

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**Cristian Jonathan Franco de Lima**

**SUSTENTABILIDADE DE CONCRETOS COM MISTURAS BINÁRIAS  
DE POZOLANAS E RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO DE CONCRETO  
COM ÊNFASE NA AVALIAÇÃO E CUSTO DO CICLO DE VIDA**

**Santa Maria, RS  
2018**



**Cristian Jonathan Franco de Lima**

**SUSTENTABILIDADE DE CONCRETOS COM MISTURAS BINÁRIAS DE  
POZOLANAS E RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO DE CONCRETO COM ÊNFASE NA  
AVALIAÇÃO E CUSTO DO CICLO DE VIDA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), na área de concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Cechella Isaia

Santa Maria, RS  
2018

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Franco de Lima, Cristian Jonathan  
SUSTENTABILIDADE DE CONCRETOS COM MISTURAS BINÁRIAS  
DE POZOLANAS E RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO DE CONCRETO COM  
ÊNFASE NA AVALIAÇÃO E CUSTO DO CICLO DE VIDA / Cristian  
Jonathan Franco de Lima.- 2018.  
217 p.; 30 cm

Orientador: Geraldo Cechella Isaia  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil, RS, 2018

1. Impactos ambientais 2. Agregado Reciclado de  
Concreto 3. Pozolanas 4. ACV 5. CCV I. Cechella Isaia,  
Geraldo II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

**Cristian Jonathan Franco de Lima**

**SUSTENTABILIDADE DE CONCRETOS COM MISTURAS BINÁRIAS DE  
POZOLANAS E RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO DE CONCRETO COM ÊNFASE NA  
AVALIAÇÃO E CUSTO DO CICLO DE VIDA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), na área de concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

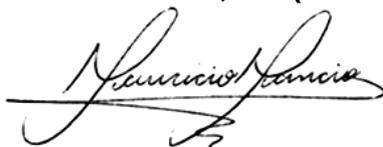
**Aprovado em 28 de agosto de 2018:**

---

**Geraldo Cechella Isaia, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**André Lübeck, Dr. (UFSM)**



---

**Mauricio Mancio, Dr. (UNISINOS)**

Santa Maria, RS  
2018



## **DEDICATÓRIA**

*Dedico esse trabalho primeiramente a Deus e aos meus amados e queridos Pais, Neiva e Clovis, que sempre tiveram Fé e através de todo seu amor e suor realizaram junto comigo este sonho, sem medir esforços para consolidação do meu saber. A minha avó Norci que sempre me apoiou em todos os momentos, servindo como fonte de inspiração em continuar buscando a concretização de todos os meus anseios.*



## AGRADECIMENTOS



*Agradeço primeiramente a todos os meus familiares que sempre estiveram presentes e acompanharam de perto minha trajetória de vida e acadêmica.*

*A todos os meus amigos, que sempre me deram muita força durante essa caminhada e colaboraram para que este sonho se tornasse realidade de diversas formas, obrigado pela amizade verdadeira.*

*Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria e aos amigos do Grupo de Estudos e Pesquisas em Estruturas de Concreto (GEPECON), agradeço de coração por toda ajuda e por fazerem parte da formação do meu caráter profissional.*

*Agradeço de forma muito especial o Professor Dr. Geraldo Cechella Isaia, que me orientou nessa dissertação de Mestrado. Muito obrigado pela amizade e por ser uma grande referência na minha vida.*



## RESUMO

### SUSTENTABILIDADE DE CONCRETOS COM MISTURAS BINÁRIAS DE POZOLANAS E RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO DE CONCRETO COM ÊNFASE NA AVALIAÇÃO E CUSTO DO CICLO DE VIDA

AUTOR: Cristian Jonathan Franco de Lima

ORIENTADOR: Geraldo Cechella Isaia

Com o crescente aumento do consumo dos recursos naturais em nível mundial, geram-se grandes preocupações em relação ao meio ambiente, tornando a sustentabilidade um assunto em destaque quanto à qualidade de vida e a sobrevivência dos seres vivos. Com o intuito de reduzir esses impactos, grande parte dos segmentos da sociedade tem buscado repensar suas estratégias de produção, principalmente o setor da construção civil que é um dos maiores consumidores de recursos naturais, geradores de resíduos e emissões de gases prejudiciais do efeito estufa. Relacionado a este contexto, a presente pesquisa visa estudar diferentes traços de concreto utilizados para o dimensionamento de um pilar, utilizando dois tipos de cimento (CP IV e CP V- ARI), dois tipos de pozolanas (cinza de casca de arroz e cinza volante), bem como, agregado graúdo proveniente de resíduos de demolição de concreto, a fim de verificar os principais impactos ambientais causados por cada mistura e definir qual a melhor alternativa de concreto/pilar do ponto de vista ambiental/sustentável e econômico. Previamente foram definidos os traços a serem utilizados, por meio da curva de Abrams e estudos de dosagem, sendo que num total de dez traços distintos, cinco foram dosados para  $f_{ck}=25\text{MPa}$ , e cinco dosados para  $f_{ck}=35\text{MPa}$ ; posteriormente, foram realizadas as moldagens dos corpos de prova de acordo com os traços estabelecidos, seguido dos ensaios de Resistência à Compressão Axial, Módulo de Elasticidade, Penetração de Íons Cloretos por Imersão, Custo do Ciclo de Vida (CCV) e Análise do Ciclo de Vida (ACV). No que diz respeito à Resistência a Compressão Axial, observou-se que a substituição do agregado graúdo natural (AGN) por agregado reciclado de concreto (ARC) foi prejudicial, causando significativa diminuição da resistência, a qual foi contrabalanceada com a utilização das pozolanas, bem como, alteração das relações a/ag, sendo que, no ensaio de Módulo de Elasticidade notou-se tendência semelhante. Em relação à durabilidade, verificou-se que os menores coeficientes de penetração de íons cloretos, de maneira geral, ocorreram para os traços em que se utilizou cimento CP V, além da substituição parcial do AGN por ARC em percentual de 15% e substituição parcial do cimento por pozolana em percentual de 25%. Quanto ao CCV e a ACV, foi efetuada a abordagem do berço ao túmulo (cradle-to-grave), assim, os pilares em que se empregou concreto dosado para  $f_{ck}=35\text{MPa}$  causaram menores impactos ao longo de sua vida útil. Quando se realizou a integração sustentabilidade x financeiro, obteve-se como melhor alternativa o pilar dosado para  $f_{ck}=35\text{MPa}$ , utilizando cimento CP V, 15% de substituição do AGN por ARC e substituição de 25% de cimento por cinza de casca de arroz.

**Palavras- chave:** Impactos ambientais. Agregado Reciclado de Concreto. Pozolanas. ACV. CCV.



## ABSTRACT

### SUSTAINABILITY OF CONCRETE WITH BINARY MIXTURES OF POZOLANAS AND CONCRETE DEMOLITION WASTE EMPHASIZED IN THE EVALUATION AND COST OF THE LIFE CYCLE

AUTHOR: Cristian Jonathan Franco de Lima  
ADVISOR: Geraldo Cechella Isaia

With the increasing consumption of natural resources worldwide, great concern about the environment is generated, making sustainability a focus on the quality of life and survival of living beings. In order to reduce these impacts, most segments of society have sought to rethink their production strategies, especially the construction industry, which is one of the largest consumers of natural resources, waste generators and harmful greenhouse gas emissions. In this context, the present study aims to study different concrete traces used for the design of a pillar, using two types of cement (CP IV and CP V-ARI), two types of pozolanas (rice husk ash and fly ash), as well as a large aggregate of concrete demolition waste, in order to verify the main environmental impacts caused by each mix and to define the best concrete / pillar alternative from an environmental / sustainable and economic point of view. Previously, the traits to be used were defined, using the Abrams curve and dosage studies, and in a total of ten distinct traits, five were dosed at  $f_{ck} = 25\text{MPa}$ , and five dosed at  $f_{ck} = 35\text{MPa}$ ; Afterwards, the moldings of the specimens were carried out according to the established traces, followed by the tests of Resistance to Axial Compression, Elasticity Modulus, Penetration of Chloride Ions by Immersion, Life Cycle Cost (CCV) and Cycle Analysis of Life (LCA). With respect to the Axial Compression Resistance, it was observed that the substitution of the natural aggregate (AGN) for recycled concrete aggregate (ARC) was detrimental, causing a significant decrease in resistance, which was counterbalanced by the use of pozzolans, as well as, alteration of the  $a / g$  ratios, and in the Modulus of Elasticity test a similar trend was observed. Regarding the durability, it was verified that the lower penetration coefficients of chloride ions, in general, occurred for the traces in which CP V cement was used, besides the partial replacement of the AGN by ARC in percentage of 15% and partial replacement of cement by pozolana in percentage of 25%. As for CCV and LCA, the cradle-to-grave approach was applied, thus, the pillars using concrete dosed to  $f_{ck} = 35\text{MPa}$  caused smaller impacts throughout its useful life. When the sustainability-financial integration was carried out, the pillar dosed at  $f_{ck} = 35\text{MPa}$ , using CP V cement, 15% of AGN replacement by ARC and substitution of 25% of cement per rice hull ash was obtained as the best alternative.

**Keywords:** Environmental impacts. Recycled concrete aggregate. Pozolanas. ACV. CCV.



## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 01 – Ciclo de reciclagem no Brasil. ....  | 32  |
| Figura 02 – Dimensões da construção sustentável. ....  | 33  |
| Figura 03 – M.E.V. de partículas esféricas de cinza volante. ....  | 44  |
| Figura 04 – Aterro de cinzas de casca de arroz de diversos tipos e colorações. ....  | 47  |
| Figura 05 – M.E.V. de microssílica da cinza de casca de arroz. ....  | 48  |
| Figura 06 – Interação entre os fatores que influenciam na resistência do concreto. ....  | 51  |
| Figura 07 – Resistência à compressão de argamassas com adições minerais aos<br>126 dias. ....  | 51  |
| Figura 08 – Representação de uma pilha de corrosão em um mesmo metal. ....   | 59  |
| Figura 09 – A: Modelo de vida útil proposto por tuutti. B: Modelo de corrosão das<br>armaduras de Tutti (1982), adaptado por Figueiredo e Meira (2011). ....   | 60  |
| Figura 10 – Formas como os cloretos podem ser encontrados no concreto. ....  | 60  |
| Figura 11 – Formas de penetração dos íons cloretos no concreto. ....   | 61  |
| Figura 12 – Fases de uma ACV. ....   | 65  |
| Figura 13 – Cinco rotas para diminuição das emissões de CO <sub>2</sub> até o ano de 2050. ....  | 69  |
| Figura 14 – Representação das etapas que compõem uma análise de CCV. ....  | 71  |
| Figura 15 – Aquisição x Manutenção e reparo: custo do ciclo de vida (CCV). ....  | 71  |
| Figura 16 – Granulométrica por difração a laser dos materiais cimentícios. ....  | 77  |
| Figura 17 – Pavimento intertravado tipo “Holandês”: PH6/35 e PH8/50. ....  | 78  |
| Figura 18 – Análise granulométrica do agregado miúdo. ....   | 79  |
| Figura 19 – Granulometria do AGN e do ARC. ....  | 80  |
| Figura 20 – Gráfico das Curvas de Abrams. ....   | 83  |
| Figura 21 – a – corpo de prova 10 X 20 cm, b – Corte ao meio, c –<br>impermeabilização de faces paralelas, d – imersão em solução salina, e<br>– rompimento diametral, f – aspersão de nitrato de prata, g – registro<br>fotográfico para medição da penetração através do AutoCAD. .... | 88  |
| Figura 22 – Sistema de produtos e fronteiras do complexo. ....   | 89  |
| Figura 23 – Resistência à compressão axial das misturas aos 28 e 91 dias. ....   | 99  |
| Figura 24 – Valores do módulo de elasticidade obtidos aos 28 dias. ....  | 104 |
| Figura 25 – Gráfico das médias de profundidade de penetração de íons cloreto. ....   | 110 |
| Figura 26 – Custo unitário das diferentes alternativas de pilar. ....  | 113 |
| Figura 27 – Impactos sobre a saúde humana, ecossistemas e recursos naturais. ....  | 116 |
| Figura 28 – Mudanças Climáticas. ....  | 120 |
| Figura 29 – Consumo de recursos naturais. ....   | 121 |
| Figura 30 – Consumo de energia elétrica. ....  | 122 |
| Figura 31 – Geração de resíduos. ....  | 123 |
| Figura 32 – Consumo de água. ....  | 124 |
| Figura 33 – Impactos individuais unitários. ....   | 127 |
| Figura 34 – Planta baixa da edificação com a posição do pilar estudado. ....   | 151 |



## LISTA DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 01 – Classificação das adições minerais.....  | 41  |
| Tabela 02 – Exigências da NBR 12653 (2015). ....   | 41  |
| Tabela 03 – Substituição do cimento por adições minerais mais utilizadas. ....                             | 42  |
| Tabela 04 – Prazos de vida útil de projeto. ....   | 55  |
| Tabela 05 – Classes de agressividade ambiental. ....   | 56  |
| Tabela 06 – Classe de agressividade e qualidade do concreto. ....  | 57  |
| Tabela 07 – CO <sub>2</sub> gerado para a produção de um concreto na Dinamarca.....                        | 68  |
| Tabela 08 – Diferenças entre CCV e ACV .....   | 72  |
| Tabela 09 – Caracterização química dos materiais cimentícios (% em massa) .....                            | 76  |
| Tabela 10 – Caracterização física materiais cimentícios (% em massa) .....                                 | 76  |
| Tabela 11 – Caracterização física dos agregados .....  | 78  |
| Tabela 12 – Caracterização do aditivo redutor de água.....   | 80  |
| Tabela 13 – Traços e resistências médias à compressão axial aos 28 dias. ....                              | 82  |
| Tabela 14 – Equações, R <sup>2</sup> e relação a/ag, de acordo com as curvas obtidas na<br>Figura 20. .... | 83  |
| Tabela 15 – Traços definitivos obtidos através das curvas de Abrams. ....                                  | 84  |
| Tabela 16 – Quantidade de materiais por metro cúbico de concreto. ....                                     | 84  |
| Tabela 17 – Absorção de água do ARC.....   | 85  |
| Tabela 18 – Corpos de prova para ensaio de compressão axial.....   | 86  |
| Tabela 19 – Corpos de prova para ensaio de módulo de elasticidade.....                                     | 86  |
| Tabela 20 – Corpos de prova para ensaio de EPCI. ....  | 87  |
| Tabela 21 – Esforços solicitantes e definições de projeto. ....  | 90  |
| Tabela 22 – Dimensionamento e consumo de materiais.....  | 90  |
| Tabela 23 – Quantidade de clínquer. m <sup>3</sup> .....   | 95  |
| Tabela 24 – Fatores utilizados para a quantificação do CO <sub>2eq</sub> . ....                            | 97  |
| Tabela 25 – ME's obtidos x ABNT NBR 6118 (2014). ....  | 104 |
| Tabela 26 – Profundidades médias de penetração de íons cloreto.....  | 108 |
| Tabela 27 – ANOVA relacionando a penetração de íons cloreto para os diferentes<br>tipos de cimento. ....   | 108 |
| Tabela 28 – Equações das profundidades de penetração de íons cloreto. ....                                 | 110 |
| Tabela 29 – Vida útil dos pilares com cobrimento efetivo de 20mm. ....                                     | 111 |
| Tabela 30 – Composição de custos com encargos sócias dos pilares.....                                      | 112 |
| Tabela 31 – ANOVA relacionando relação a/ag, fc28 e percentual de ARC. ....                                | 114 |
| Tabela 32 – ANOVA relacionando fc28 e Kcl.....   | 115 |
| Tabela 33 – Valores totais, unitários e índices dos impactos e custos.....                                 | 118 |
| Tabela 34 – Gás carbônico equivalente (CO <sub>2eq</sub> ). ....   | 125 |
| Tabela 35 – Impactos unitários individuais e índices.....  | 126 |
| Tabela 36 – MG dos resultados unitários dos impactos totais e custo.....                                   | 129 |
| Tabela 37 – ANOVA relacionando fc28 e MG. ....   | 129 |



## LISTA DE QUADROS

|  |     |
|--|-----|
| Quadro 01 – Composição de materiais e custos do pilar REF- CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152) .....           | 153 |
| Quadro 02 – Composição de materiais e custos do pilar ARC15 – CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152) .....        | 154 |
| Quadro 03 – Composição de materiais e custos do pilar ARC30 – CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152) .....        | 155 |
| Quadro 04 – Composição de materiais e custos do pilar ARC15CCA – CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152) .....     | 156 |
| Quadro 05 – Composição de materiais e custos do pilar ARC30CCA- CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152) .....      | 157 |
| Quadro 06 – Composição de materiais e custos do pilar ARC15CV - CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152) .....      | 158 |
| Quadro 07 – Composição de materiais e custos do pilar ARC30CV - CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152) .....      | 159 |
| Quadro 08 – Composição de materiais e custos do pilar REF- CP IV (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152) .....          | 160 |
| Quadro 09 – Composição de materiais e custos do pilar ARC15 - CP IV (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152) .....       | 161 |
| Quadro 10 – Composição de materiais e custos do pilar ARC30 - CP IV (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152) .....       | 162 |
| Quadro 11 – Composição de fôrma para pilares com madeira compensada 12mm (código 03110.8.2 - TCPO 13, página 127).....   | 163 |
| Quadro 12 – Composição de armadura para pilar $\Phi$ 10 – sem estribo (código 03210.8.1.11 - TCPO 13, página 150) .....  | 164 |
| Quadro 13 – Composição da limpeza dos pilares (código 03910.8.8.1 - TCPO 13, página 169) .....                           | 165 |
| Quadro 14 – Composição da pintura dos pilares (código 09115.8.5.1 - TCPO 13, página 291) .....                           | 166 |
| Quadro 15 – Composição da demolição com martelo rompedor (código 02220.8.4.1 - TCPO 13, página 59) .....                 | 167 |
| Quadro 16 – Composição do carregamento do entulho no caminhão basculante (código 14510.8.1.1 - TCPO 13, página 368)..... | 168 |
| Quadro 17 – Composição do transporte no caminhão basculante (código 22800.9.1. - TCPO 13, página 558) .....              | 169 |
| Quadro 18 – Materiais para montagem dos pilares.....   | 171 |
| Quadro 19 – Manutenção dos pilares. ....   | 172 |
| Quadro 20 – Descarte final dos resíduos dos pilares.....   | 172 |
| Quadro 21 – Inventário das emissões. (Continua) .....  | 174 |



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ABCP** – Associação Brasileira de Cimento Portland  
**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
**ACI** – American Concrete Institute  
**ACV** – Avaliação do Ciclo de Vida  
**ACV-m** – Avaliação do Ciclo de Vida Modular  
**ADC** – Agregado de demolição de concreto  
**AGN** – Agregado graúdo natural  
**AICV** – Avaliação do Impacto o Ciclo de Vida  
**AM** – Agregado miúdo  
**ARC** – Agregado reciclado de concreto  
**ASTM** – American Society for Testings Materials  
**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** – Óxido de alumínio  
**a/ag** – Relação água / aglomerante  
**a/c** – Relação água / cimento, em massa  
**a/mc** – Relação água / material cimentícios  
**CA** – Concreto armado  
**CaO** – Óxido de Cálcio  
**Ca(OH)<sub>2</sub> = CH** – Hidróxido de cálcio  
**CBCS** – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável  
**CCA** – Cinza de casca de arroz  
**CCV** – Custo do Ciclo de Vida  
**CH** – Hidróxido de cálcio  
**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de carbono  
**CO<sub>2eq</sub>** – Dióxido de carbono equivalente  
**CP** – Corpo de prova  
**CP V- ARI** – Cimento Portland de alta resistência inicial  
**CP IV** – Cimento Portland Pozolânico  
**C-S-H** – Silicato de cálcio hidratado  
**CV** – Cinza volante  
**DP** – Desvio padrão  
**Eci** – Módulo de elasticidade, em GPa  
**EPCI** – Ensaio de penetração de íons cloreto por imersão  
**F** – Valor calculado  
**Fcrítico** – Valor tabelado para nível de significância 0,05  
**fck** – Resistência à compressão  
**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** – Óxido de Ferro  
**g** – Grama  
**GEPECON** – Grupo de Estudos e Pesquisa em Concreto  
**GL** – Grau de liberdade  
**GPa** – giga - pascal  
**H<sub>2</sub>O** – Molécula de água  
**ICV** – Inventário de Ciclo de Vida  
**IRGA** – Instituto Rio Grandense do Arroz  
**kg** – Quilo  
**kg/m<sup>3</sup>** – Quilo por metro cúbico  
**kg/t** – Quilo por tonelada  
**K<sub>2</sub>O** – Óxido de Potássio

**M.E.V.** – Microscopia eletrônica de varredura  
**ME** – Módulo de elasticidade  
**MG** – Média geométrica  
**MgO** – Óxido de magnésio  
**Mg(OH)2** – Hidróxido de magnésio  
**min** – Minuto  
**Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** – Óxido de Manganês  
**MPa** – Mega – pascal  
**MQ** – Média quadra  
**m<sup>2</sup>** – Metro quadrado  
**m<sup>2</sup>/kg** – Metro quadrado por quilo  
**m<sup>2</sup>/g** – Metro quadrado por grama  
**mm** – Milímetro  
**Na<sub>2</sub>O** – Óxido de Sódio  
**PET** – Politereftalato de etileno  
**PF** – Perda ao fogo  
**pH** – Potencial hidrogeniônico  
**PH** – Pavimento holandês  
**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** – Pentóxido de Fósforo  
**Pt** – Milésimo da carga ambiental média anual de um cidadão europeu  
**R<sup>2</sup>** – Coeficiente de determinação  
**REF** – Referência  
**RI** – Resíduo insolúvel  
**R\$** – Reais  
**UFSM** – Universidade Federal de Santa Maria  
**Ø** – Diâmetro  
**µm** – Micrômetro  
**°C** – Graus Celsius  
**%** – Porcentagem  
**#** – Peneira  
**SiO<sub>2</sub>** – Dióxido de silício  
**SNIC** – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento  
**SNVS** – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária  
**SO<sub>3</sub>** – Trióxido de enxofre  
**SQ** – Soma quadrada  
**TiO<sub>2</sub>** – Óxido de Titânio  
**un** – Unidade  
**valor-P** – Significância  
**VUP** – Vida útil de projeto

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>23</b> |
| 1.1 JUSTIFICATIVA .....   | 27        |
| 1.2 OBJETIVOS .....   | 29        |
| <b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....   | 29        |
| <b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....  | 29        |
| 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....  | 30        |
| <b>2. CONCRETO E SUSTENTABILIDADE: RECICLAGEM DE RESÍDUOS</b> .....                 | <b>31</b> |
| 2.1 RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO DE CONCRETO (RDC).....                                    | 34        |
| <b>2.1.1 Propriedades Físicas e Mecânicas de Concretos com ARC</b> .....            | 36        |
| 2.2 POZOLANAS .....   | 40        |
| <b>2.2.1 Cinza Volante</b> .....  | 43        |
| <b>2.2.2 Cinza de Casca de Arroz</b> .....  | 46        |
| <b>2.2.3 Propriedades Físicas e Mecânicas de Concretos com Pozolanas</b> .....      | 49        |
| <b>2.2.4 Misturas Binárias e Ternárias em Concretos com ARC</b> .....               | 52        |
| 2.3 DURABILIDADE DE CONCRETOS COM ARC E POZOLANAS .....                             | 54        |
| <b>2.3.1 Penetração de Íons Cloretos no Concreto</b> .....                          | 58        |
| 2.4 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) E CUSTO DO CICLO DE VIDA (CCV)....               | 63        |
| <b>2.4.1 Avaliação do Ciclo de Vida Aplicado na Construção Civil</b> .....          | 64        |
| 2.4.1.1 Avaliação do Ciclo de Vida Modular (ACV-m).....                             | 65        |
| 2.4.1.2 Softwares, base de dados e métodos de avaliação .....                       | 67        |
| 2.4.1.3 Avaliação do Ciclo de Vida Aplicada ao Concreto Estrutural .....            | 68        |
| <b>2.4.2 Avaliação do Custo do Ciclo de Vida Aplicado na Construção Civil</b> ..... | 70        |
| <b>3. METODOLOGIA</b> .....   | <b>73</b> |
| 3.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL .....   | 73        |
| 3.2 VARIÁVEIS .....   | 73        |
| 3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....  | 74        |
| <b>3.3.1 Materiais Cimentícios</b> .....  | 74        |
| <b>3.3.2 Agregados</b> .....  | 77        |
| <b>3.3.3 Aditivo Químico Redutor de Água</b> .....                                  | 80        |
| <b>3.3.4 Água</b> .....   | 80        |
| 3.4 DOSAGEM .....   | 81        |
| 3.5 PRÉ- MOLHAGEM.....  | 84        |
| 3.6 ENSAIOS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....                                      | 85        |
| <b>3.6.1 Resistência a Compressão Axial</b> .....                                   | 85        |
| <b>3.6.2 Módulo de Elasticidade</b> .....   | 86        |
| <b>3.6.3 Penetração de Íons Cloreto por Imersão (EPCI)</b> .....                    | 86        |
| <b>3.6.4 Análise do Ciclo de Vida (ACV) e Custo do Ciclo de Vida (CCV)</b> .....    | 89        |
| 3.6.4.1 Objetivo e Escopo .....   | 89        |
| 3.6.4.2 Unidade Funcional .....   | 90        |
| 3.6.4.3 Análise Estatística.....  | 90        |
| 3.6.4.4 Impactos Ambientais e Custos.....   | 91        |
| 3.6.4.5 Software SimaPro .....  | 91        |
| 3.6.4.6 Vida Útil – Unidade Funcional.....  | 92        |
| 3.6.4.7 Inventário do Ciclo de Vida .....   | 93        |
| 3.6.4.8 Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida.....                                 | 95        |
| 3.6.4.9 Interpretação do Ciclo de Vida .....  | 96        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....   | <b>98</b> |

|   |            |
|---|------------|
| 4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS .....                          | 98         |
| 4.1.1 Resistência à compressão Axial .....                | 98         |
| 4.1.2 Módulo de Elasticidade Longitudinal .....           | 103        |
| 4.2 DURABILIDADE .....                                    | 107        |
| 4.2.1 Penetração de Íons Cloreto por Imersão (EPCI) ..... | 107        |
| 4.3 CUSTO DO CICLO DE VIDA (CCV) .....                    | 112        |
| 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....                              | 114        |
| 4.5 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) .....                  | 115        |
| 4.5.1 Impactos Totais: Do Berço ao Túmulo .....           | 115        |
| 4.5.2 Impactos Individuais .....                          | 119        |
| 4.5.2.1 Mudanças Climáticas .....                         | 119        |
| 4.5.2.2 Consumo de Recursos Naturais.....                 | 120        |
| 4.5.2.3 Consumo de Energia Elétrica.....                  | 121        |
| 4.5.2.4 Geração de Resíduos.....                          | 122        |
| 4.5.2.5 Consumo de Água.....                              | 123        |
| 4.5.2.6 Pegada de Carbono .....                           | 124        |
| 4.6 ANÁLISE UNITÁRIA DOS IMPACTOS INDIVIDUAIS .....       | 125        |
| 4.7 ANÁLISE GLOBAL: SUSTENTABILIDADE X FINANCEIRO.....    | 128        |
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                      | <b>132</b> |
| <b>REFERENCIAS .....</b>                                  | <b>135</b> |
| <b>APÊNDICE A.....</b>                                    | <b>150</b> |
| <b>APÊNDICE B.....</b>                                    | <b>152</b> |
| <b>APÊNDICE C.....</b>                                    | <b>170</b> |
| <b>APÊNDICE D.....</b>                                    | <b>173</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo do processo de evolução da humanidade, os recursos naturais vêm sendo utilizados pelo homem desenfreadamente na busca pelo progresso, porém, sem preocupar-se com a possibilidade de esgotamento dos mesmos, bem como, com a poluição causada pelo seu processamento. Nos dias atuais o panorama econômico não é consoante com o panorama ecológico e devido à crescente necessidade mundial em reduzir as cargas poluentes e a retirada de recursos naturais do ambiente, vem-se pesquisando em vários campos da construção civil formas de se manter o crescimento, buscando soluções e tecnologias com o mínimo de impacto ambiental possível, facilitando o traçado de um paralelo entre desenvolvimento e sustentabilidade.

A sustentabilidade destaca-se devido ao fato de que se relaciona diretamente com a qualidade de vida e a sobrevivência do homem em seu habitat. O conceito de desenvolvimento sustentável origina-se do Relatório de Brundtland, definido como: “aquele que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”. Este relatório demonstra que o desenvolvimento sustentável e os padrões atuais de produção e consumo não são compatíveis (WCED, 1987).

A cadeia produtiva da construção civil é responsável pela transformação do ambiente natural em ambiente construído, o qual necessita permanentemente de reparos e manutenções. Praticamente todas as atividades humanas dependem de um ambiente construído, cujo tamanho é dado pela escala humana e pelo planeta, não podendo ser miniaturizado, mas muitas vezes podendo ser otimizado. O tamanho planetário do ambiente construído implica em grandes impactos ambientais, incluindo o uso de uma grande quantidade de materiais de construção, mão de obra, água, energia e geração de resíduos (AGOPYAN E JOHN, 2011).

Um dos materiais mais importantes da construção civil é o concreto, pois, é o material industrializado mais consumido no planeta, conseqüentemente, gerando um grande consumo de cimento Portland, fazendo com que o mesmo rapidamente se tornasse um dos insumos mais consumidos pela humanidade no último século. Tal produção desencadeou um aumento das emissões de CO<sub>2</sub>, uma vez que a produção do cimento libera na atmosfera grandes quantidades deste gás. Somando este fato ao crescente pensamento da preservação ambiental, passou-se a buscar

alternativas ao cimento na forma de subprodutos agroindustriais e resíduos para substituir os seus derivados, sendo uma delas as pozolanas, como por exemplo, a cinza volante que é um subproduto de termelétricas e a cinza de casca de arroz, que é um resíduo agroindustrial proveniente da queima da casca de arroz.

Outro componente importante do concreto são os agregados, tendo em vista que os mesmos tem um custo relativamente menor que o cimento, e constituem aproximadamente 60 a 80% do volume de concreto convencional, levando-os assim, ao topo do ranking de recursos naturais utilizados pelo homem. Então, em busca de evitar o esgotamento de jazidas naturais, tem-se buscado diversas alternativas ambientalmente corretas visando atender a crescente demanda de insumos para a indústria da construção civil. Atribuem-se ainda a extração destes agregados a poluição, impacto e degradação ambiental decorrentes.

Segundo Polleto (2006), a produção do agregado para a construção pode ser identificada como um complexo industrial, na medida em que inclui a exploração de diversos recursos minerais que utilizam diferentes métodos de lavra para sua obtenção, e envolve fluxos implicando em vários efeitos sobre o ambiente natural e humano, os quais estão associados, de modo geral, às suas diversas fases, como à abertura da cava, (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha (sobreprensão atmosférica, vibração do terreno, lançamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local. (BACCI, C.; LANDIM, P.; ESTON, S. M., 2006).

Conforme a ABNT NBR 6118 (2014), entende-se por vida útil o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais, ou seja, compreende todo o período desde o comissionamento da construção até o momento em que não apresentar desempenho adequado para utilização que foi projetada. Logo, tem-se que levar em consideração os importantes impactos ambientais causados pela exploração dos agregados, o esgotamento de recursos naturais, produção do cimento e conseqüentemente grandes emissões de gases do efeito estufa, consumo de água e vários outros materiais como, por exemplo, madeira para confecção de formas e aço

para as armaduras, avaliando que os mesmos ficam incorporados ao concreto estrutural até o final de seu emprego.

Além do mais, o final da vida útil das estruturas de concreto, geralmente tem por desfecho sua demolição, de tal maneira, gerando grande volume de entulho, que, por diversas vezes, não tem um destino adequado. O segmento da reciclagem de resíduos da construção e demolição no Brasil ainda é incipiente, porém passa por um período de evolução, já a reciclagem destes resíduos é um mercado desenvolvido em muitos países da Europa, em grande parte devido à escassez de recursos naturais que aqueles países têm.

Logo, estudos estão sendo feitos com o intuito de comprovar a eficiência e viabilidade no reaproveitamento desses materiais que são resíduos provenientes de outras atividades industriais, ou ainda resíduos que eram descartados ao fim da sua vida útil, através de processos produtivos que tem por base a reciclagem, reinserindo esses materiais no ciclo produtivo para reuso em outros tipos de construções ou no próprio concreto. Entre as principais fontes de resíduos de concreto que podem ser reciclados e reaproveitados para fins estruturais destacam-se os blocos de concreto para alvenaria estrutural, pavimentos de concreto, resíduos do processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas, blocos intertravados, além de resíduos de demolição de estruturas de concreto.

Também realizam-se estudos a fim da verificação da real sustentabilidade de estruturas de concreto durante toda sua vida útil, sendo necessário que para isso que se faça a Análise do Ciclo de Vida (ACV) e Custo do Ciclo de Vida (CCV), de toda a estrutura ou apenas parte dela, por meio de uma unidade funcional adotada (pilar, viga, laje) e não de uma unidade de produto ( $m^3$ , kg). Este método possibilita, além, da verificação do desempenho do emprego destes subprodutos e resíduos em curto prazo, a análise considerando toda a vida útil, proporcionando assim uma visão mais ampla e correta a respeito de sustentabilidade das estruturas estudadas.

Geralmente os concretos estruturais dosados com agregados reciclados de ARC (agregado reciclado de construção) ou ADC (agregado de demolição de concreto), em igualdade de consumo de cimento ou de relação água/cimento, apresentam desempenho menor que os de agregado natural. Padmini et al. (2009), relata que em concretos feitos com agregados graúdos de concreto, quanto mais resistente é o concreto de origem, mais resistente será o concreto que o incorpora e normalmente a maioria dos agregados reciclados apresenta massa específica e

massa unitária menores que as dos agregados naturais. Este fato é explicado pelo fato de que os resíduos provenientes da construção e demolição apresentam maior porosidade, afetam a absorção de água do concreto e com isso pode demandar mais água na mistura (TROIAN; WERLE, 2010). Tais propriedades podem interferir na resistência à compressão, a abrasão e no módulo de deformação (NETO, 2011).

Estas características tendem a aumentar a percolação de fluidos pela pasta e interface, como também a retração. Para compensar este comportamento, na maioria dos casos, a solução adotada é diminuir a relação a/c ocasionando aumento do consumo de cimento, reduzindo em grande parte a vantagem de eventual ganho de sustentabilidade ou de custo que se possa adquirir com o uso destes resíduos. Uma das maneiras de reduzir esses efeitos é realizando a substituição parcial do cimento por adições minerais finais, ou seja, pozolanas alternativas, como, por exemplo, a cinza volante e a cinza de casca de arroz, de tal maneira proporcionando maior compactidade à estrutura das pastas com agregado reciclado e suas interfaces, em decorrência dos efeitos de refinamento e obstrução dos poros.

Entende-se que as adições minerais, principalmente as pozolânicas, agem na microestrutura da pasta e na interface pasta/agregado por meio da formação de compostos semelhantes aos hidratados que refinam os poros e o tamanho dos grãos. Sendo assim, as adições minerais reduzem a conectividade dos poros da pasta, também atuam na microestrutura de proteção da armadura, tornando mais compacta e menos permeável (ISAIA et al., 2003).

Em vista disto, procura-se destacar neste trabalho a utilização de resíduos de demolição de concreto (RDC) para produção de agregados reciclados de concreto (ARC), substituindo parcialmente os agregados naturais, bem como, o uso de cinza volante e cinza de casca de arroz, que vem sendo utilizadas na forma de adição e substituição parcial ao cimento, com diversos benefícios já comprovados. O conhecimento mais aprofundado destes materiais e seus efeitos na substituição ao cimento e agregados se fazem de grande importância, pois, podem reduzir o consumo de energia, conseqüentemente as emissões específicas, além da redução da extração de recursos naturais não renováveis, o que ocasionaria um acréscimo na capacidade de produção sem que fossem necessários novos investimentos, sendo que as cinzas e o RDC são materiais residuais que não necessitam de grandes transformações, pois, estão disponíveis em grandes quantidades.

Além do mais, esses resíduos quando reaproveitados evitam a necessidade de uma destinação e tratamentos adequados, o que muitas vezes não é feito corretamente, ficando os mesmos descartados em locais impróprios, sendo lançadas a céu aberto, no leito de rios, as margens de rodovias, na maioria das vezes em desacordo com as leis ambientais, gerando assim, poluição ambiental, e risco a saúde humana.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O relatório da ONU (2016) relata que a população está em constante crescimento, e que a mesma aumentará aproximadamente 32% até o ano de 2050, atingindo aproximadamente a marca de 9,7 bilhões de habitantes. Já a construção civil deverá crescer cerca de 2,5 vezes em relação ao nível mundial até o mesmo ano (AGOPYAN E JOHN, 2011). Este ciclo de crescimento resultará em problemas ambientais, tais como, o aquecimento global, poluição do ar, da água e dos solos, destruição de ecossistemas e esgotamento de recursos naturais.

A construção civil destaca-se neste cenário devido ao grande consumo de cimento, agregados naturais e, conseqüentemente, de concreto. No Brasil, por exemplo, em 2014, foram produzidas aproximadamente 673 milhões de toneladas de agregados naturais, segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2015), ao passo que, de cimento, foram produzidas aproximadamente 71,7 milhões de toneladas no mesmo ano (SNIC, 2015). Consoante com os dados da produção de agregados naturais e cimento, conforme o relatório “Panorama de Resíduos Sólidos do Brasil 2014” (ABRELPE, 2015), a quantidade de resíduo de construção e demolição, coletada no ano em questão, somou 45 milhões de toneladas. A pesquisa abrange apenas a porção de resíduos coletados pelo serviço público, pois a maioria dos municípios envolvidos não divulga os dados da coleta provenientes de gestões privadas.

A produção mundial de cimento é responsável por, aproximadamente, de 5% a 8% das emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) antropogênico (CEMBUREAU, 2013; IPCC, 2014), superando o consumo de alimentos, o que dá a dimensão do seu enorme consumo como material de construção para todo e qualquer ambiente construído. Além disso, com o crescente esgotamento dos agregados naturais, em grandes metrópoles os mesmos são transportados de locais cada vez mais

distantes, originando gastos e poluição adicional devido ao custo do frete e exalação de CO<sub>2</sub> pela queima de combustíveis fósseis pelos caminhões.

Sabendo-se das propriedades do concreto, tais como, durabilidade, segurança estrutural e boa resistência ao fogo, uma boa possibilidade que o mesmo proporciona é a substituição parcial do cimento por pozolanas alternativas, como, por exemplo, cinza volante e cinza de casca de arroz, contribuindo com uma possível redução do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberado no processo produtivo do clínquer e a diminuição dos descartes indevidos. Também possibilita a substituição parcial do agregado gráudo natural por agregado gráudo proveniente de resíduos de demolição de concreto (RDC), diminuindo a exploração e o consumo dos agregados naturais, bem como, a redução dos descartes impróprios.

Tendo em vista o exposto, observa-se que o Brasil é um grande produtor mundial de arroz, bem como, possui um significativo número de termelétricas, que dão origem, respectivamente, a cinza de casca de arroz e a cinza volante, e ainda é um grande gerador de resíduos de demolição de concreto, devido as crescentes atividades da construção civil no país, havendo assim, a necessidade de um destino adequado a estes rejeitos. Busca-se a atenuação da poluição indevida por estes materiais, tendo, como um dos principais meios a larga utilização na construção civil, levando assim, ao estudo de viabilidade técnica, visto que, existe a necessidade do beneficiamento dos mesmos.

Outra maneira de aumentar os níveis de sustentabilidade do concreto é através de análises prévias de fatores sob o domínio do engenheiro na fase de projeto, como, por exemplo, a utilização de concretos com resistências a compressão elevadas em relação às tradicionalmente utilizadas. De tal forma existe a possibilidade da redução de dimensões dos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes), reduzindo o consumo de concreto, conseqüentemente, diminuindo a quantidade de formas de madeira ou metálicas e até mesmo a seção das barras de aço da armadura, ou seja, desmaterialização.

Pesquisas a respeito de sustentabilidade na construção civil são de grande valia atualmente, visto que, para uma edificação ser sustentável é necessária à busca por soluções que priorizem o mínimo impacto ambiental, desde a concepção do projeto, especificação de materiais, construção e operação/manutenção da edificação. Em virtude destes aspectos e visando a aplicação das pozolanas alternativas e dos resíduos de concreto em novas estruturas de concreto armado,

este estudo pretende contribuir com a sociedade, além, de trazer benefícios ao meio ambiente através de conhecimentos teóricos e práticos aplicados.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a sustentabilidade ambiental e econômica de concreto estrutural em dois níveis de resistência característica, com utilização de agregado graúdo reciclado de concreto, dois tipos de pozolanas e dois tipos de cimento, por meio da verificação de propriedades mecânicas, de durabilidade e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e Custo do Ciclo de Vida (CCV).

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a)** Verificar e analisar a Resistência a Compressão Axial e Módulo de Elasticidade de concretos com substituição parcial do agregado graúdo natural por agregados reciclados de concreto (ARC);
- b)** Verificar e analisar a Resistência a Compressão Axial e Módulo de Elasticidade de concretos com cimento CP V com substituição parcial do cimento por cinza volante e cinza de casca de arroz em misturas binárias, comparando-os aos concretos com cimento CP IV;
- c)** Verificar e analisar a durabilidade por meio do ensaio de Penetração de Íons Cloretos por Imersão de concretos com substituição parcial do agregado graúdo natural por agregados reciclados de concreto (ARC);
- d)** Verificar e analisar a durabilidade por meio do ensaio de Penetração de Íons Cloreto por Imersão de concretos com cimento CP V com substituição parcial do cimento por cinza volante e cinza de casca de arroz em misturas binárias, comparando-os aos concretos com cimento CP IV;
- e)** Realizar a identificação e quantificação de todos os fluxos – entradas e saídas, que compõe as etapas de construção, uso, manutenção, descarte/reuso da unidade funcional pré– definida (pilar), a fim de realizar a Análise do Ciclo de Vida (ACV) e Custo do Ciclo de Vida (CCV), do berço ao túmulo (cradle-to-grave);

**f)** Realizar e analisar o Custo do Ciclo de Vida para cada um dos traços de concreto estudados e utilizados para o dimensionamento da unidade funcional pré– definida (pilar);

**g)** Analisar e classificar a melhor alternativa de traço de concreto estudado e utilizado para o dimensionamento da unidade funcional pré– definida (pilar) em relação ao aspecto ambiental e econômico.

### 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação organiza-se em cinco capítulos. No primeiro capítulo é apresentada a introdução, onde é abordada a justificativa para substituição parcial do agregado graúdo natural por agregados graúdos reciclados provenientes de resíduos de demolição de concreto (RDC) e do cimento por cinza volante e cinza de casca de arroz em misturas binárias, bem como, os objetivos gerais e específicos.

O segundo capítulo abrange a revisão bibliográfica, trazendo um panorama a respeito da temática de sustentabilidade, destacando-se vários aspectos relevantes a respeito da interação meio ambiente, cimento e concreto, tais como, os impactos dos resíduos de demolição de concreto (RDC) nas cidades, a reutilização destes resíduos na produção de novos concretos e a durabilidade dos mesmos. Ainda aborda a respeito da substituição parcial do cimento por pozolanas alternativas e sua influência nas propriedades do concreto, bem como, sobre avaliação do ciclo de vida (ACV) e custo do ciclo de vida (CCV).

No terceiro capítulo apresenta-se a metodologia experimental, onde são descritas as variáveis de estudo, os insumos utilizados e os procedimentos de ensaios. Os resultados dos ensaios experimentais são apresentados, analisados e discutidos no capítulo quatro, sendo que, as considerações finais são abordadas no quinto capítulo, fazendo uma síntese dos resultados obtidos, baseadas nas análises e teorias descritas nos capítulos anteriores.

## 2. CONCRETO E SUSTENTABILIDADE: RECICLAGEM DE RESÍDUOS

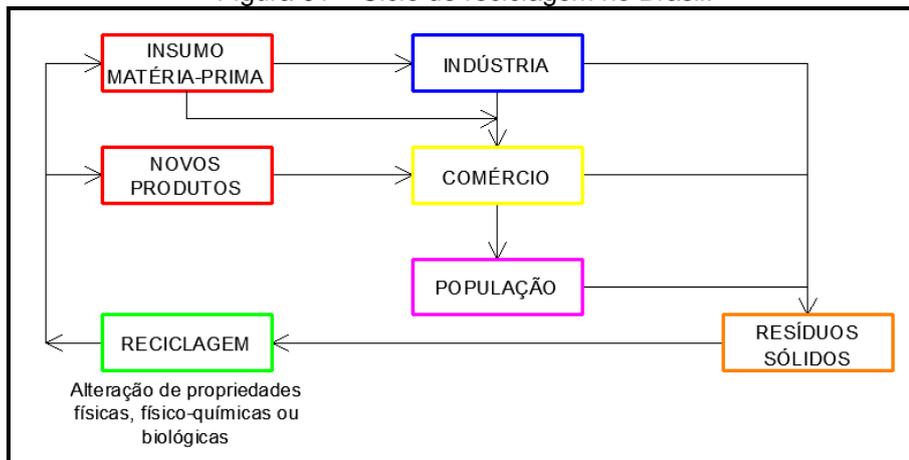
A construção civil é um dos setores produtivos que mais reaproveita os resíduos, transformando-os assim em subprodutos. Existem dados do aproveitamento de resíduos de madeira, borracha, politereftalato de etileno (PET), dentre outros, com bom desempenho, utilizados como agregados miúdos e graúdos na confecção de concretos (TORGAL, F. P.; JALALI, S., 2010); aproveitamento de resíduos das indústrias de ferro-silício (sílica ativa), da cinza da casca de arroz e da queima do caulim (metacaulim), como adições; e de escórias de siderúrgicas, de alto-forno e de cobre (MEHTA; MONTEIRO, 2014), como adições e também como agregados na produção de concretos, além de diversos outros resíduos utilizados e estudados atualmente.

