	4,36	6,49	0,25	11,43	87,00	4423,67	14,80	65047330,99	10,42	180000,00	43145034,08	2633264,99	-8,44	17577606,48	23969,46	0,08	122,11	38099556,71
2047	1,8	4,43	7,97	15,00	6121,43	0,29	5198439,99	16,66	21116330,21	67,68	1,49	4,43	6,59	0,25	12,17	87,00	4514,33	15,11	69275407,50	11,10	180000,00	45949461,30	2804427,22	-8,99	18720150,90	25527,48	0,08	128,6	

Inventário detalhado da AECV para o cenário CA

Etapa	Transporte						Triagem						Disposição				Investimento Inicial							CA					
	Óleo Diesel			Motorista			Alimentador Vibratório		Esteira 12m		Manutenção 1;4		Funcionários			Disposição AS		Caminhão 7:8			Instalações		Terreno		Licenciamento/ Estudos ambientais ⁵		LCC		
	Ano	N	R\$	R\$/UF	N	R\$	R\$/UF	R\$	R\$/UF	R\$	R\$/UF	R\$	R\$/UF	N	R\$	R\$/UF	R\$	R\$/UF	N	R\$	R\$/UF	R\$	R\$/UF	R\$	Valorização	R\$/UF	R\$	R\$/UF	IUF
2013	1,97	2,17	4,27	4,00	2034,00	0,09	100633,00	0,02	36096,00	0,01	600,00	0,00	4,00	1500,00	0,83	49,25	4,65	4,000	154730,00	1,79	1.843.910,00	0,43	1.800.000,00	0,00	20,833	620000,00	7,18	38,287	3308028,86
2014	1,97	2,28	4,49	4,00	2172,00	0,10	98620,34	0,02	35374,08	0,01	639,00	0,00	4,00	1601,77	0,89	25,31	2,39			0,00	1807031,80	0,42	1.917.000,00	117.000,00	-1,354	3195,00	0,04	6,968	602051,57
2015	1,97	2,34	4,61	4,00	2187,49	0,10	96607,68	0,02	34652,16	0,01	680,54	0,00	4,00	1613,19	0,90	26,36	2,49			0,00	1770153,60	0,41	2.041.605,00	124.605,00	-1,442	3402,68	0,04	7,109	614226,91
2016	1,97	2,41	4,74	4,00	2310,42	0,11	94595,02	0,02	33930,24	0,01	724,77	0,00	4,00	1703,85	0,95	27,74	2,62			0,00	1733275,40	0,40	2.174.309,33	132.704,33	-1,536	3623,85	0,04	7,324	632787,17
2017	1,97	2,47	4,87	4,00	2433,36	0,11	92582,36	0,02	33208,32	0,01	771,88	0,00	4,00	1794,51	1,00	29,18	2,76			0,00	1696397,20	0,39	2.315.639,43	141.330,11	-1,636	3859,40	0,04	7,538	651289,07
2018	1,97	2,54	5,00	4,00	2556,29	0,12	90569,70	0,02	32486,40	0,01	822,05	0,00	4,00	1885,17	1,05	30,67	2,90	4,000	78216,40	0,91	1659519,00	0,38	2.466.155,99	150.516,56	-1,742	4110,26	0,05	7,751	669728,82
2019	1,97	2,60	5,13	4,00	2679,23	0,12	88557,04	0,02	31764,48	0,01	875,49	0,00	4,00	1975,83	1,10	32,23	3,04			0,00	1622640,80	0,38	2.626.456,13	160.300,14	-1,855	4377,43	0,05	7,964	688102,37
2020	1,97	2,67	5,26	4,00	2802,16	0,13	86544,38	0,02	31042,56	0,01	932,39	0,00	4,00	2066,49	1,15	33,85	3,20			0,00	1585762,60	0,37	2.797.175,78	170.719,65	-1,976	4661,96	0,05	8,176	706405,43
2021	1,97	2,73	5,38	4,00	2925,10	0,14	84531,72	0,02	30320,64	0,01	993,00	0,00	4,00	2157,15	1,20	35,55	3,36			0,00	1548884,40	0,36	2.978.992,21	181.816,43	-2,104	4964,99	0,06	8,387	724633,41
2022	1,97	2,80	5,51	4,00	3048,04	0,14	82519,06	0,02	29598,72	0,01	1057,54	0,00	4,00	2247,81	1,25	37,32	3,53	4,000	87525,99	1,013	1512006,20	0,35	3.172.626,70	193.634,49	-2,241	5287,71	0,06	8,597	742781,43
2023	1,97	2,86	5,64	4,00	3170,97	0,15	80506,40	0,02	28876,80	0,01	1126,28	0,00	4,00	2338,48	1,30	39,17	3,70			0,00	1475128,00	0,34	3378847,44	206220,74	-2,39	5631,41	0,07	8,81	760844,30
2024	1,97	2,93	5,77	4,00	3293,91	0,15	78493,74	0,02	28154,88	0,01	1199,49	0,00	4,00	2429,14	1,35	41,11	3,88			0,00	1438249,80	0,33	3598472,52	219625,08	-2,54	5997,45	0,07	9,01	778816,47
2025	1,97	2,99	5,90	4,00	3416,84	0,16	76481,08	0,02	27432,96	0,01	1277,46	0,00	4,00	2519,80	1,40	43,14	4,08			0,00	1401371,60	0,32	3832373,23	233900,71	-2,71	6387,29	0,07	9,22	796692,06
2026	1,97	3,06	6,02	4,00	3539,78	0,16	74468,42	0,02	26711,04	0,01	1360,49	0,01	4,00	2610,46	1,45	45,27	4,28	4,00	96835,58	1,12	1364493,40	0,32	4081477,50	249104,26	-2,88	6802,46	0,08	9,43	814464,79
2027	1,97	3,12	6,15	4,00	3662,71	0,17	72455,76	0,02	25989,12	0,01	1448,92	0,01	4,00	2701,12	1,50	47,50	4,49			0,00	1327615,20	0,31	4346773,53	265296,04	-3,07	7244,62	0,08	9,63	832127,96
2028	1,97	3,19	6,28	4,00	3785,65	0,18	70443,10	0,02	25267,20	0,01	1543,10	0,01	4,00	2791,78	1,55	49,84	4,71			0,00	1290737,00	0,30	4629313,81	282540,28	-3,27	7715,52	0,09	9,83	849674,47
2029	1,97	3,25	6,41	4,00	3908,59	0,18	68430,44	0,02	24545,28	0,01	1643,41	0,01	4,00	2882,44	1,60	52,31	4,94			0,00	1253858,80	0,29	4930219,21	300905,40	-3,48	8217,03	0,10	10,04	867096,72