A reciclagem de diversos materiais, como, por exemplo, resíduos agrícolas, resíduos industriais, de mineração, entulhos, entre outros, colabora intensamente para a preservação ambiental. Desse modo, a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, define o termo reciclagem da seguinte maneira:

“Processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas a transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama (Sistema Nacional do Meio Ambiente) e, se couber, do SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária) e do Suasa (Sistema Unificado de Atenção a Sanidade Agropecuária).”

Segundo, Machado (2013), as particularidades deste conceito se diferem de acordo com o país em questão, na Alemanha, por exemplo, reciclar significa simplesmente a reintrodução dos resíduos ao setor produtivo, não interessando a forma como isso acontece e nem como inclui as fases de reutilização, tratamento e também o artesanato com resíduos, não havendo a necessidade da alteração nas propriedades físicas e/ou químicas dos resíduos como ocorre no Brasil. A Figura 01 exemplifica o ciclo da reciclagem no Brasil.

Figura 01 – Ciclo de reciclagem no Brasil.



Fonte: Adaptado de Machado (2013).

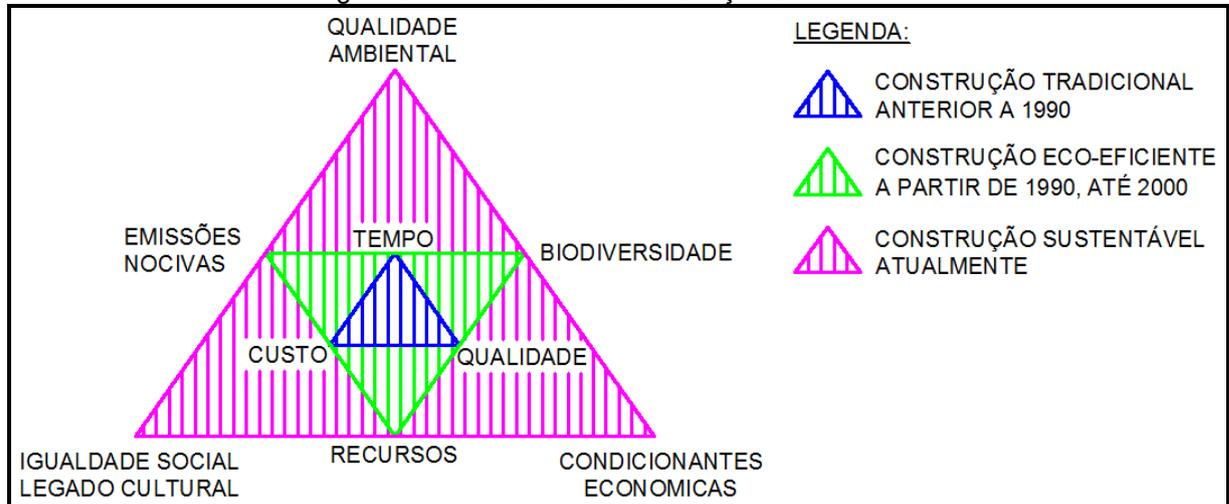
Ainda, de acordo com a referida Lei, a reciclagem ocupa a quarta posição na ordem de prioridade na gestão e no gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil, conforme o que diz no seu Artigo 9: “Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.”

Segundo Guerra et al. (2008), o setor da construção civil está vivendo o desafio de praticar uma atividade de grande impacto ambiental, buscando soluções e sistemas que conduzam a um desenvolvimento sustentável. Em uma sociedade moderna, a reciclagem tem papel fundamental para o fechamento do ciclo da sustentabilidade, possibilitando o retorno dos mais diversos resíduos a cadeia produtiva da construção, trazendo como grandes vantagens desse processo a economia de matérias-primas virgens e energia, diminuição das emissões específicas, cidades mais limpas e diminuição de doenças, conseqüentemente melhor qualidade de vida, além da geração de emprego e renda para a população.

Esta linha de pensamento veio a alterar os fatores tradicionalmente considerados competitivos na indústria da construção: a qualidade, o tempo e o custo. Mais tarde, com a introdução das preocupações ambientais, o conceito de qualidade na construção passou a abranger os aspectos relacionados com a qualidade ambiental, surgindo assim, a construção ecoeficiente, também conhecida por construção ecológica ou por construção “verde”. Integrando os princípios da ecoeficiência com as condicionantes econômicas, a equidade social e o legado cultural (introduzindo um novo aspecto ao nível do conceito “tempo”), chegando

assim à presença das três dimensões da construção sustentável, conforme observa-se na Figura 02.

Figura 02 – Dimensões da construção sustentável.



Fonte: Adaptado de Elkington (1999 apud d'Angelo, 2009).

Logo, na busca pelo equilíbrio entre desenvolvimento econômico e desenvolvimento sustentável, é preciso conscientizar-se dos limites de exploração e utilização dos recursos naturais do nosso planeta, tendo em vista, que cada vez mais tem aumentado a preocupação com a manutenção desses recursos para as gerações futuras. Uma estratégia vital para preservação dos recursos não renováveis do planeta para o futuro, em tese, é o uso racional dos recursos oferecidos pela natureza, fazendo-se necessária uma maior utilização dos recursos renováveis através do aprimoramento da sustentabilidade nos processos em todos os setores produtivos. Os princípios básicos para um desenvolvimento equilibrado são inovações tecnológicas, maior eficiência no consumo e utilização dos recursos naturais, bem como, energéticos, além de incentivos ao crescimento de economias regionais (BAPTISTA JUNIOR; ROMANEL, 2013).

A incorporação de práticas de sustentabilidade na construção civil é uma tendência crescente no mercado, tendo em vista que, governos, investidores, consumidores e associações alertam, estimulam e pressionam o setor da construção para atuarem em sua cadeia produtiva de acordo com os princípios da sustentabilidade, se tornando assim, um dos principais impulsionadores dessa transformação. Logo, diversas empresas e segmentos da indústria da construção civil do país vêm incorporando alternativas sustentáveis desde a elaboração dos projetos até a execução e utilização das estruturas, como, por exemplo, tecnologias

para a reutilização e reciclagem de resíduos sólidos, utilização de materiais ecológicos, reutilização de águas pluviais, utilização de energias renováveis, prédios com monitoramento do consumo de recursos, aprimoramento nos processos e técnicas construtivas, dentre outros.

## 2.1 RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO DE CONCRETO (RDC)

Segundo Azevedo et al. (2006) a indústria da construção civil apresenta perdas causadas por falhas ou omissões na elaboração dos projetos e na sua execução, má qualidade e acondicionamento impróprio dos materiais, má qualificação da mão de obra, falta de equipamentos, uso de técnicas inadequadas de construção, falta de planejamento na montagem dos canteiros de obras, falta de acompanhamento técnico na produção e ausência de uma cultura de reaproveitamento e reciclagem dos materiais.

Os resíduos das atividades de construção e demolição apresentam-se como um dos principais problemas nas áreas urbanas, pois, sua geração e descarte inadequado causam diversos impactos ambientais, sociais e econômicos. As soluções para esses problemas passam por desenvolvimento e implantação de tecnologias adequadas, que busquem a redução, reutilização e reciclagem.

Dentro desta corrida pelo bem estar ambiental, a reciclagem de resíduos tem se mostrado uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria-prima e pela redução das áreas de disposição, em virtude do grande volume de resíduos descartados a cada ano em todo mundo. Por isso, a substituição dos agregados convencionais por agregados reciclados apresenta diversas vantagens, como economia na aquisição de matéria-prima, redução da poluição gerada pela produção dos agregados e melhora na preservação das reservas naturais de matéria-prima do planeta (PEREIRA et al., 2012).

Normalmente, esses resíduos são classificados segundo a ABNT NBR 10004 (2004) como resíduos sólidos não perigosos e inertes - classe IIb. A classificação dos materiais varia segundo a sua origem. Uma obra pode produzir somente materiais inertes, outras, não inertes (classe IIa) ou até mesmo perigosos (classe I), como é o caso do resíduo das telhas de amianto, material cancerígeno, de acordo com Resolução CONAMA 348, de 16 de agosto de 2004.

A Resolução CONAMA nº307, de 5 de julho de 2002, estabelecida pelo Conselho Nacional do Meio ambiente, visa atender a necessidade de gerenciamento e manuseio dos resíduos da construção civil, tornando viáveis destinos mais adequados para os detritos oriundos desta atividade, de tal maneira, classificando-os em quatro classes distintas:

**I-Classe A-** 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: materiais cerâmicos (tijolos, azulejos, 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..) produzidos nos canteiros de obras.

**II-Classe B-** resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

**III-Classe C-** resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

**IV-Classe D-** resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Os resíduos no canteiro de obra variam conforme o cronograma de execução dos serviços. Grande parte do RCD gerado durante toda a construção pode ser utilizada como agregado nas mais diversas fases da obra, considerando, porém que a fração mineral (material cimentício e cerâmico) é a única a ser reciclada e utilizada no próprio canteiro, as demais frações como madeira, metais, gesso, plásticos e papéis, devem ser encaminhadas aos devidos locais de reciclagem ou descarte desses materiais. Logo a ABNT NBR 15116 (2004) define “agregado reciclado de concreto (ARC)”, como sendo o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), para a utilização desses agregados em concretos existem várias características consideradas importantes que devem ser estudadas. Os autores citam a granulometria, a absorção de água, a forma e a textura, a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes nos materiais. No estudo da utilização de agregados para a produção de concretos, todas essas características devem ser consideradas, principalmente quando se trata de novos materiais, como é o caso do agregado reciclado. Afinal, a viabilidade técnica de sua utilização dependerá do total conhecimento de seu comportamento na estrutura do concreto (LEITE, 2001).

Assim, o material a ser reciclado deverá ser trabalhado, levando-se em consideração os cuidados necessários, e obedecendo-se a uma sequência de procedimentos, tais como, britagem, peneiramento e descontaminação, quando necessário, só então, poderá ser utilizado para outros fins, como, por exemplo, utilização como agregado reciclado em novos concretos. De acordo com Buttler e Corrêa (2006), os resíduos de concreto gerados em fábricas de pré-moldados apresentam um excelente potencial para serem reciclados, pois há uma homogeneidade e uma presença insignificante de contaminantes se comparados aos demais resíduos da construção e demolição.

Além das relativas melhorias ao meio ambiente, a gestão da reciclagem de RCD no canteiro de obras traz boas vantagens econômicas dentro do próprio setor que o gerou, tornando-se assim, uma interessante alternativa na minimização dos impactos causados pela construção civil. Tem-se assim a diminuição do volume de entulho enviado aos bota-foras e aterros, que implica na redução de custos com a remoção, um canteiro de obras mais organizado e limpo, bem como, redução da aquisição e utilização de agregado natural, ou seja, matéria prima e recursos não renováveis, além da redução de significativos impactos citados por Amadei (2011), como, assoreamento de recursos hídricos, obstruções na drenagem urbana, disposição em locais inadequados, proliferação de vetores de doenças, alterações da paisagem e comprometimento com tráfego de pedestres e veículos.

### **2.1.1 Propriedades Físicas e Mecânicas de Concretos com ARC**

Para o emprego de um material na produção de concreto (estrutural ou não), diversos ensaios de caracterização são importantes. Portanto, neste tópico, será

apresentada uma visão geral das principais propriedades físicas e mecânicas dos ARCs, como por exemplo, granulometria, absorção de água e porosidade, forma e textura, resistência à compressão axial e módulo de elasticidade.

Buttler (2003) analisou a granulometria de agregados reciclados graúdos, e observou que houve uma redução na dimensão máxima do agregado reciclado quando comparado com o natural, possivelmente devido à influência do britador de mandíbulas sobre a dimensão das partículas. As variabilidades das características dos agregados de RCD reciclados dependem da composição do resíduo e do equipamento de cominuição adotado (ETXEBERRIA, et al. 2007; LEITE, 2001).

No que diz respeito à forma e textura dos ARC, nota-se que possuem maior rugosidade e porosidade, além de serem mais lamelares em relação aos agregados naturais, e tendem a apresentar formas mais angulares com taxas de superfície/volume maiores (LEITE, 2001). A forma e a textura dos agregados influenciam mais as propriedades do concreto no estado fresco do que as no estado endurecido (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

A forma e a textura dos agregados reciclados são características que proporcionam ao concreto um maior travamento durante a mistura, dificultando a movimentação entre as partículas, desta maneira necessitarão de maior quantidade de pasta para promover esta mobilidade (RASHWAN; ABOURIZK, 1997). Concretos que contêm agregados lamelares possuem a tendência de apresentar menor trabalhabilidade, o que não ocorre com agregados mais arredondados, pois, os grãos têm melhor empacotamento, e desta maneira, apresentam menor volume de vazios no concreto (BUEST NETO, 2006), por outro lado, a textura mais rugosa, o tamanho das partículas e a forma dos agregados reciclados promovem uma boa aderência entre o agregado e a pasta da matriz (SAGOE-CRENTSIL; BROWN; TAYLOR, 2001).

Segundo Poon et al. (2006), o agregado reciclado de concreto apresenta maior absorção do que os agregados naturais devido a presença de argamassa aderida a seus grãos, bem como, por apresentarem maior porosidade, afetando a absorção de água do concreto e com isso podendo demandar mais água na mistura (TROIAN; WERLE, 2010), sendo a absorção de água umas das diferenças mais marcantes (CARNEIRO et al., 2001), podendo interferir na resistência à compressão, a abrasão e ao módulo de deformação (NETO, 2011). Conforme Saeed et al. (2007)

a faixa de valores típicos de absorção dos ARC varia de 2% a 6% para agregados reciclados graúdos e de 4% a 8% para agregados miúdos.

A massa específica é intrínseca à porosidade do material (Neville, 1997), logo, os agregados reciclados de concreto possuem, em geral, massa específica inferior a dos agregados naturais (POON et al, 2006; SAEED et al 2007). Para os naturais, a massa específica aparente está entre 2,60 a 2,70 Kg/dm<sup>3</sup>, e a unitária entre 1,30 a 1,75 Kg/dm<sup>3</sup> (MEHTA; MONTEIRO, 2014) e segundo Hansen (1992), a massa específica do ARC é de 5 a 10% mais baixa do que os agregados que os originaram devido à significativa presença de argamassa, variando muito em função da composição do agregado.

Para Marinkovic et al. (2010), é necessário a utilização de aproximadamente 5% a mais de cimento em proporção em concretos que utilizem agregado reciclado de concreto, de tal maneira, obtendo-se melhores resultados de resistência a compressão, bem como, melhor trabalhabilidade. De acordo com Ferreira et al. (2011), analisando concretos com agregados reciclados e realizando pré-molhagem para compensação da água da mistura, afim de evitar que a absorção de água do agregado reciclado afete a consistência do concreto, observou-se que o método de compensação de água tem a vantagem de tornar possível a produção de concreto com agregado reciclado de maneira semelhante à do concreto convencional. Da mesma forma, Padovan (2013), avaliou que concretos produzidos com ARC sem o uso de aditivo demandaram até 10% de água a mais na mistura.

Dado o exposto, as propriedades físicas do ARC têm uma considerável influência nas propriedades mecânicas do concreto, considerando-se que haja a substituição parcial ou total do agregado graúdo natural pelo agregado artificial. As duas principais características influenciadas por estas substituições são a resistência à compressão axial e o módulo de elasticidade, principalmente, devido à alta porosidade dos agregados, e conseqüentemente alta absorção de água dos mesmos, por tanto, do concreto como um todo, além, de baixas massas unitárias e específicas (Sami e Akmal, 2009).

Esses mesmos autores verificaram que a substituição de agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de maior resistência, origina concretos de resistência mais elevada e a substituição de agregados de menor resistência, geram concretos de pequena resistência, sendo assim, o uso de agregado graúdo, oriundo de concreto reciclado com resistência igual a 50 MPa, resultará num concreto com

resistência a compressão comparável ao confeccionado com agregado graúdo natural. Conclui-se assim, que quando o agregado graúdo natural (matriz) for de maior resistência que o ARC, ocorrerão reduções na resistência do concreto, porém, se a matriz for menos resistente que o ARC, o concreto não sofrera perdas de resistência e poderá obter aumentos significativos na mesma em decorrência da resistência individual do ARC, tendo em vista que, o concreto se romperá no constituinte mais fraco, independente dele ser a matriz ou não.

Tam e Tam (2006) e Ozalp et al. (2016), sugerem que o teor de substituição não ultrapasse os 30%, uma vez que altos teores de substituição prejudicam as principais características dos concretos, considerando que geralmente os ARC tem resistência individual inferior ao agregado graúdo natural. Porém, segundo Cabral (2007) o uso de adições minerais (sílica ativa, metacaulim, escoria de de alto-forno, etc.) e aditivos super plastificantes podem elevar a resistência dos concretos com agregados reciclados a níveis iguais ou superiores a dos concretos convencionais, ou ainda, simplesmente pode se forçar uma diminuição na relação  $a/ag$  dos concretos com agregados reciclados implicando em um maior consumo de cimento.

No que diz respeito ao módulo de elasticidade, cada traço ou mistura de concreto apresenta valores específicos dependendo de suas características, diferentemente do que ocorre em outros materiais, como, por exemplo, o aço. O módulo de elasticidade do concreto pode variar dependendo da ligação entre pasta de cimento e o agregado e pode também variar de acordo com o agregado utilizado na mistura. Tendo em vista que o módulo de elasticidade de concretos é dependente do teor de agregado graúdo e, por sua vez, do teor de argamassa, ao substituir agregados convencionais por agregados reciclados ou de menor módulo de elasticidade, é necessário proceder-se investigações acerca desta propriedade.

Tanto Brito e Alves (2010) como Fonseca, Brito e Evangelista (2011) analisaram, em suas pesquisas, que existe uma clara tendência para diminuição do módulo de elasticidade com o aumento da taxa de substituição dos agregados convencionais pelos reciclados. Entretanto, Evangelista (2007) afirma que a substituição de até 30% de agregados convencionais pelos reciclados de concreto não compromete as propriedades mecânicas do concreto.

Nas pesquisas de Rao et al. (2007), o módulo de elasticidade variou significativamente quando comparado com concretos de referência e com diferentes taxas na relação água/cimento e percentuais de substituição. Angulo (2005)

apresentou uma correlação linear entre os módulos de elasticidade e a porosidade do agregado no concreto e teórica da pasta. Conforme apontado pelo pesquisador, quanto mais poroso o agregado, menor é o seu módulo de elasticidade.

Segundo Neville (2016) o módulo de elasticidade aumenta conforme o aumento da resistência à compressão do concreto, porém, não existe uma maneira exata dessa relação; tudo que pode ser dito de modo confiável é que o aumento do módulo de elasticidade do concreto é progressivamente menor que o aumento da resistência à compressão. O autor ainda descreve que o módulo não é influenciado pela cura, mas sim pelo agregado gráudo do concreto, pois, essa dependência é uma consequência da natureza bifásica do concreto, implicando com que a aderência entre as duas fases possa influenciar no módulo de elasticidade.

## 2.2 POZOLANAS

A produção do clínquer, um dos principais componentes do cimento Portland, é a primeira causa responsável pelo baixo desempenho em aspectos ambientais do ligante fabricado a partir daquele, logo, os concretos produzidos com cimento de baixo teor de clínquer ou aqueles onde houver substituição parcial do cimento Portland por materiais com características pozolânicas ou hidráulicas, constituem uma opção ambientalmente mais sustentável (MEHTA, 2001; ROSKOVIC E BJEGOVIC, 2005).

Dessa maneira, consegue-se promover concomitantemente a redução de um passivo ambiental, a melhoria de desempenho de algumas variáveis do concreto, a redução de lançamento de CO<sub>2</sub> na atmosfera devido à produção do cimento e o ganho econômico da incorporação desses resíduos no concreto por serem, em geral, produtos mais baratos que o clínquer, visto que grande parte dessas adições é formada por resíduos provenientes de subprodutos industriais e agroindustriais.

As adições minerais são materiais inorgânicos, geralmente compostos sílico-cálcico-aluminosos, podendo substituir parte do cimento caso apresentem, preferencialmente, estrutura vítrea, promovendo assim, melhorias no desempenho do concreto frente às variáveis de durabilidade e propriedades mecânicas.

A ABNT NBR 12653 (2015) define materiais pozolânicos como:

“Materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si sós, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio a temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes.”

As pozolanas podem ser naturais de originários de rochas magmáticas ou sedimentares, ricos em sílica, e as artificiais, que são provenientes de calcinação de rochas como o metacaulim ou subprodutos industriais e agroindustriais, como a cinza volante e a cinza de casca de arroz, respectivamente. As escórias siderúrgicas, os rejeitos sílicoaluminosos de craqueamento do petróleo, cinzas silicosas de resíduos de alguns vegetais e as microssílicas são pozolanas artificiais.

A Tabela 01 apresenta a classificação das adições minerais segundo Mehta e Monteiro (2014).

Tabela 01 – Classificação das adições minerais.

| Classificação             | Tipos de Adições   |
|---------------------------|--|
| Cimentantes               | Escória granulada de alto forno  |
| Cimentantes e Pozolânicas | Cinzas volantes com alto teor de cálcio  |
| Superpozolanas            | Sílica ativa<br>Metacaulim<br>Cinza de casca de arroz  |
| Pozolanas Comuns          | Cinzas volantes com baixo teor de cálcio<br>Argilas calcinadas<br>Materiais naturais (origem vulcânica e sedimentar)     |
| Pozolanas Pouco Reativas  | Escória de alto forno resfriada lentamente<br>Cinzas de forno<br>Escória de caldeira<br>Palha de arroz queimada em campo |
| Adições Inertes           | Pó de cálcio, pó de pedra  |

Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2014).

Já a ABNT NBR 12653 (2015) estabelece, dentre outras exigências, alguns índices mínimos que um material deve obedecer para que possa ser classificado como pozolânico, os quais estão apresentados na Tabela 02.

Tabela 02 – Exigências da NBR 12653 (2015).

| Recomendações   | Classe N | Classe C | Classe E |
|---|----------|----------|----------|
| $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ , % mín. | 70       | 70       | 50       |
| $\text{SO}_3$ , % máx.  | 4        | 5        | 5        |
| Teor de umidade, % máx.   | 3        | 3        | 3        |
| Perda ao fogo, % máx.   | 10       | 6        | 6        |
| Álcalis disponíveis em $\text{Na}_2\text{O}$ , % máx.                   | 1,5      | 1,5      | 1,5      |

Notas: Classe N: pozolanas naturais e artificiais; Classe C: cinza volante e materiais resultantes da queima do carvão; Classe E: pozolana que não pertence às classes N e C.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 12653 (2015).

No grupo das pozolanas está a cinza volante (CV) e a cinza de casca de arroz (CCA). Ambas necessitam da presença de hidróxido de cálcio (CH) para formar compostos resistentes, ou seja, apresentam reatividade com a cal, sendo as adições mais indicadas para serem introduzidas em produtos derivados do cimento.

Segundo Isaia, Furquim e Gastaldini (2009), quando se substitui parte de cimento por adições minerais, cada tipo atua de modo distinto, de acordo com a finura, atividade química, física ou ainda quantidade na mistura, tendo em vista que esses fatores proporcionam diferentes interações com a pasta. Alterações do tipo ou teor da adição mineral e da relação água/aglomerante (a/ag), bem como, condições de cura, influem na microestrutura dessas pastas e resultam em comportamento mecânico e de durabilidade distintos, o que acaba por afetar a eficiência da microestrutura como um todo. A Tabela 03 apresenta as proporções para substituição do cimento por adições minerais mais utilizadas por pesquisadores segundo Furquim (2006).

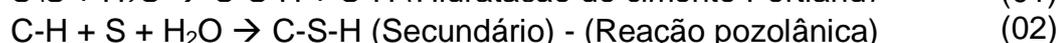
Tabela 03 – Substituição do cimento por adições minerais mais utilizadas.

| Adições minerais        | Teor ideal |
|-------------------------|------------|
| Sílica ativa            | 5 a 20%    |
| Escória de alto forno   | 55 a 70%   |
| Cinza volante           | 25 a 60%   |
| Cinza de casca de arroz | 15 a 50%   |
| Fíller Calcário         | 10 a 50%   |

Fonte: Adaptado de Furquim, 2006.

Deste modo, acrescentando ao cimento um material pozolânico, com os óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  presentes em estado amorfo ou com sua estrutura cristalina fraca, em presença de água e à temperatura ambiente, estes óxidos reagem com o hidróxido de cálcio (produzido pela hidratação dos silicatos do cimento Portland) formando compostos que possuem propriedades aglomerantes.

A principal reação pozolânica envolve a formação de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), similar ao produzido pela hidratação dos silicatos de cálcios do cimento Portland, como o  $\text{C}_3\text{S}$ . As reações podem ser descritas como:



sendo:

C = CaO – Óxido de cálcio;

S = SiO<sub>2</sub> – Dióxido de silício;

H = H<sub>2</sub>O – Água.

A grande importância das reações pozolânicas deve-se ao fato das mesmas consumir o hidróxido de cálcio (C-H) dos produtos de hidratação do cimento e formar o C-S-H secundário (silicato de cálcio hidratado secundário) que possui menor densidade (menor relação C/S) quando comparado com o C-S-H formado nas reações de hidratação envolvendo o C<sub>3</sub>S e o C<sub>2</sub>S. Os produtos secundários de hidratação contribuem para o refinamento dos poros, bem como, o refinamento dos grãos, onde a tendência é ocasionar o preenchimento dos vazios capilares grandes. Logo, as adições minerais podem melhorar propriedades importantes do concreto tanto no estado fresco como no estado endurecido, podendo ser utilizadas com as finalidades de: melhorar a trabalhabilidade, aumentar a plasticidade do concreto sem aumentar o consumo de água, reduzem a exsudação e segregação, retardar ou acelerar o tempo de pega, acelerar as taxas de desenvolvimento da resistência nas primeiras idades, aumentando a resistência da pasta de cimento e conseqüentemente a zona de transição pasta/agregado, que é ponto mais frágil da microestrutura do concreto, reduzir a taxa de evolução do aquecimento e aumentar a durabilidade do concreto em condições específicas de exposição.

A incorporação dessas adições no ramo da construção civil, além de proporcionar melhorias nas propriedades do concreto, contribui diretamente na diminuição da exploração de minerais não renováveis, como também na redução dos problemas causados pela forma como são tratados esses rejeitos, ocupando um papel ecologicamente correto. Para amenizar o impacto ambiental e econômico da fabricação do cimento, as adições minerais têm se mostrado uma alternativa viável e eficiente para a substituição parcial do clínquer, visto que grande parte dessas adições é formada por resíduos agroindustriais e subprodutos industriais.

### **2.2.1 Cinza Volante**

A cinza volante é um subproduto proveniente da queima do carvão mineral utilizado em usinas termelétricas para geração de energia e contém altos teores de sílica e alumina. Segundo Pires (2002), uma parte da cinza volante é formada pelas inclusões minerais do carvão precursor que ficam expostas após o desprendimento

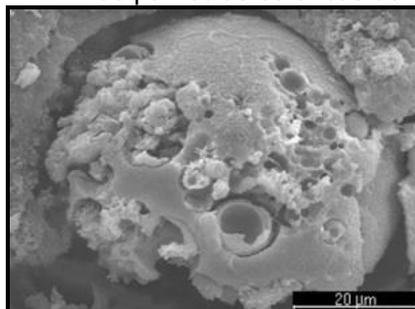
dos voláteis e o consumo do carbono, a uma temperatura entre 1100 e 1300 °C, e fundem formando pequenas gotículas que, por sua vez, formam gotículas maiores. Rocha Junior (2011) acrescenta que a parte restante é formada a partir de componentes não combustíveis e partículas de carvão não queimado.

Segundo Rohde et al. (2006) a queima de carvão mineral nas usinas termelétricas produz resíduos classificados como:

- a) Cinza leve (cinza volante – *fly-ash*) – constituída por partículas extremamente finas (100% com dimensões inferiores a 0,15 mm), transportada pelo fluxo dos gases da combustão, coletadas nos ciclones mecânicos ou precipitadores elétricos;
- b) Cinza pesada (cinza de fundo ou grelha - *bottom-ash*) – é mais pesada e de granulometria mais grossa que a cinza leve, caindo no fundo da fornalha e gaseificadores, sendo frequentemente retirada por um fluxo de água;
- c) Escória (cinza grossa) – é a cinza originada na queima ou gaseificação do carvão granulado em grelhas móveis. Retirado pelo fundo da fornalha após ser resfriada com água.

As cinzas volantes são um pó mineral fino, em grande parte constituído por pequenas partículas esféricas com dimensões que variam entre 0,5 µm e 100 µm, que resultam da fusão e calcinação das impurezas minerais incombustíveis contidas no carvão queimado a altas temperaturas e pressões. Os grãos de cinza são sólidos amorfos que ganham a sua estrutura tendencialmente esférica por solidificarem em suspensão no fluxo gasoso resultante da queima. A Figura 03 mostra a estrutura em forma de partículas esféricas da cinza volante.

Figura 03 – M.E.V. de partículas esféricas de cinza volante



Fonte: *Center of Materials and Buildings Technologies* (2013).

A natureza do carvão, o modo de pulverização do carvão para queima, o processo de retirada e o grau de classificação das partículas pelo sistema de exaustão, influenciam na variação das propriedades das cinzas volantes, como: o teor de vidro, de carvão, o tamanho e distribuição das partículas, presença de óxido de magnésio e outros minerais. A reatividade de uma pozolana é influenciada pelo teor de vidro, uma cinza volante de boa qualidade pode apresentar de 70 % a 85 % da fase vítrea, apresentando fases cristalinas, como quartzo, mulita, hematita e magnetita (ISAIA, 2007).

Segundo a ASTM C618, as cinzas volantes são classificadas em duas categorias: cinzas volantes Classe C e Classe F. A cinza volante é um complexo material formado pela combinação de fases amorfas ou vítreas (60-90%) e fases cristalinas. Estas cinzas são compostas principalmente por silicatos ( $\text{SiO}_2$ , 35-60%), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 10-30%), óxidos de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 4-20%) e de cálcio ( $\text{CaO}$ , 1-35%). Quando a soma dos teores de sílica, alumina e óxido de ferro forem superiores a 70%, a cinza volante é classificada como de Classe F. Na cinza volante de Classe C esta soma precisa ser superior a 50%. Geralmente as cinzas de Classe C possuem teor de  $\text{CaO}$  maior que 20% (ACI 232.2R, 1996).

Embora o carvão seja um material combustível de baixo valor econômico muito se discute sobre sua utilização na geração de energia, pois sua combustão gera poluição nas imediações da usina, como cinzas, que podem conter elementos tóxicos, e gases do efeito estufa. Como o carvão brasileiro em sua grande parte é composto por matéria mineral, 100 toneladas de carvão produzem cerca de 50 toneladas de cinza (BROWN, 2011).

A incorporação de pozolana em matrizes cimentícias beneficia três aspectos ligados à reação pozolânica como, aumento da resistência à fissuração térmica, aumento da resistência final, e durabilidade diante de ambientes ácidos, devido ao aumento de impermeabilidade do sistema (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Porém, antes da sua utilização e para que a mesma possa trazer os benefícios esperados se faz necessário à determinação das características físicas e mineralógicas da pozolana, utilização e dosagem, condições de cura, temperatura, e a relação água / aglomerante e adição.

A indevida destinação ou descarte de subprodutos industriais com características pozolânicas seria um desperdício, já que possuem bom desempenho

para a utilização no processo de produção de cimentos Portland compostos, ou como adição mineral em matrizes de concreto, bem como, na construção de barragens hidrelétricas, em concreto pré-misturado, em fábricas de fibrocimento, siderúrgicas, entre outras.

### **2.2.2 Cinza de Casca de Arroz**

A cinza da casca de arroz é um resíduo agroindustrial, material resultante da combustão da casca de arroz, geralmente usada pelas indústrias beneficiadoras de arroz como combustível na geração de calor necessário no processo de secagem dos grãos. Pode ser resultante também do processo de geração de outras formas de energia, como energia elétrica, em usinas termelétricas, ou ainda, de processos de calcinação para obtenção de sílica com alto teor de pureza. Mehta e Monteiro (2014) citam que a CCA corresponde a 20% do volume de casca de arroz e é um material leve, com porosidade interna.

Grande parte dessas cinzas apresentam características pozolânicas, ou seja, isoladamente, as cinzas não têm valor aglomerante, mas, quando finamente moídas em presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  formando compostos cimentantes. A cinza da casca de arroz é um material extremamente atrativo como material cimentante suplementar, principalmente nos países onde a indústria de cimento Portland é pouco suprida. Entretanto a cinza da casca de arroz, obtida através da combustão controlada da casca, tem no concreto o seu uso mais nobre, uma vez que, pelas características que apresenta, é considerada uma pozolana altamente reativa.

Em relação ao aspecto físico, a casca de arroz possui uma capa protetora lenhosa que se forma durante o crescimento do grão, de baixa densidade e elevado volume. Já a em sua composição química, Mehta e Monteiro (2014) descrevem que a casca do arroz possui alto teor de sílica, composta de aproximadamente 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica de base anidra. A lignina e a celulose são removidas durante a queima, resultando numa estrutura celular porosa.

O tamanho das partículas da CCA, juntamente com as condições de queima, é um dos fatores que influenciam nas características pozolânicas das CCAs. A moagem é uma operação necessária, capaz de modificar as propriedades físicas da cinza da casca de arroz, tais como a superfície específica e finura.

Segundo Neville (1997), a casca de arroz tem alto teor de sílica e com o tratamento a temperatura entre 500 °C e 700 °C resulta em um material amorfo com uma estrutura porosa e de baixa densidade. Assim, a área específica pode chegar a 50.000 m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup>, mesmo com partículas relativamente grandes: 10 µm a 75 µm. As cinzas produzidas por combustão sem controle são normalmente cristalinas e de baixo valor pozolânico. Já Isaia (1995), diz que a cinza originada de queima controlada de 400°C a 600 ° C gera sílica amorfa abundante e, portanto, altamente reativa com os compostos hidratados do cimento, logo a cinza queimada por temperaturas mais altas de 800°C a 1.000°C apresenta compostos cristalinos, com menor reatividade com os hidratos de cimento.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), a coloração da cinza é atribuída ao seu conteúdo de carbono, à presença de impurezas e até mesmo às condições de queima, podendo ser preta, cinza, ou branco-rosado. Quanto mais escura, maior o teor de carbono, ou seja, foi queimada parcialmente por isso maior a quantidade de matéria orgânica. Amostras de cinzas coletadas em várias regiões do mundo apresentam um conteúdo de sílica entre 90 e 95% e as principais impurezas são os álcalis K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O. O conteúdo de K<sub>2</sub>O pode variar entre 1 e 5% e depende da quantidade de fertilizantes usados na plantação. Pequenas quantidades de outras impurezas como CaO, MgO e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> também são encontradas. A Figura 04 mostra um aterro de CCA com diversos tipos e colorações de cinza.

Figura 04 – Aterro de cinzas de casca de arroz de diversos tipos e colorações.

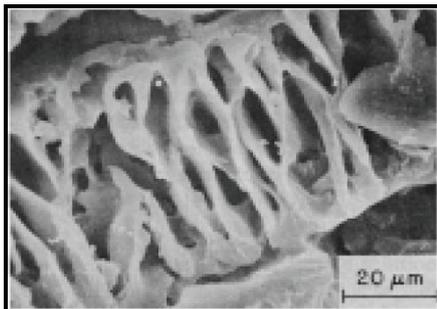


Fonte: Pouey (2006).

A pozolanicidade da cinza depende do processo térmico que é dado à casca na sua obtenção, segundo Silveira, Ferreira e Dal Molin (1997). Mas é importante ressaltar que o tamanho da partícula também apresenta grande influência sobre a atividade pozolânica da cinza, pois as mais importantes características físicas estão relacionadas ao seu grau de moagem e, logo, superfície específica.

A Figura 05 mostra a estrutura celular porosa da cinza de casca de arroz.

Figura 05 – M.E.V. de microssílica da cinza de casca de arroz



Fonte: Mehta e Monteiro (2014).

Essas características lhe conferem propriedades importantes para o seu uso como adição em concretos para melhorar sua resistência mecânica e durabilidade, em função das reações químicas que ocorrem com o hidróxido de cálcio e a sílica da casca de arroz e como insumo básico na fabricação de materiais de construção.

O aproveitamento de resíduos provindos da agricultura tem se tornado indispensável devido aos altos custos ambientais provenientes do seu descarte inadequado no meio ambiente. A casca do arroz, bem como a cinza derivada da sua queima indiscriminada, tornaram-se altamente preocupantes em várias regiões do Brasil, principalmente na região Sul, devido ao grande volume produzido anualmente (ZUCCO, 2008). Na safra de arroz 2014/2015 o Brasil produziu aproximadamente 12.544,000 mil toneladas (IRGA, 2015), sendo que o Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz irrigado do país. De acordo com dados do Instituto Rio-Grandense de Arroz (2015), o Rio Grande do Sul produziu 8.719,449 toneladas na safra 2014/2015, sendo responsável por aproximadamente 69,51% da produção nacional.

Segundo Lhamby et al. (2010), a gestão ambiental agroindustrial do arroz é o melhor instrumento para obtenção de um desenvolvimento sustentável da agricultura, sabendo que as processadoras do cereal geram consideráveis volumes de resíduos sólidos que, em muitos casos, tornam-se grandes passivos ambientais

de difícil recuperação. Foletto et. al. (2005) descreve que são variadas as possibilidades do uso da CCA. Algumas delas são descritas a seguir:

a) Sílica pura: utilizada para a fabricação de vidros, cerâmica, tijolos, cosméticos e detergentes industriais. É obtida através do processo de aquecimento realizado para remover o carbono residual contido na queima, possibilitando uma quantidade de 95% de sílica pura.

b) Uso em concretos e produção de cimento: usada para melhorar as propriedades do cimento, no estado fresco e após seu endurecimento.

### **2.2.3 Propriedades Físicas e Mecânicas de Concretos com Pozolanas**

O uso de pozolanas altamente reativas no concreto resulta em uma série de alterações em suas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Estas propriedades tendem a refletir a ação física, principalmente, no que se refere ao tamanho das partículas que, normalmente, são mais finas que as do cimento Portland, bem como a ação química resultante da atividade pozolânica e a atuação em conjunto das duas ações. Assim sendo, são apresentados a seguir alguns aspectos importantes das principais características e propriedades do concreto, em seu estado fresco e estado endurecido, que são influenciados devido à adição de pozolanas altamente reativas.

O consumo de água em concretos com adições minerais é um fator que depende principalmente das características físicas da adição. Pode-se mencionar que a água necessária em concretos com adições geralmente se eleva com o aumento da porcentagem adicionada (DAL MOLIN, 2011). De maneira geral, é consensual entre pesquisadores que a maior demanda de água em concretos com adição de pozolanas altamente reativas, resolve-se com o uso de superplastificantes ou até mesmo hiperplastificantes, tendo em vista que, que os mesmos polarizam a água, de tal modo, molhando mais superfícies com menos água.

O uso das adições minerais altera as características reológicas do concreto devido à presença de grãos menores na mistura, pois o aumento na relação do volume de sólidos para o volume de água produz uma pasta com maior plasticidade e coesão. Dessa forma, os efeitos da exsudação e da segregação são reduzidos, em função do maior volume de finos e do menor consumo de água necessário para uma dada trabalhabilidade. Como consequência, características melhores são

obtidas em relação a diversos aspectos, como a trabalhabilidade e a facilidade de bombeamento e acabamento do concreto.

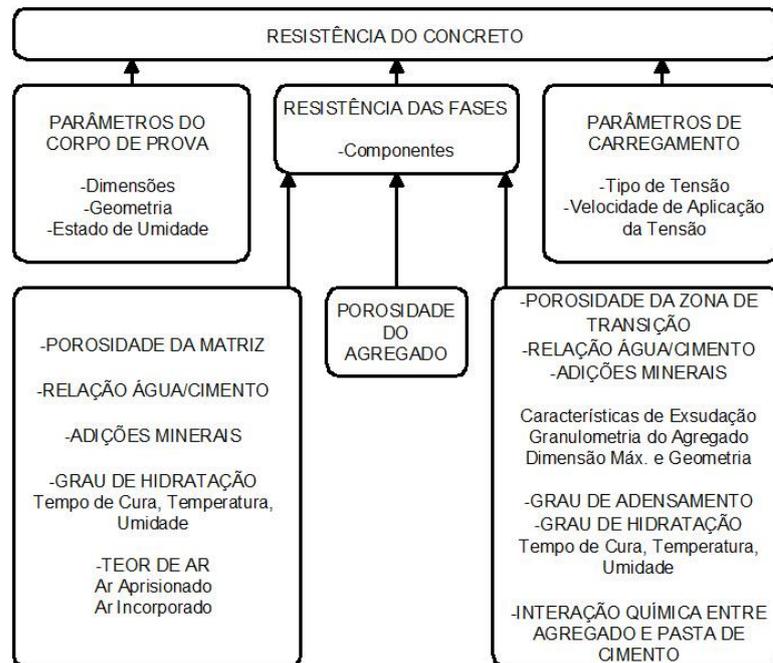
Segundo Mehta e Monteiro (2014), os compostos do cimento Portland são produtos que estão em um estado de energia elevada, por serem formados a partir de reações a altas temperaturas que não estão em equilíbrio. As reações de hidratação dos compostos do cimento Portland são exotérmicas, ou seja, os compostos do cimento reagem com a água para atingir estados de baixa energia, havendo neste processo a liberação de energia em forma de calor. O calor de hidratação é muitas vezes prejudicial à formação do concreto endurecido, sendo motivo de grande preocupação por parte de calculistas e construtores.

De maneira geral, com a substituição do cimento pelas adições minerais, o calor de hidratação gerado é reduzido, uma vez que a quantidade de clínquer diminui, resultando em menor liberação de calor durante as reações químicas de hidratação. Dessa forma, o aumento de temperatura em grandes massas de concreto pode ser reduzido se o cimento for substituído por adições com reação lenta – como a escória de alto-forno, as pozolanas naturais, as argilas calcinadas ou a cinza volante – pois grande parte do calor é dissipado à medida que vai sendo gerado (DAL MOLIN, 2005).

Para Dal Molin (2005), embora estudos comprovem a existência de relação entre o módulo de deformação e a resistência à compressão, os aumentos nos níveis de resistência à compressão obtidos em concretos com adições minerais não se reproduzem com o mesmo grau de intensidade nos valores de módulo de deformação, pois o fator limitante para as causas do seu aumento está relacionado com as características do agregado.

Geralmente a resistência é considerada como a propriedade mais importante do concreto, embora, em muitos casos práticos, outras características, como durabilidade, e a permeabilidade sejam, de fato, mais importantes. A resistência à compressão dá uma ideia geral da qualidade do concreto, pois ela está diretamente relacionada com a estrutura da pasta e cimento hidratado (NEVILLE, 2016). Na Figura 06 verifica-se a interação dos fatores que influenciam a resistência do concreto, onde se observa que a mesma depende de vários parâmetros.

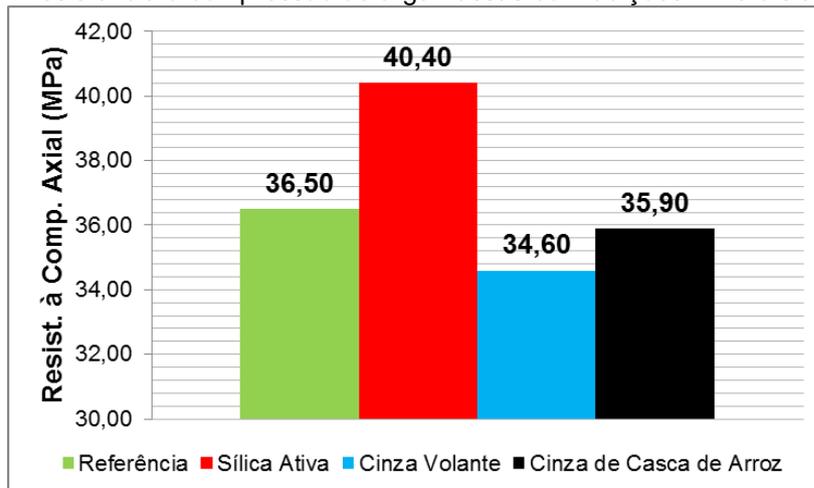
Figura 06 – Interação entre os fatores que influenciam na resistência do concreto



Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2014).