2030	1,97	3,32	6,54	4,00	4031,52	0,19	66417,78	0,02	23823,36	0,01	1750,23	0,01	4,00	2973,10	1,65	54,90	5,19	4,00	106145,16	1,23	1216980,60	0,28	5250683,46	320464,25	-3,71	8751,14	0,10	10,24	884386,65
2031	1,97	3,38	6,67	4,00	4154,46	0,19	64405,12	0,01	23101,44	0,01	1863,99	0,01	4,00	3063,76	1,70	57,62	5,44			0,00	1180102,40	0,27	5591977,88	341294,42	-3,95	9319,96	0,11	10,43	901535,64
2032	1,97	3,45	6,79	4,00	4277,39	0,20	62392,46	0,01	22379,52	0,01	1985,15	0,01	4,00	3154,42	1,75	60,48	5,71			0,00	1143224,20	0,26	5955456,45	363478,56	-4,21	9925,76	0,11	10,63	918534,53
2033	1,97	3,51	6,92	4,00	4400,33	0,20	60379,80	0,01	21657,60	0,01	2114,19	0,01	4,00	3245,08	1,80	88,31	8,34			0,00	1106346,00	0,26	6342561,11	387104,67	-4,48	10570,94	0,12	13,17	1137897,01
2034	1,97	3,58	7,05	4,00	4523,26	0,21	58367,14	0,01	20935,68	0,00	2251,61	0,01	4,00	3335,74	1,85	66,68	6,30	4,00	115454,75	1,34	1069467,80	0,25	6754827,59	412266,47	-4,77	11258,05	0,13	11,02	952042,39
2035	1,97	3,64	7,18	4,00	4646,20	0,22	56354,48	0,01	20213,76	0,00	2397,96	0,01	4,00	3426,40	1,90	70,04	6,62			0,00	1032589,60	0,24	7193891,38	439063,79	-5,08	11989,82	0,14	11,21	968529,90
2036	1,97	3,71	7,31	4,00	4769,14	0,22	54341,82	0,01	19491,84	0,00	2553,83	0,01	4,00	3517,06	1,95	73,57	6,95			0,00	995711,40	0,23	7661494,32	467602,94	-5,41	12769,16	0,15	11,40	984824,32
2037	1,97	3,77	7,44	4,00	4892,07	0,23	52329,16	0,01	18769,92	0,00	2719,83	0,01	4,00	3607,72	2,00	77,31	7,30			0,00	958833,20	0,22	8159491,45	497997,13	-5,76	13599,15	0,16	11,58	1000913,09
2038	1,97	3,84	7,56	4,00	5015,01	0,23	50316,50	0,01	18048,00	0,00	2896,62	0,01	4,00	3698,38	2,05	81,25	7,68	4,00	124764,34	1,44	921955,00	0,21	8689858,39	530366,94	-6,14	14483,10	0,17	11,77	1016782,86
2039	1,97	3,90	7,69	4,00	5137,94	0,24	48303,84	0,01	17326,08	0,00	3084,90	0,01	4,00	3789,04	2,11	85,41	8,07			0,00	885076,80	0,20	9254699,19	564840,80	-6,54	15424,50	0,18	11,95	1032419,39
2040	1,97	3,97	7,82	4,00	5260,88	0,24	46291,18	0,01	16604,16	0,00	3285,42	0,01	4,00	3879,71	2,16	89,81	8,48			0,00	848198,60	0,20	9856254,64	601555,45	-6,96	16427,09	0,19	12,13	1047807,52
2041	1,97	4,03	7,95	4,00	5383,81	0,25	44278,52	0,01	15882,24	0,00	3498,97	0,01	4,00	3970,37	2,21	94,46	8,92			0,00	811320,40	0,19	10496911,19	640656,55	-7,42	17494,85	0,20	12,30	1062931,10
2042	1,97	4,10	8,08	4,00	5506,75	0,25	42265,86	0,01	15160,32	0,00	3726,40	0,01	4,00	4061,03	2,26	99,38	9,39	4,00	134073,93	1,55	774442,20	0,18	11179210,42	682299,23	-7,90	18632,02	0,22	12,47	1077772,93
2043	1,97	4,17	8,20	4,00	5629,69	0,26	40253,20	0,01	14438,40	0,00	3968,62	0,02	4,00	4151,69	2,31	104,59	9,88			0,00	737564,00	0,17	11905859,09	726648,68	-8,41	19843,10	0,23	12,64	1092314,71
2044	1,97	4,23	8,33	4,00	5752,62	0,27	38240,54	0,01	13716,48	0,00	4226,58	0,02	4,00	4242,35	2,36	110,10	10,40			0,00	700685,80	0,16	12679739,93	773880,84	-8,96	21132,90	0,24	12,81	1106536,92
2045	1,97	4,30	8,46	4,00	5875,56	0,27	36227,88	0,01	12994,56	0,00	4501,31	0,02	4,00	4333,01	2,41	115,93	10,95			0,00	663807,60	0,15	13503923,03	824183,10	-9,54	22506,54	0,26	12,97	1120418,80
2046	1,97	4,36	8,59	4,00	5998,49	0,28	34215,22	0,01	12272,64	0,00	4793,89	0,02	4,00	4423,67	2,46	122,11	11,54	4,00	143383,51	1,66	626929,40	0,15	14381678,03	877755,00	-10,16	23969,46	0,28	13,12	1133938,23
2047	1,97	4,43	8,72	4,00	6121,43	0,28	32202,56	0,01	11550,72	0,00	5105,50	0,02	4,00	4514,33	2,51	128,66	12,15			0,00	590051,20	0,14	15316487,10	934809,07	-10,82	25527,48	0,30	13,28	1147071,64
2048	1,97	4,49	8,85	4,00	6244,36	0,29	30189,90	0,01	10828,80	0,00	5437,35	0,02	4,00	4604,99	2,56	135,60	12,81			0,00	553173,00	0,13	16312058,76	995571,66	-11,52	27186,76	0,31	13,42	1159793,95
2049	1,97	4,56	8,97	4,00	6367,30	0,29	28177,24	0,01	10106,88	0,00	5790,78	0,02	4,00	4695,65	2,61	142,96	13,51			0,00	516294,80	0,12	17372342,58	1060283,82	-12,27	28953,90	0,34	13,57	1172078,43
2050	1,97	4,62	9,10	4,00	6490,24	0,30	26164,58	0,01	9384,96	0,00	6167,18	0,02	4,00	4786,31	2														

Inventário detalhado da AECV para o cenário UR1

Etapa	Transporte									Triagem									Reciclagem																	
	Coleta			Óleo Diesel			Motorista			Óleo Trator ¹			Funcionários ^{1:4}			Disposição AS (t)			Consumo ^{3:4} (kw.h)			Manutenção ^{1:4}			Óleo Diesel ^{1:2} (L)			Funcionários ^{1:4}			Consumo ^{3:4} (kw.h)		Manutenção ^{1:4}			
	Ano	N/t	R\$	R\$/UF	N/t	R\$	R\$/UF	N/t	R\$	R\$/UF	N/t	R\$	R\$/UF	N/t	R\$	R\$/UF	N	R\$	R\$/UF	N	R\$	R\$/UF	N	R\$	R\$/UF	N	R\$	R\$/UF	N	R\$	R\$/UF	N	R\$	R\$/UF	N	R\$
2013	1	6,00	6,00	1,97	2,17	4,27	4,00	2034,00	0,09	0,22	2,17	0,48	4,00	1499,74	0,83	0,03	49,25	4,65	1,17	0,40	1/3	1000,00	0,00	0,00	2,17	0,01	3,00	2712,00	1,13	3,02	1,04	5000,00	0,02			
2014	1	6,39	6,39	1,97	2,28	4,49	4,00	2172,00	0,10	0,22	2,28	0,51	4,00	1601,49	0,89	0,03	25,31	2,39	1,17	0,43	1/3	1065,00	0,00	0,00	2,28	0,01	3,00	2896,00	1,21	3,02	1,11	5325,00	0,02			
2015	1	6,81	6,81	1,97	2,34	4,61	4,00	2187,49	0,10	0,22	2,34	0,52	4,00	1612,91	0,90	0,03	26,36	2,49	1,17	0,46	1/3	1134,23	0,00	0,00	2,34	0,01	3,00	2916,65	1,22	3,02	1,18	5671,13	0,02			
2016	1	7,25	7,25	1,97	2,41	4,74	4,00	2310,42	0,11	0,22	2,41	0,53	4,00	1703,55	0,95	0,03	27,74	2,62	1,17	0,49	1/3	1207,95	0,00	0,00	2,41	0,01	3,00	3080,56	1,28	3,02	1,26	6039,75	0,02			
2017	1	7,72	7,72	1,97	2,47	4,87	4,00	2433,36	0,11	0,22	2,47	0,55	4,00	1794,20	1,00	0,03	29,18	2,76	1,17	0,52	1/3	1286,47	0,00	0,00	2,47	0,01	3,00	3244,48	1,35	3,02	1,34	6432,33	0,02			
2018	1	8,22	8,22	1,97	2,54	5,00	4,00	2556,29	0,12	0,22	2,54	0,56	4,00	1884,84	1,05	0,03	30,67	2,90	1,17	0,55	1/3	1370,09	0,01	0,00	2,54	0,01	3,00	3408,39	1,42	3,02	1,42	6850,43	0,03			
2019	1	8,75	8,75	1,97	2,60	5,13	4,00	2679,23	0,12	0,22	2,60	0,58	4,00	1975,58	1,10	0,03	32,23	3,04	1,17	0,59	1/3	1459,14	0,01	0,00	2,60	0,01	3,00	3572,30	1,49	3,02	1,52	7295,71	0,03			
2020	1	9,32	9,32	1,97	2,67	5,26	4,00	2802,16	0,13	0,22	2,67	0,59	4,00	2066,13	1,15	0,03	33,85	3,20	1,17	0,62	1/3	1553,99	0,01	0,00	2,67	0,01	3,00	3736,22	1,56	3,02	1,62	7769,93	0,03			
2021	1	9,93	9,93	1,97	2,73	5,38	4,00	2925,10	0,14	0,22	2,73	0,61	4,00	2156,77	1,20	0,03	35,55	3,36	1,17	0,66	1/3	1655,00	0,01	0,00	2,73	0,01	3,00	3900,13	1,63	3,02	1,72	8274,98	0,03			
2022	1	10,58	10,58	1,97	2,80	5,51	4,00	3048,04	0,14	0,22	2,80	0,62	4,00	2247,42	1,25	0,03	37,32	3,53	1,17	0,71	1/3	1762,57	0,01	0,00	2,80	0,01	3,00	4064,05	1,69	3,02	1,83	8812,85	0,03			