A introdução de pozolanas altamente reativas no concreto resulta em uma série de alterações em suas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, como observa-se na Figura 07, cujo gráfico mostra a resistência à compressão em funções do uso de adições.

Figura 07 – Resistência à compressão de argamassas com adições minerais aos 126 dias.



Fonte: Adaptado de Seidler (1999).

Estas propriedades tendem a refletir a ação física, principalmente, no que se refere ao tamanho das partículas que, via de regra, são muito mais finas que as do cimento Portland, bem como a ação química resultante da atividade pozolânica e a

atuação em conjunto das duas ações. Assim sendo, são apresentados a seguir alguns aspectos importantes das principais características e propriedades do concreto, em seu estado fresco e estado endurecido, que são influenciados devido à adição de pozolanas altamente reativas.

Massazza e Costa (1979) *apud* Mehta e Monteiro (2014), concluíram em seus estudos que, para idades baixas de hidratação do concreto, as misturas contendo pozolanas apresentam resistências inferiores à mistura de referência. Entretanto, as resistências finais, em idades mais avançadas, podem ser superiores às de referência, dependendo da qualidade e quantidade de pozolana utilizada. Aparentemente um excesso de pozolana, por exemplo, mais de 30% por peso em misturas de cimento, deve ser evitada, onde uma redução substancial na resistência mecânica do produto pode não ser tolerada, especialmente em concretos com pouca idade, ou sob condições de baixa temperatura.

A finura da pozolana é a característica física mais importante a ser levada em consideração, pois, para que a mesma desenvolva compostos cimentantes, deverá apresentar uma finura maior que as partículas de cimento. Por isso, Mehta e Monteiro (2014) relatam que as adições minerais promovem efeitos favoráveis ao concreto, principalmente pelo fato de causar uma redução considerável na porosidade das pastas e refinar os grãos de hidróxido de cálcio. A redução de porosidade proporcionada pela alteração da microestrutura ocasiona um aumento da compactidade e, conseqüentemente, dificulta o ingresso de agentes agressivos ao interior do concreto.

#### **2.2.4 Misturas Binárias e Ternárias em Concretos com ARC**

Nos dias atuais, apesar do grande número de trabalhos e pesquisas a respeito de pozolanas alternativas ao cimento, existem temas ligados às mesmas que ainda são pouco explorados. Quando se utilizam duas ou mais adições minerais, sejam em misturas binárias, ternárias ou até mesmo quaternárias, nos deparamos com os efeitos sinérgicos causados pela mistura, devido às interações físico-químicas que ocorrem na microestrutura tornando-a mais densa do que nas misturas simples.

Um dos primeiros trabalhos publicados nessa área foi de Isaia (1997), quando estudou e quantificou o efeito sinérgico da cinza volante sobre a cinza de

casca de arroz e sílica ativa, em concreto com misturas binárias e ternárias com teores de substituição de cimento entre 10 e 50%. Ainda, de modo parcial, Antiohos et al. (2007) desenvolveu um estudo sobre a sinergia entre misturas ternárias de diferentes cinza volantes, Zelic et al. (2009) trabalhou com misturas ternárias de cimento, filer calcário e sílica ativa e Dave et al. (2016) com misturas quaternárias de sílica ativa, escória de alto forno, metacaulin e cinza volante.

Para um estudo aprofundado dos efeitos sinérgicos entre diferentes tipo e percentuais de pozolanas, se faz de grande importância a quantificação dos efeitos físicos e químicos que as adições minerais podem propiciar em conjunto com as pastas cimentícias que são, em última análise, os que promovem a sinergia entre as misturas binárias e ternárias. De acordo com Isaia (2016), quando se utiliza uma pozolana menos reativa como a cinza volante (ou filer), junto com outra(s) mais reativa(s) como a sílica ativa ou cinza de casca de arroz, existe uma sinergia entre elas, devida ao efeito pozolânico (reatividade química) e efeito físico (nucleação de novos locais de hidratação ou obstrução de poros), resultando um acréscimo para o desempenho da variável estudada, do que a simples soma aritmética das misturas binárias em relação às ternárias.

As ações química e física entre misturas ternárias de cinza volante e cinza de casca de arroz, comparadas com as do filer calcário dependem do nível de resistência do concreto (porosidade e interface pasta/agregado) sendo maior o efeito pozolânico do que o físico para níveis de resistências menores (35 MPa) e vice-versa para maiores (65MPa) (ISAIA, et al., 2003). Erhart et al. (2014) comentaram em seu estudo que concretos com 20% de CCA + 50% de ARC apresentaram um melhor resultado a compressão axial em relação aos outros traços estudados, já Zunino e Lopez (2016) apresentam os efeitos físicos e químicos de misturas de CCA com pozolana natural, a partir do uso de fileres calcários inertes, em que os resultados de resistência apresentaram acréscimo de 78% devido ao efeito químico e 22% de efeito físico.

Alguns autores atuais apresentam trabalhos sobre os efeitos físicos e pozolânicos, a maioria das vezes sem abordagem qualitativa e quantitativa da nano/microestrutura das pastas cimentícias, atendo-se aos efeitos benéficos destas duas ações que são o refinamento da estrutura dos poros e dos grãos de CH que tornam a pasta mais compacta e, logo, com melhor desempenho. Deve-se acrescentar outro efeito importante com significativo aumento para as propriedades

do concreto que é o empacotamento dos agregados inertes com os grãos finos cimentícios, incrementando a fluidez com menos água, a compacidade e, logo, as propriedades mecânicas e de durabilidade.

## 2.3 DURABILIDADE DE CONCRETOS COM ARC E POZOLANAS

A ABNT NBR 15575-1 (2013) define que: “a durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de cumprir as funções que lhe foram atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja por obsolescência funcional”. Da mesma maneira, define vida útil como “período de tempo em que um edifício e/ou seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos considerando a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção”. Segundo Rebmann (2011), durabilidade é basicamente o tempo que a estrutura poderá ser utilizada antes que se torne imprópria para o fim ao qual se destina, ou seja, o conceito de vida útil quantifica o conceito de durabilidade, atribuindo medida temporal.

A ABNT NBR 6118 (2014) também contempla as diretrizes para durabilidade do concreto, bem como, sua vida útil, tendo em vista que, a capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais deve ser prevista pelo responsável técnico do projeto estrutural no início dos trabalhos de elaboração do mesmo. Projetos desenvolvidos sem a devida atenção nesse quesito podem futuramente apresentar patologias precoces, não permitindo com que a estrutura atinja seu tempo de vida útil estimado previamente, causando sérios problemas de segurança e risco a vida, bem como, possíveis gastos com manutenção.

Medeiros, Andrade e Helene (2011) resumem a definição de vida útil como uma análise ampla, envolvendo diversas partes como: projeto, execução, materiais, uso, operação e sua manutenção, sempre focalizando o desempenho, a qualidade e a sustentabilidade. Logo, o conceito de durabilidade está diretamente ligado à sustentabilidade, pois, atendendo aos critérios de durabilidade, menor será a necessidade de reparos, assim, reduzindo os custos e o consumo de materiais, conseqüentemente, emissões específicas, matéria prima, consumo de energia, dentre outros. Além do mais, as estruturas de concreto com um tempo de vida útil elevado (re)absorverão maior quantidade de CO<sub>2</sub> da atmosfera, ou seja, ocorrência

do processo de sequestro de CO<sub>2</sub> devido principalmente a carbonatação do concreto, isto é, um processo reverso, por exemplo a produção de cimento, podendo futuramente ser considerada uma medida compensatória no projeto de edificações (POSSAN, FOGAÇA E PAZUCH, 2012).

A Tabela 04 explana os prazos de vida útil de projeto para cada sistema distinto de uma edificação, Com isso, percebe-se que o projeto e a escolha dos materiais dependem da vida útil de projeto (VUP) estabelecida, e, de maneira geral, para que as estruturas de concreto armado satisfaçam a VUP e a durabilidade, é preciso ter cuidados especiais como “cobrimentos, limitação de fissuras, especificação do concreto e do tipo de cimento, emprego de armaduras galvanizadas, cuidados especiais de cura, drenagem, (...)” (CBIC, 2013).

Tabela 04 – Prazos de vida útil de projeto.

| Sistema                  | VUP (Anos)                  |               |          |
|--------------------------|-----------------------------|---------------|----------|
|                          | Mínimo                      | Intermediário | Superior |
| Estrutura                | ≥ 50 – ABNT NBR 8681 (2003) | ≥ 63          | ≥ 75     |
| Pisos Internos           | ≥ 13                        | ≥ 17          | ≥ 20     |
| Vedação Vertical Externa | ≥ 40                        | ≥ 50          | ≥ 60     |
| Vedação Vertical Interna | ≥ 20                        | ≥ 25          | ≥ 30     |
| Cobertura                | ≥ 20                        | ≥ 25          | ≥ 30     |
| Hidrossanitária          | ≥ 20                        | ≥ 25          | ≥ 30     |

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575 (2013) e Guia orientativo para atendimento a norma ABNT NBR 15575/2013 (CBIC, 2013).

Já a ABNT NBR 6118 (2014), mostra que a agressividade do ambiente deve ser sempre considerada, quando se diz respeito à durabilidade de estruturas de concreto e, para tanto, pode-se utilizar a Tabela 05, que relaciona o risco de deterioração da estrutura com a agressividade ambiental. Esta agressividade ambiental não está associada a ações mecânicas ou a variações volumétricas, por exemplo, e sim às ações físicas e químicas, que seriam a proteção que o concreto exerce fisicamente, através de uma barreira de contato, o cobrimento, entre a armadura e o meio ambiente, e quimicamente, devido ao fato do concreto possuir um pH alcalino e proteger a barra de aço da oxidação.

Tabela 05 – Classes de agressividade ambiental.

| Classe de Agressividade Ambiental | Agressividade | Classif. geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|-----------------------------------|---------------|---|------------------------------------|
| I                                 | Fraca         | Rural   | Insignificante                     |
|                                   |               | Submersa  |                                    |
| II                                | Moderada      | Urbana1) 2)   | Pequeno                            |
| III                               | Forte         | Marinha1)   | Grande                             |
|                                   |               | Industrial1) 2)   |                                    |
| IV                                | Muito forte   | Industrial1) 3)   | Elevado                            |
|                                   |               | Respingos de maré   |                                    |

## NOTAS:

1) Pode-se admitir um micro-clima com classe de agressividade de nível mais brando para ambientes internos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

2) Pode-se admitir uma classe de agressividade com nível mais brando em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes de estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente

3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias e celulosa e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118 (2014).

Zhuo, Feng e Dawang (2010) descreveram o ambiente marinho como o mais grave para a estrutura de concreto, pois os íons prejudiciais ao concreto levam ao dano inicial da estrutura. A penetração de íons cloreto leva à corrosão das armaduras, que é a principal causa da redução do desempenho do concreto, diminuindo sua vida útil.

Segundo Isaia (2011), entre os transportes de massa no concreto, a absorção de água por capilaridade é um dos mecanismos mais comuns, já que é um fenômeno espontâneo. A penetração de água através da absorção capilar tem um papel muito importante na entrada de agentes contaminantes quando as estruturas são construídas em ambientes agressivos, por se tratar da porta de entrada para outros mecanismos como a difusão que atuam em profundidades maiores.

Além, do mais a ABNT NBR 6118 (2014) afirma que “a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do cobrimento da armadura”. Isto está diretamente ligado à relação água/cimento e à resistência à compressão do concreto e, por isso, quando não é possível realizar ensaios que verifiquem se os parâmetros mínimos foram atendidos, recomenda-se utilizar os dados da Tabela 06.

Tabela 06 – Classe de agressividade e qualidade do concreto.

| Concreto                      | Tipo | Classe de agressividade |             |             |             |
|-------------------------------|------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                               |      | I                       | II          | III         | IV          |
| Relação água/cimento em massa | CA   | $\leq 0,65$             | $\leq 0,60$ | $\leq 0,55$ | $\leq 0,45$ |
|                               | CP   | $\leq 0,60$             | $\leq 0,55$ | $\leq 0,50$ | $\leq 0,45$ |
| Classe de concreto (NBR 8953) | CA   | $\geq C20$              | $\geq C25$  | $\geq C30$  | $\geq C40$  |
|                               | CP   | $\geq C25$              | $\geq C30$  | $\geq C35$  | $\geq C40$  |

1) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na NBR 12655.

2) CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118 (2014).

Logo, quando se aborda concretos com a inserção de agregados provenientes de RDC, ou seja, concretos com substituições parciais ou totais do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de concreto, bem como, substituições parciais ou totais do cimento por pozolanas alternativas, como, por exemplo, cinza volante e cinza de casca de arroz, se faz de grande importância o estudo de durabilidade. Desta forma, devem ser redobrados os cuidados com todos os fatores que influenciam a durabilidade de tais concretos, levando em consideração as ABNT NBR 15575-1 (2013) e ABNT 6118 (2014), tendo em vista que estes materiais alternativos alteram diversas características do concreto.

Autores como Lovato (2007), Cabral (2007), Padmini et al. (2009), Hui-Sheng et al. (2009), entre outros, estudaram o comportamento do concreto com agregados de RCD, concluindo que a introdução de agregados provenientes de RCD modifica as propriedades do concreto. Dentre as propriedades estudadas, a absorção de água por este novo material é constantemente observada e os resultados obtidos pelas pesquisas apontam que os concretos que incorporam resíduos tendem a ser mais porosos e, portanto, mais suscetíveis à ação dos agentes deletérios.

Estes mesmos autores ressaltam o aumento na quantidade de poros capilares, responsáveis pela absorção de água e aumento da quantidade total de poros, sendo que a mesma é diretamente relacionada com a durabilidade e vida útil das estruturas, pois, é através desses poros que ocorre o ingresso dos agentes agressivos. Dentre os agentes deletérios mais comumente encontrados no meio pode-se citar a ação de íons cloreto e  $CO_2$ . Os íons cloreto são encontrados em

ambientes marinhos, em aditivos utilizados no concreto, em insumos contaminados adotados para a confecção do concreto e em ambientes quimicamente agressivos.

De modo geral, a substituição parcial de agregados naturais por agregado reciclado de concreto torna o concreto mais poroso, diminuindo assim suas propriedades mecânicas; outro aspecto importante nestes concretos é o aumento do volume total de poros, que dependerá da idade deste concreto e da quantidade de argamassa presente nos agregados. Além disso, quanto maior for a relação a/ag e a quantidade de agregado reciclado, maior a penetração de água no concreto (SOBERÓN, 2002; LI, XIAO e ZHOU, 2009; THOMAS et al. 2013).

Então, em concretos de compostos com os mesmos materiais e proporções ou traço, aquele que contiver a substituição parcial ou total de agregado natural por ARC será mais suscetível ao ingresso de agentes agressivos do que naqueles com 100% com agregado natural. Entretanto, a incorporação de materiais com propriedades pozolânicas, como o caso da cinza de casca de arroz, pode auxiliar para a diminuição da permeabilidade desses concretos, pois, a redução de porosidade proporcionada pela alteração da microestrutura ocasiona um aumento da compacidade e por consequência para a sua maior resistência à penetração de íons cloreto.

### **2.3.1 Penetração de Íons Cloretos no Concreto**

Um dos problemas patológicos mais graves das estruturas de concreto armado é a corrosão das armaduras, que pode ser causada por falhas de projetos, uso inadequado de materiais e até mesmo pela má qualidade do processo construtivo. A corrosão traz como consequência, uma diminuição da seção de armadura e fissuração do concreto em direção paralela a esta (MOTA et al., 2009).

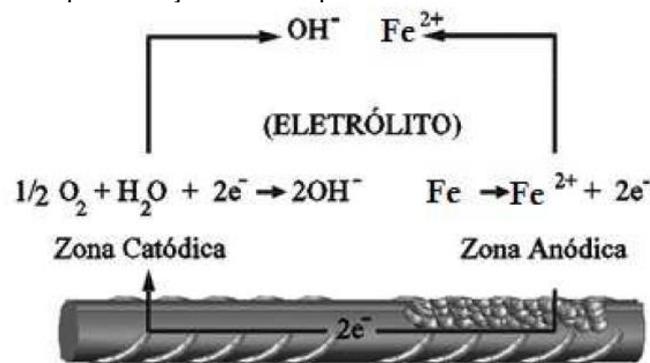
A penetração de íons cloretos tem forte influência no desencadeamento da corrosão no concreto armado, mas a sua grande ação é sobre as armaduras que podem sofrer corrosão puntiforme de elevada periculosidade para o metal. Os íons cloretos que ingressam para o interior do concreto são responsáveis pelo aumento da condutividade elétrica do eletrólito facilitando a corrosão das armaduras. A taxa de penetração de cloreto através do concreto depende de diversos fatores que incluem o local onde esta estrutura de concreto se encontra, englobando o microclima e a situação de contato com o cloreto, a água e o oxigênio, que são os

fatores que contribuem para todo o processo de corrosão (MEDEIROS; HELENE, 2003).

Porém, para que a corrosão exista de fato, é necessário que exista umidade, pois, mesmo após a despassivação, a velocidade de corrosão diminui expressivamente se o concreto permanecer seco; o mesmo acontece se o concreto ficar saturado, pois o oxigênio não conseguirá penetrar. Sendo assim, ambientes marinhos, com condições de ciclos de molhagem e secagem são propícios para um processo corrosivo. É um processo desenvolvido de modo espontâneo como o de qualquer pilha eletroquímica onde exista um ânodo, um cátodo, um eletrólito e a presença de um condutor elétrico. A ausência de um destes elementos impedirá o início da corrosão ou não concluirá o processo, caso já esteja em andamento (FORTES; ANDRADE, 2001).

A Figura 08 ilustra de forma simplificada o processo eletroquímico de corrosão, sendo que, o eletrólito é de essencial importância, pois quanto maior for sua condutividade, maior será a corrente iônica e o processo de corrosão acontecerá mais rápido. Fatores como umidade e oxigenação também influenciam no processo: onde há ambientes com baixa umidade, há carência de eletrólito, dificultando o processo corrosivo; onde existe pouco oxigênio, as reações de redução são atenuadas, controlando a velocidade de corrosão.

Figura 08 – Representação de uma pilha de corrosão em um mesmo metal.

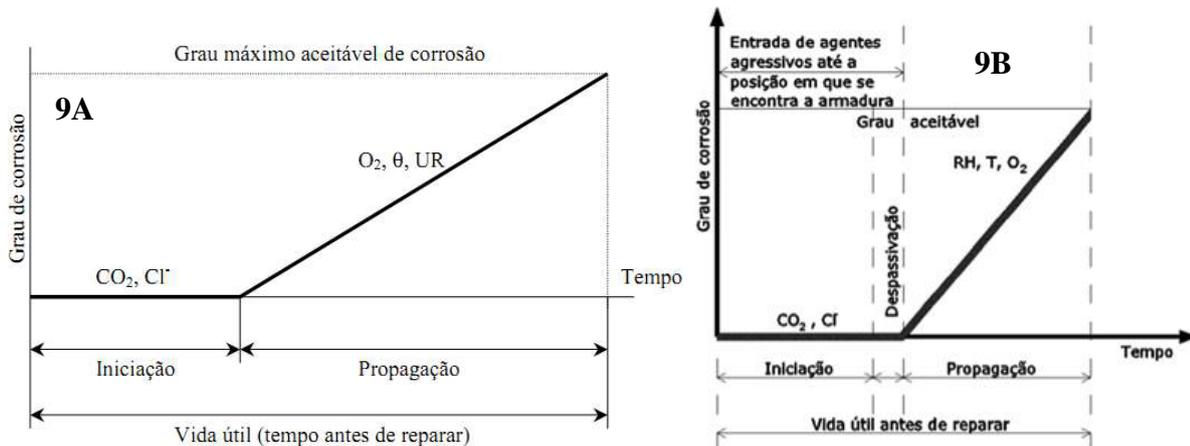


Fonte: Adaptado de Figueiredo e Meira (2011).

O processo de corrosão primeiramente dividia-se em duas fases, conforme mostra a Figura 9A, e posteriormente, Figueiredo e Meira (2011) sugeriram um ajuste ao modelo de Tuuti (1982), inserindo uma fase intermediária as duas já existentes, de acordo com a Figura 9B. A fase da iniciação é o intervalo de tempo necessário para que os agentes agressivos penetrem através do revestimento do

concreto até atingir as armaduras, em certa quantidade necessária para provocar a despassivação das barras de aço. A fase da despassivação ocorre a partir do momento em que o aço é despassivado, quando ocorrem reações eletroquímicas na superfície do aço, demandando certo tempo para iniciar de fato o processo de corrosão. A fase de propagação se inicia após a despassivação das barras de aço, é o momento em que o processo corrosivo começa efetivamente a instalar-se e os produtos de corrosão são gerados pela dissolução do ferro (oxidação) (TUUTTI, 1982; CASCUDO, 1997; LIMA, 2009; FIGUEIREDO E MEIRA, 2011).

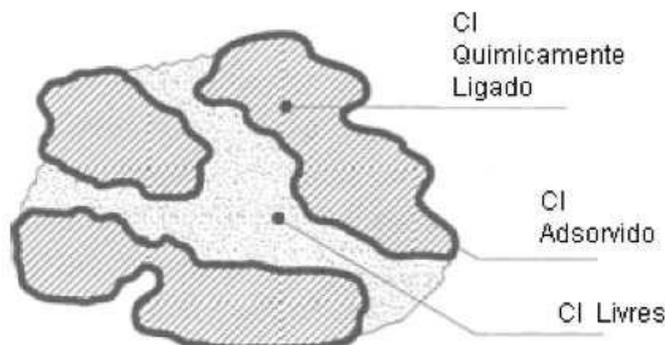
Figura 09 – A: Modelo de vida útil proposto por tuutti. B: Modelo de corrosão das armaduras de Tutti (1982), adaptado por Figueiredo e Meira (2011).



Fonte: Adaptado de Tuutti (1982) e Figueiredo e Meira (2011).

Os cloretos podem ser encontrados no concreto de três formas, como pode ser visualizado na Figura 10: cloretos livres (na forma de íons na água dos poros), cloretos combinados (quimicamente com as fases alumino-férricas, formando cloroaluminatos), ou fisicamente adsorvidos nas paredes dos poros (através do C-S-H) (TUUTI, 1982; ANDRADE, 1992; FIGUEIREDO, HELENE e ANDRADE, 1993).

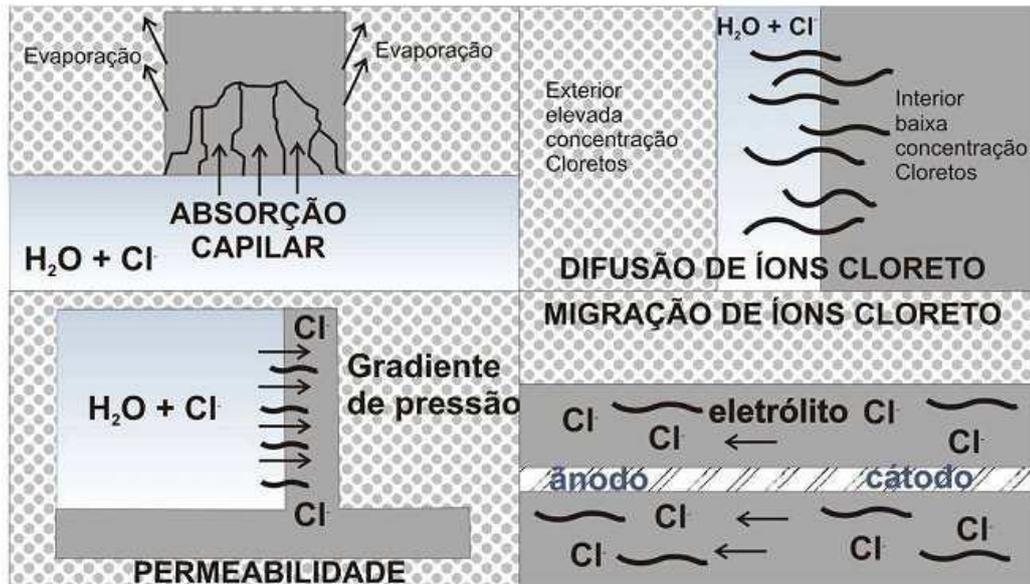
Figura 10 – Formas como os cloretos podem ser encontrados no concreto.



Fonte: Cascudo (1997).

De acordo com Cascudo (1997) existem quatro maneiras dos agentes serem transportados pra dentro do concreto: através de mecanismos de absorção capilar, difusão iônica, permeabilidade e migração iônica, como podem ser observada na Figura 11.

Figura 11 – Formas de penetração dos íons cloretos no concreto.



Fonte: Helene (1993).

Os mecanismos são conceituados por Helene (1993):

- Absorção ou sucção capilar - a água contendo os íons cloretos penetra no concreto através dos poros em função das forças capilares, principalmente em ciclos de umedecimento e secagem;
- Difusão de íons - a difusão iônica acontece no interior do concreto devido à diferença de concentração, tanto no meio externo e o interior do concreto, quanto dentro do próprio concreto.
- Permeabilidade - movimentação de um fluido submetido à ação de um gradiente de pressão, dependendo do diâmetro e da intercomunicação dos poros.
- Migração de íons - como os cloretos possuem cargas negativas, quando ocorre uma ação de campos elétricos há a migração iônica; ou seja, quando existir a presença de cargas elétricas (outros íons) na solução dos poros (eletrólito) ou pela atuação de campos elétricos externos, haverá um aumento da velocidade de transporte de íons.

Existem diversos fatores que podem influenciar o concreto quanto à resistência à penetração de cloretos, a movimentação no interior do concreto e a capacidade de combinação de cloretos. Os principais fatores são: relação a/ag, temperatura, cobrimento da armadura, composição e tipo do cimento, entre outros. Nesse contexto, as pozolanas entram como elementos que promovem modificações na microestrutura do concreto, proporcionando o refinamento dos poros, uma maior compacidade na interface pasta/agregado (devido às partículas finas nessas adições) e pela formação de C-S-H secundário através do consumo de CH pelo efeito pozolânico da CCA. De acordo com Cerro (2002), o aumento na finura e do teor de pozolanas em substituição parcial ao cimento proporciona uma maior densificação e menor permeabilidade da pasta endurecida, e ainda diminui o teor de CH remanescente, proporcionando uma estrutura menos permeável e dificultando o ingresso de íons cloretos.

Para Talbot (1995), as adições minerais propiciam o refinamento da estrutura dos poros principalmente pela menor relação C/S do C-S-H formado, promovendo a inclusão dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  na sua estrutura. Dessa forma, a penetração dos íons cloreto no concreto fica dificultada. O efeito das pozolanas frente à penetração de cloretos tem sido amplamente estudado por diversos pesquisadores, onde os resultados demonstram melhorias no concreto, reduzindo consideravelmente a penetração de íons cloretos. Já no que diz respeito à penetração de íons cloretos em concretos produzidos com ARC, o coeficiente de migração de cloretos aumenta com o acréscimo de substituição do agregado natural por ARC; seguindo assim, a mesma linha da absorção de água, ou seja, o coeficiente de migração de cloretos tende a diminuir quando as relações a/ag são menores e aumentar quando são maiores (OLORUNSOGO e PADAYACHEE, 2002, EVANGELISTA e BRITO, 2010).

No concreto, a concentração dos cloretos poderá ocorrer devido à presença dos componentes (aditivos, água e agregados) na mistura, ou por penetração, do exterior, através da rede de poros, como é o caso de ambientes marinhos. A quantidade de cloretos é incrementada temporalmente chegando, até mesmo, a atacar toda a superfície da armadura, podendo provocar velocidades de corrosão intensas e perigosas (POLDER; PEELEN, 2002 e FORTES; ANDRADE, 2001).

A ABNT NBR 7211(2009) prescreve teores limites de cloretos em agregados para concreto armado menores que 0,1% da massa do agregado e para concreto

protendido de 0,01% da massa do agregado. Já a ABNT NBR 12655 (2006) especifica a quantidade máxima de íons cloretos nas estruturas de concreto armado sujeitas a exposição de cloretos em 0,15% e a estruturas que não estejam em áreas agressivas (locais secos e protegidos de umidade) em 0,4% com relação ao peso do cimento. Já a Norma Brasileira ABNT NBR 6118 (2014), não fala sobre teores críticos de íons cloretos no concreto, apenas limita o teor máximo de cloretos em 500 mg/l em relação à água de amassamento do concreto. Esse conteúdo depende de vários parâmetros encontrados, entre eles são citados: tipo de cimento, quantidade de cimento, relação a/c, conteúdo de umidade, agressividade do meio, adensamento, cura e outros, havendo, portanto, dificuldade de ser estabelecido um limite seguro abaixo do qual não haveria possibilidade de despassivação da armadura de aço.

O fenômeno da corrosão das armaduras é mais frequente do que qualquer outro fenômeno de deterioração das estruturas de concreto armado, comprometendo-as tanto do ponto de vista estético, quanto do ponto de vista de segurança. O processo corrosivo é um processo de deterioração da fase metálica existente, resultando na crescente perda de seção de barras e a formação de produtos expansivos que exercem reações e fissuram o concreto. Este processo é evolutivo e tende a ser agravar com o tempo.

#### 2.4 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) E CUSTO DO CICLO DE VIDA (CCV)

Para que se possa realizar um diagnóstico mais abrangente e ponderado dos impactos ambientais motivados por um empreendimento, é necessário que se considere um número elevado de fatores, bem como, a quantificação das suas relativas influências. Para tanto, se faz necessária à análise do ciclo de vida (ACV) e custo do ciclo de vida (CCV), pois, estes métodos possibilitam a determinação dos impactos gerados por cada material utilizado, desde a sua extração, consumo de energia no seu processamento, até mesmo transporte e aplicação final.

A ACV e o CCV permitem a quantificação do impacto ambiental do empreendimento ao longo de toda sua vida útil, compreendendo todas as fases de uma obra: concepção, projeto, execução, uso e manutenção até o descarte final, bem como, ainda permitem a realização de uma análise em termos econômicos das melhores alternativas a serem adotadas.

### **2.4.1 Avaliação do Ciclo de Vida Aplicado na Construção Civil**

A ABNT NBR ISO 14040 (2009) define Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da seguinte maneira: “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”. Segundo Goedkoop et al. (2009) a Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta metodológica utilizada para avaliar, quantitativamente, o ciclo de vida de produtos e/ou atividades em termos de sua interação com o meio ambiente, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) a disposição final do produto (túmulo) (CHEHEBE, 1998).

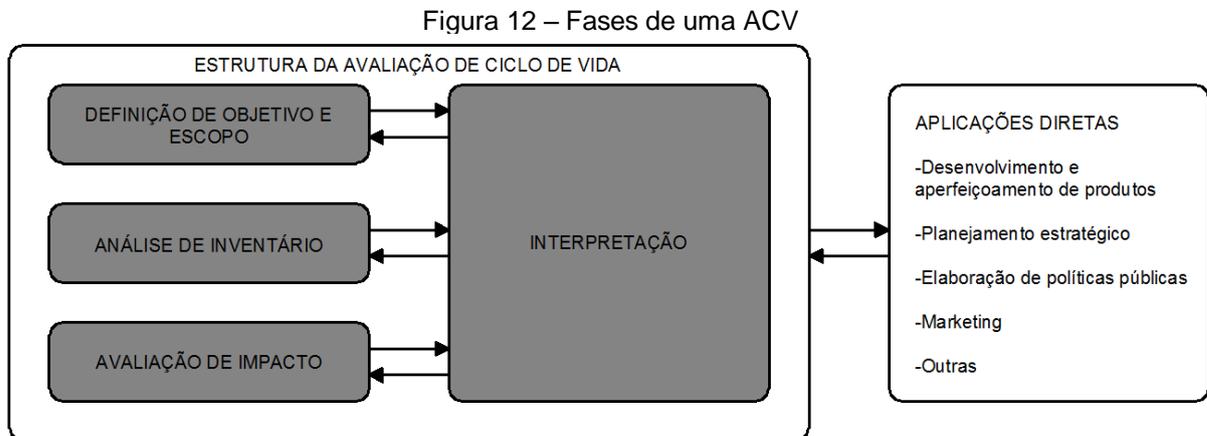
Na construção civil, em essência, a ACV é uma ferramenta analítica que permite considerar um edifício como um sistema, através da quantificação do fluxo de recursos, materiais e de energia ao longo do seu ciclo de vida (BUYLE; BAET; AUDENAERT, 2013, ZUO; ZHAO, 2014). A análise do Ciclo de Vida de produtos é uma ferramenta técnica utilizada para vários propósitos, sendo que os seus resultados podem ser úteis para avaliação, na seleção de indicadores ambientais relevantes e para planejamento estratégico, além, de poder ser utilizada como subsídio as estratégias de marketing de empresas (declarações ambientais ou esquemas de rotulagens) (CHEHEBE, 1998).

De acordo com Ometto (2015) não existe um único método para conduzir estudos de ACV, mas os procedimentos empregados devem seguir as normas ABNT NBR ISO 14040 (Princípios e estrutura)(2009) e ABNT NBR ISO 14044 (Requisitos e orientações)(2009), as quais foram instituídas após a Organização Internacional para a Normalização, no ano de 1992, criar um comitê técnico responsável por normalizar um número de abordagens de gestão ambiental, incluindo a Avaliação do Ciclo de Vida (SAADE et al., 2014). Por motivos de praticidade e eficiência, a estrutura metodológica dada por essas normas é dividida e composta por quatro etapas básicas: definição de objetivos e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados.

Na primeira fase, de definição de objetivo e escopo, é necessário realizar um planejamento e delimitação do estudo, ou seja, o propósito da análise é especificado, bem como, define-se a unidade funcional do estudo para que o mesmo

possa ser concluído com êxito. A segunda fase da ACV é a análise do inventário de ciclo de vida (ICV), onde são realizadas as pesquisas de campo para coleta de dados e procedimento de cálculo pra quantificar as entradas e saídas de massa e energia para cada fase do produto, em suma, calcula-se o consumo de recursos e de emissões. A terceira fase é relativa à Avaliação do Impacto o Ciclo de Vida (AICV) onde ocorre a identificação e a avaliação em termos de impactos potenciais ao meio ambiente que podem ser associados aos dados obtidos no inventario, isto é, relacionam-se as emissões e o consumo de recursos naturais a diferentes categorias de impactos ambientais. A quarta e última fase de uma ACV é a Interpretação do Ciclo de Vida, que inclui a interpretação na qual os resultados de cada uma das etapas anteriores são avaliados, de tal maneira, identificando necessidade de adequação das definições do estudo, caracterizando uma metodologia iterativa. A avaliação engloba a discussão ou análise de aspectos como: consistência, completude e sensibilidade (IBICT, 2014).

A Figura 12 ilustra as fases de uma ACV.



Fonte: Adaptado de ABNT NBR ISO 14040 (2014).

#### 2.4.1.1 Avaliação do Ciclo de Vida Modular (ACV-m)

De acordo com Giannetti et al. (2014) a maior limitação da análise do ciclo de vida é sua principal característica: a abrangência, pois a proposta da ACV é analisar todos os fluxos de materiais e energia que fazem parte do ciclo de vida do produto. Logo, a avaliação do ciclo de vida modular (ACV-m) é uma evolução da ACV tradicional (completa), tendo em vista, que a mesma trabalha apenas com os

impactos ambientais mais críticos, sendo que o escopo é reduzido, mas continua sincronizado com o método da ACV tradicional, permitindo sua rápida ampliação quando necessário, reduzindo assim, tempo de execução, custos e complexidade, permitindo que o inventário seja atualizado continuamente em módulos que somados resultem em uma ACV completa (CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2014).

Esta proposta tem foco na área de materiais de construção com o levantamento de dados dos principais produtos do setor, pois, para a realização de uma ACV completa de materiais de construção civil são necessários muitos recursos financeiros e humanos, tornando-a muito complexa. Porém, a simplificação pode afetar a precisão e confiabilidade dos resultados da ACV, logo, se faz necessária à identificação das áreas inclusas na ACV que podem ser omitidas ou simplificadas sem que haja diferenças significativas nos resultados finais.

Esse projeto foi desenvolvido pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), em parceria com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e a Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto (Bloco Brasil), com assessoria da Universidade de São Paulo (USP). O projeto tem como objetivo avaliar e aprimorar a sustentabilidade no setor da construção civil, e tem como finalidade iniciar a quantificação dos impactos ambientais dos produtos, permitindo as empresas participantes controlar e intervir no processo produtivo com critérios de sustentabilidade (CHERUBINI E RIBEIRO, 2015).

Segundo o CBCS (2014) a iniciativa propõe a identificação de cinco aspectos mínimos, possíveis de serem identificados em qualquer processo: consumo de energia, consumo de água, consumo de matérias-primas, geração de resíduos e emissão de CO<sub>2</sub>.

Cherubini e Ribeiro (2015) explicam que:

A estratégia do projeto da ACV-m é de trabalhar inicialmente com um escopo reduzido, facilitando a medição e verificação dos aspectos mais importantes do setor, reduzindo custos e tempo para a execução do projeto, para que progressivamente os módulos somados resultem em ACV completas.

A ACV-m é uma ação importante para o contexto da sustentabilidade, e é bem vista, pois, devera constituir uma metodologia comum a todos os materiais do setor da construção civil (setor que contribui intensamente para o efeito estufa), possibilitando assim, a aplicação da ACV com um foco bem determinado.

#### 2.4.1.2 Softwares, base de dados e métodos de avaliação

A realização da ACV de um produto contempla uma série de fases importantes que devem ser cumpridas, além do mais, engloba uma grande quantidade de informações e de cálculos que dificultam a sua execução, como, por exemplo, dados de fluxo de matéria e energia, bem como, as correlações desses dados com os impactos ambientais associados. Logo, para a execução de uma ACV é de extrema importância o auxílio de ferramentas computacionais, inclusive, para obtenção de resultados representativos com maior coerência e que expressem a realidade de maneira mais fiel.

De acordo com Campos (2012), existem vários softwares utilizados para a ACV, no que diz respeito ao balanço de massas. Dentro desses programas existem diversas bases de dados disponíveis, ou seja, bancos de dados próprios, que são adequados à realidade geográfica na qual se inserem, implicando com que eles se tornem ferramentas regionalizadas, exigindo assim, que se tenha o devido cuidado para aplicação em outras localidades.

Cada software de Análise do Ciclo de Vida apresenta particularidades no método de inserção dos dados e de visualização dos resultados. Dentre os mais utilizados cita-se o SimaPro (System for Integrated Environmental Assessment of Products), desenvolvido pela empresa Holandesa PRé Sustainability, o qual permite o acesso a abordagem da ACV consequencial da base de dados doecoinvent e gerencia os inventários da ACV no formato EcoSpold 2. Inclui-se nesta lista o GaBi (Alemanha) da PE International (atual Thinkstep), que é largamente utilizado por empresas e pesquisadores em todo o mundo. Conforme Cherubini e Ribeiro (2015) o SimaPro é o software de ACV com o maior número de citações em dissertações e teses brasileiras, seguido do software GaBi, sendo que de um total de 95 trabalhos analisados, o SimaPro foi utilizado 61 vezes (64,2%) e o GaBi 19 vezes (20,0%).

No que diz respeito à realidade brasileira observou-se que não existem métodos nacionais de Avaliação do Impacto o Ciclo de Vida (AICV). Os métodos mais utilizados em dissertações e teses foram o CML-IA desenvolvido pela Universidade de Leiden na Holanda, seguido pelo Eco- Indicator 99 (CHERUBINI E RIBEIRO, 2015).

### 2.4.1.3 Avaliação do Ciclo de Vida Aplicada ao Concreto Estrutural

Campos (2012), as demandas por construções sustentáveis vêm tornando a ACV uma ferramenta muito utilizada para verificar desempenho de sistemas produtivos, materiais ou edificação ao longo da vida útil. A ACV permite a averiguação de oportunidades de melhoria na construção civil, oferecendo informações sobre os impactos ambientais gerados remetendo assim, a grande utilização de concreto, conseqüentemente, elevada produção de cimento e as grandes quantidades emitidas de CO<sub>2</sub> durante seu processo de produção.

Também é importante frisar a importância da ACV para a escolha de produtos e processos realmente sustentáveis, pois para garantir isso, é necessário avaliar todo o ciclo de vida do produto ou processo:

Infelizmente, é comum a seleção de materiais, ou até mesmo de edifícios, através de análises que se baseiam somente na avaliação dos aspectos ambientais de uma única fase do ciclo de vida. (...) Muitas vezes produtos acabam sendo classificados como ambientalmente corretos, só por terem um componente reciclável. (...) Esta abordagem ignora os impactos que podem ser causados em outras etapas do ciclo de vida. (OLIVEIRA, 2007, p.80).

Nielsen (2008) reuniu informações de estudos europeus relativos à emissão de gás carbônico derivada da produção do concreto. A Tabela 07 apresenta o cálculo da quantidade de CO<sub>2</sub> gerada para a produção de um concreto com resistência característica de 35 MPa e relação água/cimento de 0,4, produzido na Dinamarca. O autor concluiu que o transporte de matérias-primas e produtos acabados tem pouca influência, exceto quando as distâncias são significativamente grandes; a calcinação do clínquer causa a maior emissão de CO<sub>2</sub>, porém, quando substituído por adições minerais, há uma diminuição dos impactos.

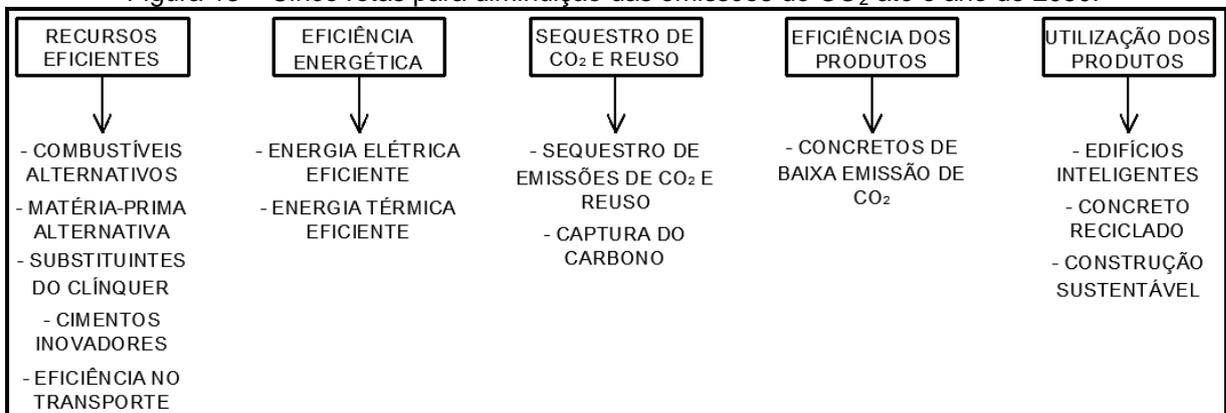
Tabela 07 – CO<sub>2</sub> gerado para a produção de um concreto na Dinamarca.

| Material     | Consumo de material (kg/m <sup>3</sup> ) | CO <sub>2</sub> incorporado (kg/t) | CO <sub>2</sub> por volume de concreto (kg/m <sup>3</sup> ) | CO <sub>2</sub> (%) |
|--------------|--|------------------------------------|---|---------------------|
| Cimento      | 300                                      | 800 a 900                          | 255   | 68,8                |
| Areia        | 660                                      | 3                                  | 2   | 0,5                 |
| Pedra        | 1170                                     | 3                                  | 3,5   | 0,9                 |
| Concreto     | 2400                                     | 40                                 | 9,6   | 25,9                |
| Transporte   | -  | -                                  | 14  | 3,8                 |
| <b>TOTAL</b> | -  | -                                  | 371   | 100                 |

Fonte: Adaptado de Nielsen (2008).

Conforme a Figura 13 e ainda de acordo com o que a literatura mostra, verifica-se que umas das formas mais eficientes de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> são através da redução do consumo de clínquer. A utilização de adições e minerais, tanto naturais como subprodutos de outros processos, pode contribuir na redução de CO<sub>2</sub> gerado na fabricação do cimento (LIMA, 2010; AGOPYAN E JOHN, 2011), porém, se fazem necessários diversos estudos prévios a substituição do clínquer por outros materiais, tendo em vista que, as adições podem não proporcionar bom comportamento em algumas aplicações, principalmente no que diz respeito à durabilidade.

Figura 13 – Cinco rotas para diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> até o ano de 2050.



Fonte: Adaptado de The role of cement in the 2050 low carbon economy (2013).

Ainda, verifica-se na Figura 13, que outra maneira para mitigar a poluição atmosférica é através do uso de combustíveis que apresentem menores emissões, ou seja, combustíveis alternativos, porém, opções que muitas vezes esbarram em questões econômicas dentro das indústrias, além de limitações tecnológicas. Lima (2010) sugere o uso de resíduos como fonte de energia na produção, pois reduz a necessidade de uso de combustíveis fósseis, aumentando, ainda, a vida útil dos aterros e reduzindo as emissões de metano destes, porém, deve-se considerar uma maior geração de gases poluidores na utilização de resíduos.

Para fazer uso da Análise do Ciclo de Vida em uma estrutura de concreto armado é necessário, primeiramente, conhecer seu ciclo de vida. Assim, deve-se realizar um levantamento dos fluxos que envolvem cada uma das etapas da produção, inclusive a obtenção da matéria-prima, transporte, produção, resíduos pós-uso, entre outros.

Na construção civil, muitos impactos ambientais estão relacionados com os materiais e processos utilizados para construir as edificações. Esses materiais e processos causam danos ambientais desde a extração da matéria-prima, transporte, passando pela sua transformação, utilização e deposição final. Seo e Kulay (2006) explicam que, com base em resultados da ACV, podem-se fazer opções de projeto, como busca de novos materiais, formas de energia alternativas e implantação de melhorias de processo visando à minimização de perdas, ou a concepção de produtos menos agressivos ao meio ambiente. Uma minimização dos impactos ambientais somente na fase de construção pode não significar menor impacto global, muitas vezes sendo preciso adotar medidas com maior impacto na fase de construção, mas que diminuam manutenção, o consumo de energia e água, ou acrescente em durabilidade.

#### **2.4.2 Avaliação do Custo do Ciclo de Vida Aplicado na Construção Civil**

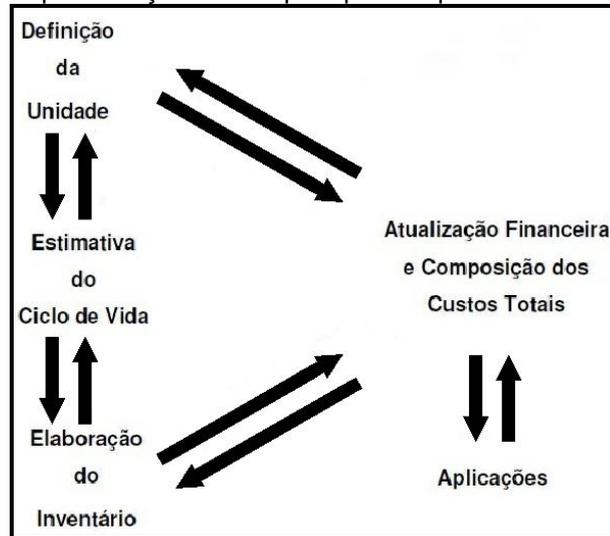
A análise do custo do ciclo de vida (CCV) é uma metodologia de carácter económico que pode contribuir para a seleção da alternativa mais eficiente em termos de custos dentre as analisadas ao longo de um período de tempo (REAL, 2010). Entende-se como um somatório de todos os custos envolvidos na concepção, projeto, desenvolvimento, construção, operacionalização, operação, manutenção, modernizações e desativação de um sistema (COPLE, 2010), podendo o mesmo ser uma planta petroquímica, uma ponte ou até mesmo um edifício.

Em suma, este procedimento permite e auxilia na análise dos custos incidentes sobre um sistema durante todas as fases do seu ciclo de vida. Além do mais, segundo Cople (2010), considera também a definição otimizada da estrutura de apoio logístico e outros sistemas capacitadores, tais como, simuladores para treinamentos e unidades fabris necessários para o sistema principal, considerando fatores geográficos, elementos operacionais e transporte. Também permite avaliar a influência de dados duvidosos ou falhos sobre o custo total, através de análises de sensibilidade (SANTOS, 2007).

Ainda, de acordo com Santos (2007), a realização de análise do CCV compreende as seguintes etapas, conforme mostrado esquematicamente na Figura 14: definição da unidade a ser estudada, estimativa do ciclo de vida, elaboração do

inventário para cada um dos materiais alternativos, atualização financeira e composição dos custos totais.

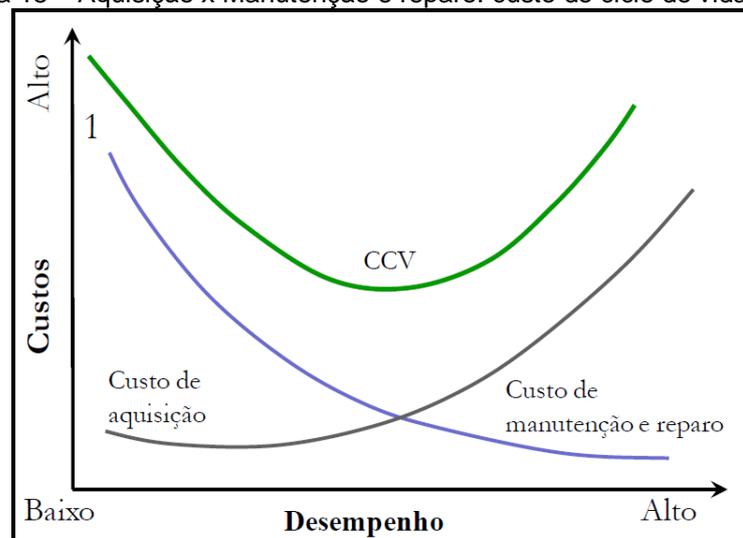
Figura 14 – Representação das etapas que compõem uma análise de CCV.



Fonte: Adaptado de Santos (2007).

Logo, através das distintas alternativas de projeto que implicam em diferentes custos de operação, manutenção, reparo e reabilitação, durante a vida útil da construção, é possível o traçado de uma curva de desempenho e uma curva de custos ao longo do tempo, conforme apresentado na Figura 15 (POSSAN E DEMOLINER, 2013).

Figura 15 – Aquisição x Manutenção e reparo: custo do ciclo de vida (CCV)



Fonte: Possan e Demoliner (2013).

Segundo Possan e Demoliner (2013) essa análise pode ser usada para justificar altos investimentos iniciais de um projeto, em razão dos benefícios econômicos advindos ao longo do tempo. Suas vantagens são mais bem percebidas quando se podem comparar diferentes alternativas de projeto, sendo que os maiores benefícios desta análise são alcançados em projetos de novas edificações, porém, não há impedimentos para seu emprego em edificações já existentes.

Também é possível fazer uma abordagem conjunta entre CCV e ACV. Guoguo (2009) destaca que ambas são ferramentas quantitativas, para análise do mesmo período de tempo e com foco no futuro, porém, as metodologias divergem em alguns pontos que são apresentados na Tabela 08.

Tabela 08 – Diferenças entre CCV e ACV

| <b>Item</b>                | <b>CCV</b>          | <b>ACV</b>               |
|----------------------------|---------------------|--------------------------|
| Objetivo                   | Valor Econômico     | Impactos Amb. Potenciais |
| Escopo                     | Custo               | Materiais e Produtos     |
| Abordagem                  | Ascendente          | Descendente              |
| Avaliação de Impactos Amb. | -                   | Ar, Água e Solo          |
| Avaliação de Custos        | Todos os Custos     | -                        |
| Unidade                    | Unidade Monetária   | Unidade Física           |
| Fluxos                     | Benefícios e Custos | Materiais e Energia      |

Fonte: Adaptado de Guoguo (2009) e Norris (2001).

Apesar de distintas, as metodologias podem ser complementares, tendo em vista que, Norris (2001) comenta que a indústria não pode limitar suas decisões sobre um produto apenas à ACV; o custo é um fator limitante. A integração entre CCV e ACV torna-se interessante para propostas mais sustentáveis, pois, possibilita o traçado de um paralelo entre custo e demandas ambientais, facilitando que se obtenha equilíbrio nesses aspectos; ainda destaca que o maior desafio no uso integrado das duas metodologias é a definição dos indicadores, sendo que devem ser diferentes para cada fase do ciclo de vida.

### 3. METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta o planejamento dos procedimentos experimentais, bem como a metodologia para a confecção dos exemplares de concretos utilizados na pesquisa. Salienta-se que esse estudo é parte de um projeto desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Pesquisas em Concreto (GEPECON), de tal maneira, utilizando alguns dados empregados em diversos outros trabalhos a fim de propiciar a integração futura de resultados entre diferentes dissertações/teses.

Posteriormente são apresentados os métodos de execução dos ensaios com os objetivos de determinar o comportamento dos concretos em comparação ao concreto de referência, através dos ensaios de Resistência a Compressão Axial (ABNT NBR 5739:2007), Módulo de Elasticidade (ABNT NBR 8522:2008) e Penetração de Íons Cloretos por Imersão (WEE ET AL., 2000 E OTSUKI, 1992). Para a moldagem dos corpos de prova baseou-se na ABNT NBR 5738 (2015).

Subsequentemente, através do software SimaPro – Versão 8.5.2.2, é realizada a Análise do Ciclo de Vida (ACV) e Custo do Ciclo de Vida (CCV), que engloba o ciclo de vida completo da unidade funcional estabelecida – pilar de concreto armado, relacionado ao estudo frente à Penetração de Íons Cloretos por Imersão.

#### 3.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Tendo em vista a amplitude de variáveis e a metodologia utilizada, apresenta-se nos tópicos a seguir o planejamento do programa experimental.

#### 3.2 VARIÁVEIS

A definição das variáveis está ligada a um estudo do comportamento do concreto, sendo as mesmas determinadas de maneira a alcançar os objetivos propostos pela pesquisa. Foram estabelecidas variáveis independentes e de controle, tendo em vista, a possibilidade de mensurar a influência que exercem sobre as variáveis de resposta estabelecidas.

As variáveis compreendidas no estudo são definidas a seguir:

a) Variáveis independentes:

- Tipos de cimentos: CP IV e CP V – ARI;
- Níveis de resistência: 25 e 35 MPa;
- Idades de ensaios de compressão axial (28 e 91 dias), módulo de elasticidade (28 dias) e penetração de íons cloretos por imersão (28, 56, 84 e 112 dias).

b) Variáveis de controle:

- Percentuais de substituição do cimento CP V por cinza volante e cinza de casca de arroz: 25% de ambas;
- Percentuais de substituição do agregado graúdo natural por agregado reciclado de concreto (ARC): 15% e 30%;
- Fator água/aglomerante: variável.

c) Variáveis dependentes (resposta):

- Resistência à compressão axial;
- Módulo de elasticidade;
- Penetração de íons cloreto por imersão;
- Análise do ciclo de vida e custo do ciclo de vida.

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Realizou-se uma análise das propriedades físicas e químicas dos materiais selecionados, tendo em vista que, conforme Mehta e Monteiro (2014), antes de fazer uma mistura de concreto, a seleção dos materiais componentes realizados metodicamente, é o primeiro passo para se obter um produto que realmente tenha representatividade nos resultados.

#### 3.3.1 Materiais Cimentícios

Foram utilizados quatro tipos de materiais cimentícios: cimento CP IV, cimento CP V – ARI, cinza de casca de arroz e cinza volante.

O cimento utilizado CP IV é de fabricação nacional, marca Itambé, Brasil, referente à norma ABNT NBR 5736 (1999), já o cimento CP V – ARI, de alta

resistência inicial, é também de fabricação nacional, marca Itambé, de acordo a norma ABNT NBR 5733(1991). Este último apresenta baixo teor de adições minerais em sua composição, de tal maneira, permitindo a verificação da influência da substituição parcial do cimento Portland por pozolanas, no caso, cinza de casca de arroz e cinza volante, ambas com 1 hora de moagem prévia. Verifica-se que foi publicada no dia 03 de julho de 2018 a nova norma técnica que unifica as demais relacionadas ao Cimento Portland, assim, entrando em vigor, a ABNT NBR 16697 (Cimento Portland – Requisitos).

Para a caracterização dos materiais em questão foram realizados os seguintes ensaios:

- a)** Composição química completa: perda ao fogo,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e Resíduo Insolúvel;
- b)** Massa específica absoluta, utilizando o frasco volumétrico de Le Chatelier, seguindo as diretrizes da norma ABNT NBR NM 23 (2001);
- c)** Granulometria por difração a laser;
- d)** Determinação da finura, seguindo a ABNT NBR 11579 (2013);
- e)** Determinação da água da pasta de consistência normal, seguindo a ABNT NBR NM 43 (2003);
- f)** Tempo de início e fim de pega utilizando o aparelho de Vicat, seguindo a ABNT NBR NM 65 (2003);
- g)** Resistência à compressão axial da argamassa normal a 3,7 e 28 dias, seguindo a ABNT NBR 7215 (1997).

Os resultados da composição química dos materiais utilizados estão na Tabela 09, com os respectivos limites estabelecidos pelas normas. Observa-se a inconformidade do cimento CP V - ARI na composição de resíduo insolúvel. Na Tabela 10 é apresentada a caracterização física dos materiais, possibilitando assim, a percepção de que os resultados encontrados estão adequados.

Tabela 09 – Caracterização química dos materiais cimentícios (% em massa)

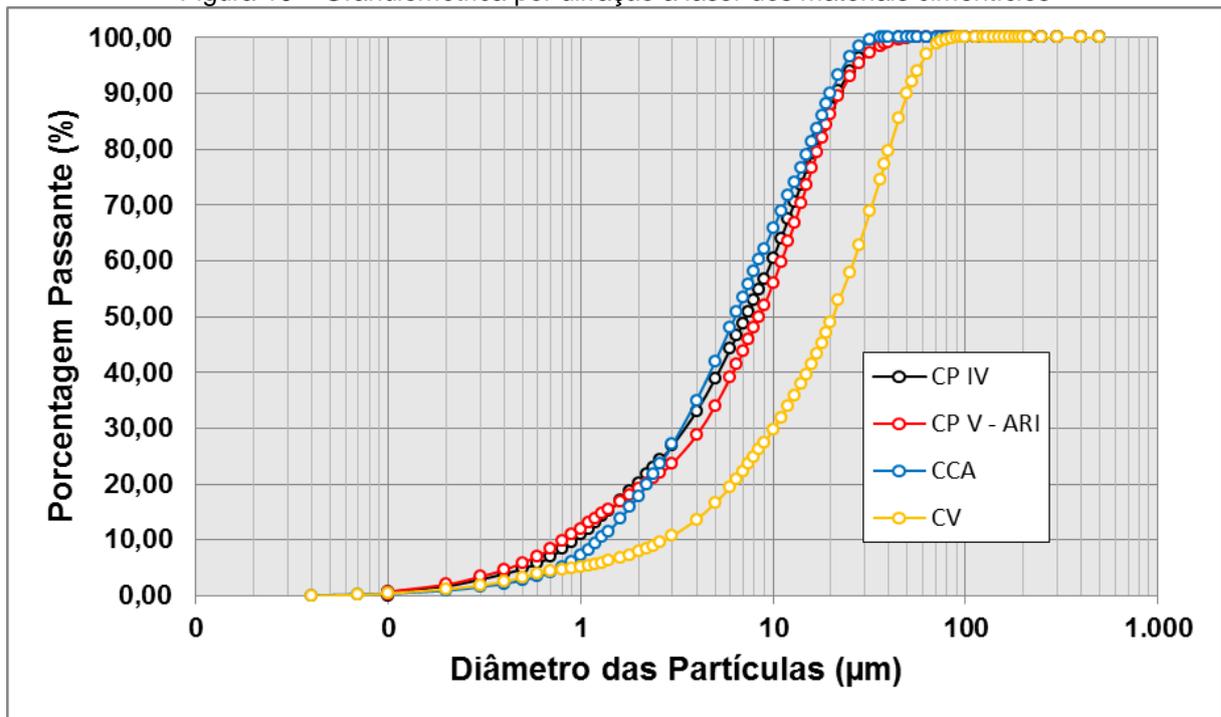
| Composição química                                       | CP IV | Limites NBR 5736/99 | CP V ARI | Limites NBR 5733/91 | CCA   | CV    |
|--|-------|---------------------|----------|---------------------|-------|-------|
| Perda ao fogo - <b>PF</b>                                | 7,00  | ≤ 4,5%              | 3,08     | ≤ 4,5%              | 0,25  | 1,00  |
| Dióxido de Silício total - <b>SiO<sub>2</sub></b>        | 32,10 | -                   | 18,81    | -                   | 94,84 | 65,50 |
| Óxido de Alumínio - <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>   | 8,79  | -                   | 4,75     | -                   | 0,39  | 25,89 |
| Óxido de Ferro - <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>      | 4,34  | -                   | 2,68     | -                   | 0,54  | 3,15  |
| Óxido de Cálcio total - <b>CaO</b>                       | 38,12 | -                   | 60,88    | -                   | 1,32  | 0,34  |
| Óxido de Magnésio - <b>MgO</b>                           | 5,04  | ≤ 6,5%              | 5,22     | ≤ 6,5%              | 0,4   | 1,53  |
| Anidrido Sulfúrico - <b>SO<sub>3</sub></b>               | 1,97  | ≤ 4,5%              | 2,28     | ≤ 4,5%              | 0,01  | -     |
| Óxido de Sódio - <b>Na<sub>2</sub>O</b>                  | 0,20  | -                   | 0,18     | -                   | 0,11  | 0,21  |
| Óxido de Potássio - <b>K<sub>2</sub>O</b>                | 1,39  | -                   | 0,89     | -                   | 1,45  | 1,98  |
| Óxido de Titânio - <b>TiO<sub>2</sub></b>                | 0,41  | -                   | 0,3      | -                   | -     | -     |
| Pentóxido de Fósforo - <b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> | 0,10  | -                   | 0,16     | -                   | -     | -     |
| Óxido de Manganês - <b>Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>   | 0,10  | -                   | 0,04     | -                   | -     | -     |
| Óxido de Cálcio Livre - <b>CaO</b>                       | 1,93  | -                   | 1,17     | -                   | -     | -     |
| Resíduo insolúvel - <b>RI</b>                            | 34,27 | -                   | 1,19     | ≤ 1,0%              | -     | -     |
| Anidrido Carbônico - <b>CO<sub>2</sub></b>               | 4,89  | ≤ 3,0%              | 2,27     | ≤ 3,0%              | -     | -     |

Tabela 10 – Caracterização física materiais cimentícios (% em massa)

| Característica  | CP IV                                | CP V- ARI | CCA   | CV    |
|---|--------------------------------------|-----------|-------|-------|
| Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )                       | 2,70                                 | 3,14      | 2,09  | 2,19  |
| Área Específica B.E.T. (m <sup>2</sup> /g)                  | 5,75                                 | 5,96      | 18,71 | 3,55  |
| Índice de Finura #0,075 mm (% retida)                       | 0,20                                 | 0,02      | 4,97  | 2,11  |
| Consistência normal (%)                                     | 30,00                                | 29,1      | -     | -     |
| Início de pega (min)  | 200                                  | 154       | -     | -     |
| Fim de pega (min)   | 239                                  | 191       | -     | -     |
| Idades (dias)   | Resistência à compressão axial (MPa) |           |       |       |
| 3   | 21,0                                 | 38,1      | -     | -     |
| 7   | 25,3                                 | 38,6      | -     | -     |
| 28  | 33,1                                 | 50,0      | -     | -     |
| Diâmetro médio das partículas (µm)                          | 7,27                                 | 8,50      | 4,89  | 23,84 |
| Diâmetro abaixo do qual encontra-se 10% das partículas (µm) | 0,93                                 | 0,83      | 1,1   | 2,75  |
| Diâmetro abaixo do qual encontra-se 90% das partículas (µm) | 21,60                                | 22,38     | 17,23 | 50,03 |

Os índices de finura mostram que o CP V – ARI tem menor porcentagem de grãos superiores à dimensão 0,075 mm (peneira nº 200), apenas 0,02% em massa. O tempo de moagem é maior na fabricação deste cimento de alta resistência inicial, e o produto final é um aglomerante hidráulico mais fino em relação aos demais do mercado nacional. A curva granulométrica dos materiais cimentícios estudados, CP IV, CP V – ARI, cinza de casca de arroz e cinza volante, obtidas por granulômetro de difração a laser, estão apresentadas na Figura 16.

Figura 16 – Granulométrica por difração a laser dos materiais cimentícios



### 3.3.2 Agregados

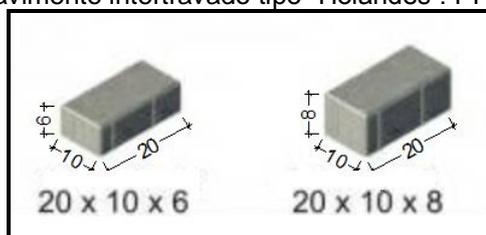
A areia média natural é proveniente do Rio Vacacaí, Santa Maria (RS). Já a pedra britada 01 diabásica é proveniente de Itaara (RS) e o agregado de demolição de concreto é proveniente de resíduos de fabricação de blocos de concreto para pavimentação intertravada, fornecidos pela empresa Prontomix, localizada na cidade de Santa Maria/RS. Foram realizados os seguintes ensaios:

- a) Massa específica aparente do agregado miúdo, através da determinação de volume e massa, seguindo a ABNT NBR NM 52 (2009);
- b) Massa específica e aparente do agregado graúdo e absorção de água, determinados por massa e volume, seguindo a ABNT NBR NM 53 (2009);
- c) Massa unitária e do volume de vazios de agregados, seguindo a ABNT NBR NM 45 (2006);
- d) Ensaio de abrasão Los Angeles do agregado graúdo, seguindo a ABNT NBR NM 51 (2001);
- e) Índice de forma do agregado graúdo, seguindo a ABNT NBR 7809 (2008);
- f) Composição granulométrica, pelo método da ABNT NBR NM 248 (2003);

**g)** Absorção de água do agregado miúdo, seguindo a ABNT NBR NM 30 (2001).

Em substituição parcial ao agregado graúdo natural empregou-se o agregado de demolição de concreto. Os blocos produzidos pela empresa seguem a ABNT NBR 9781(2013) – “Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio”. Utilizaram-se resíduos de blocos de pavimento do tipo “Holandês”: PH6/35 e PH8/50, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Pavimento intertravado tipo “Holandês”: PH6/35 e PH8/50.



Nota: Medidas em centímetros.

Fonte: Adaptado de [www.prontomix.com.br/site/produtos\\_blocos\\_pavimentacao](http://www.prontomix.com.br/site/produtos_blocos_pavimentacao)

Os blocos são produzidos com resistência mínima de 35MPa (PH6/35) e 50MPa (PH8/50), sendo que sua única diferença encontra-se na espessura: o PH6/35 tem espessura de 6cm, sendo indicado sua utilização para calçadas, praças e vias de tráfego de veículos leves (carros), enquanto o PH8/50 possui espessura de 8cm e são aplicados em vias de tráfego de veículos pesados (ônibus, caminhões).

A Tabela 11 apresenta a caracterização física dos agregados.

Tabela 11 – Caracterização física dos agregados

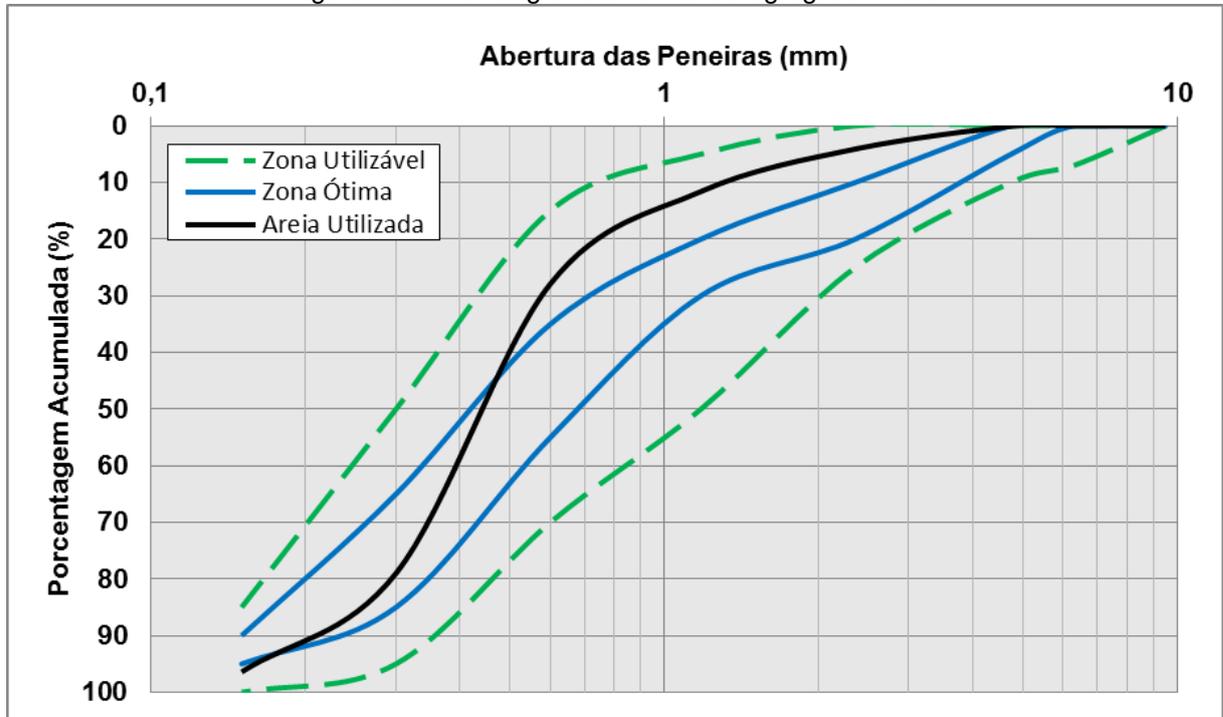
| Propriedades Físicas                  | AM   | AGN  | ARC  |
|---------------------------------------|------|------|------|
| Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> ) | 2,65 | 2,49 | 2,16 |
| Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )   | 1,57 | 1,36 | 1,01 |
| Perda por Abrasão L. A. (%)           | -    | 11   | 31   |
| Índice de Forma                       | -    | 1,59 | 2,04 |
| Módulo de Finura                      | 2,19 | 6,96 | 6,79 |
| D. Máx. Característico (mm)           | 2,36 | 19,0 | 19,0 |
| Absorção do Agregado (%)              | 0,33 | 2,18 | 5,05 |

Nota: AM= Agregado Miúdo, AGN= Agregado Graúdo Natural, ARC= Agregado Reciclado de Concreto.

A Figura 18 apresenta a curva granulométrica do agregado miúdo, apresentando os devidos limites estipulados pela ABNT NBR 7211 (2009), bem

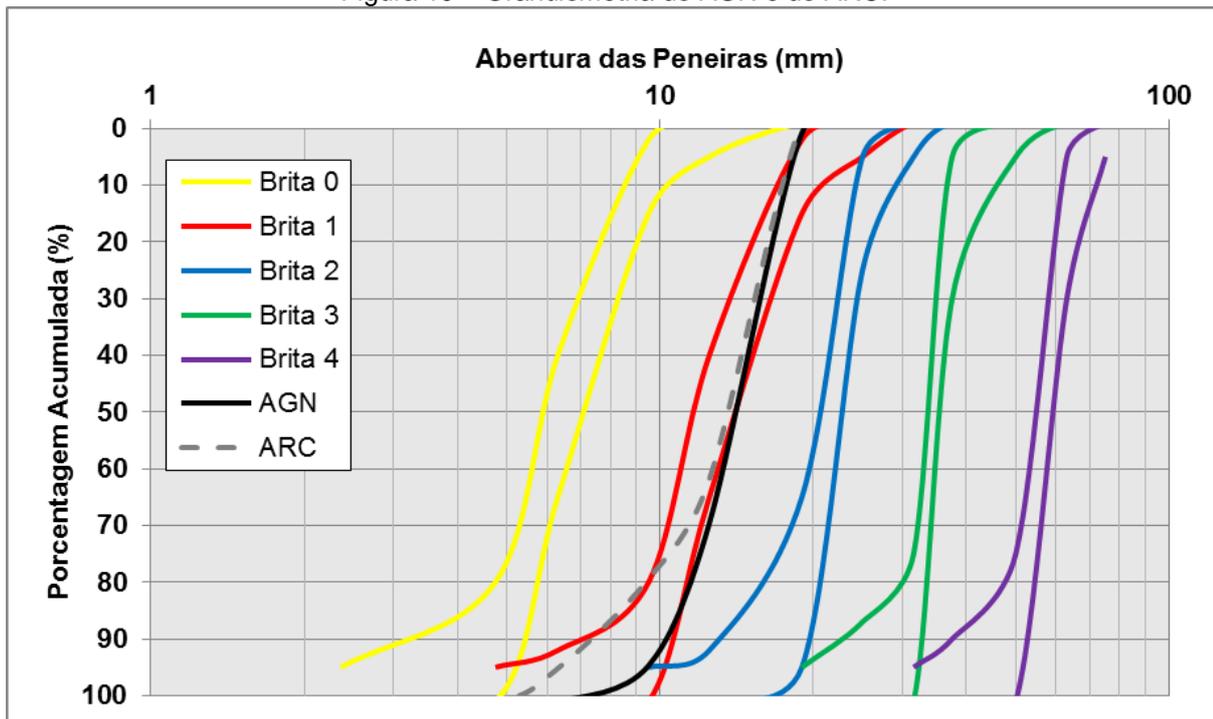
como, a granulometria ótima. Constatou-se que a areia utilizada está dentro dos limites entre as zonas ótima e utilizável.

Figura 18 – Análise granulométrica do agregado miúdo



Já a Figura 19 apresenta as curvas granulométricas do agregado graúdo natural e do agregado de demolição de concreto, apresentando o enquadramento estabelecido pela ABNT NBR 7211 (2009) da brita 0 (pó de brita), 1, 2, 3 e 4, bem como, o enquadramento dos agregados utilizados na pesquisa dentro da zona da brita 1.

Figura 19 – Granulometria do AGN e do ARC.



Nota: AGN= Agregado Graúdo Natural, ARC= Agregado Reciclado de Concreto.

### 3.3.3 Aditivo Químico Redutor de Água

Utilizou-se como aditivo químico redutor de água um hiperplastificante a base de éter carboxílico, produzido pela empresa BASF MasterGlenium 54, para melhorar a trabalhabilidade. Os valores da densidade, pH e percentagem de sólidos do aditivo encontram-se na tabela 12.

Tabela 12 – Caracterização do aditivo redutor de água

| Propriedades                     | Hiperplastificante   |
|----------------------------------|----------------------|
| Densidade ( $\text{g.cm}^{-3}$ ) | 1,10                 |
| pH                               | 6,00                 |
| Percentual de Sólidos (%)        | 40                   |
| Base Química                     | Éter Policarboxílico |
| Aspecto                          | Líquido Branco Turvo |

### 3.3.4 Água

Para a moldagem dos corpos de prova foi utilizada água potável proveniente da rede de abastecimento da Universidade Federal de Santa Maria.

### 3.4 DOSAGEM

Baseou-se em estudos teóricos e experimentais, através do método de dosagem proposto por Helene e Terzian (1992), como, por exemplo, trabalhabilidade, teor de aditivo plastificante ou superplastificante necessários, tempo de mistura e curva de Abrams ( $f_c \times a/ag$ ). Partindo-se de duas resistências características do concreto, 25 e 35 MPa, dois tipos de cimento, CP V – ARI e CP IV, três relações água/aglomerante, 0,30; 0,475 e 0,65, e abatimento do tronco de cone de  $100 \pm 20$  mm. Nos casos em que houve ocorrência de falta de consistência, utilizou-se aditivo plastificante e na insuficiência de sua dosagem, empregou-se aditivo superplastificante. Experimentalmente, definiu-se a relação água/materiais secos  $H$  em 8,22% e o teor de argamassa seca  $\alpha$  (kg/kg) em 0,50 e, então, foram determinados os traços unitários de concreto  $1:a:p a/c$  (kg) para cada relação água/cimento.

Realizou-se a dosagem do concreto para as resistências características ( $F_{ck}$ ) definidas com um desvio padrão inicial ( $S_d$ ) de 4,0 MPa, conforme a ABNT NBR 12655 (2015). O cimento e os agregados foram medidos em massa e a água medida em massa ou em volume, havendo correção da quantidade de água em função da umidade dos agregados. Dessa forma, conforme a Equação 03, a resistência média de dosagem aos 28 dias ( $f_{c28}$ ) foi de 31,6 e 41,6 MPa.

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d \quad (03)$$

Sendo:

$f_{cj}$  = resistência média do concreto à compressão para idade de  $j$  dias (MPa);

$f_{ck}$  = resistência característica do concreto à compressão (MPa);

$S_d$  = desvio padrão de dosagem (MPa).

A moldagem dos corpos de prova seguiu a ABNT NBR 5738 (2015), sendo que, para cada tipo de mistura foram obtidos três traços por se tratarem de três relações água/aglomerante, então, moldou-se três cp's cilíndricos ( $\emptyset 10 \times 20$  cm) para cada traço, posteriormente, submetidos à cura úmida por 28 dias. Na sequência os CP's foram ensaiados à resistência à compressão axial, de acordo

com a ABNT NBR 5739 (2007), admitindo-se desvio relativo máximo de 10%, obtendo assim, a média das resistências para cada traço.

Dessa maneira, mostram-se na Tabela 13, os traços de concreto, e posteriormente, serão apresentadas as respectivas resistências médias à compressão axial aos 28 dias.

Tabela 13 – Traços e resistências médias à compressão axial aos 28 dias.

| Traço                | Fator a/ag | Traço unitário |      |      |       |       |      | Aditivo (%) | Res. Méd. 28 dias (Mpa) | Abatimento (mm) |
|----------------------|------------|----------------|------|------|-------|-------|------|-------------|-------------------------|-----------------|
|                      |            | Cim.           | CCA  | CV   | Areia | Brita | ARC  |             |                         |                 |
| <b>Cimento CP V</b>  |            |                |      |      |       |       |      |             |                         |                 |
| REF CP – V           | 0,30       | 1              | -    | -    | 1,13  | 2,13  | -    | 0,12        | 63,10                   | 9               |
|                      | 0,475      | 1              | -    | -    | 1,89  | 2,89  | -    | 0,10        | 43,20                   | 9               |
|                      | 0,65       | 1              | -    | -    | 2,95  | 3,95  | -    | -           | 32,10                   | 9               |
| 15% ARC              | 0,30       | 1              | -    | -    | 1,13  | 1,81  | 0,32 | 0,15        | 37,90                   | 8               |
|                      | 0,475      | 1              | -    | -    | 1,89  | 2,46  | 0,43 | 0,10        | 34,30                   | 11              |
|                      | 0,65       | 1              | -    | -    | 2,95  | 3,36  | 0,59 | -           | 28,50                   | 11              |
| 30% ARC              | 0,30       | 1              | -    | -    | 1,13  | 1,49  | 0,64 | 0,16        | 35,10                   | 9               |
|                      | 0,475      | 1              | -    | -    | 1,89  | 2,02  | 0,87 | 0,12        | 28,80                   | 8               |
|                      | 0,65       | 1              | -    | -    | 2,95  | 2,77  | 1,18 | -           | 22,10                   | 11              |
| 15% ARC<br>25% CCA   | 0,30       | 0,75           | 0,25 | -    | 1,02  | 1,81  | 0,32 | 0,30        | 69,10                   | 11              |
|                      | 0,475      | 0,75           | 0,25 | -    | 1,78  | 2,46  | 0,43 | 0,20        | 49,90                   | 8               |
|                      | 0,65       | 0,75           | 0,25 | -    | 2,85  | 3,36  | 0,59 | 0,15        | 40,50                   | 8               |
| 30% ARC<br>25% CCA   | 0,30       | 0,75           | 0,25 | -    | 1,02  | 1,49  | 0,64 | 0,35        | 56,00                   | 10              |
|                      | 0,475      | 0,75           | 0,25 | -    | 1,78  | 2,02  | 0,87 | 0,25        | 45,50                   | 10              |
|                      | 0,65       | 0,75           | 0,25 | -    | 2,85  | 2,77  | 1,18 | 0,15        | 32,10                   | 8               |
| 15% ARC<br>25% CV    | 0,30       | 0,75           | -    | 0,25 | 1,04  | 1,81  | 0,32 | 0,25        | 67,90                   | 11              |
|                      | 0,475      | 0,75           | -    | 0,25 | 1,80  | 2,46  | 0,43 | 0,15        | 51,10                   | 8               |
|                      | 0,65       | 0,75           | -    | 0,25 | 2,86  | 3,36  | 0,59 | 0,10        | 32,90                   | 9               |
| 30% ARC<br>25% CV    | 0,30       | 0,75           | -    | 0,25 | 1,02  | 1,81  | 0,32 | 0,20        | 55,40                   | 9               |
|                      | 0,475      | 0,75           | -    | 0,25 | 1,78  | 2,46  | 0,43 | 0,15        | 35,20                   | 8               |
|                      | 0,65       | 0,75           | -    | 0,25 | 2,85  | 3,36  | 0,59 | 0,10        | 27,50                   | 10              |
| <b>Cimento CP IV</b> |            |                |      |      |       |       |      |             |                         |                 |
| REF CP – IV          | 0,30       | 1              | -    | -    | 1,13  | 2,13  | -    | 0,25        | 52,50                   | 10              |
|                      | 0,475      | 1              | -    | -    | 1,89  | 2,89  | -    | 0,15        | 35,40                   | 8               |
|                      | 0,65       | 1              | -    | -    | 2,95  | 3,95  | -    | -           | 19,70                   | 8               |
| 15% ARC              | 0,30       | 1              | -    | -    | 1,13  | 1,81  | 0,32 | 0,20        | 45,60                   | 9               |
|                      | 0,475      | 1              | -    | -    | 1,89  | 2,46  | 0,43 | 0,15        | 32,80                   | 9               |
|                      | 0,65       | 1              | -    | -    | 2,95  | 3,36  | 0,59 | -           | 19,40                   | 8               |
| 30% ARC              | 0,30       | 1              | -    | -    | 1,13  | 1,49  | 0,64 | 0,22        | 36,90                   | 9               |
|                      | 0,475      | 1              | -    | -    | 1,89  | 2,02  | 0,87 | 0,10        | 27,40                   | 8               |
|                      | 0,65       | 1              | -    | -    | 2,95  | 2,77  | 1,18 | -           | 18,30                   | 8               |

Com base nos resultados previamente obtidos e apresentados na Tabela 13, traçou-se as curvas de Abrams e determinou-se às respectivas equações e coeficientes de determinação  $R^2$ . Então, de acordo com a Figura 20 e a Tabela 14, determinou-se as resistências de dosagem em 31,6 e 41,6 MPa, bem como, a relação água/cimento requerida para cada mistura.

Figura 20 – Gráfico das Curvas de Abrams

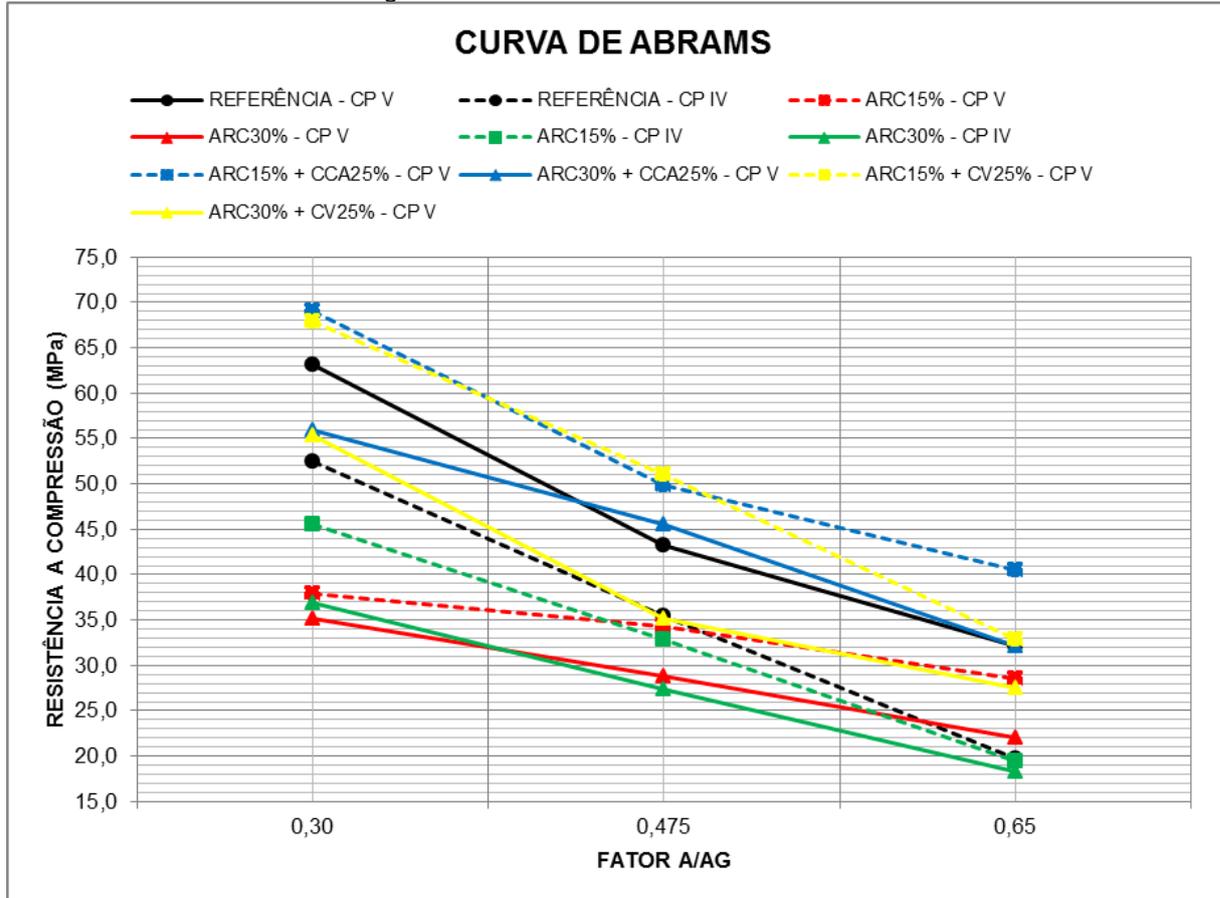


Tabela 14 – Equações,  $R^2$  e relação  $a/ag$ , de acordo com as curvas obtidas na Figura 20.

| Traço                  | $f_c$                       | $R^2$  | $a/c$ (31,6MPa) | $a/c$ (41,6 MPa) |
|------------------------|-----------------------------|--------|-----------------|------------------|
| Referência CP V        | $f_c = 132,06e^{-2,217a/c}$ | 0,9728 | -               | 0,54             |
| Referência CP IV       | $f_c = 165,96e^{-3,273a/c}$ | 0,9997 | 0,53            | -                |
| ARC 15% - CP V         | $f_c = 53,370e^{-0,957a/c}$ | 0,9943 | 0,55            | -                |
| ARC 30% - CP V         | $f_c = 60,059e^{-1,540a/c}$ | 0,9998 | 0,42            | -                |
| ARC 15% - CP IV        | $f_c = 125,29e^{-2,859a/c}$ | 0,9987 | 0,50            | -                |
| ARC 30% - CP IV        | $f_c = 83,396e^{-2,336a/c}$ | 0,9999 | 0,42            | -                |
| ARC 15%+CCA 25% - CP V | $f_c = 122,24e^{-1,743a/c}$ | 0,9517 | -               | 0,62             |
| ARC 30%+CCA 25% - CP V | $f_c = 108,53e^{-1,864a/c}$ | 0,9975 | -               | 0,53             |
| ARC 15%+CV 25% - CP V  | $f_c = 159,56e^{-2,422a/c}$ | 0,9992 | -               | 0,57             |
| ARC 30%+CV 25% - CP V  | $f_c = 115,43e^{-2,275a/c}$ | 0,9316 | -               | 0,47             |

Logo após, calculou-se os traços unitários definitivos, bem como, o consumo por metro cúbico de cada material utilizado nos traços selecionados e definitivos, dados os quais são apresentados nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15 – Traços definitivos obtidos através das curvas de Abrams.

| Traço           | Traço unitário |      |      |       |       |      | Fator a/ag | Cons. de cimento (Kg.m <sup>3</sup> ) | Aditivo (%) |
|-----------------|----------------|------|------|-------|-------|------|------------|---------------------------------------|-------------|
|                 | Cim.           | CCA  | CV   | Areia | Brita | ARC  |            |                                       |             |
| REF - CP V      | 1,00           | -    | -    | 2,28  | 3,28  | -    | 0,54       | 329,37                                | -           |
| ARC15 - CP V    | 1,00           | -    | -    | 2,35  | 2,85  | 0,50 | 0,55       | 317,22                                | 0,10        |
| ARC30 - CP V    | 1,00           | -    | -    | 1,55  | 1,78  | 0,77 | 0,42       | 412,01                                | 0,10        |
| ARC15CCA - CP V | 0,75           | 0,25 | -    | 2,67  | 3,20  | 0,57 | 0,62       | 280,97                                | 0,12        |
| ARC30CCA - CP V | 0,75           | 0,25 | -    | 2,12  | 2,25  | 0,97 | 0,53       | 324,47                                | 0,15        |
| ARC15CV - CP V  | 0,75           | -    | 0,25 | 2,38  | 2,95  | 0,52 | 0,57       | 305,95                                | 0,12        |
| ARC30CV - CP V  | 0,75           | -    | 0,25 | 1,77  | 2,00  | 0,86 | 0,47       | 366,50                                | 0,15        |
| REF - CP IV     | 1,00           | -    | -    | 2,22  | 3,22  | -    | 0,53       | 329,89                                | -           |
| ARC15 - CP IV   | 1,00           | -    | -    | 2,04  | 2,58  | 0,46 | 0,50       | 343,80                                | 0,10        |
| ARC30 - CP IV   | 1,00           | -    | -    | 1,55  | 1,78  | 0,77 | 0,42       | 403,38                                | 0,10        |

Tabela 16 – Quantidade de materiais por metro cúbico de concreto.

| Traço           | Quantidade de Materiais (Kg.m <sup>3</sup> ) |       |       |        |         |        |        |         |
|-----------------|--|-------|-------|--------|---------|--------|--------|---------|
|                 | Cim.   | CCA   | CV    | Areia  | Brita   | ARC    | Água   | Aditivo |
| REF - CP V      | 329,37                                       | -     | -     | 750,96 | 1080,33 | -      | 177,86 | -       |
| ARC15 - CP V    | 317,22                                       | -     | -     | 745,47 | 904,08  | 158,61 | 174,47 | 0,317   |
| ARC30 - CP V    | 412,01                                       | -     | -     | 638,62 | 733,38  | 317,25 | 173,04 | 0,412   |
| ARC15CCA - CP V | 280,97                                       | 70,24 | -     | 750,20 | 899,12  | 160,16 | 174,20 | 0,421   |
| ARC30CCA - CP V | 324,47                                       | 81,12 | -     | 687,87 | 730,05  | 314,73 | 171,97 | 0,608   |
| ARC15CV - CP V  | 305,95                                       | -     | 76,49 | 728,17 | 902,56  | 159,10 | 174,39 | 0,459   |
| ARC30CV - CP V  | 366,50                                       | -     | 91,63 | 648,71 | 733,01  | 315,19 | 172,26 | 0,687   |
| REF - CP IV     | 329,89                                       | -     | -     | 732,36 | 1062,26 | -      | 174,84 | -       |
| ARC15 - CP IV   | 343,80                                       | -     | -     | 701,36 | 887,01  | 158,15 | 171,90 | 0,344   |
| ARC30 - CP IV   | 403,38                                       | -     | -     | 625,25 | 718,02  | 310,61 | 169,42 | 0,403   |

### 3.5 PRÉ- MOLHAGEM

Observou-se a partir dos ensaios realizados de absorção por imersão dos agregados reciclados de concreto (ARC), que ele absorve aproximadamente 97% de toda a sua capacidade de absorção de água nos primeiros 10 minutos em contato com a água. Aos 20 minutos absorveu 99,41% de toda sua capacidade, assim, definindo-se esse como sendo o tempo de pré-molhagem submerso em recipiente metálico ou plástico.