2023	1	11,26	11,26	1,97	2,86	5,64	4,00	3170,97	0,15	0,22	2,86	0,64	4,00	2338,06	1,30	0,03	39,17	3,70	1,17	0,75	1/3	1877,14	0,01	0,00	2,86	0,01	3,00	4227,96	1,76	3,02	1,95	9385,69	0,04			
2024	1	11,99	11,99	1,97	2,93	5,77	4,00	3293,91	0,15	0,22	2,93	0,65	4,00	2428,71	1,35	0,03	41,11	3,88	1,17	0,80	1/3	1999,15	0,01	0,00	2,93	0,01	3,00	4391,88	1,83	3,02	2,08	9995,76	0,04			
2025	1	12,77	12,77	1,97	2,99	5,90	4,00	3416,84	0,16	0,22	2,99	0,66	4,00	2519,35	1,40	0,03	43,14	4,08	1,17	0,86	1/3	2129,10	0,01	0,00	2,99	0,01	3,00	4555,79	1,90	3,02	2,21	10645,48	0,04			
2026	1	13,60	13,60	1,97	3,06	6,02	4,00	3539,78	0,16	0,22	3,06	0,68	4,00	2610,00	1,45	0,03	45,27	4,28	1,17	0,91	1/3	2267,49	0,01	0,00	3,06	0,01	3,00	4719,70	1,97	3,02	2,36	11337,44	0,04			
2027	1	14,49	14,49	1,97	3,12	6,15	4,00	3662,71	0,17	0,22	3,12	0,69	4,00	2700,64	1,50	0,03	47,50	4,49	1,17	0,97	1/3	2414,87	0,01	0,00	3,12	0,01	3,00	4883,62	2,03	3,02	2,51	12074,37	0,05			
2028	1	15,43	15,43	1,97	3,19	6,28	4,00	3785,65	0,18	0,22	3,19	0,71	4,00	2791,29	1,55	0,03	49,84	4,71	1,17	1,03	1/3	2571,84	0,01	0,00	3,19	0,01	3,00	5047,53	2,10	3,02	2,67	12859,21	0,05			
2029	1	16,43	16,43	1,97	3,25	6,41	4,00	3908,59	0,18	0,22	3,25	0,72	4,00	2881,93	1,60	0,03	52,31	4,94	1,17	1,10	1/3	2739,01	0,01	0,00	3,25	0,01	3,00	5211,45	2,17	3,02	2,85	13695,05	0,05			
2030	1	17,50	17,50	1,97	3,32	6,54	4,00	4031,52	0,19	0,22	3,32	0,74	4,00	2972,58	1,65	0,03	54,90	5,19	1,17	1,17	1/3	2917,05	0,01	0,00	3,32	0,01	3,00	5375,36	2,24	3,02	3,03	14585,23	0,06			
2031	1	18,64	18,64	1,97	3,38	6,67	4,00	4154,46	0,19	0,22	3,38	0,75	4,00	3063,22	1,70	0,03	57,62	5,44	1,17	1,25	1/3	3106,65	0,01	0,00	3,38	0,01	3,00	5539,28	2,31	3,02	3,23	15533,27	0,06			
2032	1	19,85	19,85	1,97	3,45	6,79	4,00	4277,39	0,20	0,22	3,45	0,77	4,00	3153,86	1,75	0,03	60,48	5,71	1,17	1,33	1/3	3308,59	0,01	0,00	3,45	0,01	3,00	5703,19	2,38	3,02	3,44	16542,93	0,06			
2033	1	21,14	21,14	1,97	3,51	6,92	4,00	4400,33	0,20	0,22	3,51	0,78	4,00	3244,51	1,80	0,03	63,31	6,00	1,17	1,42	1/3	3523,65	0,01	0,00	3,51	0,01	3,00	5867,10	2,44	3,02	3,66	17618,23	0,07			
2034	1	22,52	22,52	1,97	3,58	7,05	4,00	4523,26	0,21	0,22	3,58	0,79	4,00	3335,15	1,85	0,03	66,68	6,30	1,17	1,51	1/3	3752,68	0,01	0,00	3,58	0,01	3,00	6031,02	2,51	3,02	3,90	18763,41	0,07			
2035	1	23,98	23,98	1,97	3,64	7,18	4,00	4646,20	0,22	0,22	3,64	0,81	4,00	3425,80	1,90	0,03	70,04	6,62	1,17	1,61	1/3	3996,61	0,02	0,00	3,64	0,01	3,00	6194,93	2,58	3,02	4,15	19983,03	0,08			