À medida que a água é colocada, manualmente os agregados são misturados, para permitir que haja uma molhagem homogênea sobre os grãos. A pré-molhagem foi realizada em sala com umidade controlada com  $85 \pm 5\%$  de umidade relativa, impedindo que a umidade da pré-molhagem seja perdida para o meio, sendo que o ARC foi misturado com a brita em seu estado saturado com superfície seca (SSS), posteriormente sendo adicionados ao restante da mistura na devida ordem.

Na Tabela 17 são apresentados os tempos em que os ARCs ficaram submersos, bem como, sua respectiva absorção nos distintos períodos.

Tabela 17 – Absorção de água do ARC.

| Tempo Imerso (min) | Absorção (%) |
|--------------------|--------------|
| 10                 | 4,91         |
| <b>20</b>          | <b>5,02</b>  |
| 30                 | 5,03         |
| 60                 | 5,05         |
| 1440 (24 horas)    | 5,05         |

### 3.6 ENSAIOS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para fazer a avaliação do desempenho das misturas foram realizados os ensaios de Resistência a Compressão Axial (ABNT NBR 5739:2007), Módulo de Elasticidade (ABNT NBR 8522:2008) e Penetração de Íons Cloretos por Imersão, bem como, determinou-se a sustentabilidade de cada traço através do software SimaPro – Versão 8.5.2.2, aplicando-se a Análise do Ciclo de Vida (ACV) e Custo do Ciclo de Vida (CCV). Para a moldagem dos corpos de prova utilizados nos ensaios obedeceu-se a ABNT NBR 5738 (2015).

#### 3.6.1 Resistência a Compressão Axial

Os ensaios de resistência à compressão obedeceram a ABNT NBR 5738 (2015) e ABNT NBR 5739 (2007), moldagem e cura dos corpos de prova e ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico, respectivamente.

As fôrmas utilizadas para moldagem dos corpos de prova foram metálicas, com dimensões de 10 x 20 cm, área de seção transversal de 78,54 cm<sup>2</sup> e volume de

1570,80 cm<sup>3</sup>. As quantidades de corpos de prova rompidos por idade, as idades e o traço que os mesmos seguiram na moldagem estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Corpos de prova para ensaio de compressão axial.

| Idade<br>(dias) | Traços/ CP's   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
|-----------------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
|                 | T1             | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 |
| 28              | 4              | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   |
| 91              | 4              | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   |
| <b>Subtotal</b> | 8              | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8   |
| <b>Total</b>    | <b>80 CP's</b> |    |    |    |    |    |    |    |    |     |

### 3.6.2 Módulo de Elasticidade

Os ensaios de módulo de elasticidade foram realizados pela a ABNT NBR 5738 (2015) e ABNT NBR 8522 (2008), moldagem e cura dos corpos de prova e determinação do módulo estático de elasticidade longitudinal a compressão, respectivamente. O ensaio tem por objetivo comparar as diferenças e influência do módulo de elasticidade dos concretos com agregado natural em relação aos concretos com agregado reciclado.

A quantidade de corpos de prova ensaiados por idade, bem como, as idades e o traço que os mesmos seguiram na moldagem estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Corpos de prova para ensaio de módulo de elasticidade.

| Idade<br>(dias) | Traços/ CP's   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
|-----------------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
|                 | T1             | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 |
| 28              | 4              | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   |
| <b>Subtotal</b> | 4              | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4  | 4   |
| <b>Total</b>    | <b>40 CP's</b> |    |    |    |    |    |    |    |    |     |

### 3.6.3 Penetração de Íons Cloreto por Imersão (EPCI)

No EPCI é investigada a viabilidade da utilização de agregado reciclado de concreto (ARC), em substituição parcial ao agregado graúdo natural, cinza volante e cinza de casca de arroz, em misturas binárias, em substituição parcial ao cimento CP – V, a partir da análise de durabilidade por meio do ensaio de penetração de íons cloreto por imersão.

Seguindo a descrição da metodologia deste ensaio pelos autores Wee et al. (2000) e Otsuki (1992) optou-se pelo tempo de cura em câmara úmida de 7 dias. Sendo o objetivo da pesquisa investigar a influência das substituições do agregado e do cimento e não a influência do tempo de cura no desenvolvimento da resistência a penetração de íons cloreto no concreto, optou-se por este tempo de cura reduzido, suficiente para que ele adquira suas características iniciais.

Primeiramente, foram moldados os CP's cilíndricos com dimensões de 10 x 20 cm, que após completarem seu período de cura foram serradas ao meio, formando assim, duas amostras cilíndricas de 10 x 10 cm. Depois de serradas e identificadas, as amostras foram impermeabilizadas em suas faces paralelas através da aplicação de três demãos de verniz poliuretânico, permitindo assim, que ocorra penetração de íons cloreto somente na face perimetral da amostra, sendo que a face exposta ao ambiente agressivo do ensaio foi a de corte. Após a preparação, as amostras foram colocadas em um reservatório com solução salina, semelhante à água do mar, na proporção de 31,94 g de NaCl para cada litro de água destilada, onde ficaram totalmente imersas até o dia de avaliação, as quais se encontram apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 – Corpos de prova para ensaio de EPCI.

| Idade<br>(dias) | Traços/ CP's   |    |    |    |    |    |    |    |    |     |
|-----------------|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
|                 | T1             | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 |
| <b>28</b>       | 2              | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2   |
| <b>56</b>       | 2              | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2   |
| <b>84</b>       | 2              | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2   |
| <b>112</b>      | 2              | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2   |
| <b>Subtotal</b> | 8              | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8  | 8   |
| <b>Total</b>    | <b>80 CP's</b> |    |    |    |    |    |    |    |    |     |

Nota: 2 corpos de prova equivalem a 4 amostras, pois, os mesmos são 'serrados' ao meio.

Ao completar cada uma dessas idades, quatro amostras foram retiradas do reservatório, lavadas com água potável e rompidas diametralmente (direção de penetração dos íons cloreto). Em seguida, foi aspergido solução de nitrato de prata (17g de  $\text{AgNO}_3$  para cada litro de água deionizada) para a percepção visual da região de penetração de íons cloreto. Após a secagem da solução sobre a face rompida, foi realizado o registro fotográfico com câmera digital.

Através de inserção da fotografia digitalizada no programa computacional *AutoCAD*, foi possível colocar a imagem em escala e sobre ela traçar um contorno ao redor da região penetrada por íons cloreto. Esta região foi dividida por linhas paralelas traçadas ao longo da profundidade de penetração e espaçadas 1 mm uma da outra. Através de uma rotina chamada *COTA*, medido o comprimento de cada uma dessas linhas. Essa rotina gerou automaticamente um arquivo em formato *Excel*, do qual se obtiveram os valores, que depois transferidos para uma planilha onde foi realizado tratamento estatístico e obtida a distância média de penetração de íons cloreto, na qual os valores discrepantes, com coeficiente de variação superior a 20%, excluídos.

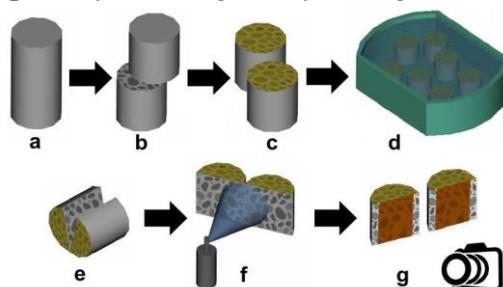
Através das médias de penetração e do respectivo tempo de imersão foi possível gerar um gráfico (profundidade de penetração x  $\sqrt{\text{tempo}}$ ). A partir do gráfico foi obtida a equação correspondente à linha reta de tendência traçada entre os 5 pontos, correspondentes às médias de penetração nas 4 idades avaliadas (28, 56, 84 e 112 dias). A análise do EPCI realizada com base no coeficiente angular de uma função de primeiro grau representada pela Equação 04.

$$y = K' x + a \quad (04)$$

Da equação é obtido o coeficiente de penetração por imersão ( $K'$ ) e do gráfico seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ), onde “ $y$ ” é a profundidade média de penetração da reta (mm); “ $a$ ” é o ponto de intersecção da reta com o eixo “ $y$ ” e “ $x$ ” é o tempo de imersão, em raiz de semanas.

A Figura 21 apresenta os procedimentos de ensaio de forma esquematizada.

Figura 21 – a – corpo de prova 10 X 20 cm, b – Corte ao meio, c – impermeabilização de faces paralelas, d – imersão em solução salina, e – rompimento diametral, f – aspersão de nitrato de prata, g – registro fotográfico para medição da penetração através do AutoCAD.



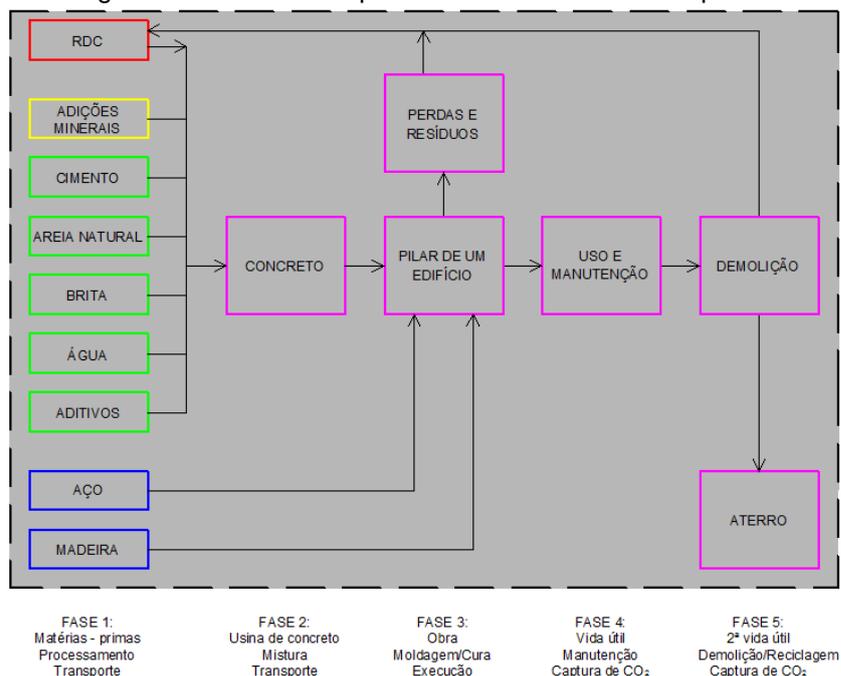
### 3.6.4 Análise do Ciclo de Vida (ACV) e Custo do Ciclo de Vida (CCV)

Neste item serão apresentados os procedimentos utilizados para a realização da Análise do Ciclo de Vida (ACV) e Custo do Ciclo de Vida (CCV).

#### 3.6.4.1 Objetivo e Escopo

Objetivou-se a avaliação e comparação de concretos com substituição parcial do agregado graúdo natural por agregado reciclado de concreto (ARC) proveniente de resíduos de demolição de concreto (RDC) e substituição do cimento Portland por cinza volante e cinza de casca de arroz, em níveis de resistência de 25 e 35 MPa, aplicados a um pilar de concreto armado fictício em uma edificação na região de Santa Maria – Rio Grande do Sul. O pilar de concreto armado situa-se em posição central do primeiro andar de uma edificação formada por oito pavimentos, sendo o primeiro deles composto de pilotis, ou seja, o pilar suporta as cargas provenientes da construção, estando em situação coberta e exposto ao ar. A Figura 22 ilustra o escopo dessa pesquisa. O resíduo de demolição de concreto (RDC) foi um dos materiais finais obtidos após a fase de demolição, portanto, está incluso no escopo desta pesquisa, tendo em vista o estudo da sua reutilização (reciclagem), bem como, as adições/substituições minerais.

Figura 22 – Sistema de produtos e fronteiras do complexo.



### 3.6.4.2 Unidade Funcional

A unidade funcional de estudo, portanto, é um pilar de concreto armado. Foi realizado o dimensionamento do pilar conforme recomendações da ABNT NBR 6118 (2014) - Projetos de estruturas de concreto – Procedimento. Definiu-se a classe de agressividade ambiental II - moderada, pois se trata de região urbana, logo, o cobrimento adotado foi de 25mm, pois, supôs-se agressividade mais branda em local coberto na região de Santa Maria. Os esforços solicitantes foram estimados com o auxílio do software Eberick (ALTOQI), apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Esforços solicitantes e definições de projeto.

| Parâmetro   | Valor       |
|---|-------------|
| Esforço normal de cálculo (Nd)                              | 1.200 kN    |
| Resistência característica à compressão do concreto (fck)   | 25 e 35 MPa |
| Momento fletor no eixo vertical y da seção do pilar (Myd)   | 55 kN.m     |
| Momento fletor no eixo horizontal x da seção do pilar (Mxd) | 78 kN.m     |
| Cobrimento da armadura                                      | 25 mm       |
| Altura do pilar   | 2,75 m      |

O dimensionamento foi realizado com o auxílio do software Oblíqua 1.0 da UFPR (CESEC, 2014). As características dos pilares são mostradas na Tabela 22.

Tabela 22 – Dimensionamento e consumo de materiais.

|                                      | Pilar com $f_{ck}$ 25 | Pilar com $f_{ck}$ 35 |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Seção transversal (cmxcm)            | 25x50                 | 25x45                 |
| Volume de concreto (m <sup>3</sup> ) | 0,344                 | 0,309                 |
| Área de forma (m <sup>2</sup> )      | 4,125                 | 3,850                 |
| Espaçamento de estribos              | Φ5 mm a cada 12 cm    |                       |
| Peso dos Estribos (kg)               | 4,43                  | 3,99                  |
| Armadura longitudinal (un.)          | 10 Φ10mm              |                       |
| Peso das barras longitudinais (kg)   | 16,97                 |                       |
| Peso total de aço (kg)               | 21,40                 | 20,96                 |

### 3.6.4.3 Análise Estatística

A fim de prever e obter um melhor entendimento do comportamento das variáveis de resposta em função das de controle, realizou-se o tratamento estatístico. Algumas análises principais foram testadas e validadas através da

Análise de Variância (ANOVA), conseguindo-se assim, determinar os fatores que interferem significativamente nas variáveis de resposta, tendo em vista que estas indicam se há ou não significância para as variáveis escolhidas individualmente, assim como as possíveis interações entre as mesmas diante dos resultados obtidos. Para esses procedimentos adotou-se grau de confiança de 95%.

#### 3.6.4.4 Impactos Ambientais e Custos

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) permite analisar todo o processo produtivo, desde a aquisição de matérias-primas até a disposição final dos produtos, indicando, assim, quais fases são responsáveis pelos maiores impactos. A Avaliação do Ciclo de Vida modular (ACV-m), proposta pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2014) apresenta uma estrutura semelhante com a ACV tradicional, porém reduzida, tornando assim, a avaliação mais prática, devido a menor complexidade do levantamento, focada nos aspectos ambientais mais relevantes, que são: consumo de energia, consumo de água, consumo de matéria-prima, geração de resíduos e mudanças climáticas.

Existem diferentes modelos para avaliar esses impactos ambientais, o presente estudo adotou os princípios da NBR 14040 (2014) com auxílio do software SimaPro 8.5.2.2. Para a realização dos cálculos do custo de vida utilizou-se a Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO, 2008). Em que alguns dados foram aproveitados dos estudos de Silva (2014) e Lamberti (2015), sendo atualizados para março/2017. Adotou-se percentual de encargos sociais de 117,66% de acordo com o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI, 03/2017).

#### 3.6.4.5 Software SimaPro

Para a realização da análise do ciclo de vida (ACV) será utilizado o software SimaPro 8.5.2.2. O SimaPro é uma ferramenta flexível que possibilita a análise e comparativo ambiental de produtos, serviços e processos de etapas do ciclo de vida, tendo como base as normas ISO 14040 e 14044.

De acordo com o manual do software (PRÉ Consultants, 2016) o SimaPro dispõem de uma série de métodos de avaliação de impacto, que são utilizados para

calcular os resultados da avaliação do impacto. Esse software também apresenta um banco de dados completo de uma gama de produtos, possibilitando também a criação de novos produtos e processos. No entanto, os resultados obtidos através do programa podem ser apresentados individualmente ou agrupados de forma comparativa, possibilitando a interpretação através de tabelas, gráficos e fluxogramas.

#### 3.6.4.6 Vida Útil – Unidade Funcional

Esta pesquisa envolve as fases de construção, uso/manutenção, demolição e reciclagem do pilar de concreto armado, de tal maneira que estimar a vida útil e adotar um valor muito prolongado é difícil, visto a dinamicidade da sociedade atual e incertezas das gerações futuras. Portanto, de acordo com a norma ABNT NBR 15575 (2013), esta pesquisa fixou um valor máximo de 150 anos de vida útil, assim, evita superestimar e permite a potencialidade de um concreto durável.

Adotou-se que o pilar de concreto aparente, localizado no térreo do edifício, ao abrigo das intempéries, sendo o fenômeno de penetração de íons cloreto o principal fator deteriorante considerado, recebeu rotina de limpeza a cada três anos, de maneira a atender a estética e a vida útil estabelecida. As alternativas que receberam cobertura superficial não receberam lavagens periódicas, dado que, a tinta acrílica foi aplicada sobre os pilares que não apresentaram a estimativa de vida útil mínima de 50 anos, com periodicidade de oito anos e primeira pintura logo na execução, pois, a norma apresenta a vida útil das diferentes partes de uma edificação e fixa como vida útil mínima para uma estrutura, o período de 50 anos.

Ao aplicar uma cobertura superficial ao concreto consegue-se reduzir a penetração de  $\text{CO}_2$ , Kazmierczak e Helene (1995) estudaram a aplicação de diversos tipos de materiais, e concluíram que após 50 anos de exposição do concreto com proteção de verniz acrílico, ocorre a redução da profundidade de carbonatação em torno de 2 a 3 vezes comparando-o com o concreto de referência. Logo, nesta pesquisa adotou-se redução de 2,5 no coeficiente de carbonatação dos pilares que necessitaram de cobertura superficial para atingir a vida útil mínima de 50 anos.

### 3.6.4.7 Inventário do Ciclo de Vida

Nesta etapa foram estabelecidos os fluxos de entrada e saída de material e energia para cada uma das unidades dos processos do sistema relacionado ao produto. Em que o cálculo foi realizado da seguinte maneira:

- Classificou-se os fluxos elementares em “entrada” ou “saída”;
- Uniformizou-se os dados em quantidade.ano;
- Calculou-se o total de materiais, combustíveis e energias, envolvidos em todo o processo unitário;
- Dividiu-se o total de cada um dos insumos pelo total de material principal produzido, expresso em quilogramas (kg);
- Obteve-se os fluxos de entrada e de saída de cada unidade do processo.

Esta pesquisa considerou alguns dados do inventário formulado por Silva (2014), como as fases de obtenção da matéria-prima e execução do pilar, e, além disso, envolveu as fases de uso/manutenção, demolição e reciclagem da unidade funcional em estudo, com base nos dados coletados por Lamberti (2015). Para as fases de obtenção de matéria-prima e execução da unidade funcional (pilar), obtiveram-se os dados sobre os agregados, graúdo e miúdo, e do cimento CP IV e CP V- ARI diretamente com as fábricas fornecedoras desses materiais. Os dados sobre a água, madeira e aditivo empregados, foram retirados do banco de dados do programa SimaPro 8.5.2.2. Já as informações relacionadas ao aço foram retiradas do Relatório de Sustentabilidade do Aço, 2012, do Instituto Aço Brasil (2013).

Constatou-se a necessidade da realização dos cálculos de fluxos elementares do óleo diesel, energia elétrica e o explosivo que foram utilizados na pedreira. Desta forma, o inventário do combustível (óleo diesel) procedeu-se por meio da conversão da energia emitida da queima de combustível para a quantidade, dado em gramas, de cada um dos elementos da queima, como: Monóxido de Carbono (CO); hidrocarbonetos (HC); óxidos de nitrogênio (NO<sub>(x)</sub>); e material particulado (MP). Para a obtenção da brita foram empregados explosivos em forma de lama, sendo quantificadas as emissões através de cálculos estequiométricos. No entanto, para a quantificação dos dados sobre energia elétrica, foram determinadas as emissões de dióxido de carbono através da média das emissões durante o período de outubro de 2012 a setembro de 2013, disponibilizados pelo Ministério da

Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2013). A cinza de casca de arroz e cinza volante foram utilizadas como materiais substituintes parcial do cimento, e o ARC como substituição do agregado graúdo, consideraram-se os dados sobre as cinzas do banco de dados do software Simapro 8.5.2.2, e para o ARC os dados relacionados à reciclagem dos resíduos.

Em relação à tinta acrílica utilizada na pintura dos pilares, obteve-se os valores por meio do banco de dados do software SimaPro 8.5.2.2. Ainda, durante o período de uso da estrutura, ocorreu a fixação do CO<sub>2</sub> do ambiente no pilar de concreto, esse sendo um ponto positivo, que foi considerado de maneira a contribuir com a avaliação da sustentabilidade. A quantificação do CO<sub>2</sub> absorvido foi estudada por alguns autores na atualidade (LAGERBLAD, 2006; PADE E GUIMARAES, 2007; COLLINS, 2010), e o modelo mais empregado é apresentado na Equação 05.

$$\text{CO}_2 = x \cdot c \cdot \text{CaO} \cdot R \cdot A \cdot M \quad (05)$$

Sendo:

X = profundidade carbonatada em metros;

C = quantidade (kg/m<sup>3</sup>) de clínquer no aglomerante;

CaO = proporção de óxido de cálcio, adotado 0,65 (COLLINS, 2010), onde o valor 1 seria 100%;

R = proporção de CaO totalmente carbonatada e transformada em CaCO<sub>3</sub> assumido 0,75, (LAGERBLAD, 2005);

A = área de concreto exposta (m<sup>2</sup>);

M = fração molar química adimensional de CO<sub>2</sub>/CaO = 0,79 (COLLINS, 2010).

O valor da profundidade carbonatada (x) é 0,025 metros para todos os traços, pois esse é o cobrimento da armadura. Porém, ainda que esse trabalho seja a respeito da penetração de íons cloreto, considerou-se a profundidade carbonatada, pois, a mesma, também não oferece resistência a tal agente agressivo.

A composição do cimento utilizado foi retirada da apostila técnica de cimento (ITAMBÉ, 2010), em que os teores de clínquer nos cimentos CP IV e CP V- ARI foram de 63,14% e 92,72%, respectivamente. As quantidades de clínquer por metro cúbico estão representadas na Tabela 23.

Tabela 23 – Quantidade de clínquer. m<sup>3</sup>.

| <b>TRAÇO</b>           | <b>kg de cimento. m<sup>3</sup></b> | <b>kg de clínquer. m<sup>3</sup></b> |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>REF - CP V</b>      | 329,37                              | 305,39                               |
| <b>ARC15 - CP V</b>    | 317,22                              | 294,13                               |
| <b>ARC30 - CP V</b>    | 412,01                              | 382,02                               |
| <b>ARC15CCA - CP V</b> | 280,97                              | 260,52                               |
| <b>ARC30CCA - CP V</b> | 324,47                              | 300,85                               |
| <b>ARC15CV - CP V</b>  | 305,95                              | 283,68                               |
| <b>ARC30CV - CP V</b>  | 366,50                              | 339,82                               |
| <b>REF - CP IV</b>     | 329,89                              | 208,29                               |
| <b>ARC15 - CP IV</b>   | 343,80                              | 217,08                               |
| <b>ARC30 - CP IV</b>   | 403,38                              | 254,69                               |

Na fase de desconstrução e reciclagem, Lamberti (2015) considerou a realização da demolição por meio de um martelo rompedor, que utiliza óleo diesel para o seu funcionamento, e o carregamento dos entulhos gerados, bem como o diesel consumido no transporte deste material, foram obtidos por meio de dados retirados da tabela TCPO (2008), possibilitando a realização do inventário. Após a chegada do entulho ao seu destino, empresa GR2 localizada na cidade de Santa Maria – RS considerou-se o consumo de óleo diesel pelas máquinas para a realização dos procedimentos, como a separação do aço e a britagem do entulho. No Apêndice C estão os dados de entrada inseridos no *software* SimaPro, maiores detalhes sobre o inventário podem ser consultados nas dissertações de Silva (2014) e Lamberti (2015).

#### 3.6.4.8 Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida

Nesta fase do ciclo de vida foi realizada a avaliação de forma quantitativa e qualitativa dos impactos ambientais em relação às entradas e saídas que foram mencionadas nos estudos anteriores e especificadas na fase de objetivo e escopo. Adotou-se como método de avaliação dos impactos do ciclo de vida o método *Eco-indicator 99*, o qual é utilizado a fim de considerar diferentes perspectivas culturais e lidar com as incertezas metodológicas do modelo, uma vez que as opiniões acerca da seriedade e do risco dos diferentes efeitos ambientais são, usualmente, diversas.

O método *Eco-indicator 99*, utiliza para a categoria de saúde humana itens como: as mudanças climáticas; problemas respiratórios causados por substâncias orgânicas e inorgânicas e radiação ionizante; e destruição da camada de ozônio.

Para os aspectos relacionados à qualidade dos ecossistemas são considerados o uso da terra, eutrofização e acidificação, e ainda a ecotoxicidade. Por sua vez a classe dos recursos engloba o esgotamento de minerais e combustíveis fósseis. Desta forma, o resultado final dessas quantificações foi representado na unidade de  $Pt$ , que equivale a um milésimo da carga ambiental média anual de um cidadão europeu.

#### 3.6.4.9 Interpretação do Ciclo de Vida

Os impactos ambientais individuais foram obtidos baseando-se nos parâmetros e procedimentos realizados nas etapas iniciais do estudo e por meio do software SimaPro conforme a metodologia de ACV-m, em que foram considerados impactos como mudanças climáticas, uso de recursos naturais, geração de resíduos, consumo de energia e de água e pegada do carbono, totalizando os impactos relacionados ao pilar.

A realização da interpretação dos dados resultantes deu-se por meio do parâmetro técnico definido como a resistência à compressão do concreto, dada em unidades de megapascal (MPa) e a vida útil foi considerada em anos, os impactos ambientais foram quantificados no total de  $Pt$ , calculados através do software SimaPro. Após esses procedimentos a sequência se deu através da realização de um comparativo unitário, baseado na divisão dos dados obtidos pela vida útil em anos e a resistência à compressão aos 28 dias de idade ( $f_{c28}$ ), e para finalizar foram estabelecidos os índices aos resultados das diferentes alternativas de pilar, em relação ao traço referência.

No entanto, para a realização completa da análise dos impactos ambientais foi necessário calcular o impacto das emissões de gás carbônico equivalente ( $CO_{2eq}$ ) de cada uma das alternativas de pilar propostas anteriormente, considerando-se que cada um dos pilares libera e absorve  $CO_2$  de maneira diferente. Para esses cálculos utilizou-se o inventário que foi gerado pelo software SimaPro, representado no Apêndice D, bem como os fatores de equivalência adaptados da Tabela 2.14 do Fourth Assessment Report (Quarto Relatório de Avaliação) (IPCC, 2007b), representados na Tabela 24.

Tabela 24 – Fatores utilizados para a quantificação do CO<sub>2eq</sub>.

| <b>Substância</b>  | <b>Fator de equivalência</b> |
|--|------------------------------|
| Água (H <sub>2</sub> O)                                    | 0,0176                       |
| Clorofórmio (CHCl <sub>3</sub> )                           | 31                           |
| Dióxido de carbono, a transformação de terras              | 1                            |
| Dióxido de carbono, biogênicos                             | 1                            |
| Dióxido de carbono, no ar                                  | 1                            |
| Dióxido de carbono fóssil                                  | 1                            |
| Etano, 1,1- difluoro - HFC - 152a                          | 124                          |
| Etano, 1, 1, 1, 2 - tetrafluoro - HFC - 134a               | 1430                         |
| Etano, 1,1, 2 - tricloro - 1,2,2 - trifluoro - , CFC - 113 | 6130                         |
| Etano, 1, 2- dicloro - 1,1,2,2 - tetrafluoro - , CFC - 114 | 10000                        |
| Hexafluoreto de enxofre (SF <sub>6</sub> )                 | 22800                        |
| Metano, biogênicos   | 25                           |
| Metano, bromoclorodifluormetano, Halon 1211                | 1890                         |
| Metano, bromotrifluoro - Halon 1301                        | 7140                         |
| Metano, clorodifluoro - HCFC - 22                          | 1810                         |
| Metano, dichlorodifluoro - CFC-12                          | 10900                        |
| Metano, dichlorofluoro - HCFC - 21                         | 151                          |
| Metano, fóssil (CH <sub>4</sub> )                          | 25                           |
| Metano, trichlorofluoro - CFC-11                           | 4750                         |
| Metano, trifluoro - , HFC - 23 (CHF <sub>3</sub> )         | 14800                        |
| Óxidos de nitrogênio (N <sub>2</sub> O)                    | 298                          |

Fonte: Adaptado IPCC, 2007

Para completar as análises, realizou-se a integração dos resultados a fim de escolher a melhor alternativa ambiental/econômica, através da média geométrica dos índices ambientais e econômicos  $(I_a \cdot I_e)^{0,5}$ .

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Tendo em vista o que teoricamente foi discutido nos capítulos anteriores e, considerando a necessidade de se adotar uma sequência lógica e coerente, desde a proposta dos objetivos e das questões da pesquisa até as respectivas conclusões, bem como, a conexão entre eles, neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos no programa experimental.

Os ensaios foram realizados com os corpos de prova em diferentes idades, conforme exposto na metodologia experimental; possibilitando assim analisar e avaliar o comportamento e o desempenho de todas as substituições a médio e longo prazo em diferentes situações, verificando a viabilidade técnica das mesmas. Simultaneamente, analisou-se a sustentabilidade parcial das substituições através do software SimaPro – Versão 8.5.2.2, realizando a Análise do Ciclo de Vida (ACV) e Custo do Ciclo de Vida (CCV).

Ainda, algumas das análises realizadas foram testadas e validadas através de métodos estatísticos, cuja ferramenta adotada para este fim foi à análise de variância (ANOVA).

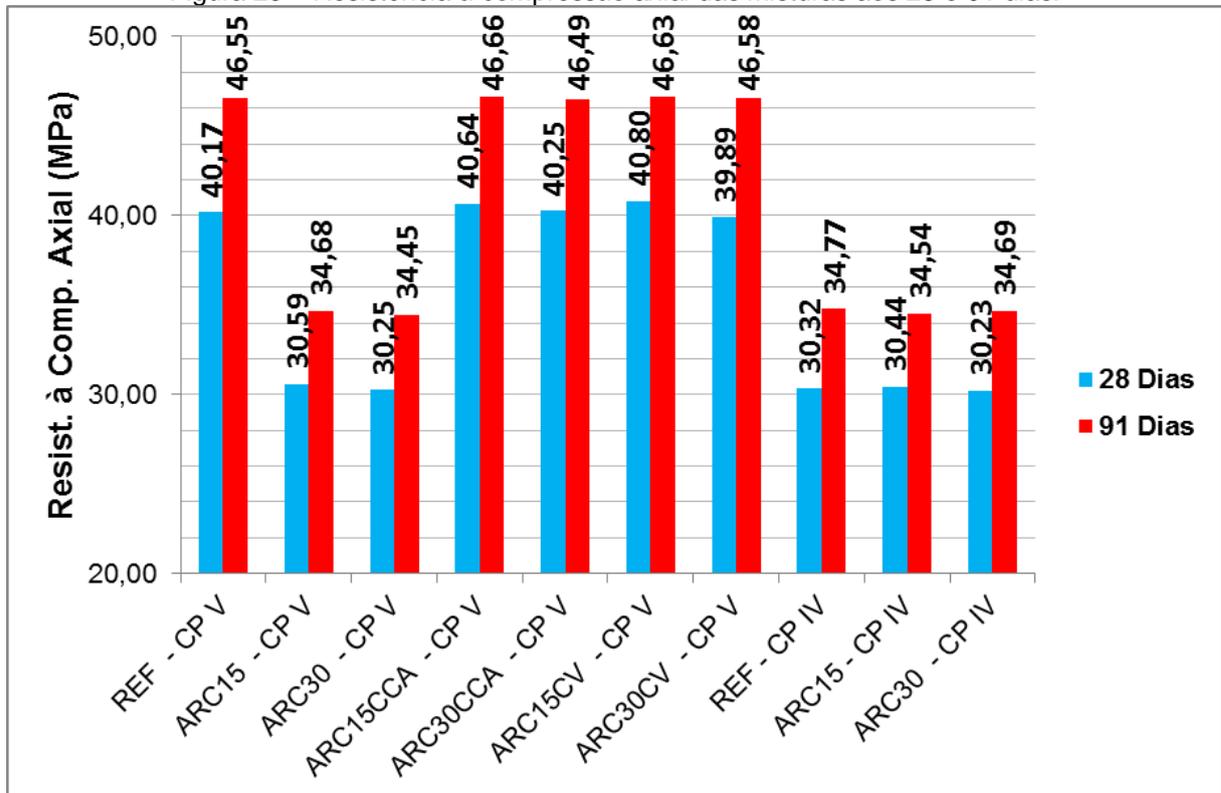
### 4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Na sequência serão apresentados os dados de resistência à compressão axial aos 28 e 91 dias, bem como, módulo de elasticidade aos 28 dias. Os resultados são apresentados em forma de gráficos com as médias dos resultados obtidos para cada uma das variáveis.

#### 4.1.1 Resistência à compressão Axial

A resistência à compressão axial é avaliada como uma das propriedades mais importantes do concreto no estado endurecido, sendo que tal característica é influenciada diretamente pelos materiais que compõe a mistura, logo, a qualidade dos agregados utilizados na concepção do concreto é de grande importância para que se obtenham níveis de resistência satisfatórios. As médias dos resultados obtidos para o ensaio de resistência à compressão axial para as diferentes misturas e idades (28 e 91 dias) são apresentados na Figura 23.

Figura 23 – Resistência à compressão axial das misturas aos 28 e 91 dias.



Verificando-se a Figura 23 percebe-se que os concretos curados durante 28 dias em câmara úmida alcançaram resistência a compressão axial de acordo com o previsto, ou seja, todas as amostras apresentaram valores dentro dos intervalos de  $f_{28}=31,6 \pm 5\%$  e  $f_{28}=41,6 \pm 5\%$ , sendo que, os melhores resultados foram atingidos pelas amostras em que utilizou-se pozolanas. Ao aumentar-se o tempo de cura do concreto, consequentemente ocorreram ganhos de resistência, observando-se assim, que em média, as amostras ensaiadas aos 91 dias obtiveram resistências 14,82% maiores que as ensaiadas aos 28 dias, fato já esperado. Para as análises realizadas a seguir considerou-se apenas os resultados obtidos aos 28 dias, idade usualmente utilizada em situações reais de obras, por exemplo.

Tendo em vista que nessa pesquisa trabalhou-se com duas resistências distintas, 25MPa e 35MPa, optou-se por fazer uma análise de alguns outros fatores que foram os mais influentes para obtenção dos resultados, que são, os seguintes: fator água/aglomerante; percentual de substituição do agregado gráudo natural por agregado gráudo reciclado de concreto (15% e 30%); diferentes tipos de cimento

(CP IV e CP V) e substituição parcial do cimento por pozolanas (cinza de casca de arroz e cinza volante, em teor de 25%).

Verifica-se que quando utilizou-se cimento CP V, para a mistura de referência foi possível desenvolver misturas de até aproximadamente 41,6MPa ( $f_{ck} = 35\text{MPa}$ , com  $s_d = 4,0\text{ MPa}$ ), porém, quando utilizou-se substituições do agregado gráudo natural por agregado gráudo reciclado de concreto, essa possibilidade foi de apenas 31,6MPa ( $f_{ck} = 25\text{MPa}$ ,  $s_d = 4,0\text{ MPa}$ ). A relação  $a/ag$  para a mistura de referência foi de 0,54, atingindo-se assim, uma média de resistência de 40,17MPa; quando utilizou-se 15% de ARC a  $a/ag$  praticamente não foi alterada, passando de 0,54 para 0,55, porém, a média de resistência atingida foi de 30,59MPa, ou seja, 23,85% menor. Já quando utilizou-se 30% de ARC a  $a/ag$  foi de 0,42, e a média da resistência foi de 30,25MPa, ou seja, necessitou uma diminuição de 22,22% na quantidade de água, para obter-se uma resistência 24,70% menor que a referência.

Quando utilizou-se o cimento CP IV, para todas as misturas desenvolvidas com o mesmo, foi possível que se atingissem resistências de até aproximadamente 31,6MPa (25MPa). Logo, verifica-se que o  $Fa/ag$  para a mistura de referência foi de 0,53, para a mistura com 15% de ARC foi de 0,50 e para 30% de ARC foi de 0,42, ou seja, necessitou-se a utilização de 5,66% e 20,75%, respectivamente, a menos de água para se obter resistências semelhantes a referência. Salienta-se ainda que, como já era esperado, as amostras de referência em que utilizou-se cimento CP V obtiveram maior resistência que as moldadas com cimento CP IV, fato que ocorre, devido as distintas características dos tipos de cimento, como, por exemplo, a finura.

Porém, quando utilizou-se nas misturas resíduos de demolição de concreto em substituição ao agregado gráudo natural, o comportamento das mesmas com ambos os tipos de cimento foi semelhante, fato que, evidencia a influência do tipo de agregado na resistência a compressão axial do concreto, principalmente para maiores resistências. Este comportamento é devido a granulometria de menor dimensão do agregado gráudo reciclado de concreto em relação ao agregado gráudo natural, como pode ser visto na Figura 19, principalmente nas peneiras de menores dimensões, o que acarreta maior superfície específica e de água para manter a mesma consistência do concreto.

Dessa maneira fica claro que a utilização, bem como, quanto maior o percentual de substituição do agregado gráudo natural por agregado gráudo reciclado de concreto, neste caso, foi prejudicial a resistência a compressão axial

das misturas. Nota-se que os resultados obtidos vão de encontro ao relatado na literatura, Thomas et al. (2013), entre outros, observou que concretos convencionais apresentam maiores resistências à compressão que os concretos produzidos com agregado reciclado, verificando ainda que existe uma tendência à perda de resistência com o aumento do teor de substituição. Maiores perdas de resistência podem ser explicadas pela maior porosidade que é encontrada em agregados graúdos reciclados, o que leva a uma maior fragilidade da zona de transição (agregado-pasta) (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Ryu (2002) avaliou a influência do agregado reciclado sobre as propriedades da zona de transição e as características de resistência do concreto. Conforme o autor, quando se emprega uma relação água/cimento elevada ( $>0,55$ ), a resistência não é afetada pelas características do agregado reciclado, porém, quando se utiliza uma relação água/cimento baixa ( $<0,40$ ), as características do agregado reciclado influenciam significativamente a resistência à compressão e tração. Ainda assim, Tabsh e Abdelfatah (2009) apontam que é possível a inserção de até 50% de agregado reciclado de concreto em novas matrizes de concreto para fins estruturais.

Logo, uma maneira de neutralizar esse efeito negativo foi contrabalançar a substituição do agregado graúdo através da substituição parcial do cimento por pozolanas, cinza de casca de arroz e cinza volante. Enfatiza-se que para essas análises não se consideraram as amostras produzidas com cimento CP IV, tendo em vista que o mesmo é pozolânico, já possuindo adições pozolânicas de fábrica.

Inicialmente constatou-se que com a utilização de pozolanas nas misturas de concreto, foi possível realizar a dosagem de todas as amostras a fim de se obter resultados próximos a 41,6MPa (35MPa), bem como, a mistura de referência, já as duas misturas sem utilização de pozolanas tiveram de ser dosadas para resistências próximas a 31,6MPa (25MPa). Verifica-se assim, que o objetivo de contrabalançar as perdas devido à substituição do agregado graúdo natural foi alcançado.

A média de resistência da mistura de referência foi de 40,17MPa, com a/ag de 0,54, enquanto das duas misturas (ARC15-CP V e ARC30- CP V) sem pozolanas a média de resistência foi de 30,42MPa, com média da a/ag de 0,48, ou seja, resistência 24,27% menor, com uma utilização de 11,11% menor de água, o que, por vezes, prejudica a trabalhabilidade. As misturas em que se empregou pozolanas obtiveram uma média de resistência de 40,40MPa, com média da a/ag de 0,55, ou seja, resultados praticamente iguais aos da amostra de referência. De tal

maneira, é possível perceber que concretos produzidos com substituição parcial do cimento por pozolanas levam vantagem em relação aos concretos sem substituição no que diz respeito à resistência, em parte devido a maior finura (efeito físico) das pozolanas que preenchem e obturam os poros menores, e ainda através das reações pozolânicas (efeito químico), por meio da formação de C-S-H secundário.

Os resultados alcançados estão de acordo com os resultados obtidos por Kulakowski et al. (2014), que relataram significativos incrementos na resistência a compressão quando comparados concretos simples a concretos produzido com CCA, comportamento que se explica principalmente pelo alto índice de pozolanicidade presente na CCA e CV. Ainda, Mehta e Monteiro (2014) relatam que as adições minerais promovem efeitos favoráveis ao concreto, principalmente pelo fato de causar uma redução considerável na porosidade das pastas e refinar os grãos de hidróxido de cálcio. A redução de porosidade proporcionada pela alteração da microestrutura ocasiona um aumento da compacidade.

Estes resultados são interessantes, principalmente quando da utilização de agregados graúdos reciclados, visto que o eventual aumento de consumo de cimento pode-se ser reduzido com o emprego de pozolanas, contribuindo diretamente na diminuição de exploração de minerais não renováveis, bem como, na atenuação dos problemas causados pela forma como são tratados esses resíduos. É relevante destacar que as adições minerais aprimoram as propriedades do concreto, resolvendo parcialmente a baixa qualidade dos constituintes do concreto, no caso de agregados reciclados de resistência mais baixa.

De maneira geral, a utilização de agregado graúdo reciclado de concreto em substituição parcial ao agregado natural não condiciona perdas e nem ganhos de resistência. Logo, a qualidade do resíduo acaba sendo de grande preponderância, porém, de acordo com Werle (2010), mesmo com a inserção de um ARC de baixa resistência em uma matriz de alta resistência é possível tornar este resíduo um coproduto eficiente através do controle de qualidade da matriz e possivelmente da incorporação de pozolanas na mistura. Então, por não existir um consenso na literatura a respeito dos teores de substituição em relação à resistência a compressão, cada caso deve ser estudado preferencialmente de maneira individual, salvo exceções, de forma generalista e mais abrangente, dependendo dos fatores considerados para a aplicação.

#### 4.1.2 Módulo de Elasticidade Longitudinal

Cada mistura de concreto apresenta um módulo de elasticidade (deformação) específico, sendo que uma das propriedades com maior influência são as características do agregado graúdo e a porosidade. Logo, se faz de grande importância o estudo dessa propriedade, tendo em vista que, os agregados reciclados de resíduos de demolição de concreto possuem uma maior porosidade quando comparados com os materiais naturais, assim, apresentando menor módulo de deformação, devido à sua menor capacidade em restringir deformações da matriz. Para tanto, a ABNT NBR 6118 (2014) relaciona o módulo de elasticidade com a resistência a compressão através da seguinte fórmula:

$$E_{ci} = \alpha E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (5)$$

Sendo:

$E_{ci}$  = Módulo de elasticidade desejado (MPa);

$\alpha E$  = 1,2 para basalto e diabásio;

$f_{ck}$  = Resistência à compressão do concreto aos 28 dias (MPa).

Sendo assim, apenas os concretos com módulo de elasticidade superiores a 37,78GPa e 43,34GPa estão dentro do que a norma estabelece, considerando  $f_{ck}$  como 31,6MPa (25MPa) e 41,6 MPa (35MPa). Logo, os resultados do módulo de elasticidade (deformação) aos 28 dias para as misturas estudadas encontram-se na Figura 24 e a Tabela 25 apresenta as misturas que se enquadram ou não na especificação da ABNT NBR 6118 (2014).

Figura 24 – Valores do módulo de elasticidade obtidos aos 28 dias.

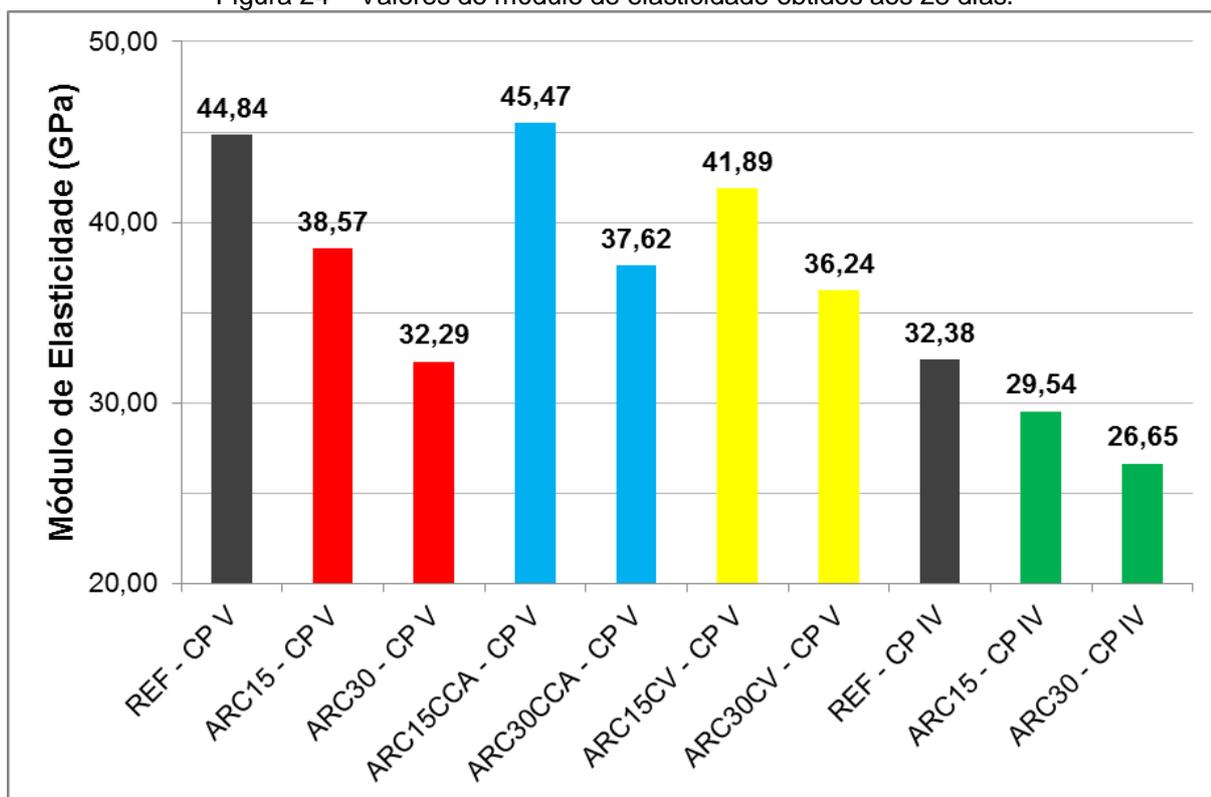


Tabela 25 – ME's obtidos x ABNT NBR 6118 (2014).

| Traço           | Módulo de Elasticidade  |                              |
|-----------------|-------------------------|------------------------------|
|                 | Corpos de Prova - (GPa) | ABNT NBR 6118 (2014) - (GPa) |
| REF - CP V      | 44,84 (+3,46%)          | 43,34                        |
| REF - CP IV     | 32,38 (-14,29%)         | 37,78                        |
| ARC15 - CP V    | 38,57 (+2,09%)          | 37,78                        |
| ARC30 - CP V    | 32,29 (-14,53%)         | 37,78                        |
| ARC15 - CP IV   | 29,54 (-21,81%)         | 37,78                        |
| ARC30 - CP IV   | 26,65 (-29,46%)         | 37,78                        |
| ARC15CCA - CP V | 45,47 (+4,91%)          | 43,34                        |
| ARC30CCA - CP V | 37,62 (-13,20%)         | 43,34                        |
| ARC15CV - CP V  | 41,89 (-3,35%)          | 43,34                        |
| ARC30CV - CP V  | 36,24 (-16,38%)         | 43,34                        |

Analisando a Tabela 25, percebe-se que a maioria dos resultados de módulo de elasticidade das misturas não atendeu o preconizado pela norma, sendo que os dois menores resultados foram dos traços 'ARC15% - CP IV' e 'ARC30% - CP IV', os quais obtiveram médias de 29,54GPa e 26,65GPa, ou seja, 21,81% e 29,46%, respectivamente, menores que o valor mínimo, que para ambas é de 37,78GPa de

acordo com a ABNT NBR 6118 (2014). Porém, para as análises realizadas a seguir, consideraram-se todas as misturas apresentadas na Figura 24 e Tabela 25.

Verificou-se que o aumento do módulo de elasticidade ocorreu consoante ao aumento da resistência a compressão axial, porém, como já esperado, isto não acontece proporcionalmente, de acordo com o que afirma Almeida (2005), dizendo que o módulo de elasticidade ocorre de modo não proporcional à elevação da resistência a compressão. Observando-se a Figura 24 nota-se que o melhor resultado de módulo de elasticidade foi obtido com a amostra de concreto 'ARC15CCA – CP V', atingindo 45,47GPa, seguido da amostra de referência em que utilizou-se cimento CP V, que chegou a 44,84GPa, ou seja, 4,91% e 3,46% acima do mínimo exigido por norma, que nesse caso é de 43,34GPa.

Com o cimento CP V, a amostra de referência obteve média do módulo de elasticidade de 3,46% melhor que o mínimo exigido por norma, já as amostras com 15% e 30% de substituição do agregado graúdo atingiram em média resultado 2,09% melhor e 14,53% pior que o exigido pela norma, respectivamente. Utilizando o cimento CP IV nenhuma amostra obteve resultado acima do exigido por norma, sendo que a de referência atingiu 14,29% a menos que o mínimo, enquanto as amostras com 15% e 30% de substituição do agregado graúdo chegaram a resultados de -21,81% e -29,46%, respectivamente, ou seja, ambos inferiores ao mínimo normativo. Observa-se que a progressão de resistência com o cimento CP IV é menor do que o CP V, logo o módulo de elasticidade também acompanha tal tendência, ainda, sendo que devido ao cimento CP IV possuir menor massa específica, tendo em vista que, o teor de argamassa de 0,50 (em massa), foi mantido constante, logo, o volume de argamassa acaba por aumentar, enquanto o volume de brita diminui, resultando assim em um menor módulo de elasticidade.

Constatou-se assim, que as misturas em que utilizou-se cimento CP V obtiveram resultados significativamente melhores que as misturas em que utilizou-se CP IV. Além do mais, as misturas com substituição do agregado graúdo natural em teores de 15% tem comportamento semelhante às misturas de referência, porém, quando se utiliza substituições de 30% visualiza-se uma significativa queda nos resultados, fatos que já eram previamente esperados, indicando que os agregados graúdos reciclados de concreto são mais propensos a deformações que os naturais.

Angulo (2005), relatou que a influência da porosidade dos agregados é significativamente maior que a da pasta, e ainda que existem correlações

exponenciais entre os resultados de módulo de elasticidade dos concretos com a massa específica aparente dos agregados graúdos de RCD, e com a relação a/c ou consumo de cimento, verificou ainda que os teores de substituição de RCD quando inferiores a 20% são adequados para uso em concretos estruturais convencionais. Gómez-Soberón (2002) verificaram que a diminuição do módulo de elasticidade do concreto associa-se ao aumento da porosidade do mesmo em consequência do aumento do teor de substituição do agregado natural por agregado reciclado.

Quando se utilizou substituições parciais do cimento por 25% de pozolanas, obtiveram-se resultados melhores, principalmente para a cinza de casca de arroz, que quando utilizada em conjunto com substituições de 15% e 30% do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de concreto, atingiu resultados de +4,91% e -13,20%, respectivamente. Já com o emprego da cinza volante os resultados atingidos foram de -3,35% e -16,38%, em conjunto com a utilização da substituição do AGN nos teores de 15% e 30%, respectivamente.

No momento em que as amostras com utilização de pozolanas foram comparadas com a de referência (REF – CP V) verificou-se que a mesma foi ligeiramente inferior à amostra 'ARC15CCA – CP V', ou seja, resultado 1,45% menor, e que quando comparada com as demais amostras com pozolanas, 'ARC30CCA – CP V, ARC15CV – CP V e ARC30CV – CP V', foi significativamente superior. Logo, a exemplo da resistência a compressão axial, a utilização de pozolanas foi capaz de contrabalançar parcialmente a diminuição no módulo de elasticidade quando se utilizou substituições do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de concreto. Ainda, salienta-se que para essa análise não considerou-se as amostras em que foi utilizado cimento CP IV, tendo em vista que, o mesmo já possui adições de pozolanas vindas de fábrica em percentuais diferentes dos utilizados no trabalho para substituição do CP V.

Dado o exposto, nota-se que os resultados encontrados estão de acordo com o descrito por Safiuddin et al. (2011) que entenderam que, devido o agregado reciclado ser mais poroso que o agregado natural, obtém-se concretos com menores módulos de elasticidade à medida que se aumenta o teor de agregado reciclado, sendo que os autores Hu et al. (2009) e Padmini et al. (2009) obtiveram resultados consoantes. Ainda Gómez-Soberón (2002) verificaram que a diminuição do módulo de elasticidade do concreto associa-se ao aumento da porosidade do mesmo em consequência do aumento do teor de substituição do agregado natural por reciclado.

Fonseca, Brito e Evangelista (2011) descrevem que o Módulo de Elasticidade do concreto é conhecido por ser altamente dependente das fases de rigidez (agregados, pasta de cimento e a zona de transição). Para Dal Molin (2005), as características do agregado é o fator limitante. Xiao, Li e Poon (2012), que relatam que o módulo de elasticidade para concretos com agregado reciclado de resíduos de concreto é sempre menor que em concretos convencionas devido principalmente a grande quantidade de argamassa ligada ao agregado natural.

Sendo assim, as diferentes propriedades apresentadas por esses resíduos interferem nas características do concreto, pois, os mesmos podem vir de diferentes lotes de recolhimento, conseqüentemente regiões distintas, bem como, aplicações anteriores, diferindo em questões, como, por exemplo, a idade do concreto de origem e sua resistência, então, nem sempre apresentam-se como pontos positivos para o novo material. Logo, não havendo exatamente um consenso a respeito, cada pesquisa e aplicação se torna única de acordo com os fatores levados em consideração para as devidas dosagens de misturas.

## 4.2 DURABILIDADE

Para avaliação de durabilidade das misturas e posteriormente das amostras de concreto desenvolvidas optou-se pela realização do Ensaio de Penetração de Íons Cloreto por Imersão (EPCI). Adotou-se o EPCI tendo em vista, principalmente que, este ensaio é apropriado para a investigação de concretos contendo adições minerais e resíduos de demolição de concreto, assim, representando o comportamento de um material submerso sem influência de mecanismos externos.

### 4.2.1 Penetração de Íons Cloreto por Imersão (EPCI)

Para o estudo da penetração de íons cloreto realizaram-se leituras nas amostras em quatro idades distintas, ou seja, em 28, 56, 84 e 112 dias de permanência imersas em solução salina, semelhante à água do mar, sendo que, para cada traço foram analisadas quatro superfícies, posteriormente, obtendo-se as médias da profundidade de penetração. Na Tabela 26 observam-se as profundidades médias de penetração de íons cloreto para cada amostra diferente.

Tabela 26 – Profundidades médias de penetração de íons cloreto.

| Misturas        | Resist. Comp.<br>Média (MPa) |      | Profundidades (mm) |       |       |       |
|-----------------|------------------------------|------|--------------------|-------|-------|-------|
|                 | fc28                         | a/ag | Dias               |       |       |       |
|                 |                              |      | 28                 | 56    | 84    | 112   |
| REF - CP V      | 40,17                        | 0,54 | 8,23               | 11,18 | 14,36 | 16,80 |
| ARC15 - CP V    | 30,59                        | 0,55 | 8,25               | 11,35 | 14,47 | 17,50 |
| ARC30 - CP V    | 30,25                        | 0,42 | 9,37               | 12,98 | 15,98 | 19,77 |
| ARC15CCA - CP V | 40,64                        | 0,62 | 7,35               | 9,70  | 12,31 | 15,67 |
| ARC30CCA - CP V | 40,25                        | 0,53 | 7,84               | 10,19 | 13,55 | 16,94 |
| ARC15CV - CP V  | 40,80                        | 0,57 | 7,62               | 10,26 | 13,52 | 15,63 |
| ARC30CV - CP V  | 39,89                        | 0,47 | 8,46               | 11,18 | 15,44 | 17,59 |
| REF - CP IV     | 30,32                        | 0,53 | 8,95               | 12,12 | 15,10 | 17,94 |
| ARC15 - CP IV   | 30,44                        | 0,50 | 9,34               | 12,51 | 15,51 | 17,80 |
| ARC30 - CP IV   | 30,23                        | 0,42 | 10,17              | 12,95 | 15,65 | 20,35 |

Inicialmente verificou-se a existência de diferenças significativas entre os resultados das profundidades de penetração de íons cloreto das amostras desenvolvidas com cimento CP IV e cimento CP V, sendo que para isso realizou-se ANOVA, de acordo com a Tabela 27. Salienta-se que para essa análise não se considerou as amostras com utilização do cimento CP V em conjunto com a cinza de casca de arroz e cinza volante.

Tabela 27 – ANOVA relacionando a penetração de íons cloreto para os diferentes tipos de cimento.

| Fonte da variação | SQ       | GL | MQ       | F        | Valor -P | F crítico |
|-------------------|----------|----|----------|----------|----------|-----------|
| CP IV x CP V      | 2,767604 | 1  | 2,767604 | 0,201832 | 0,657641 | 4,30095   |

Sendo: SQ= soma quadrada, GL= grau de liberdade e MQ= média quadrada, F= valor calculado; valor-P = significância; F crítico= valor tabelado para nível de significância 0,05.

Verifica-se que  $F < F_{\text{crítico}}$ , logo, não existem diferenças estatisticamente significativas no que diz respeito à profundidade de penetração de íons cloreto em relação ao tipo de cimento utilizado nos concretos. De tal maneira, não considerando as misturas em que se empregou o cimento CP IV, notou-se o fato de que as misturas em que se utilizou pozolanas obtiveram melhores resultados, independente do percentual (15% e 30%) de substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado de concreto de demolição e da utilização de maiores relações a/ag em algumas das misturas, algumas inclusive melhores que o traço de referência, sem nenhuma substituição. Esta hipótese de comportamento é apresentada pelo estudo de Thomas et al. (2013) e de Medina, Frías e Rojas (2012), onde os autores defendem que os concretos com agregados reciclados tem a

interface entre concreto novo e velho melhorada, pois, devido a presença do agregado reciclado de concreto e de pozolanas, facilita-se a aderência da mesma pelos agregados reciclados, formando assim, uma espécie de selagem, preenchendo os poros e compactando a mistura.

Além do mais, verificou-se resultados semelhantes nas amostras com cinza de casca de arroz e cinza volante, mesmo as duas pozolanas possuindo características químicas e físicas relativamente distintas, ao menos no que diz respeito à finura e a presença de óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) em suas composições. A cinza de casca de arroz possui em sua composição 0,39% de óxido de alumínio e 0,54% de óxido de ferro, enquanto a cinza volante possui 25,89% de óxido de alumínio e 3,15% de óxido de ferro em sua composição, porém, se tratando de finura, conseqüentemente preenchimento de poros, a área específica B.E.T. ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) da cinza de casca de arroz é de 18,71, já da cinza volante é de 3,55, ou seja, a maior finura da CCA acabou por compensar a menor presença de aluminatos na sua composição, e vice versa para a cinza volante.

Dado o exposto, Wee et al (2000) afirmam que a penetração de cloretos, através do concreto, depende da microestrutura e das alterações ocorridas nela, como a fixação dos íons cloreto pelas fases aluminatos e ferro-aluminatos do cimento. Assim, a substituição do cimento por adições com baixos teores de alumina, como, por exemplo, a cinza de casca de arroz, reduz a capacidade de combinação dos íons cloreto com os aluminatos presentes na mistura, podendo resultar misturas com maior coeficiente de penetração. Porém, as adições minerais ocasionam o refinamento da estrutura de poros do concreto, reduzindo tanto a penetração de íons cloreto como a entrada de umidade e oxigênio no interior do concreto, aumentando a sua durabilidade e contribuindo para a prevenção da corrosão das armaduras desencadeada por cloretos (DAL MOLIN, 2011).

Logo, com as médias das profundidades de penetração de íons cloreto elaborou-se um gráfico (Figura 25), através das linhas de tendência com equação do tipo  $f(x) = a \cdot x + b$ , onde o coeficiente angular da reta, calculado por regressão linear ( $\sqrt{t}$  em semanas versus  $e$  em mm) “a” é o coeficiente de penetração (Kcl) em cada traço, e o valor “b”, resultado da liberdade da função, representa o ponto em que as retas cruzam o eixo das ordenadas, Tabela 28.

Figura 25 – Gráfico das médias de profundidade de penetração de íons cloreto.

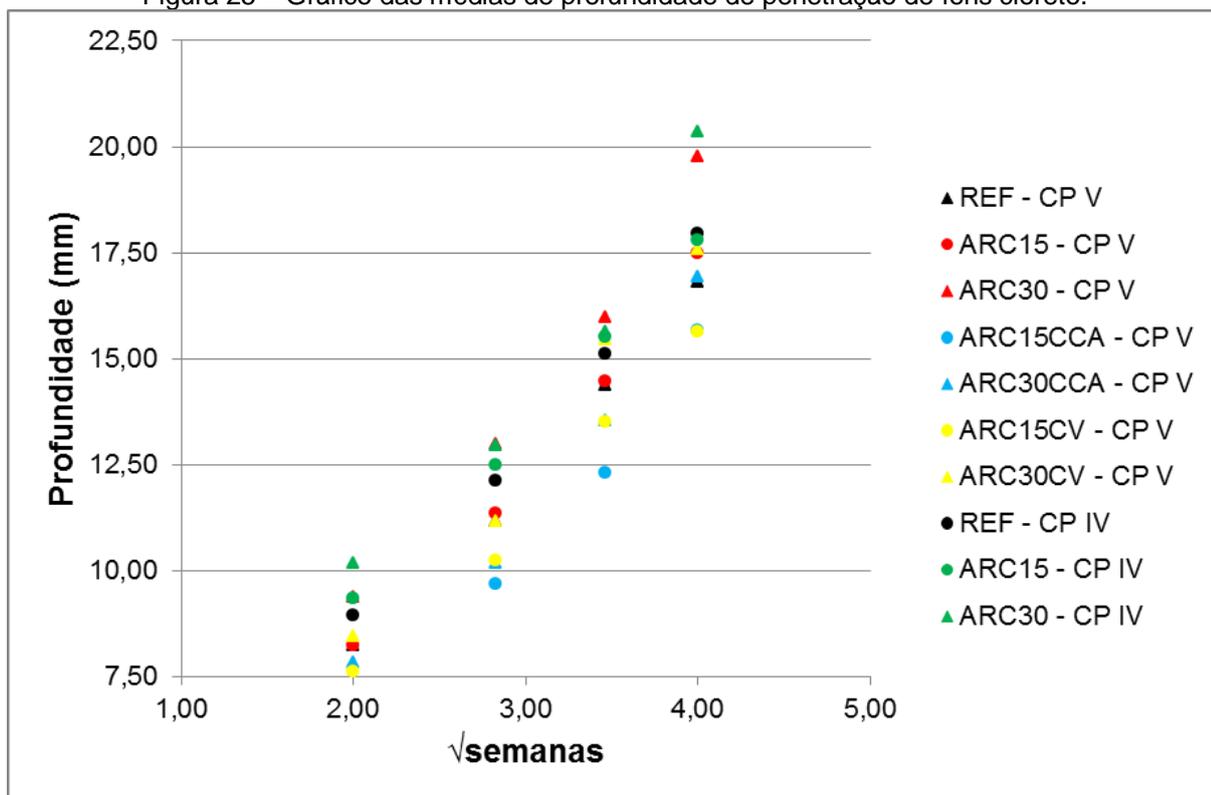


Tabela 28 – Equações das profundidades de penetração de íons cloreto.

| Misturas        | $f(x) = a \cdot x + b$ | $R^2$  | Kcl  |
|-----------------|------------------------|--------|------|
| REF - CP V      | $4,3257x - 0,6511$     | 0,9943 | 4,33 |
| ARC15 - CP V    | $4,6085x - 1,2701$     | 0,9910 | 4,61 |
| ARC30 - CP V    | $5,1004x - 1,1491$     | 0,9872 | 5,10 |
| ARC15CCA - CP V | $4,0818x - 1,2865$     | 0,9679 | 4,08 |
| ARC30CCA - CP V | $4,5389x - 1,8185$     | 0,9680 | 4,54 |
| ARC15CV - CP V  | $4,086x - 0,7993$      | 0,9908 | 4,09 |
| ARC30CV - CP V  | $4,734x - 1,3806$      | 0,9802 | 4,73 |
| REF - CP IV     | $4,4801x - 0,2406$     | 0,9944 | 4,48 |
| ARC15 - CP IV   | $4,2627x + 0,6901$     | 0,9981 | 4,26 |
| ARC30 - CP IV   | $4,9013x - 0,2824$     | 0,9473 | 4,90 |

Partindo desses dados e das especificações estabelecidas no dimensionamento do pilar de concreto armado, foi possível estimar a vida útil de cada uma das opções de pilar estudadas (Tabela 29), em que se adotou um avanço da frente de penetração de  $x = 20\text{mm}$  (25mm da camada de cobrimento, reduzido de 5mm da frente de penetração), estimativa obtida por processos matemáticos. O tempo estimado provável de vida útil está representado na última coluna, sendo que este cálculo leva em consideração a utilização de pintura nos pilares com estimativa de vida abaixo da vida útil mínima (50 anos) de acordo com a norma NBR 15575

(2013), e a vida útil máxima de 150 anos, de acordo com as descrições do capítulo anterior.

Tabela 29 – Vida útil dos pilares com cobrimento efetivo de 20mm.

| Traço           | Resistência a Compressão |       | Relação a/ag | Coeficiente (mm x semana <sup>-0,5</sup> ) |                | Tempo Estimado Teórico (anos)<br>t= (x/Kc) <sup>2</sup> | Kcl com Pintura (Kc/2,5) | Tempo Estimado Provável |
|-----------------|--------------------------|-------|--------------|--|----------------|---|--------------------------|-------------------------|
|                 | fck                      | fc28  |              | Kcl  | R <sup>2</sup> |   |                          |                         |
| REF - CP V      | 35,00                    | 40,17 | 0,54         | 4,33                                       | 0,9943         | 21,33   | 1,73                     | 133,34                  |
| ARC15 - CP V    | 25,00                    | 30,59 | 0,55         | 4,61                                       | 0,9910         | 18,82   | 1,84                     | 117,64                  |
| ARC30 - CP V    | 25,00                    | 30,25 | 0,42         | 5,10                                       | 0,9872         | 15,38   | 2,04                     | 96,12                   |
| ARC15CCA - CP V | 35,00                    | 40,64 | 0,62         | 4,08                                       | 0,9679         | 24,03   | 1,63                     | 150,18                  |
| ARC30CCA - CP V | 35,00                    | 40,25 | 0,53         | 4,54                                       | 0,9680         | 19,41   | 1,82                     | 121,29                  |
| ARC15CV - CP V  | 35,00                    | 40,80 | 0,57         | 4,09                                       | 0,9908         | 23,91   | 1,64                     | 149,45                  |
| ARC30CV - CP V  | 35,00                    | 39,89 | 0,47         | 4,73                                       | 0,9802         | 17,88   | 1,89                     | 111,74                  |
| REF - CP IV     | 25,00                    | 30,32 | 0,53         | 4,48                                       | 0,9944         | 19,93   | 1,79                     | 124,56                  |
| ARC15 - CP IV   | 25,00                    | 30,44 | 0,50         | 4,26                                       | 0,9981         | 22,04   | 1,70                     | 137,76                  |
| ARC30 - CP IV   | 25,00                    | 30,23 | 0,42         | 4,90                                       | 0,9473         | 16,66   | 1,96                     | 104,12                  |

Verifica-se que todas as alternativas de pilar necessitaram de pintura para alcançar a vida útil mínima (50 anos). Os piores resultados para o tempo estimado teórico foram com as misturas ARC30 – CP V e ARC30 – CP IV, apresentando idades de 15,38 e 16,66 anos, respectivamente. Já os melhores resultados foram das misturas em que utilizou-se pozolanas, com 15% de ARC, ou seja, a mistura ARC15CCA – CP V atingiu 24,03 anos e a mistura ARC15CV – CP V atingiu 23,91 anos, resultados inclusive superiores a mistura de referência com cimento CP V, nomeada como REF – CP V, que chegou a 21,33 anos.

De maneira geral, através dos resultados da vida útil da unidade funcional (pilar) utilizando as diversas composições propostas, nota-se que o percentual de substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado de concreto tem grande influência na sua durabilidade. Os resultados, quando utilizou-se 30% de ARC, sempre foram inferiores aos traços em que utilizou-se 15% de ARC, bem como, os traços de referência. Salienta-se que, quando utilizou-se pintura, a mistura ARC15CCA - CP V, atingiu vida útil de 150,18 anos, sendo considerado para o restante das análises a vida útil máxima estabelecida, ou seja, 150 anos.

### 4.3 CUSTO DO CICLO DE VIDA (CCV)

Para os cálculos do Custo do Ciclo de Vida utilizou-se a Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO, 2008), adotando-se 117,66% de encargos sociais de acordo com o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI, 2017), tendo como mês de referência Março/2017. Na Tabela 30 estão representados os custos de cada um dos pilares.

Tabela 30 – Composição de custos com encargos sócias dos pilares.

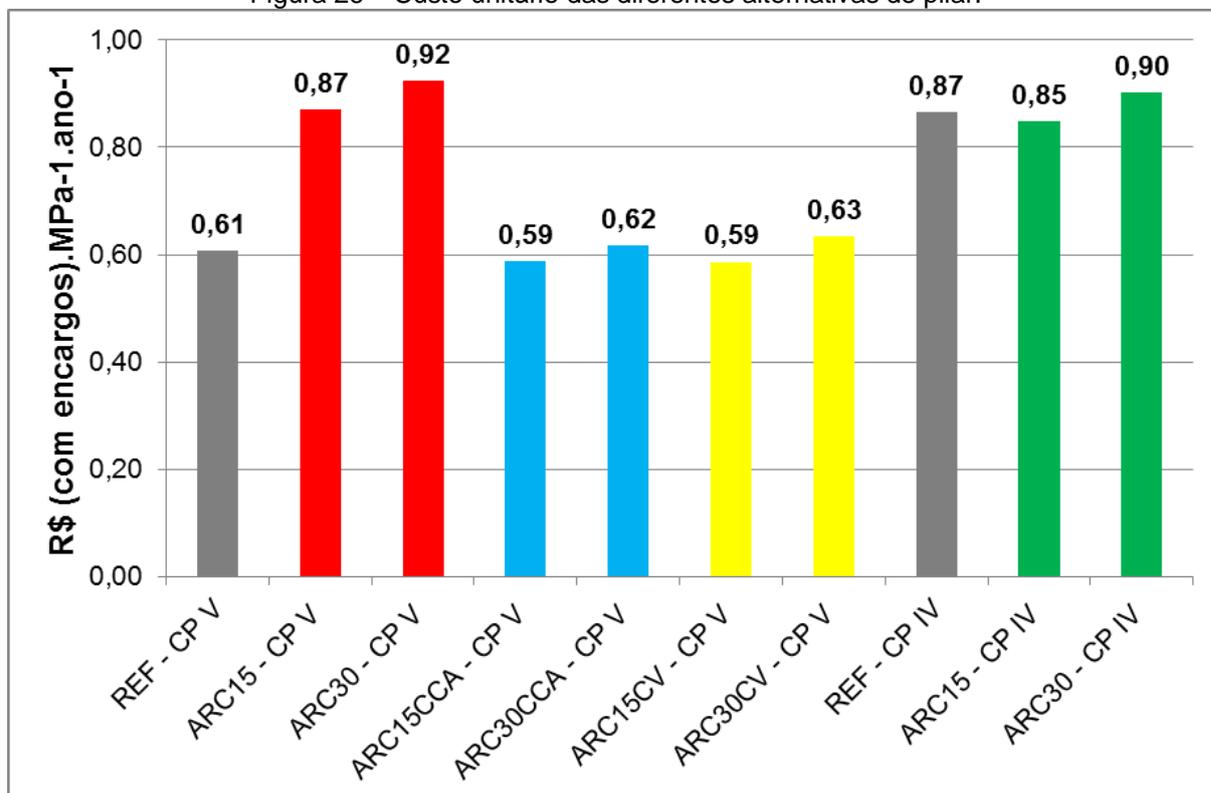
| ETAPAS                     | Custos com encargos sociais (R\$.pilar-1) |               |                 |                      |                      |                     |                     |              |                |                |
|----------------------------|---|---------------|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------|----------------|----------------|
|                            | REF<br>CP V                               | ARC15<br>CP V | ARC30<br>CP V   | ARC15<br>CCA<br>CP V | ARC30<br>CCA<br>CP V | ARC15<br>CV<br>CP V | ARC30<br>CV<br>CP V | REF<br>CP IV | ARC15<br>CP IV | ARC30<br>CP IV |
| <b>Cons-<br/>trução</b>    | 505,00                                    | 523,41        | 543,64          | 495,07               | 503,18               | 500,26              | 511,91              | 514,37       | 516,78         | 526,83         |
| <b>Pintura</b>             | 2.688,72                                  | 2.543,74      | 2.076,64        | 3.024,66             | 2.445,74             | 3.013,57            | 2.253,17            | 2.691,08     | 2.976,26       | 2.249,48       |
| <b>Lavagem</b>             | 0,00                                      | 0,00          | 0,00            | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                | 0,00                | 0,00         | 0,00           | 0,00           |
| <b>Descons-<br/>trução</b> | 45,47                                     | 50,52         | 50,52           | 45,47                | 45,47                | 45,47               | 45,47               | 50,52        | 50,52          | 50,52          |
| <b>Trans-<br/>porte</b>    | 13,16                                     | 13,16         | 13,16           | 13,16                | 13,16                | 13,16               | 13,16               | 13,16        | 13,16          | 13,16          |
| <b>Manejo<br/>do ARC</b>   | 1,02                                      | 1,13          | 1,13            | 1,02                 | 1,02                 | 1,02                | 1,02                | 1,13         | 1,13           | 1,13           |
| <b>TOTAL</b>               | 3.253,37                                  | 3.131,96      | <b>2.685,10</b> | <b>3.579,38</b>      | 3.008,57             | 3.573,48            | 2.824,73            | 3.270,27     | 3.557,86       | 2.841,13       |

Realizou-se a composição de custos considerando que todos os pilares receberam pintura, nenhum deles recebendo lavagem, tendo em vista que, todos necessitaram de pintura para atingirem a vida útil mínima estabelecida. Logo, verificou-se que os custos mais elevados foram devido à pintura, superando assim, os demais itens em análise, inclusive os custos com a própria construção.

O pilar que teve o maior custo foi o ARC15CCA - CP V, representando R\$ 3579,38, sendo a pintura responsável por 84,50% do custo total. Já o pilar com menor custo total foi o ARC30 – CP V, com R\$ 2685,10, o mesmo apresentou pintura correspondente a 77,34% do custo total. De maneira geral, em média, considerando todas as alternativas de pilar, a pintura representou 81,62% do valor total, valor significativamente acima dos citados por Reis (2008), que nos traz a ideia de que a pintura pode ser responsável por cerca de 12,00% do valor inicial de uma obra, e considerando a manutenção da pintura ao longo de 100 anos, esse custo pode representar em torno de 60% do valor inicial da obra. O valor maior obtido para

a pintura é devido a maior vida útil, em média, para os pilares considerados. A Figura 26 que representa os custos unitários de cada tipo de pilar, em que se dividiu o custo total (R\$) pela resistência (MPa) aos 28 dias e pela vida útil (anos).

Figura 26 – Custo unitário das diferentes alternativas de pilar.



A alternativa de pilar que apresentou o maior custo unitário foi o ARC30 – CP V (0,92R\$.MPa.ano), sendo este o que apresentou o maior coeficiente de penetração de íons cloreto entre todos ( $K_{cl}= 5,10$ ) e o menor tempo teórico (15,38 anos), necessitando de pintura para prolongar a vida útil, chegando a 96,12 anos de tempo estimado provável. Os pilares ARC15CCA – CP V e ARC15CV – CP V obtiveram praticamente os mesmos custos unitários, 0,59R\$.MPa.ano, sendo que ambos necessitaram de pintura afim de prolongar a vida útil, atingindo um tempo teórico de 24,03 e 23,91 anos e provável de 150 e 149,50 anos, respectivamente.

Além do mais, fica claro que os pilares agrupam-se pela sua resistência,  $f_{ck}=25\text{MPa}$  e  $f_{ck}=35\text{MPa}$ , que obtiveram média do custo unitário de 0,88R\$.MPa.ano e 0,61R\$.MPa.ano, respectivamente. Nota-se também que a utilização de pozolanas, não só melhora as propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos, bem como, diminui o custo unitário ao longo da vida útil provável do pilar.

#### 4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Algumas das análises apresentadas dos resultados obtidos foram testadas e validadas através de métodos estatísticos, cuja ferramenta adotada para este fim foi à análise de variância (ANOVA). A ferramenta escolhida nos indica se há ou não significância para as variáveis escolhidas, adotando-se grau de confiança de 95%. Então, a fim de prever o comportamento das variáveis de resposta em função das de controle, realizou-se o tratamento estatístico.

Analisou-se inicialmente a influência da resistência à compressão ( $f_{c28}$ ), bem como, os percentuais (0%, 15% e 30%) de ARC utilizados, tendo em vista, as distintas relações  $a/ag$  necessárias para cada traço, sendo que para isso realizou-se ANOVA, fator duplo com repetição. Para tanto, relacionou-se as relações  $a/ag$ , separando-as em dois grupos de amostras (linhas), 25MPa (31,6MPa) e 35MPa (41,6MPa), e em três colunas, traços com 0%, 15% e 30% de ARC. A Tabela 31 apresenta a ANOVA relacionando a relação  $a/ag$  com a resistência a compressão e utilização de ARC.

Tabela 31 – ANOVA relacionando relação  $a/ag$ ,  $f_{c28}$  e percentual de ARC.

| Fonte da variação         | SQ     | GL | MQ     | F       | Valor -P | F crítico |
|---------------------------|--------|----|--------|---------|----------|-----------|
| Resistência ( $f_{c28}$ ) | 0,0256 | 1  | 0,0256 | 59,5349 | 1,3E-08  | 4,1709    |
| % ARC                     | 0,0650 | 2  | 0,0325 | 75,5814 | 1,9E-12  | 3,3158    |
| Interações                | 0,0086 | 2  | 0,0043 | 10,0000 | 0,00047  | 3,3158    |

Sendo: SQ= soma quadrada, GL= grau de liberdade e MQ= média quadrada, F= valor calculado; valor-P = significância; F crítico= valor tabelado para nível de significância 0,05.

Verifica-se que quando se analisou a resistência associada à relação  $a/ag$ , tem-se  $F > F_{crítico}$ , assim, existem diferenças estatisticamente significativas, pois, para os traços com resistência de 25MPa a média das relações  $a/ag$  foi de 0,48, enquanto para 35MPa a média foi de 0,55. Aparentemente os valores encontram-se invertidos, tendo em vista que, pela lógica, maiores relações  $a/ag$  implicariam em menores resistências e vice-versa, porém, salienta-se que, em 4 dos cinco traços dosados para 35MPa ocorreu a utilização de pozolanas, o que explica a maior utilização de água, e simultaneamente maior resistência.

Constata-se também que no que diz respeito ao percentual de ARC utilizado em substituição ao AGN, existem diferenças estatisticamente significativas, pois,  $F > F_{crítico}$ . A média dos traços sem substituição (0%) do agregado graúdo foi de 0,535, enquanto para 15% de substituição foi de 0,56, e para 30% foi de 0,46, desse

modo, ficando claro que na medida em que se aumentou o percentual de substituição do AGN por ARC, foi necessária a diminuição da utilização de água para que se atingissem resistências semelhantes. Além do mais, comprova que existem interações entre os três fatores analisados, pois, no item Interações, também se encontra  $F > F_{\text{crítico}}$ .

Posteriormente, realizou-se a ANOVA para a influência da resistência a compressão ( $f_{c28}$ ) associada ao índice de penetração de íons cloreto Kcl. A Tabela 32 apresenta a ANOVA relacionando os itens listados.

Tabela 32 – ANOVA relacionando  $f_{c28}$  e Kcl.

| Fonte da variação           | SQ      | GL | MQ      | F       | Valor -P | F crítico |
|-----------------------------|---------|----|---------|---------|----------|-----------|
| $f_{c28} \times \text{Kcl}$ | 0,76832 | 1  | 0,76832 | 6,64743 | 0,01181  | 3,96347   |

Sendo: SQ= soma quadrada, GL= grau de liberdade e MQ= média quadrada, F= valor calculado; valor-P = significância; F crítico= valor tabelado para nível de significância 0,05.

Nota-se que como  $F > F_{\text{crítico}}$ , existem diferenças estatisticamente significativas comparando os resultados de penetração de íons cloreto em relação à resistência a compressão. Nos traços dosados para 25MPa a média do Kcl foi de 4,55, e nos traços dosados para 35MPa foi de 4,35, resultado 4,40% menor, e nesse caso melhor, apesar da relação  $a/a_g$  para os traços de 35MPa terem obtido média maior que aos traços de 25MPa, fato relacionado a utilização de pozolanas.

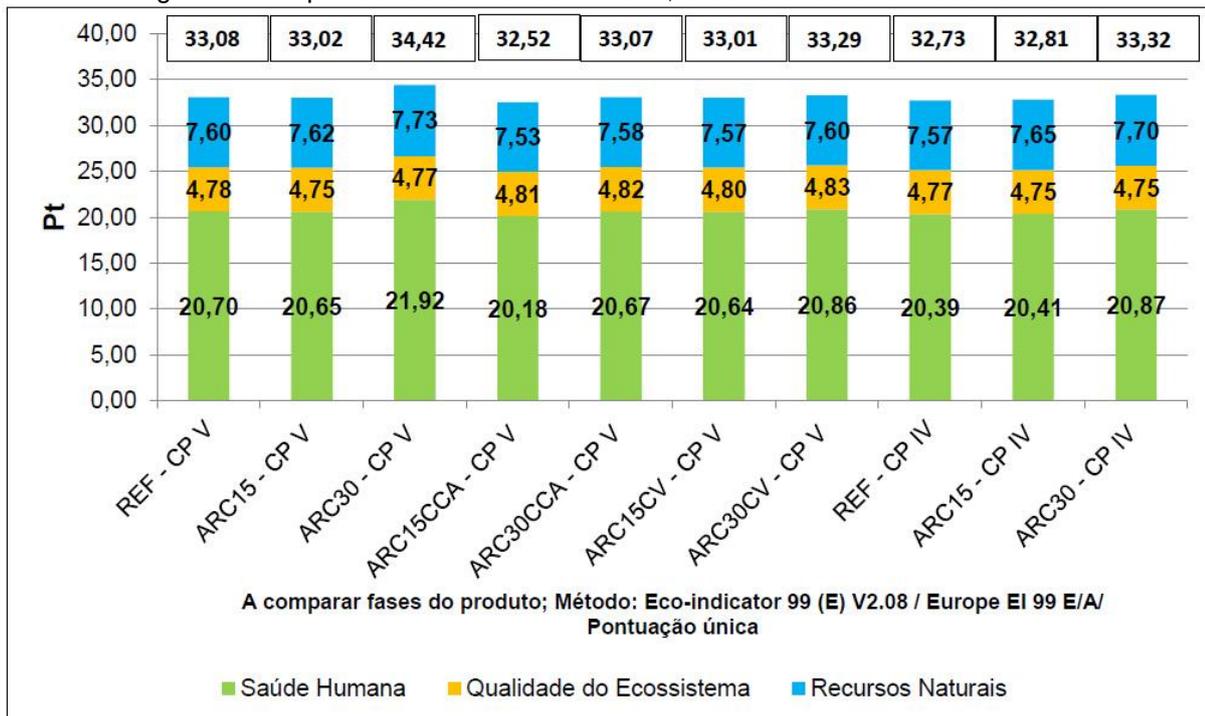
#### 4.5 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)

Realizou-se a Análise do Ciclo de Vida por meio de impactos totais do berço ao túmulo e impactos individuais, através do software SimaPro, versão 8.5.2.2.

##### 4.5.1 Impactos Totais: Do Berço ao Túmulo

Inicialmente inseriu-se os devidos inventários dos materiais no software SimaPro, realizando-se assim a análise dos impactos para cada uma das alternativas de pilar. A Figura 27 apresenta os resultados dos impactos sobre a saúde humana, ecossistemas e recursos naturais, consequentemente a soma de cada conjunto dos mesmos, em unidades de Pt (milésimo da carga ambiental média anual de um cidadão europeu).

Figura 27 – Impactos sobre a saúde humana, ecossistemas e recursos naturais.



Fonte: Adaptado do software SimaPro 8.5.2.2

Nota-se que as alternativas dimensionadas com  $f_{ck} = 35$  MPa apresentam ligeiramente menores impactos totais que as alternativas dimensionadas com  $f_{ck} = 25$  MPa, ou seja, apresentam média de 32,99Pt e 33,23Pt, respectivamente. Logo, verifica-se que os maiores impactos foram causados pelos pilares ARC30 – CP V e ARC30 – CP IV, ambos com utilização de 30% de ARC, resultando em 34,42Pt e 33,32Pt, respectivamente. Esses dois pilares foram os com menor utilização de água,  $a/ag = 0,42$  para ambos, conseqüentemente com maior consumo de cimento por metro cúbico de concreto, o que nos indica grande influência da quantidade utilizada de cimento nas misturas no que diz respeito aos impactos no meio ambiente em que vivemos, pois, além do mais, esses dois traços possuem substituições do agregado graúdo natural pelo ARC.

O pilar que apresentou o menor impacto total foi o ARC15CCA – CP V, resultando em 32,52Pt, já com o cimento CP IV o pilar com menor impacto foi o REF – CP IV, com 32,73Pt. Ainda, se tratando dos traços com utilização do cimento CP IV percebeu-se que as substituições com 15 e 30% de ARC aumentaram os impactos para 32,81 e 33,32, respectivamente, sendo que também tiveram aumento do consumo de cimento, possivelmente contribuindo para o aumento dos impactos em relação ao pilar REF – CP IV.

Assim, como Silva (2014) e Lamberti (2015), que estudaram o mesmo pilar nas mesmas condições, porém, nesta pesquisa com composições diferentes, mas com as mesmas análises de impactos, também constatou-se que a saúde humana (20,73Pt) é o fator mais afetado, seguida de recursos naturais (7,62Pt) e posteriormente qualidade dos ecossistemas (4,78Pt). Silva (2014) obteve média geral no quesito saúde humana de 19,84Pt, recursos naturais de 7,36Pt e qualidade dos ecossistemas de 3,91Pt, já Lamberti (2015) obteve média geral de 23,58Pt, 9,40Pt e 4,12Pt, respectivamente.

Observa-se que a média geral entre os dez traços foi 33,11Pt e o desvio padrão 0,4689, gerando assim um coeficiente de variação de apenas 1,42%. Então, todos os valores são muito semelhantes, apresentando pequenas diferenças dificultando a conclusão sobre qual é o traço mais indicado, dependendo de fatores como, por exemplo, a disponibilidade dos diversos materiais empregados na mistura no local de produção do concreto.

Logo, para uma análise mais correta e completa desses resultados, elaborou-se a Tabela 33. A referida tabela reúne os resultados de custo total e impactos totais por pilar, apresenta os resultados unitários de custo pela resistência à compressão aos 28 dias, em MPa, e vida útil (VU), em anos, (R\$.MPa.ano) e de impactos pela resistência à compressão aos 28 dias, em MPa, e vida útil (VU), em anos, (Pt.MPa.ano. $10^4$ ) multiplicados por  $10^4$  para melhorar a compreensão, e a para a comparação dos resultados unitários através de índices tomou-se o traço REF – CP V como referência. Foram calculadas as médias, os desvios padrão (DP) e coeficientes de variação (CV) dos resultados para  $f_{ck}= 25\text{MPa}$  e  $f_{ck}= 35\text{MPa}$ .