2036	1	25,54	25,54	1,97	3,71	7,31	4,00	4769,14	0,22	0,22	3,71	0,82	4,00	3516,44	1,95	0,03	73,57	6,95	1,17	1,71	1/3	4256,39	0,02	0,00	3,71	0,01	3,00	6358,85	2,65	3,02	4,42	21281,93	0,08			
2037	1	27,20	27,20	1,97	3,77	7,44	4,00	4892,07	0,23	0,22	3,77	0,84	4,00	3607,09	2,00	0,03	77,31	7,30	1,17	1,82	1/3	4533,05	0,02	0,00	3,77	0,01	3,00	6522,76	2,72	3,02	4,71	22665,25	0,09			
2038	1	28,97	28,97	1,97	3,84	7,56	4,00	5015,01	0,23	0,22	3,84	0,85	4,00	3697,73	2,05	0,03	81,25	7,68	1,17	1,94	1/3	4827,70	0,02	0,00	3,84	0,01	3,00	6686,68	2,79	3,02	5,02	24138,50	0,09			
2039	1	30,85	30,85	1,97	3,90	7,69	4,00	5137,94	0,24	0,22	3,90	0,87	4,00	3788,38	2,10	0,03	85,41	8,07	1,17	2,07	1/3	5141,50	0,02	0,00	3,90	0,02	3,00	6850,59	2,85	3,02	5,34	25707,50	0,10			
2040	1	32,85	32,85	1,97	3,97	7,82	4,00	5260,88	0,24	0,22	3,97	0,88	4,00	3879,02	2,16	0,03	89,81	8,48	1,17	2,20	1/3	5475,70	0,02	0,00	3,97	0,02	3,00	7014,50	2,92	3,02	5,69	27378,49	0,11			
2041	1	34,99	34,99	1,97	4,03	7,95	4,00	5383,81	0,25	0,22	4,03	0,90	4,00	3969,67	2,21	0,03	94,46	8,92	1,17	2,34	1/3	5831,62	0,02	0,00	4,03	0,02	3,00	7178,42	2,99	3,02	6,06	29158,09	0,11			
2042	1	37,26	37,26	1,97	4,10	8,08	4,00	5506,75	0,25	0,22	4,10	0,91	4,00	4060,31	2,26	0,03	99,38	9,39	1,17	2,49	1/3	6210,67	0,02	0,00	4,10	0,02	3,00	7342,33	3,06	3,02	6,46	31053,36	0,12			
2043	1	39,69	39,69	1,97	4,17	8,20	4,00	5629,69	0,26	0,22	4,17	0,92	4,00	4150,95	2,31	0,03	104,59	9,88	1,17	2,66	1/3	6614,37	0,03	0,00	4,17	0,02	3,00	7506,25	3,13	3,02	6,87	33071,83	0,13			
2044	1	42,27	42,27	1,97	4,23	8,33	4,00	5752,62	0,27	0,22	4,23	0,94	4,00	4241,60	2,36	0,03	110,10	10,40	1,17	2,83	1/3	7044,30	0,03	0,00	4,23	0,02	3,00	7670,16	3,20	3,02	7,32	35221,50	0,14			
2045	1	45,01	45,01	1,97	4,30	8,46	4,00	5875,56	0,27	0,22	4,30	0,95	4,00	4332,24	2,41	0,03	115,93	10,95	1,17	3,01	1/3	7502,18	0,03	0,00	4,30	0,02	3,00	7834,08	3,26	3,02	7,80	37510,90	0,14			
2046	1	47,94	47,94	1,97	4,36	8,59	4,00	5998,49	0,28	0,22	4,36	0,97	4,00	4422,89	2,46	0,03	122,11	11,54	1,17	3,21	1/3	7989,82	0,03	0,00	4,36	0,02	3,00	7997,99	3,33	3,02	8,30	39949,11	0,15			
2047	1	51,05	51,05	1,97	4,43	8,72	4,00	6121,43	0,28	0,22	4,43	0,98	4,00	4513,53	2,51	0,03	128,66	12,15	1,17	3,42	1/3	8509,16	0,03	0,00	4,43	0,02	3,00	8161,90	3,40	3,02	8,84	42545,80	0,16			
2048	1	54,37	54,37	1,97	4,49	8,85	4,00	6244,36	0,29	0,22	4,49	1,00	4,00	4604,18	2,56	0,03	135,60	12,81	1,17	3,64	1/3	9062,25	0,03	0,00	4,49	0,02	3,00	8325,82	3,47	3,02	9,42	45311,27	0,17			

Inventário da AECV para veículos

Veículo	Custo Veículos Aterro Biguaçu						Custo Diesel				
	Quantidade	Valor/h	Custo bruto	Custo/t	Custo/ ano	Custo/20 anos	Diesel (l/h)	Diesel (l/t)	Diesel R\$/dia	Diesel (R\$/20anos)	Diesel (R\$/t)
Trator Esteira com Lâmina	3,00	160,00	480,00	2,95	921.600,00	18.432.000,00	17	0,314	983,28	4.719.744,00	0,756
Caminhão Caçamba* mês	3,00	75,00	225,00	1,38	432.000,00	8.640.000,00	16	0,295	925,44	4.442.112,00	0,712
Retroescavadeira	2,00	70,00	140,00	0,86	268.800,00	5.376.000,00	17	0,209	655,52	3.146.496,00	0,504
Escavadeira	3,00	160,00	480,00	2,95	921.600,00	18.432.000,00	13	0,240	751,92	3.609.216,00	0,578
Patrola	1,00	130,00	130,00	0,80	249.600,00	4.992.000,00	10	0,062	192,8	925.440,00	0,148
Rolo Compactador* mês	1,00	62,50	62,50	0,38	120.000,00	2.400.000,00	15	0,092	289,2	1.388.160,00	0,222
Caminhão Tanque lodo (p)	1,00	17,80	17,80	0,11	34.179,69	683.593,75	14	0,086	269,92	1.295.616,00	0,208
Caminhão Tanque* mês	1,00	56,25	56,25	0,35	108.000,00	2.160.000,00	15	0,092	289,2	1.388.160,00	0,222
Caminhão Poliguindaste (p)	1,00	19,14	19,14	0,12	36.743,16	734.863,28	16	0,098	308,48	1.480.704,00	0,237
Total	16,00	750,69	1.610,69	9,912	3.092.522,852	61.850.457,03	133,00	1,489	4.665,76	22.395.648,00	3,589