Tabela 33 – Valores totais, unitários e índices dos impactos e custos.

| fck   | Pilar            | Impactos totais (Pt.pilar.1) | Impactos unitários (Pt.MPa.1.ano.1.10 <sup>4</sup> ) | Índices dos Impac. unit. | Custo Total (R\$.pilar.1) | Custo unitário (R\$.MPa.1.ano.1) | Índice do custo unitário |
|-------|------------------|------------------------------|--|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 25MPa | ARC15 CP V       | 33,02                        | 91,76  | 148,57                   | 3.131,96                  | 0,87                             | 142,62                   |
|       | ARC30 CP V       | 34,25                        | 117,79   | 190,73                   | 2.685,10                  | 0,92                             | 150,82                   |
|       | REF CP IV        | 32,73                        | 86,66  | 140,32                   | 3.270,27                  | 0,87                             | 142,62                   |
|       | ARC15 CP IV      | 32,81                        | 78,24  | 126,69                   | 3.557,86                  | 0,85                             | 139,34                   |
|       | ARC30 CP IV      | 33,32                        | 105,86   | 171,41                   | 2.841,13                  | 0,90                             | 147,54                   |
|       | Média/ DP/ CV(%) | 33,23/ 0,62/ 1,8             | 96,06/ 15,75/ 1,64                                   | -                        | 3.097,26/ 345,97/ 11,17   | 0,88/ 0,03/ 3,15                 | -                        |
| 35MPa | REF CP V         | <b>33,08</b>                 | <b>61,76</b>   | <b>100,00</b>            | <b>3.253,37</b>           | <b>0,61</b>                      | <b>100,00</b>            |
|       | ARC15CCA CP V    | 32,52                        | 53,35  | 86,38                    | 3.579,38                  | 0,59                             | 96,72                    |
|       | ARC30CCA CP V    | 33,07                        | 67,74  | 109,68                   | 3.008,57                  | 0,62                             | 101,64                   |
|       | ARC15CV CP V     | 33,01                        | 54,14  | 87,66                    | 3.573,48                  | 0,59                             | 96,72                    |
|       | ARC30CV CP V     | 33,29                        | 74,69  | 120,93                   | 2.824,73                  | 0,63                             | 103,28                   |
|       | Média/ DP/ CV(%) | 32,99/ 0,29/ 0,86            | 62,33/ 9,08/ 1,46                                    | -                        | 3.247,91/ 336,25/ 10,35   | 0,61/ 0,02/ 2,94                 | -                        |

Percebe-se, de maneira geral, e em consequência, das misturas dosados para 35MPa, que o menor impacto unitário ocorreu com o pilar ARC15CCA – CP V, resultando em 53,35Pt.MPa.ano.10<sup>4</sup>, ou seja, 13,62% menos impacto que o traço de REF – CP V. Nas misturas dosados para 25MPa, o traço ARC15 – CP IV obteve melhor desempenho, resultando em 78,24Pt.MPa.ano.10<sup>4</sup>, porém, com 26,69% mais impacto que o traço de referência geral REF – CP V, já em relação a mistura de referência com cimento CP IV, traço REF – CP IV, teve 13,63% menos impacto.

Nota-se que, como citado anteriormente, o melhor desempenho geral foi obtido pelo pilar ARC15CCA – CP V, sendo que constituiu-se o mesmo com o traço em que houve menor consumo de cimento por metro cúbico, ou seja, 280,97Kg.m<sup>3</sup>, e ainda obteve os melhores resultados de vida útil teórica e estimada provável, com 24,03 anos e 150 anos, respectivamente. Fatos esses ocorridos, devido à presença de 25% de CCA em substituição ao cimento CP V na composição do traço, propiciando assim, maior durabilidade e menor consumo de cimento. Já o pior resultado geral foi obtido com o pilar ARC30 – CP V, resultando em

117,79Pt.MPa.ano.10<sup>4</sup>, ou seja, causando 90,73% mais impacto que o pilar de referência geral, REF – CP V, salientando ainda, que o mesmo também foi o pilar com maior consumo de cimento por metro cúbico, 412,01Kg.m<sup>3</sup>, bem como, obteve os piores resultados de vida útil teórica e estimada provável, com 15,38 anos e 96,12 anos, respectivamente.

Enfim, generalizando as análises, verifica-se que em média os melhores resultados foram obtidos pelos pilares em que se utilizou traços de concreto com substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz e cinza volante, bem como, substituição parcial do agregado gráudo natural por 15% de agregado gráudo reciclado proveniente de resíduos de demolição de concreto. Em relação ao tipo de cimento, CP IV ou CP V, verifica-se que o cimento CP IV é mais eficiente para dosagens de concretos com fck= 25MPa, enquanto, o cimento CP V é mais eficiente para dosagens com fck=35MPa, relativamente. Ainda, fica claro, que concretos dosados para maiores resistências tendem a causar menos impactos, ou seja, nessa pesquisa a média dos impactos para fck= 25MPa foi de 96,06Pt.MPa.ano.10<sup>4</sup>, já para fck= 35MPa foi de 62,34Pt.MPa.ano.10<sup>4</sup>, ou seja, 40,12% menos impactos.

#### **4.5.2 Impactos Individuais**

Tendo em vista que o software SimaPro apresenta diversas categorias de impactos, fez-se uma análise dos cinco primeiros impactos considerados os mais relevantes de acordo com a metodologia da análise do ciclo de vida modular (ACV-m) conforme o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2014): mudanças climáticas, consumo de recursos naturais, consumo de energia, geração de resíduos e consumo de água. Ainda calculou-se o dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2eq</sub>), em separado dos demais, como balizamento da pegada de carbono.

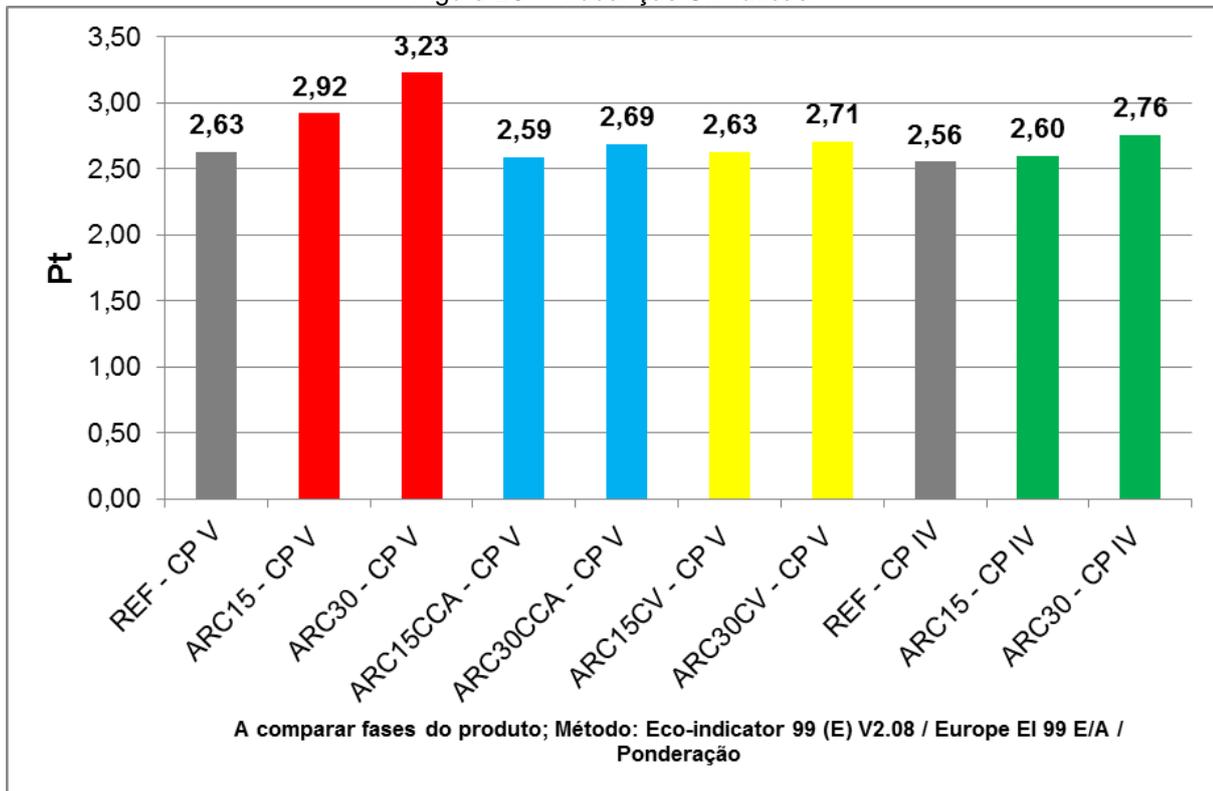
##### **4.5.2.1 Mudanças Climáticas**

A Figura 28 apresenta os impactos incidentes sob as mudanças climáticas para cada uma das alternativas de pilar. Em pilares dimensionados com fck= 25MPa, a média de impacto foi de 2,81Pt, já em pilares com fck= 35MPa, a média de impacto foi de 2,65Pt, ou seja, 5,69% a menos de impacto. A respeito do tipo de cimento, verifica-se que quando utilizou-se cimento CP IV, a média de impacto foi de

2,64Pt, e com cimento CP V, desconsiderando os traços com pozolanas, foi de 2,93Pt, e ainda, nos traços com pozolanas a média obtida foi de 2,66Pt.

Tratando-se do percentual de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, as misturas de referência (0%) obtiveram média de impacto de 2,59Pt, as misturas com 15% de substituição, média de 2,68Pt, e as misturas com 30% de substituição média de 2,85Pt. Nota-se assim, que ao menos no fator mudanças climáticas, a substituição do agregado graúdo natural pelo agregado graúdo reciclado, não nos traz benefícios, provavelmente por essas substituições na grande maioria dos casos provocarem a diminuição da resistência e durabilidade dos concretos, conseqüentemente propiciando o aumento do consumo de cimento.

Figura 28 – Mudanças Climáticas.



Fonte: Adaptado do software SimaPro 8.5.2.

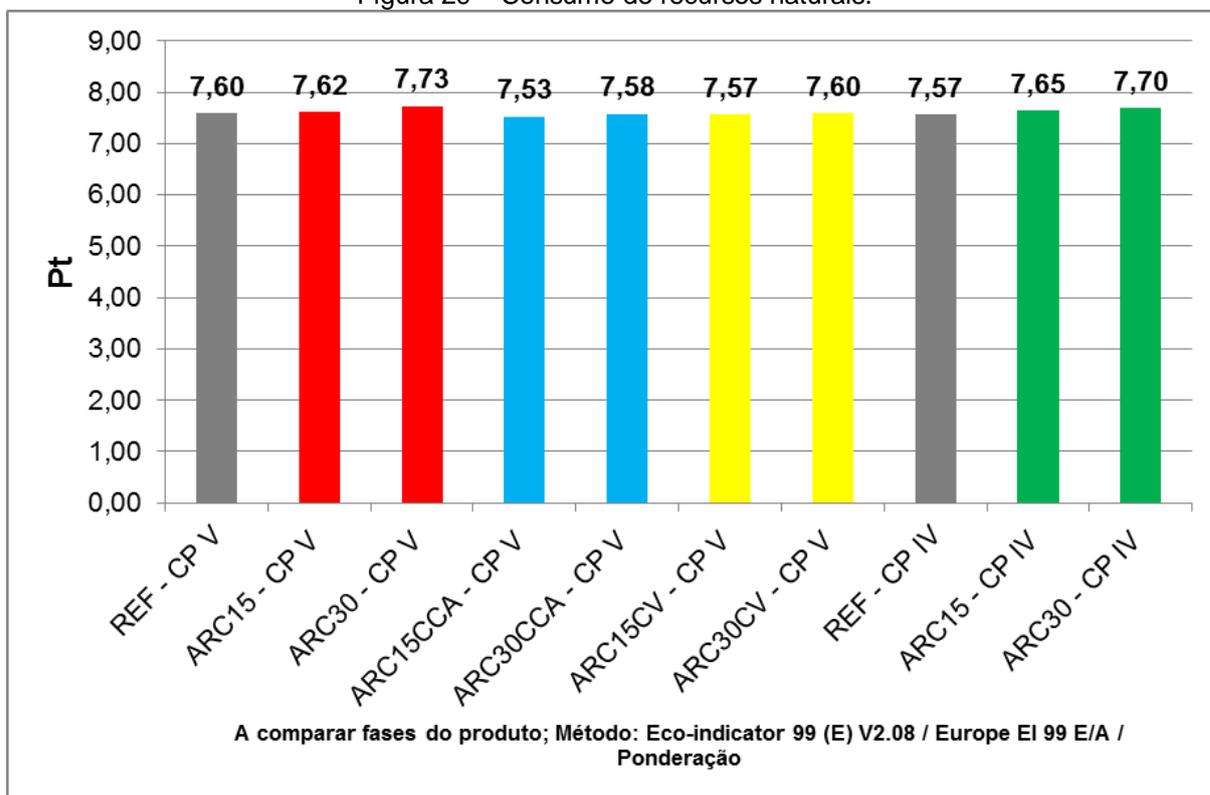
#### 4.5.2.2 Consumo de Recursos Naturais

Em relação aos impactos relacionados ao consumo de recursos naturais, tem-se na Figura 29 os resultados já apresentados anteriormente. Em pilares dimensionados com  $f_{ck} = 25\text{MPa}$ , a média de impacto foi de 7,65Pt, já em pilares com  $f_{ck} = 35\text{MPa}$ , a média de impacto foi de 7,58Pt, resultados relativamente

semelhantes. A respeito do tipo de cimento, verifica-se que quando utilizou-se cimento CP IV, a média de impacto foi de 7,64Pt, e com cimento CP V, desconsiderando os traços com pozolanas, foi de 7,65Pt.

Tratando-se do percentual de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, as misturas de referência (0%) obtiveram média de impacto de 7,58Pt, as misturas com 15% de substituição média de 7,59Pt e as misturas com 30% de substituição média de 7,65Pt. Em relação ao emprego de pozolanas, os pilares com utilização dos traços com CCA e CV obtiveram média de impacto de 7,57Pt, já para os demais pilares, em que utilizou-se traços sem pozolanas, a média de impacto foi de 7,64Pt.

Figura 29 – Consumo de recursos naturais.



Fonte: Adaptado do software SimaPro 8.5.2.2

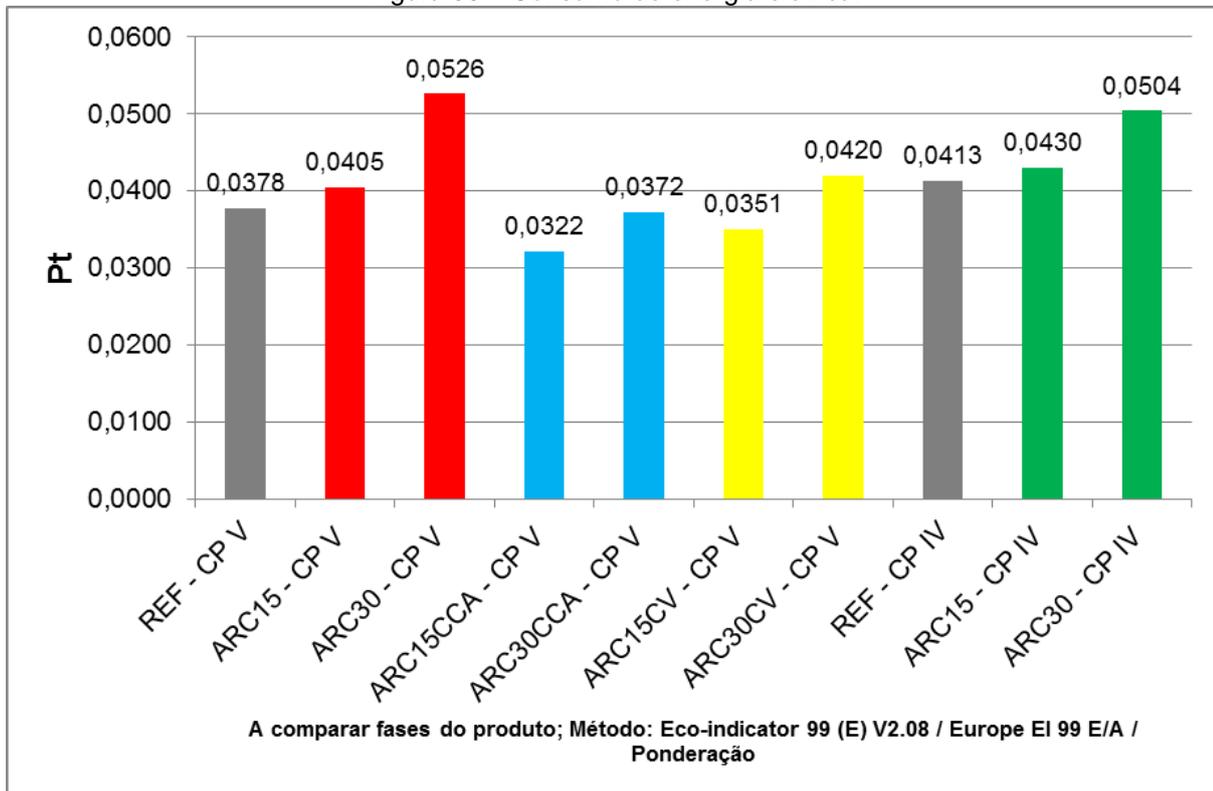
#### 4.5.2.3 Consumo de Energia Elétrica

Os impactos gerados devido ao consumo de energia elétrica estão apresentados na Figura 30. Percebe-se que o maior impacto resultou do pilar ARC30 –CP V, atingindo 0,0526Pt, seguido pelo pilar ARC30 – CP IV, que chegou a

0,0504Pt. Já o pilar com menor impacto foi o ARC15CCA – CP V, seguido pelo pilar ARC15CV – CP V, com 0,0322Pt e 0,0351Pt, respectivamente.

De maneira geral, verifica-se que os pilares com  $f_{ck} = 35\text{MPa}$  obtiveram impacto menor que os pilares com  $f_{ck} = 25\text{MPa}$ , sendo assim, a utilização de pozolanas foi favorável para a redução dos impactos nessa categoria, ao mesmo tempo que a utilização de ARC na composição dos traços foi prejudicial. Vale considerar que um Pt equivale a um milésimo da carga ambiental média anual de um cidadão europeu, logo, o consumo de energia de todo o ciclo de vida de um pilar de concreto armado, que inclui consumo de energia da betoneira (fase de construção) e do lava-jato (fase de uso), foi praticamente insignificante.

Figura 30 – Consumo de energia elétrica.



Fonte: Adaptado do software SimaPro 8.5.2.2

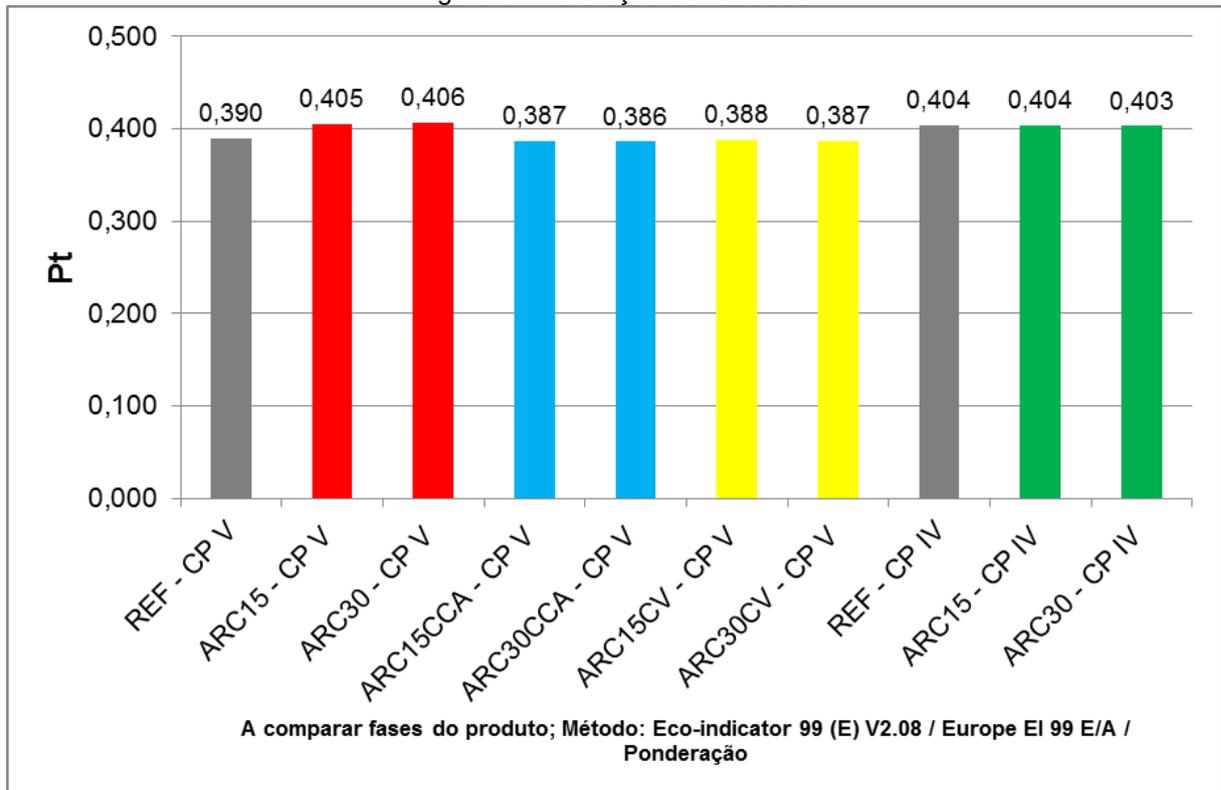
#### 4.5.2.4 Geração de Resíduos

A Figura 31 apresenta os resultados relativos à geração de resíduos. Percebe-se que os resultados de impacto dos diferentes pilares foram próximos quando comparados dentro dos seus respectivos grupos de  $f_{ck}$  (25MPa e 35MPa).

Os pilares com  $f_{ck}= 25\text{MPa}$  resultaram em uma média de 0,404Pt, já os com  $f_{ck}= 35\text{MPa}$  atingiram média de 0,388Pt, ou seja, apenas 4,12% a menos de impacto.

Quando comparou-se os diferentes percentuais utilizados de ARC, bem como, a utilização ou não de pozolanas, verifica-se que não existem diferenças significativas nos impactos dessa categoria. Ainda, nessa categoria o pilar com menor impacto foi o ARC30CCA – CP V, com 0,386Pt, enquanto o pilar ARC30 – CP V foi o com maior impacto, 0,406Pt.

Figura 31 – Geração de resíduos.



Fonte: Adaptado do software SimaPro 8.5.2.2

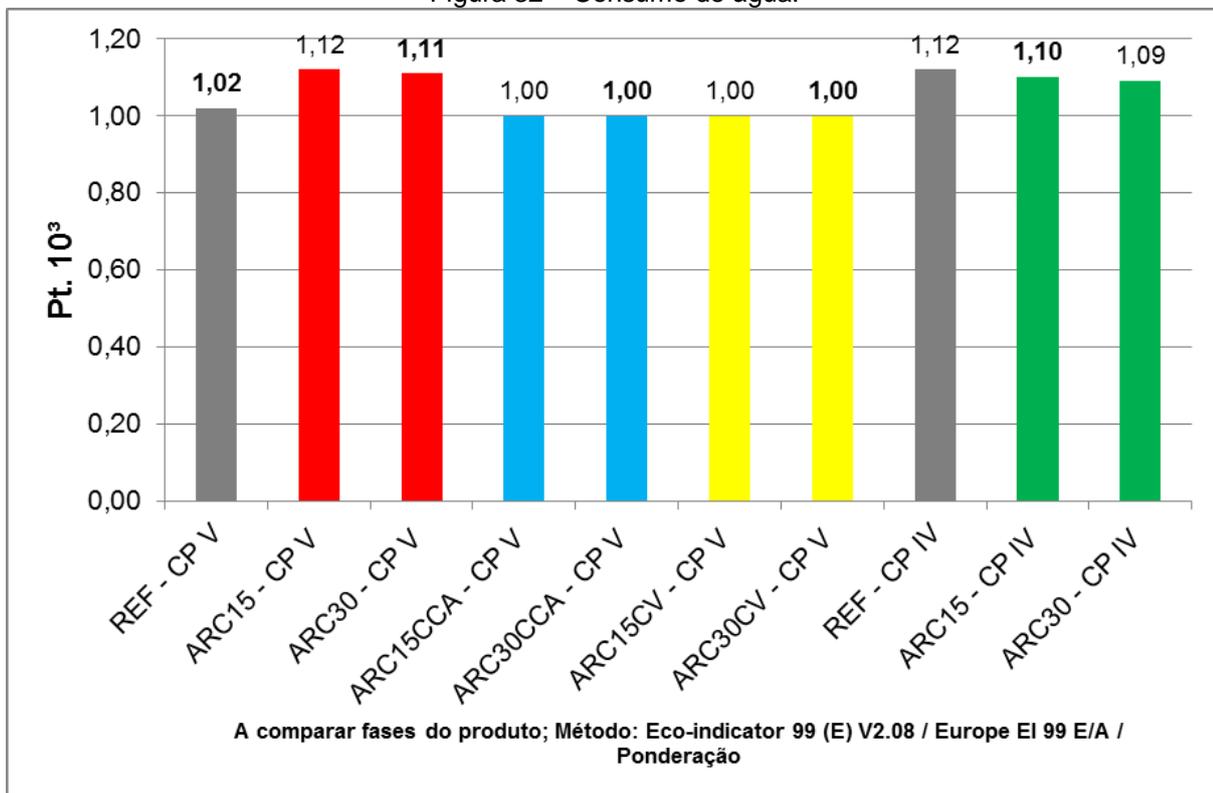
#### 4.5.2.5 Consumo de Água

A Figura 32 apresenta os impactos incidentes sob o consumo de água, notando-se que os mesmos tem pouca influência sobre os impactos totais ocasionados por cada uma das alternativas de pilares, a exemplo do item consumo de energia elétrica, em que os impactos foram praticamente insignificantes. Fica claro que os pilares dimensionados com  $f_{ck}$  menor tem mais impacto nesse quesito em relação aos pilares dimensionados com  $f_{ck}$  superior, sendo que a média de

impacto para  $f_{ck} = 25\text{MPa}$  foi de 0,00111Pt, enquanto para  $f_{ck} = 35\text{MPa}$  foi de 0,00100, ou seja, maior resistência obteve 9,91% menos impacto.

Verifica-se que, o consumo de água por metro cúbico para  $f_{ck} = 25\text{MPa}$  foi em média de  $172,73\text{Kg.m}^3$ , enquanto para  $35\text{MPa}$  foi em média de  $174,14\text{Kg.m}^3$ . Porém, os pilares dimensionados para  $25\text{MPa}$  tem dimensões maiores que os dimensionadas para  $35\text{MPa}$ , ou seja,  $0,25 \times 0,50 \times 2,75\text{m}$  ( $0,344\text{m}^3$ ) e  $0,25 \times 0,45 \times 2,75\text{m}$  ( $0,309\text{m}^3$ ), respectivamente, logo, o pilar de maior resistência acaba por utilizar menos água, e explica os impactos apresentados pelos mesmos. Salienta-se que não foi realizada lavagem em nenhum dos pilares, logo, esse fator não influenciou nos resultados desse quesito.

Figura 32 – Consumo de água.



Nota: Valores de 'Pt' multiplicados por '10³' para melhor entendimento do gráfico.

Fonte: Adaptado do software SimaPro 8.5.2.2

#### 4.5.2.6 Pegada de Carbono

Realizou-se o cálculo do gás carbônico equivalente ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ) de acordo com o descrito no capítulo três (metodologia). As substâncias relevantes para o cálculo (obtidas no inventário no programa SimaPro 8.5.2.2) foram multiplicadas pelos seus

respectivos fatores de relevância, e em seguida, fez-se o somatório ( $\Sigma$  substância.fator) para cada alternativa de pilar. Desses valores, foram reduzidos os valores de CO<sub>2</sub> absorvido pelo pilar ao longo da vida útil estimada provável, logo, o total de gás carbônico equivalente para cada pilar está listado na Tabela 34.

Tabela 34 – Gás carbônico equivalente (CO<sub>2eq</sub>).

| <b>PILAR</b>           | <b>CO<sub>2eq</sub><br/>(kg.pilar<sup>-1</sup>)</b> |
|------------------------|---|
| <b>REF - CP V</b>      | 384,63  |
| <b>ARC15 - CP V</b>    | 412,39  |
| <b>ARC30 - CP V</b>    | 535,61  |
| <b>ARC15CCA - CP V</b> | 328,11  |
| <b>ARC30CCA - CP V</b> | 378,91  |
| <b>ARC15CV - CP V</b>  | 357,29  |
| <b>ARC30CV - CP V</b>  | 428,00  |
| <b>REF - CP IV</b>     | 379,37  |
| <b>ARC15 - CP IV</b>   | 395,37  |
| <b>ARC30 - CP IV</b>   | 463,89  |

O pilar que obteve o maior gás carbônico equivalente foi o ARC30 – CP V, com 535,61kg.pilar, seguido pelo pilar ARC30 – CP IV, que resultou em 463,89kg.pilar. Esse resultado deve-se principalmente pelo maior consumo de cimento dos traços de concreto empregados nesses pilares, 412,01Kg.m<sup>3</sup> e 403,38Kg.m<sup>3</sup>, respectivamente, conseqüentemente as relações água/aglomerante também foram os dois mais baixos, ambos de 0,42. Explica-se essa condição, principalmente devido a diminuição da resistência ocasionada pela substituição do agregado graúdo pelo agregado reciclado proveniente de demolição de concreto.

#### 4.6 ANÁLISE UNITÁRIA DOS IMPACTOS INDIVIDUAIS

Assim como nos impactos totais calculou-se os impactos unitários, dividindo-os pela resistência à compressão axial (MPa) e pela vida útil (ano), multiplicando por 10<sup>4</sup>, valor este estabelecido para apresentar com maior clareza os resultados. Logo, com os impactos individuais fez-se o mesmo, sendo que os valores obtidos são apresentados na Tabela 35, onde tem-se também os índices em relação ao pilar adotado como referência geral (REF – CP V) de cada um dos impactos estudados.

Tabela 35 – Impactos unitários individuais e índices.

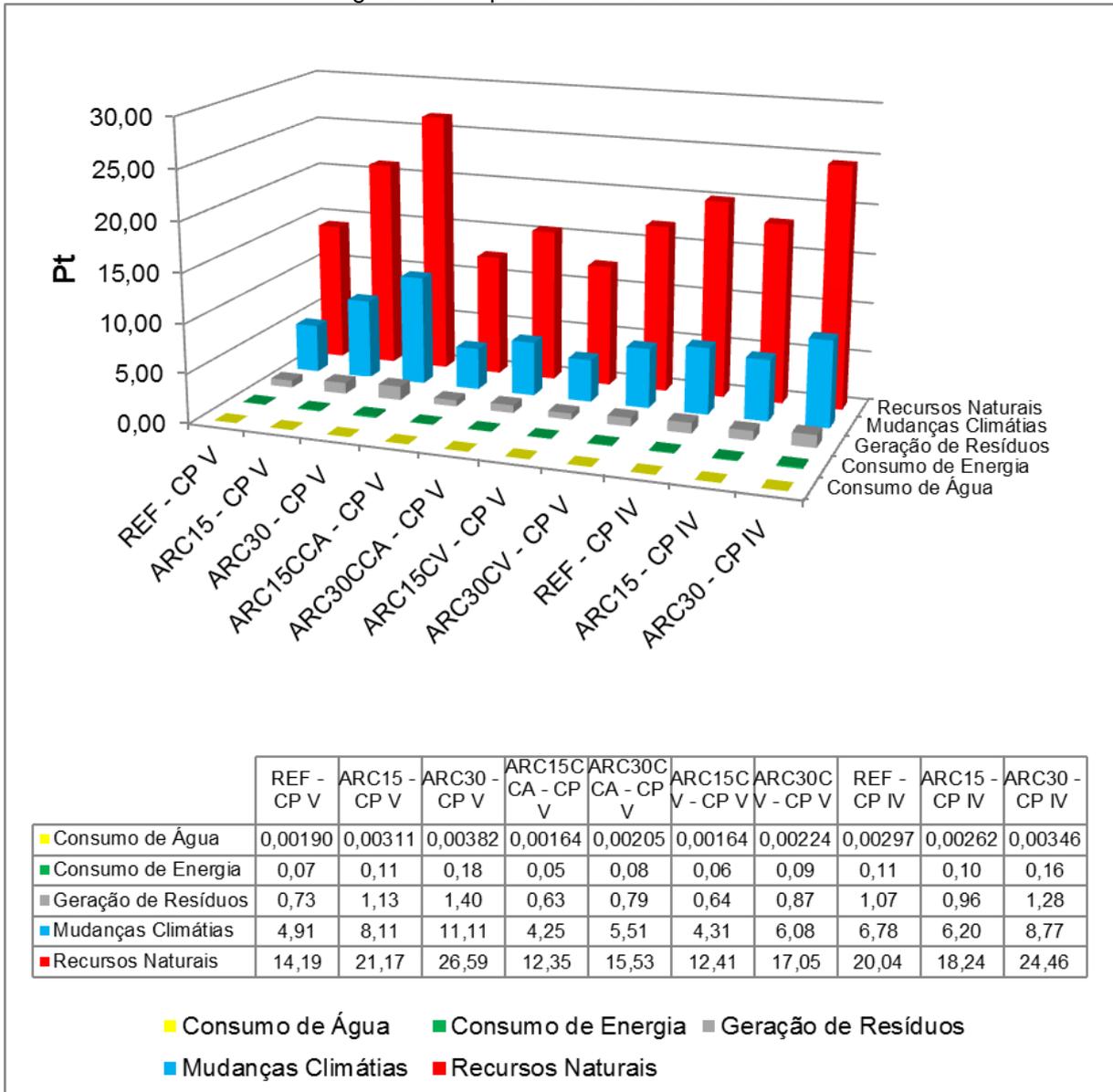
| Imp. Indiv. | REF CP V       | ARC15 CP V | ARC30 CP V | ARC15 CCA CP V | ARC30 CCA CP V | ARC15 CV CP V | ARC30 CV CP V | REF CP IV | ARC15 CP IV | ARC30 CP IV |
|-------------|----------------|------------|------------|----------------|----------------|---------------|---------------|-----------|-------------|-------------|
|             | <b>4,91</b>    | 8,11       | 11,11      | 4,25           | 5,51           | 4,31          | 6,08          | 6,78      | 6,20        | 8,77        |
| Índice      | <b>100,00</b>  | 165,26     | 226,24     | 86,53          | 112,22         | 87,84         | 123,82        | 138,05    | 126,27      | 178,58      |
|             | <b>14,19</b>   | 21,17      | 26,59      | 12,35          | 15,53          | 12,41         | 17,05         | 20,04     | 18,24       | 24,46       |
| Índice      | <b>100,00</b>  | 149,23     | 187,37     | 87,06          | 109,43         | 87,50         | 120,17        | 141,27    | 128,57      | 172,41      |
|             | <b>0,07</b>    | 0,11       | 0,18       | 0,05           | 0,08           | 0,06          | 0,09          | 0,11      | 0,10        | 0,16        |
| Índice      | <b>100,00</b>  | 159,47     | 256,34     | 74,85          | 107,97         | 81,57         | 133,52        | 154,96    | 145,30      | 226,90      |
|             | <b>0,73</b>    | 1,13       | 1,40       | 0,63           | 0,79           | 0,64          | 0,87          | 1,07      | 0,96        | 1,28        |
| Índice      | <b>100,00</b>  | 154,57     | 191,77     | 87,19          | 108,59         | 87,39         | 119,24        | 146,92    | 132,32      | 175,85      |
|             | <b>0,00190</b> | 0,00311    | 0,00382    | 0,00164        | 0,00205        | 0,00164       | 0,00224       | 0,00297   | 0,00262     | 0,00346     |
| Índice      | <b>100,00</b>  | 163,44     | 200,47     | 86,14          | 107,57         | 86,12         | 117,81        | 155,73    | 137,75      | 181,85      |
|             | <b>718,09</b>  | 1145,97    | 1842,08    | 538,24         | 776,15         | 585,96        | 960,22        | 1004,51   | 942,84      | 1473,81     |
| Índice      | <b>100,00</b>  | 159,59     | 256,52     | 74,95          | 108,08         | 81,60         | 133,72        | 139,89    | 131,30      | 205,24      |

Nota:

- Mudanças Climáticas – Un: Pt.MPa<sub>1</sub>.ano<sub>1</sub>.10<sup>4</sup>
- Recursos Naturais – Un: Pt.MPa<sub>1</sub>.ano<sub>1</sub>.10<sup>4</sup>
- Consumo de Energia – Un: Pt.MPa<sub>1</sub>.ano<sub>1</sub>.10<sup>4</sup>
- Geração de Resíduos – Un: Pt.MPa<sub>1</sub>.ano<sub>1</sub>.10<sup>4</sup>
- Consumo de Água – Un: Pt.MPa<sub>1</sub>.ano<sub>1</sub>.10<sup>4</sup>
- Pegada de Carbono – Un: CO<sub>2eq</sub>.MPa<sub>1</sub>.ano<sub>1</sub>.10<sup>4</sup>

A análise dos resultados por meio dos dados unitários de resistência e de vida útil são mais úteis e claros para avaliar a sustentabilidade de uma unidade funcional, porque melhor traduzem os impactos, sejam individuais ou totais sobre o meio ambiente. A Figura 33 reúne os resultados unitários dos cinco primeiros itens da Tabela 35: mudanças climáticas, recursos naturais, consumo de energia, geração de resíduos e consumo de água.

Figura 33 – Impactos individuais unitários.



Considerando-se somente os impactos individuais que possuem a mesma unidade,  $Pt.MPa.ano.10^4$ , observa-se a seguinte ordem decrescente: recursos naturais > mudanças climáticas > geração de resíduos > consumo de energia > consumo de água. Assim, os recursos naturais são os impactos individuais mais importantes, apresentando valores, em média, 2,76 vezes maiores do que o segundo, mudanças climáticas. Os três demais impactos, resíduos, consumo de energia e de água apresentam valores bem mais baixos.

Verifica-se que em todos os itens analisadas os piores desempenhos foram dos pilares com resistência característica de 25MPa, sendo que no item recursos naturais, que foi o de maior importância, o impacto individual com os maiores

valores, foi o pilar ARC30 – CP V, que apresentou valor unitário de 26,59Pt.MPa.ano.10<sup>4</sup>, enquanto o menor valor de impacto foi do pilar ARC15 – CP IV, com 18,24Pt.MPa.ano.10<sup>4</sup>. Em relação aos pilares dimensionados com  $f_{ck}=35\text{MPa}$ , o impacto individual com os maiores valores, foi o pilar ARC30CV – CP V, que apresentou valor unitário de 17,05Pt.MPa.ano.10<sup>4</sup>, enquanto o menor valor de impacto foi do pilar ARC15CCA – CP V, com 12,35Pt.MPa.ano.10<sup>4</sup>.

No que diz respeito à pegada do carbono  $\text{CO}_{2\text{eq}}$ , observa-se que o aumento do nível da resistência característica de 25 para 35MPa diminui em média aproximadamente de 44,16% a emissão unitária dos gases do efeito estufa, tendo em vista as maiores estimativas de vida útil dos traços com  $f_{ck}=35\text{MPa}$ . Os menores valores foram dos pilares ARC15CCA – CP V (538,24  $\text{CO}_{2\text{eq}}$ .MPa.ano.10<sub>4</sub>) e ARC15CV – CP V (585,96  $\text{CO}_{2\text{eq}}$ .MPa.ano.10<sub>4</sub>), ambas dimensionadas com concreto de resistência característica de 35MPa. Assim, fica claro que os pilares em que optou-se pela utilização de concretos com maior resistência característica apresentaram-se como escolhas ambientalmente mais adequadas.

#### 4.7 ANÁLISE GLOBAL: SUSTENTABILIDADE X FINANCEIRO

A fim de realizar a determinação da melhor opção de pilar estudada faz-se necessário reunir os dados de sustentabilidade e custo, obtidos através do software SimaPro 8.5.2.2 e orçamento de toda vida útil do pilar de concreto armado, em um único índice. Então, de acordo com Ha, Kwak e Lee (2006) a melhor maneira de integrar a ACV com a CCV é pela média geométrica entre custos e impactos totais. Os resultados de custo estão calculados utilizando à unidade Real (R\$), e os resultados de sustentabilidade à unidade Pt, portanto, os índices foram utilizados para realizar a média geométrica, tendo em vista que os mesmos são adimensionais. A média geométrica (MG) é dada através da raiz quadrada do produto do índice dos impactos unitários pelo índice do custo unitário (quanto menor a média melhor é o resultado), conforme apresentado na Tabela 36.

Tabela 36 – MG dos resultados unitários dos impactos totais e custo.

| Fck   | Pilar            | Índices dos Impactos unitários (Ia) | Índices do custo unitário (Ie) | MG = (Ia.Ie) <sup>0,5</sup> |
|-------|------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 25MPa | ARC15 - CP V     | 148,57                              | 142,62                         | 145,56                      |
|       | ARC30 - CP V     | 190,73                              | 150,82                         | 169,61                      |
|       | REF - CP IV      | 140,32                              | 142,62                         | 141,47                      |
|       | ARC15 - CP IV    | 126,69                              | 139,34                         | 132,86                      |
|       | ARC30 - CP IV    | 171,41                              | 147,54                         | 159,03                      |
|       | Média/ DP/ CV(%) | -                                   | -                              | 149,71/ 14,59/ 9,75         |
| 35MPa | REF - CP V       | <b>100</b>                          | <b>100,00</b>                  | <b>100,00</b>               |
|       | ARC15CCA - CP V  | 86,38                               | 96,72                          | 91,40                       |
|       | ARC30CCA - CP V  | 109,68                              | 101,64                         | 105,58                      |
|       | ARC15CV - CP V   | 87,66                               | 96,72                          | 92,08                       |
|       | ARC30CV - CP V   | 120,93                              | 103,28                         | 111,76                      |
|       | Média/ DP/ CV(%) | -                                   | -                              | 100,16/ 8,75/ 8,73          |

Verifica-se que as duas melhores alternativas de pilares apresentam valor da média geométrica semelhantes, que são os pilares ARC15CCA – CP V (91,40) e ARC15CV – CP V (92,08), ambos dimensionados com concreto de fck= 35MPa. As duas piores opções foram os pilares ARC30 – CP V (169,61) e ARC30 – CP IV (159,03), ambos dimensionados com concreto de fck= 25MPa. De maneira geral, a média dos pilares com fck= 25MPa foi de 149,71, com um coeficiente de variação de 9,75%, enquanto a média dos pilares com fck= 35MPa foi de 100,16, com um coeficiente de variação de 8,73%.

A fim de apresentar evidências mais concretas sobre os resultados da Média Geométrica, analisou-se o efeito isolado, independentemente de outros fatores, da relação entre as diferentes resistências características do concreto utilizado nos pilares,  $F_{ck}= 25\text{MPa}$  e  $F_{ck}= 35\text{MPa}$  associados a média geométrica dos distintos traços. A Tabela 37 apresenta a ANOVA relacionando as distintas resistências características do concreto utilizado com a média geométrica.

Tabela 37 – ANOVA relacionando fc28 e MG.

| Fonte da variação | SQ       | GL | MQ       | F        | Valor -P | F crítico |
|-------------------|----------|----|----------|----------|----------|-----------|
| 25MPa x 35MPa     | 6136,024 | 1  | 6136,024 | 42,39413 | 0,000186 | 5,317655  |

Sendo: SQ= soma quadrada, GL= grau de liberdade e MQ= média quadrada, F= valor calculado; valor-P = significância; F crítico= valor tabelado para nível de significância 0,05.

Verifica-se que como  $F > F_{crítico}$ , existem diferenças estatisticamente significativas comparando os resultados da média geométrica dos resultados unitários dos impactos totais e custo, tendo em vista as duas resistências características de 25MPa e 35MPa. Sendo assim, percebe-se que existem vantagens não somente econômicas, bem como, sustentável/ambiental na utilização de concretos com maiores resistências, conseqüentemente, peças de menor seção transversal, diminuindo a quantidade de concreto necessário. Ainda, pode-se observar a validade do teste através da verificação do valor de P, tendo em vista que o valor do erro foi fixado em 5% (0,05), e o valor obtido de P foi de 0,00186% (0,000186), indicando assim, que devemos aceitar a hipótese da existência de diferenças estatisticamente significativas das diferentes resistências.

Avaliando os dois tipos de cimento utilizados na pesquisa, nota-se que em média, o valor da média geométrica para os pilares que utilizaram cimento CP IV foi de 144,45, enquanto para os pilares em que utilizou-se cimento CP V a média foi de 116,57. Diferença que ocorre devido ao fator de que os três traços de concreto em que se utilizou o cimento CP IV foram dosados para  $f_{ck} = 25\text{MPa}$ , enquanto dos sete traços em que utilizou-se cimento CP V, apenas dois foram dosados para  $f_{ck} = 25\text{MPa}$ , e cinco para  $f_{ck} = 35\text{MPa}$ , salientando-se que desses cinco traços, em quatro ocorreu a utilização de pozolanas, nos quais a média foi de 100,21, evidenciando assim, a influência positiva da substituição parcial do cimento por cinza de casca de arroz e cinza volante.