Veículo	Quantidade	Custo Veículos KOMAT'SU (depreciação receita federal)					Custo Diesel				
		Valor	Custo bruto	Depreciação 4 anos	Depreciação/20 anos	Custo/20 anos (R\$)	Diesel (l/h)	Diesel (l/t)	Diesel (R\$/l)/dia	Diesel (R\$/20anos)	Diesel (R\$/t)
Carregadeira	1,00	340.000,00	340.000,00	107.578,13	537.890,63	1.162.109,38	10	0,062	192,8	925.440,00	0,148
Trator Esteira com Lâmina	3,00	800.000,00	2.400.000,00	759.375,00	3.796.875,00	8.203.125,00	17	0,105	327,76	1.573.248,00	0,252
Caminhão Caçamba	3,00	263.000,00	789.000,00	249.644,53	1.248.222,66	2.696.777,34	16	0,098	308,48	1.480.704,00	0,237
Escavadeira	3,00	500.000,00	1.500.000,00	474.609,38	2.373.046,88	5.126.953,13	17	0,105	327,76	1.573.248,00	0,252
Patrola	1,00	550.000,00	550.000,00	174.023,44	870.117,19	1.879.882,81	13	0,080	250,64	1.203.072,00	0,193
Rolo Compactador	1,00	350.000,00	350.000,00	110.742,19	553.710,94	1.196.289,06	10	0,062	192,8	925.440,00	0,148
Caminhão Tanque*	1,00	200.000,00	200.000,00	63.281,25	316.406,25	683.593,75	15	0,092307692	289,2	1.388.160,00	0,222
Caminhão Poliguindaste	1,00	215.000,00	215.000,00	68.027,34	340.136,72	734.863,28	14	0,086153846	269,92	1.295.616,00	0,208
Total	13,00	2.878.000,00	6.004.000,00	1.899.703,13	9.498.515,63	20.521.484,38	102,00	0,63	1.966,56	9.439.488,00	1,513

Veículo	Quantidade	Custo Veículos				Custo Diesel				
		Valor/h	Custo bruto	Custo/t	Custo/20 anos	Diesel (l/h)	Diesel (l/t)	Diesel (R\$/l)/dia	Diesel (R\$/20anos)	Diesel (R\$/t)
Escavadeira URI	1,00	160,00	160,00	3,56	15.360.000,00	13	0,289	250,64	1.203.072,00	0,067
Escavadeira Pedreira	3,00	160,00	480,00	2,56	0,20	13	0,069	751,92	3.609.216,00	45115200,000

Ford Cargo 2622	Referência 2002	Referência 2003	Referência 2004	Referência 2005	Referência 2006	Referência 2007	Referência 2008	Referência 2009	Referência 2010	Referência 2011	Referência 2012	Referência 2013	Referência 2014
modelo 2002	103.012,00	90.139,00	106.070,00	114.062,00	111.954,00	115.948,00	125.466,00	114.820,00	110.984,00	109.800,00	100.884,00	95.347,00	92.926,00
modelo 2003	-	122.142,00	109.757,00	118.024,00	117.257,00	122.830,00	131.221,00	119.305,00	115.684,00	113.669,00	103.965,00	100.346,00	96.935,00
modelo 2004	-	-	147.546,00	122.033,00	125.567,00	131.017,00	136.237,00	123.940,00	120.128,00	119.012,00	110.895,00	104.074,00	104.065,00
modelo 2005	-	-	-	154.917,00	137.640,00	137.524,00	141.694,00	129.362,00	125.984,00	125.729,00	114.174,00	108.427,00	108.392,00
modelo 2006	-	-	-	-	172.335,00	142.779,00	147.136,00	138.250,00	138.222,00	135.444,00	118.627,00	112.503,00	112.578,00
modelo 2007	-	-	-	-	-	178.291,00	152.744,00	144.055,00	144.845,00	141.088,00	125.255,00	121.874,00	119.341,00
modelo 2008	-	-	-	-	-	-	195.371,00	154.010,00	151.040,00	149.180,00	132.965,00	125.795,00	124.829,00
modelo 2009	-	-	-	-	-	-	-	190.438,00	156.652,00	154.593,00	136.960,00	132.583,00	131.174,00
modelo 2010	-	-	-	-	-	-	-	-	190.512,00	161.035,00	146.452,00	138.088,00	137.043,00
modelo 2011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	206.285,00	153.542,00	146.329,00	146.484,00
modelo 2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	201.504,00	154.730,00	153.321,00

Ford Cargo 2622	compra	venda	Total	Gasto parcial	Gasto total
2002	103.012,00		103.012,00	103.012,00	
2003	122.142,00			109707,78	
2004	147.546,00			116.838,79	
2005	154.917,00			124.433,31	
2006	172.335,00	111.954,00	60.381,00	132.521,47	
2007	178.291,00			205.441,13	437.840,85
2008	195.371,00			218.794,81	
2009	190.438,00			233.016,47	
2010	190.512,00	110.984,00	79.528,00	248.162,54	
2011	206.285,00			348.990,42	
2012	201.504,00			371.674,80	
2013	176.956,00			395.833,66	
2014	153.321,00	137.043,00	16.278,00	421.562,85	154.730,00
2015	206.908,50	135.674,29		448.964,44	
2016	212.372,02	138.810,42		478.147,13	
2017	217.835,54	141.946,54		509.226,69	
2018	223.299,07	145.082,67	78.216,40	542.326,42	
2019	228.762,59	148.218,79		660.878,11	
2020	234.226,11	151.354,92		703.835,18	
2021	239.689,63	154.491,04		749.584,47	
2022	245.153,15	157.627,17	87.525,99	798.307,46	
2023	250.616,68	160.763,29		943.412,62	
2024	256.080,20	163.899,42		1.004.734,44	
2025	261.543,72	167.035,54		1.070.042,18	
2026	267.007,24	170.171,67	96.835,58	1.139.594,92	
2027	272.470,76	173.307,79		1.316.798,48	
2028	277.934,29	176.443,92		1.402.390,38	
2029	283.397,81	179.580,04		1.493.545,76	
2030	288.861,33	182.716,17	106.145,16	1.590.626,23	
2031	294.324,85	185.852,29		1.807.061,53	
2032	299.788,37	188.988,42		1.924.520,53	
2033	305.251,90	192.124,54		2.049.614,37	
2034	310.715,42	195.260,67	115.454,75	2.182.839,30	
2035	316.178,94	198.396,79		2.447.683,17	
2036	321.642,46	201.532,92		2.606.782,57	
2037	327.105,98	204.669,04		2.776.223,44	
2038	332.569,51	207.805,17	124.764,34	2.956.677,96	
2039	338.033,03	210.941,29		3.281.736,05	
2040	343.496,55	214.077,42		3.495.048,89	
2041	348.960,07	217.213,54		3.722.227,07	
2042	354.423,59	220.349,67	134.073,93	3.964.171,83	
2043	359.887,12	223.485,79		4.364.631,73	
2044	365.350,64	226.621,92		4.648.332,80	
2045	370.814,16	229.758,04		4.950.474,43	
2046	376.277,68	232.894,17	143.383,51	5.272.255,27	
2047	381.741,20	236.030,29		5.767.655,30	
2048	387.204,73	239.166,42		6.142.552,90	
2049	392.668,25	242.302,54		6.541.818,83	
2050	398.131,77	245.438,67	152.693,10	6.967.037,06	
2051	403.595,29	248.574,79		7.582.512,62	
2052	409.058,81	251.710,92		8.075.375,94	
2053	414.522,34	254.847,04		8.600.275,38	
2054	419.985,86	257.983,17	162.002,69	9.159.293,28	
2055	425.449,38	261.119,29		9.927.180,21	
2056	430.912,90	264.255,42		10.572.446,92	
2057	436.376,42	267.391,54		11.259.655,97	
2058	441.839,95	270.527,67	171.312,28	11.991.533,61	
2059	447.303,47	273.663,79		12.953.430,87	
2060	452.766,99	276.799,92		13.795.403,87	
2061	458.230,51	279.936,04		14.692.105,12	
2062	463.694,03	283.072,17	180.621,87	15.647.091,96	15.827.713,82
2063	0,00	286.024,42	-286.024,42	16.856.515,22	16.570.490,80

Inventário da AECV para licenciamento e estudos ambientais.

AS	Licenciamento Amb.	Total
EIA/RIMA	200.000,00	2.200.000,00

CA	Licenciamento Amb.	Total
EIA/RIMA	120.000,00	620.000,00

UR	Licenciamento Amb.	Total
EIA/RIMA	150.000,00	1.150.000,00

Inventário da AECV para licenciamento e estudos ambientais.

Cenário	Terreno (m2)	Valor 2013
UR/50 anos	20.000,00	600.000,00
CA/50 anos	50.000,00	1.800.000,00
AS/20 anos	180.000,00	5.400.000,00

Inventário da AECV para consumo de energia, dados do Aterro Sanitário de Itajaí.

Emissão	kw.h	Valor
dez/11	30.000	R\$ 15.793,11
jan/12	30.720	R\$ 16.086,76
fev/12	36.000	R\$ 17.462,49
mar/12	35.280	R\$ 17.280,48
abr/12	26.880	R\$ 15.162,70
mai/12	26.040	R\$ 14.920,14
jun/12	24.000	R\$ 14.014,28
jul/12	26.640	R\$ 14.886,29
ago/12	25.200	R\$ 14.491,07
set/12	25.470	R\$ 15.529,82
out/12	25.426	R\$ 12.697,77
nov/12	25.619	R\$ 12.465,72
dez/12	23.271	R\$ 11.855,26
jan/13	36.275	R\$ 15.280,73
fev/13	28.124	R\$ 10.679,65
mar/13	29.842	R\$ 11.006,43
abr/13	31.545	R\$ 11.117,00
mai/13	0	R\$ 3.972,04
jun/13	25.063	R\$ 9.568,38
jul/13	46.292	R\$ 14.757,84
ago/13	61.878	R\$ 20.598,85
set/13	60.992	R\$ 20.740,84