Além do mais, quanto realizou-se a substituição parcial do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de concreto, verificou-se que a média para 15% de substituição foi de 115,48, para 30% de substituição foi de 136,49, enquanto nos pilares em que se utilizou traço de concreto sem substituição (0%) foi de 120,74. Evidencia-se assim, que as substituições de agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de concreto são benéficas quando realizadas num teor de no máximo 15%, e quando realizadas em teores de 30% ou mais passa a ser prejudicial, tanto do ponto de vista econômico como sustentável.

Por fim, nota-se que a escolha do tipo de cimento mostrou que a substituição parcial do agregado graúdo natural pelo ARC, em teores de no máximo 15%, é uma alternativa viável na relação ACV x CCV, desde que seja realizada em conjunto com a utilização do cimento CP V, em concretos dosados para resistência característica de no mínimo 35MPa. Salienta-se que os resultados e conclusões obtidos aqui são

restritas a esse estudo de caso, não podendo as mesmas ser generalizadas, tendo em vista que, não existe um padrão de qualidade para os resíduos utilizados nas demais localidades e estudos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram analisados os seguintes parâmetros: resistência à compressão axial e módulo de elasticidade longitudinal, em relação às propriedades mecânicas; e associado às propriedades de durabilidade, a penetração de íons cloreto por imersão. Foi verificado o efeito da utilização de dois tipos de cimento, CP IV e CP V-ARI, substituição parcial do agregado graúdo natural por percentuais de 15% e 30% de agregado graúdo reciclado proveniente de demolição de concreto, substituição parcial do cimento CP V-ARI por percentuais de 25% de cinza de casca de arroz e cinza volante, sendo que os traços de concretos foram dosados para duas resistências características distintas,  $f_{ck}=25\text{MPa}$  e  $f_{ck}=35\text{MPa}$ .

Percebe-se que o traço de referência com utilização do cimento CP V-ARI atingiu resistência média de  $40,17\text{MPa}$  utilizando relação  $a/ag$  de 0,54, e quando foi realizada a substituição do AGN por 15% e 30% de ARC, a média foi de  $30,59\text{MPa}$  e  $30,25\text{MPa}$ , com relações  $a/ag$  de 0,55 e 0,42, respectivamente. Com a utilização do cimento CP IV, o traço de referência atingiu média de resistência de  $30,32\text{MPa}$  utilizando relação  $a/ag$  de 0,53, enquanto que nos traços com substituição do AGN por 15% e 30% de ARC, a média foi de  $30,44\text{MPa}$  e  $30,23\text{MPa}$ , porém, com relações  $a/ag$  de 0,50 e 0,42, na devida ordem. De tal maneira, fica explícito que a utilização de ARC é prejudicial para a resistência à compressão, bem como, para o módulo de elasticidade longitudinal do concreto na medida em que se aumenta o percentual de substituição do AGN por ARC.

Também fica claro que em traços com a utilização de ARC, é possível sobrepujar a perda de resistência com o emprego de pozolanas, tendo em vista que, nos traços com 15% e 30% de ARC com substituição parcial do cimento por 25% de cinza de casca de arroz, a média de resistência foi de  $40,64\text{MPa}$  e  $40,25\text{MPa}$ , utilizando relação  $a/ag$  de 0,62 e 0,53, de modo respectivo, enquanto que nos traços com 15% e 30% de ARC com substituição parcial do cimento por 25% de cinza volante, a média de resistência foi de  $40,80\text{MPa}$  e  $39,89\text{MPa}$ , utilizando relação  $a/ag$  de 0,57 e 0,47, seguindo a sequência. Desse modo, fica evidente a contribuição da utilização de pozolanas nos concretos utilizados na pesquisa quanto à resistência a compressão, bem como, aos resultados de módulo de elasticidade longitudinal, comportamento que apesar de não ser proporcional, é semelhante para os resultados de ambas as propriedades, cada uma com sua grandeza de medição.

Quanto à durabilidade, especificamente a penetração de íons cloreto por imersão, foi verificado que os concretos em que se utilizaram traços com cimento CP V- ARI e substituição parcial do cimento por pozolanas obtiveram melhores resultados, sendo que os piores foram para os traços dosados com cimento CP IV, bem como, utilização de 30% de ARC, independente do tipo de cimento. Então, os melhores traços, em relação ao tempo estimado provável de vida útil foram os dosados com cimento CP V- ARI, 15% de ARC e 25% de pozolanas, cinza de casca de arroz e cinza volante, respectivamente, salientando que todos os pilares necessitaram de pintura para atingir a vida útil mínima normativa.

Quando se analisou o Custo do Ciclo de Vida (CCV), por meio do custo unitário das distintas alternativas de pilares, é perceptivo que os pilares agruparam-se pela sua resistência,  $f_{ck}=25\text{MPa}$  e  $f_{ck}=35\text{MPa}$ , que obtiveram média do custo unitário de  $0,88\text{R}\$.\text{MPa.ano}$  e  $0,61\text{R}\$.\text{MPa.ano}$ , respectivamente, deixando claro que maiores resistências também são favoráveis em termos de custos ao longo da vida útil da estrutura estudada. Desse modo, novamente a utilização de cimento CP V- ARI, combinado com pozolanas, foi favorável, enquanto o cimento CP IV, e a utilização de ARC foram prejudiciais, pois, condicionaram a dosagem de concretos para menores resistências, e conseqüentemente, menor vida útil.

Na verificação de sustentabilidade foi efetuada a Análise do Ciclo de Vida (ACV) completa da unidade funcional, ou seja, do berço ao túmulo, dessa maneira, foram analisadas as dez alternativas de pilares, e conseqüentemente de concretos utilizados nessa pesquisa. É notório que para todas as classes de impactos analisadas, de maneira geral, as alternativas de pilares dimensionadas com  $f_{ck}=35\text{MPa}$  obtiveram resultados ligeiramente melhores que os pilares dimensionados com  $f_{ck}=25\text{MPa}$ , tal como, a inclusão de ARC nas misturas é prejudicial, pois, causou a diminuição da resistência do concreto, necessitando assim, emprego de menos água para se atingir resistências semelhantes, conseqüentemente com maior consumo de cimento por metro cúbico de concreto, o que nos indica grande influência da quantidade utilizada de cimento nas misturas no que diz respeito aos impactos no meio ambiente em que vivemos. Logo, a utilização de pozolanas foi favorável nos resultados dos impactos causados, tendo em vista que, propiciou a diminuição da utilização de cimento nas misturas, além de melhorias nas propriedades mecânicas e durabilidade dos concretos, permitindo a dosagem dos mesmos para maiores resistências. Além do mais, ao analisar os impactos unitários

individuais, os mais influenciados foram os recursos naturais e as mudanças climáticas, enquanto os impactos de geração de resíduos, consumo de água e energia obtiveram resultados bem menos significantes.

Por fim, com o objetivo de determinar a melhor alternativa de pilar em relação à sustentabilidade e ao custo (ACV e CCV), realizou-se a integração dos resultados por meio da média geométrica, concluindo assim que, a melhor alternativa foi o pilar dimensionado com a utilização de concreto dosado para  $f_{ck}=35\text{MPa}$ , utilizando no traço cimento CP V- ARI, substituição parcial do AGN por 15% de ARC e substituição parcial do cimento por 15% de CCA, que apresentou média geométrica 8,60% menor que o traço definido como referência (100%). Generalizando, a utilização da substituição do AGN por ARC em teores de no máximo 15% é uma alternativa viável do ponto de vista sustentável/ econômico, mediante ao emprego em conjunto com o cimento CP V- ARI e de pozolanas, em concretos dosados para resistência característica de no mínimo 35MPa.

## REFERENCIAS

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Relatório de ensaios de caracterização do cimento**. São Paulo, SP, 2015.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5733 – Cimento Portland de alta resistência inicial**. São Paulo; ABNT, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004a.

\_\_\_\_\_. **NBR 11579 - Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. São Paulo; ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 11768 – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos**. São Paulo; ABNT, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 12653 – Materiais pozolânicos – especificação**. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655 – Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655 – Concreto de cimento Portland. Preparo, controle e recebimento. Procedimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 15116 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1 – edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais**. Rio de Janeiro; ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739 – Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto armado - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211 – Agregados para concreto**. São Paulo; ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. São Paulo; ABNT, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 7809 – Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – método de ensaio**. São Paulo; ABNT, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522 – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade a compressão.** Rio de Janeiro, ABNT, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 9781 – Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14001 - Sistemas de Gestão Ambiental – Especificações e Diretrizes para Uso.** Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14040. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14044 – Gestão ambiental – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.** São Paulo; ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 30 – Agregado miúdo – Determinação da absorção de água.** São Paulo; ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 43 – Cimento Portland– Determinação da pasta de consistência normal.** São Paulo; ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** São Paulo; ABNT, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão “Los Angeles”.** São Paulo; ABNT, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.** São Paulo; ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53 – Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção.** São Paulo; ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 65 – Cimento Portland – Determinação do tempo de pega.** São Paulo; ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica.** São Paulo, ABNT, 2003.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014.** 2015.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil.** Série Sustentabilidade, volume 5. São Paulo: Blücher, 2011.

ALMEIDA, I. R. **Concretos de Alto Desempenho**. In: Concreto: Ensino, pesquisa e realizações/ ed. ISAIA, G. C. 1ª edição. São Paulo: IBRACON, 2005.

ALTOQI. Site da empresa. Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: 14 out. 2016.

AMADEI, D. I. B. et al. **A questão dos resíduos de construção civil: um breve estado da arte**. Revista NUPEM, v. 3, n. 5, p.185-199, 2011.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Manual of Concrete Practice**. Use of Fly Ash in Concrete: ACI 232.2R, Farmington Hills, 1996.

ANDRADE, C. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. Tradução e adaptação: Antonio Carmona e Paulo Helene. São Paulo: PINI, 1992.

ANGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005, 167 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

ANTIOHOS, S. K., PAPADAKIS, V. G., CHANIOTAKIS, E., TSIMAS, S. **Improving the performance of ternary blended cements by mixing different types of fly ashes**. Cement and Concrete Research. v. 37, p. 877-885, 2007.

ASTM C 618 – Standard Specification for Fly ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. Philadelphia, 1978.

AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S.; **Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável**. Eng. Sanit. Ambient. 2006, 11, 65-72.

BACCI, C.; LANDIM, P.; ESTON, S. M. **Aspectos e impactos ambientais de pedra em área urbana**. Revista Escola de Minas. v. 59, n. 1. Ouro Preto, 2006. p. 47-54.

BAPTISTA JUNIOR; J. V., ROMANEL, C. **Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras**. Rev. Bras. Gest. Urbana , 2013, vol.5, n.2, pp.27-37. ISSN 2175-3369.

BEZERRA, I. M. T. **Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB, 2010.

BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307**, 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. 2002.

BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 348**, 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA no 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. 2004.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 02 de agosto de 2010, que institui a política nacional de resíduos sólidos. 2010.

BRITO, J.; ALVES, F. **Concrete with recycled aggregates: the portuguese experimental research**. Materials and Structures. Abr. 2010.

BROWN, M. T. **Caracterização Petrológica e Química dos Carvões utilizados em Usinas Termelétricas Brasileiras e as Cinzas Geradas no processo de Combustão**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BUEST NETO, T. G. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**. Dissertação de Mestrado. UFPR. Curitiba. 2006.

BUTTNER, A. M. **Concreto com Agregados Graúdos Reciclados de Concreto – Influência da Idade de Reciclagem nas Propriedades dos Agregados e Concretos Reciclados**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos. 2003.

BUTTNER, A. M.; CORRÊA, M. R. S. **Desenvolvimento de unidades de alvenaria estrutural produzidas com agregados reciclados de concreto**. Cadernos de Engenharia de Estrutura, São Carlos, v.8, n.32, p. 9-12, 2006.

BUYLE, M.; BAET, J.; AUDENAERT, A. **Life cycle assessment in the construction sector: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 26, p. 379-388, 2013.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 248p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos - Doutor em ciências da Engenharia Ambiental. Universidade de São Paulo, 2007.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, CBIC. **Guia orientativo para atendimento a norma ABNT NBR 15575/2013**. 2013.

CAMPOS, Felipe Henrique Azevedo. **Análise do Ciclo de Vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais UFMG, Belo Horizonte, MG, 2012.

CARNEIRO, A. P.; BURGOS, P. C.; ALBERTE, E. P. V. **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA / Caixa Econômica Federal, 2001. p.190-227.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras de concreto: Inspeção e técnicas eletroquímicas**. São Paulo: Pini, 1997.

CEMBUREAU. THE EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION. **The role of cement in the 2050 low carbon economy**. 2013. Pg.27-64

CENTER OF MATERIALS AND BUILDING TECHNOLOGIES. **2007-2009: Preliminary study of alkali-activated fly ash generated from an electrical power plant in Rio Grande do Sul, Brazil**. Covilhã, 2013. Disponível em: <<https://cmadeubi.wordpress.com/2013/05/15/2009-2010-preliminary-study-of-alkali-activated-fly-ash-generated-from-an-electrical-power-plant-in-rio-grande-do-sul-brazil>>. Acesso em: 20 ago 2016.

CERVO, T. C. **Influência da finura e do teor de pozzolana na penetração de cloretos e na solução aquosa dos poros do concreto**. Santa Maria, RS: UFSM, 2002.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

CHERUBINI, E.; RIBEIRO, P. T. **Diálogos setoriais Brasil e União Europeia: desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil**. Brasília: IBICT, 2015.

COLLINS, F. **Inclusion of carbonation during the life cycle of built and recycled concrete: influence on their carbon footprint**. The International Journal of Life Cycle Assessment, v. 15, n. 6, 2010.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Projeto ACV-m: Avaliação do Ciclo de Vida Modular. Disponível em: <http://www.acv.net.br/website/acvs/show.asp?ppgCode=B7EEA3A3-747A-457B-8210-EC73F949FB82>. Acesso em 30 de junho de 2014.

COPLE, D. G. **Um framework para análise de custo de ciclo de vida baseado em reuso e interoperabilidade**. Tese (Doutorado). Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2010.

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições Minerais, Concreto Ciência e Tecnologia**. Vol. 1, Cap. 8. São Paulo. 2011.

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições minerais para concreto estrutural. Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 1 (2005). pp.345-380.

DAVE, N., MISRA, A. K., SRIVASTAVA, A., KAUSNIK, S. K. **Experimental analysis of strength and durability properties of quaternary cement binder and mortars**. Construction and Building Materials, v. 107, p. 117-124, 2016.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks**. Canada: New Society, 1999.

ERHART, R.; SCHAFER, M.; SOUZA, R.; KRAS, J.; MANCIO, M.; KULAKOWSKI, M. **Influência da cinza de casca de arroz na resistência e na absorção de água de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto.**

Anais do 56º IBRACON – Congresso Brasileiro de Concreto. Natal/RN. Outubro, 2014.

ETXEBERRIA, M. et al. **Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete.** Cement and Concrete Research. n. 37, p. 735 – 742. February 2007.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. **Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates.** Cement & Concrete Composites, 2007, v. 29. p. 397-401.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. de. **Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates.** Cement & Concrete Composites, v. 32, p. 9-14, 2010.

FERREIRA, Â. A.; SILVEIRA, A. A.; DAL MOLIN, D.C.C. **A cinza da casca de arroz: Possibilidade de utilização como insumo na produção de materiais de construção.** 1997. I ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS. Canela, RS.

FERREIRA, L.; BRITO, J. de; BARRA, M. **Influence of the Pre-Saturation of Recycled Coarse Concrete Aggregates on Concrete Properties.** Magazine of Concrete Research, v. 63, n. 8, p. 617-627, 2011.

FIGUEIREDO, E. J. P.; HELENE, P.; ANDRADE, C. **Fatores determinantes da iniciação e propagação da corrosão da armadura do concreto.** Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico BT/PCC/121, 31p, 1993.

FIGUEIREDO, E. J. P.; MEIRA, G. R. **Corrosão das Armaduras de Concreto.** In: ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, IBRACON, v. 1, p. 903-931, 2011.

FOLETTTO, E. L. et. al. **Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz.** Departamento de Engenharia Química, UFSM – RS. Quim. Nova, V. 28 Nº 6, 2005, 1055-1060 pp.

FONSECA, N.; BRITO, J.; EVANGELISTA, L. **The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with recycled concrete waste.** Cement & Concrete Composites, 2011, v. 33. p. 637-643.

FORTES, L.R.; ANDRADE, J.C. **Corrosão na armadura do concreto armado: influência dos agentes cloretos e da carbonatação,** 2001.

FURQUIM, P. R. V. **Estudo estatístico da produção de concretos com adições minerais**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2006.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; BOUER, E. **Ecologia Industrial - Ferramentas**. 2014. Disponível:  
<[http://www.universoambiental.com.br/novo/artigos\\_ler.php?canal=10&canallocal=1&canalsub2=95&id=191](http://www.universoambiental.com.br/novo/artigos_ler.php?canal=10&canallocal=1&canalsub2=95&id=191)>. Acesso em: 27 de set. 2016.

GOEDKOOP M.; HEIJUNGS R.; HUIJBREGTS M.; SCHRYVER A. D.; STRUIJS J.; VAN ZELM R. **Recipe: a life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level**. 2009. Netherlands, Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment.

GÓMEZ-SOBERÓN, José M. V. **Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate - An experimental study**. Cement and Concrete Research, [S.l.], n. 32, p. 1301-1311, 2002.

GUERRA, J. S.; GUSMÃO, A. D.; SUKAR, S. F.; SIQUEIRA, M. S.; **Avaliação da Gestão de Resíduos de Construção de Edifícios na Cidade do Recife**. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC. Fortaleza, 2008.

GUOGUO, L. **Integration of LCA and LCC for decision making in sustainable building industry**. Chalmers University of Technology. 2009. 35 p.

HA, J.; KWAK, D. K.; LEE, T. S. **Integrated economical-environmental decision-making on wastewater treatment plant construction project**. In: US-Korea Conference on Science, Technology and Entrepreneurship, Teaneck, NJ. 2006. Proceedings. Vienna (VA): Korean- American Scientist and Engineers Association, 2006. (Paper, CET-3.6).

HANSEN, T.C. **Recycled of demolished concrete and masonry**. London: Chapman & Hall, 1992. 316p. p. 1-160.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 231f. Teses (Livre Docência em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1993.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo, 1992.

HUI-SHENG, S.; BI-WAN, X.; XIAO-CHEN, Z. **Influence of mineral admixtures on compressive strength, gas permeability and carbonation of high performance concrete**. Construction and Building Materials, vol. 23, p. 1980 – 1985, 2009.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2013**. Instituto Aço Brasil, 2013. 49 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO E CIÊNCIA E TECNOLOGIA, IBICT. **Cartilha Desenvolvimento sustentável e avaliação do ciclo de vida**. Brasília, 2014. 33p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações Sobre a Economia Mineral Brasileira 2015**. 7ª edição. IBRAM. 2012.

IPCC - INTERGOVERNMENT PANEL ON CLIMATE CHANGE. Fourth Assessment Report – Global Warming Potentials (GWP) relative to CO<sub>2</sub>. 2007b.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: Mitigation of Climate Change**. IPCC, 2014. Disponível em <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_full.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf)>. Acesso em: 08 de ago. 2016.

IRGA. Instituto Riograndense do Arroz. **Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária**, 2 jul. 2012. Disponível em: <[www.fepagro.rs.gov.br/.../20120702100451revista\\_pag\\_v17\\_n1\\_on](http://www.fepagro.rs.gov.br/.../20120702100451revista_pag_v17_n1_on)>. Acesso em: 15 set. 2016

ISAIA, G. C. **A água no Concreto**. In: ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo, IBRACON, v. 1, p. 311-346, 2011.

ISAIA, G. C. **Efeitos de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de alto desempenho: um estudo de durabilidade com vistas a corrosão da armadura**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. São Paulo: EPUSP, 1995.

ISAIA, G. C. **Projeto de pesquisa: Influência da nano/microestrutura de concretos com adições minerais e/ou resíduos no desempenho estrutural sob o enfoque da sustentabilidade por ACV e CCV**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

ISAIA, G. C. **Synergic action of fly ash in ternary mixtures with microsilica and rice husk ash - strength aspects**. In: 10th International Congress on the Chemistry of Cement, 1997, Gothenburg, Sweden. Proceedings. Göteborg: Amarkai AB, 1997. v.3. p.110 –115.

ISAIA, G. C.; FURQUIM, P.; GASTALDINI, A. L. G. **Análise estatística de variáveis influentes na microestrutura e durabilidade de concretos com adições minerais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 07-23, jan./mar. 2009.

ISAIA, G.C; GASTALDINI, A.L. G; MORAES, R. **Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strenght of hig-performance concrete**. Cement and Concrete Composites. N.25. Pp.69-76, 2003.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2v.

KAZMIERCZAK, C. S.; HELENE, P. **Determinação da eficiência de películas usadas como proteção contra carbonatação.** Boletim Técnico – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 20p., 1995.

LAGERBLAD, B. **Carbon dioxide uptake during concrete life cycle–State of the art.** Swedish Cement and Concrete Research Institute – CBI, 2006.

LAMBERTI, L. A. **Análise do ciclo de vida e de custo de pilar com diferentes traços de concreto frente a carbonatação:** do berço ao túmulo. 2015. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

LEITE, M. B. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 270p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

LHAMBY, A. R.; SENNA, A. J. T.; CANES, S. E.. **A prática da gestão ambiental agroindustrial: um estudo de caso em uma agroindústria que produz energia elétrica a partir da casca do arroz.** I Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2010.

LI, J; XIAO, H.; ZHOU, Y. **Influence of coating recycled aggregate surface with pozzolanic powder on properties of recycled aggregate concrete.** Construction and Building Materials, v. 23, p. 1287–1291, 2009.

LIMA, J. A. R. de, **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

LIMA, M. B. **Avaliação da capacidade de proteção contra a corrosão da armadura induzida por cloretos de concretos com adições minerais e inibidores de corrosão.** 2009. 221f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

LOVATO, P. S. **Verificação dos parâmetros de controle de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para utilização em concreto.** 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MACHADO, G. B. **A reciclagem.** Portal resíduos sólidos. 2013. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/a-reciclagem/>>. Acesso em: 15 set. 2016.

MARINKOVIC, A.S.; RADONJANIN, B.V; MALESEV, B.M.; IGNJATOVIC,A.I. **Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete.** Waste Management journal. University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department for Civil Engineering, 2010.

MEDEIROS, M. H. F. de. ANDRADE, J. J. de O.; HELENE, P..Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo, IBRACON, v. 1, p. 773-808, 2011.

MEDEIROS, M. H. F., HELENE, PAULO. **Migração de íons cloreto no concreto – Influência da consistência, relação água/cimento e consumo de cimento**. Revista IBRACON, SãoPaulo, ano XI, n. 32, 53 -65 p., Fev/Mar/Abr 2003.

MEDINA, C.; FRÍAS, M.; M. I. SÁNCHEZ DE ROJAS. **Microstructure and properties of recycled concretes using ceramic sanitary ware industry waste as coarse aggregate**. Construction and Building Materials, v. 31, p. 112–118, 2012.

MEHTA, K. **Reducing the environmental impact of concrete**. *Concrete International*, 2001. Vol.pp.61-66.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Concreto, 2014.

MOTA, J. M. F; PONTES, R. B; CANDEIAS NETO, J. A; OLIVEIRA, M. F; ALMEIDA, H. T; CARNEIRO, A. M. P. **Análise das Patologias em Estruturas de Concreto na Zona Litorânea da Cidade do Recife – PE**. X Congresso Latino-americano de Patologia – CONPAT. Valparaiso – Chile. 2009.

NETO, S. C. **Agregados Naturais, Britados e Artificiais para Concreto, Concreto Ciência e Tecnologia**. Vol 1, cap 7. São Paulo. 2011.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NIELSEN, C. V. **Carbon footprint of concrete buildings seen in the life cycle perspective**. Proceedings of NRMCA, Concrete Technology Forum, 2008.

NORRIS, G.A. Integrating Life Cycle Cost Analysis and LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. North Berwick, v.6, n.2, p 118-120, mar. 2001.

OLIVEIRA, André Silva. **Análise ambiental da viabilidade de seleção de produtos da construção civil através da ACV e do software BEES 3.0**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

OLORUNSOGO, F. T.; PADAYACHEE, N. **Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes**. Cement and Concrete Research, v. 32, p. 179–185, 2002.

OMETTO, A. R. **Aula 6: Avaliação do Ciclo de Vida**. Curso: Princípios de sustentabilidade e tecnologias portadoras de inovação. Veduca Cursos. Disponível em: <<http://www.veduca.com.br/assistir/principios-de-sustentabilidade-e-tecnologias-portadoras-de-inovacao>>. Acesso em: 23 out. 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, ONU. **Perspectivas da população mundial: revisão de 2015**. 2016.

OTSUKI, N.; NAGATAKI, S.; NAKASHITA, K. **Evaluation of AgNO<sub>3</sub> solution spray Method for measurement of chloride penetration into hardener cementitious matrix materials.** ACI Materials Journal, v. 89, no 6, 1992.

OZALP, F.; YILMAZ, H. D.; KARA, M.; KAYA, O.; SAHIN, A. **Effects of recycled aggregates from construction and demolition wastes on mechanical and permeability properties of paving stone, kerb and concrete pipes.** *Construction and Building Materials*. 2016, Vol. 110, pp. 17-23.

PADE, C.; GUIMARAES, M. **The CO<sub>2</sub> uptake of concrete in a 100 years perspective.** *Cement and Concrete Research*, v. 37, n. 9, p. 1348-1356, 2007.

PADMINI, A. K.; RAMAMURTHY, K.; MATHEWS, M. S. **Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete.** *Construction and Building Materials*, vol. 23, p. 829 – 836, 2009.

PADOVAN, R. G. **Influência da pré-molhagem nas propriedades de concretos produzidos com agregados reciclados de concreto.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

PEREIRA, Eduardo; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; LEVY, Salomon Mony. **Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica.** *Ambiente Construído*, jul./set. 2012.

PIRES, M. **Caracterização do carvão de Candiota e de suas cinzas visando a avaliação do impacto ambiental e a síntese de zeólitas - relatório final.**

Barcelona: FAPERGS, 2002. 53 p. QUARTZO. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/silicatos/tectossilicatos/quartzo.html>>. Acesso em: 24 out 2016.

POLDER, R.B.; PEELLEN, W.H.A. **Characterization of chloride transport and reinforcement corrosion in concrete under cyclic wetting and drying by electrical resistivity.** *Cement & Concrete Composites*. v. 24, p. 247- 435, 2002.

POLETTI, C. **A exploração de pedreiras na região metropolitana de São Paulo no contexto do planejamento e gestão d território.** Tese (Doutorado).

Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. São Paulo, 2006.

POON, C. S; QIAO, X. C; CHAN, D. **Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base.** *Construction and Building Materials*, no 20, p. 578–585, 2006.

POSSAN, E., DEMOLINER, C. A. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral.** *Revista Técnico Científica*, 2013.

POSSAN, E.; FOGAÇA, J. C.; PAZUCH, C. M. **Sequestro de CO<sub>2</sub> devido à carbonatação do Concreto: potencialidades da barragem de Itaipu.** *REA – Revista de estudos ambientais (Online)* v. 14, n. 2esp, p. 28-38, 2012.

POUEY, M. T. F.. **Beneficiamento da casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. 345 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal d Rio Grande do Sul, 2006.

PRONTOMIX. **Blocos de concreto para pavimentação intertravada**. Disponível em: <[http://www.prantomix.com.br/site/produtos\\_blocos\\_pavimentacao](http://www.prantomix.com.br/site/produtos_blocos_pavimentacao)>. Acesso em: 15 out. 2016.

RAO, A.; JHA, K.N.; MISRA, S. **Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete**. Resources, Conservation & Recycling. V. 50, p.71-81, 2007.

RASHWAN, M. S.; ABOURIZK, S. **The properties of recycled concrete**. Concrete International, v.19, n.7, p.56-60, 1997.

REAL, S. A. C. F. **Contributo da análise dos custos do ciclo de vida para projectar a sustentabilidade na construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2010.

REBMANN, M. S. **Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento Portland e alta resistência**. 2011. Mestrado em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo – São Carlos, SP. 2011.

ROCHA JUNIOR, C. A. F. 2011. **Caracterização física, química e mineralógica de cinza leve de caldeira e sua utilização na síntese de zeólitas e aplicação do material zeolítico na adsorção de Cu+2 e Cd+2**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

ROHDE, G.M.; ZWONOK, O.; CHIES, F.; SILVA, N. I. W.. **Cinzas de Carvão Fóssil no Brasil. Aspectos técnicos e Ambientais**. V.I., CIENTEC, Porto Alegre. 2006.

ROSKOVIC R.; BJEGOVIC, D. Role of mineral additions in reducing CO2 emission. **Cement and Concrete Research**, n. 35, p. 974-978, 2005.

RYU, J. S. (2002). **An Experimental Study on the Effect of Recycled Aggregate on Concrete Properties**. *Magazine of Concrete Research*, v.54, n.1, p.7-12, February.

SAADE, M. R. M.; SILVA, M. G.; GOMES V. **A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, e a etapa de avaliação de impactos ambientais: considerações sobre o uso de diferentes métodos e seus reflexos nos resultados finais**. Natureza on line 12 (3): pg. 109-116. ISSN 1806–7409

SAEED, A; HAMMONS, M. I.; REED, J. L. **Comprehensive Evaluation, Design, and Construction Techniques for Airfield Recycled Concrete Aggregate as Unbound Base**. In: Transportation Research Board 86th Annual Meeting, Washington DC, United States, 2007. 16p.

SAFIUDDIN, M. et al. Properties of High-Workability Concrete with Recycled Concrete Aggregate. **Materials Research**, n. 14, v. 2, p. 248-255, 2011.

SAGOE-CRENTSIL, K. K; BROWN, T.; TAYLOR, A. H. **Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate**. Cement and Concrete Research, v. 31, n.5, p. 707-712, 2001.

SAMI, W. T.; AKMAL, S. A. **Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete**. Construction and Building Materials. v. 23, p. 1163–1167, 2009.

SANTOS, L. J. C. **Avaliação do ciclo de vida e custeio do ciclo de vida de evaporadores para usinas de açúcar**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

SCHNEIDER, J. A. **Penetração de cloretos em concretos com escoria de alto forno e ativador químico submetidos a diferentes períodos de cura**. 2005. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

SCHAFER, M.; ERHART, R.; SOUZA, R.; JORDANI, B.; MANCIO, M.; KULAKOWSKI, M. **Influência da cinza volante e da cinza de casca de arroz na resistência e na absorção de água de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto**. Anais do 56º IBRACON – Congresso Brasileiro de Concreto. Natal/RN. Outubro, 2014.

SEIDLER, Nelson. **Efeito de adições pozolânicas na alcalinidade e consumo de hidróxido de cálcio durante a hidratação e carbonatação de materiais cimentícios**. 1999. 139 f. (Mestrado em Engenharia)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

SEO, E. S. M.; KULAY, L. A. **Avaliação do ciclo de vida: ferramenta para tomada de decisão**. Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente – v.1, n.1, Art. 4, 2006.

SILVA, A. O. **Estudo comparativo do ciclo de vida e de custo de pilar com diferentes traços de concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

SNIC. SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório anual 2014**. 2015.

SOBERÓN, J. M. V. G. **Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate - An experimental study**. Cement and Concrete Research, v.32, p. 1301 -1311, 2002.

TALBOT, M. **A synthetic sisterhood: False friends in a teenage magazine**. In: K. HALL, K.; BUCHOLTZ, M. Gender Articulated. London: Routledge, 1995.

TAM, V. W. Y. e TAM, C. M. **A review on the viable technology for construction waste recycling.** Resources, Conservation and Recycling. 2006, Vol. 47, pp. 209-221.

TCPO. **Tabela de Composição de Preços para Orçamento.** 13 edição. São Paulo, Pini, 2008.

THOMAS, C. et al. **Durability of recycled aggregate concrete.** Construction and Building Materials, v. 40, p. 1054-1065, 2013.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **A Sustentabilidade dos Materiais de Construção.** 2 Ed. TecMinho: Portugal, 2010.

TROIAN, A. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto.** 2010. 127f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Gestão de Resíduos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2010.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete.** Stockholm, Swedish Cement and Concrete Research Institute, 469p, 1982.

WCED. WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future.** Report of the World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, Oxford, UK. 1987.

WEE, T.H.; SURYAVANSHI, A.K.; TIN, S.S. **Evaluation of Rapid Chloride Permeability Test (RCPT) Results for concrete containing mineral admixtures.** ACI Materials Journal, v.97, n.2, pg.221-232, March-April, 2000.

WERLE, A.P. **Determinação de propriedades de concretos com agregados reciclados de concreto com ênfase na carbonatação.** 2010. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Gestão de Resíduos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2010.

XIAO, J.; LI, W.; POON, C. **Recent studies on mechanical properties of recycled aggregate concrete in China – a review.** Science China Technological Science, v. 55, n. 6, p. 1463- 1480, 2012.

ZELIC, J., JOZIC, D., KRPAN-LISICA, D. **Synergistic action of ternary system of Portland cement – limestone – silica fume – in concrete.** In: BITTNAR, Z. et al (eds). Nanotechnology in Construction 3. Proceedings of NICOM 3, p. 425-434. New York: Springer, 2009.

ZHUO, Z.; FENG, X.; DAWANG, L. **Stochastic durability analysis of pré-stressed concrete structure under marine environment.** In: Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2010 International Conference on , p.765-767, 26-28 June 2010.

ZUCCO, L. L.; BERALDO, A. L.. **Efeito da adição de cinza da casca de arroz em misturas cimento-casca de arroz.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.2, p.217-226, abr/jun 2008.

ZUNINO, F., LOPEZ, M. **Decoupling the physical and chemical effects of supplementary cementitious materials on strength and permeability. A multilevel approach.** Cement Concrete and Composites. v. 65, jan. 2016, p. 19-28.

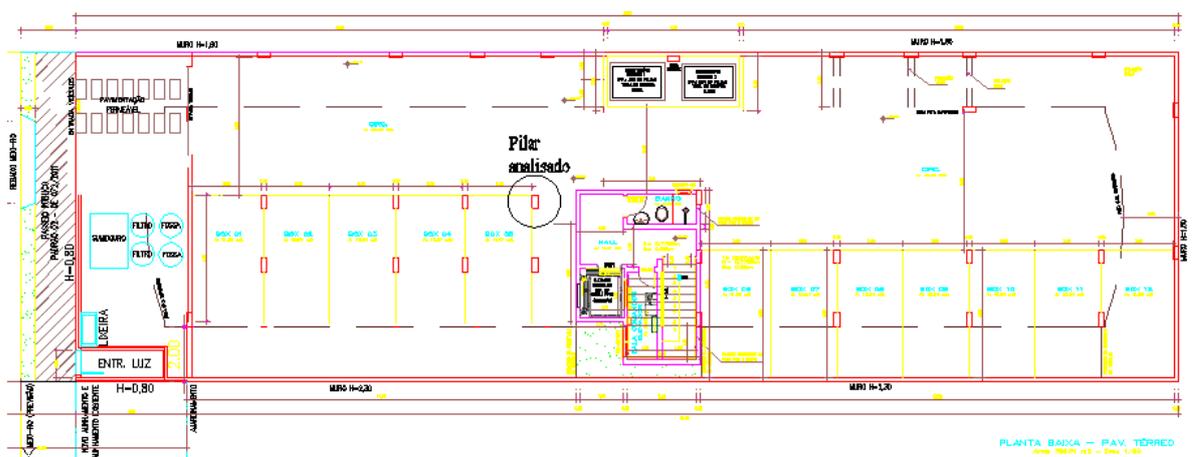
ZUO, J.; ZHAO, Z-Y. **Green building research-current status and future agenda: A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 30, p. 271-281, 2014.



## DIMENSIONAMENTO DO PILAR DE CONCRETO ARMADO

Para as condições de locação e cargas do pilar obteve-se os esforços solicitantes por meio do software Eberick V6. Foi escolhido através de um projeto fictício um pilar central da edificação, localizado no pavimento térreo sob pilotis, como mostra a Figura 34.

Figura 34 – Planta baixa da edificação com a posição do pilar estudado.





Quadro 01 – Composição de materiais e custos do pilar REF- CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152)

| REF - CP V (35 MPa)                                 |                              |                |                |       | Unidade        | 1 Pilar     |
|---|------------------------------|----------------|----------------|-------|----------------|-------------|
|   |                              |                |                |       | Data           | Março/17    |
| Componentes   | Composição do Custo Unitário |                |                |       | TOTAL          | 505,00      |
| Discriminação                                       | Coeficiente                  | Unidade        | Preço Unitário |       | Custo Material | Custo M. O. |
|   |                              |                | Mat.           | M. O. |                |             |
| Cimento CP V  | 101,78                       | Kg             | 0,64           | -     | 65,14          | -           |
| Areia média   | 232,05                       | Kg             | 0,02           | -     | 4,64           | -           |
| Brita 01  | 333,82                       | Kg             | 0,02           | -     | 6,68           | -           |
| Água para concreto                                  | 54,96                        | Kg             | 0,0041         | -     | 0,23           | -           |
| Estribos 5mm  | 3,99                         | Kg             | 3,68           | -     | 14,68          | -           |
| Armadura para pilar $\Phi$ 10mm                     | 16,97                        | Kg             | 3,54           | 2,00  | 60,07          | 33,94       |
| Forma para pilar - Madeira compensada resinada e=12 | 3,85                         | m <sup>2</sup> | 18,03          | 9,04  | 69,42          | 34,80       |
| Betoneira   | 0,306                        | h prod         | 2,64           | -     | 0,81           | -           |
| Servente  | 6,00                         | h              | -              | 9,39  | -              | 56,34       |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 221,66         | 125,08      |
| Leis sociais  | 117,66                       | %              | -              | -     | -              | 147,17      |
| Ferramentas   | 5,00                         | %              | -              | -     | 11,08          | -           |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 232,75         | 272,26      |

Quadro 02 – Composição de materiais e custos do pilar ARC15 – CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152)

| ARC15 - CP V (25 MPa)                               |                              |         |                |       | Unidade        | 1 Pilar     |
|---|------------------------------|---------|----------------|-------|----------------|-------------|
|   |                              |         |                |       | Data           | Março/17    |
| Componentes   | Composição do Custo Unitário |         |                |       | TOTAL          | 523,41      |
| Discriminação                                       | Coeficiente                  | Unidade | Preço Unitário |       | Custo Material | Custo M. O. |
|   |                              |         | Mat.           | M. O. |                |             |
| Cimento CP V  | 109,12                       | Kg      | 0,64           | -     | 69,84          | -           |
| Areia média   | 256,44                       | Kg      | 0,02           | -     | 5,13           | -           |
| Brita 01  | 311,00                       | Kg      | 0,02           | -     | 6,22           | -           |
| Água para concreto                                  | 60,02                        | Kg      | 0,0041         | -     | 0,25           | -           |
| Aditivo hiperplastificante MasterGlenium54          | 0,11                         | Kg      | 9,56           | -     | 1,05           | -           |
| Estribos 5mm  | 4,43                         | Kg      | 3,68           | -     | 16,30          | -           |
| Armadura para pilar Ø10mm                           | 16,97                        | Kg      | 3,54           | 2,00  | 60,07          | 33,94       |
| Forma para pilar - Madeira compensada resinada e=12 | 4,125                        | m²      | 18,03          | 9,04  | 74,37          | 37,29       |
| Betoneira   | 0,306                        | h prod  | 2,64           | -     | 0,81           | -           |
| Servente  | 6,00                         | h       | -              | 9,39  | -              | 56,34       |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>                           |                              |         |                |       | 234,04         | 127,57      |
| Leis sociais  | 117,66                       | %       | -              | -     | -              | 150,10      |
| Ferramentas   | 5,00                         | %       | -              | -     | 11,70          | -           |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>                           |                              |         |                |       | 245,74         | 277,67      |

Quadro 03 – Composição de materiais e custos do pilar ARC30 – CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152)

| ARC30 - CP V (25 MPa)                               |                              |                |                |       | Unidade        | 1 Pilar     |
|---|------------------------------|----------------|----------------|-------|----------------|-------------|
|   |                              |                |                |       | Data           | Março/17    |
| Componentes   | Composição do Custo Unitário |                |                |       | TOTAL          | 543,64      |
| Discriminação                                       | Coeficiente                  | Unidade        | Preço Unitário |       | Custo Material | Custo M. O. |
|   |                              |                | Mat.           | M. O. |                |             |
| Cimento CP V  | 141,73                       | Kg             | 0,64           | -     | 90,71          | -           |
| Areia média   | 219,68                       | Kg             | 0,02           | -     | 4,39           | -           |
| Brita 01  | 252,28                       | Kg             | 0,02           | -     | 5,05           | -           |
| Água para concreto                                  | 59,53                        | Kg             | 0,0041         | -     | 0,24           | -           |
| Aditivo hiperplastificante MasterGlenium54          | 0,14                         | Kg             | 9,56           | -     | 1,36           | -           |
| Estribos 5mm  | 4,43                         | Kg             | 3,68           | -     | 16,30          | -           |
| Armadura para pilar Ø10mm                           | 16,97                        | Kg             | 3,54           | 2,00  | 60,07          | 33,94       |
| Forma para pilar - Madeira compensada resinada e=12 | 4,125                        | m <sup>2</sup> | 18,03          | 9,04  | 74,37          | 37,29       |
| Betoneira   | 0,306                        | h prod         | 2,64           | -     | 0,81           | -           |
| Servente  | 6,00                         | h              | -              | 9,39  | -              | 56,34       |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 253,31         | 127,57      |
| Leis sociais  | 117,66                       | %              | -              | -     | -              | 150,10      |
| Ferramentas   | 5,00                         | %              | -              | -     | 12,67          | -           |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 265,97         | 277,67      |

Quadro 04 – Composição de materiais e custos do pilar ARC15CCA – CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152)

| ARC15CCA - CP V (35 MPa)                            |                              |                |                |       | Unidade        | 1 Pilar     |
|---|------------------------------|----------------|----------------|-------|----------------|-------------|
|   |                              |                |                |       | Data           | Março/17    |
| Componentes   | Composição do Custo Unitário |                |                |       | TOTAL          | 495,07      |
| Discriminação                                       | Coeficiente                  | Unidade        | Preço Unitário |       | Custo Material | Custo M. O. |
|   |                              |                | Mat.           | M. O. |                |             |
| Cimento CP V  | 86,82                        | Kg             | 0,64           | -     | 55,56          | -           |
| Areia média   | 231,81                       | Kg             | 0,02           | -     | 4,64           | -           |
| Brita 01  | 277,83                       | Kg             | 0,02           | -     | 5,56           | -           |
| Água para concreto                                  | 53,83                        | Kg             | 0,0041         | -     | 0,22           | -           |
| Aditivo hiperplastificante MasterGlenium54          | 0,13                         | Kg             | 9,56           | -     | 1,24           | -           |
| Estribos 5mm  | 3,99                         | Kg             | 3,68           | -     | 14,68          | -           |
| Armadura para pilar $\Phi$ 10mm                     | 16,97                        | Kg             | 3,54           | 2,00  | 60,07          | 33,94       |
| Forma para pilar - Madeira compensada resinada e=12 | 3,85                         | m <sup>2</sup> | 18,03          | 9,04  | 69,42          | 34,80       |
| Betoneira   | 0,306                        | h prod         | 2,64           | -     | 0,81           | -           |
| Servente  | 6,00                         | h              | -              | 9,39  | -              | 56,34       |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 212,20         | 125,08      |
| Leis sociais  | 117,66                       | %              | -              | -     | -              | 147,17      |
| Ferramentas   | 5,00                         | %              | -              | -     | 10,61          | -           |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 222,81         | 272,26      |

Quadro 05 – Composição de materiais e custos do pilar ARC30CCA- CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152)

| ARC30CCA - CP V (35 MPa)                            |                              |                |                |       | Unidade        | 1 Pilar     |
|---|------------------------------|----------------|----------------|-------|----------------|-------------|
|   |                              |                |                |       | Data           | Março/17    |
| Componentes   | Composição do Custo Unitário |                |                |       | TOTAL          | 503,18      |
| Discriminação                                       | Coeficiente                  | Unidade        | Preço Unitário |       | Custo Material | Custo M. O. |
|   |                              |                | Mat.           | M. O. |                |             |
| Cimento CP V  | 100,26                       | Kg             | 0,64           | -     | 64,17          | -           |
| Areia média   | 212,55                       | Kg             | 0,02           | -     | 4,25           | -           |
| Brita 01  | 225,58                       | Kg             | 0,02           | -     | 4,51           | -           |
| Água para concreto                                  | 53,14                        | Kg             | 0,0041         | -     | 0,22           | -           |
| Aditivo hiperplastificante MasterGlenium54          | 0,19                         | Kg             | 9,56           | -     | 1,80           | -           |
| Estribos 5mm  | 3,99                         | Kg             | 3,68           | -     | 14,68          | -           |
| Armadura para pilar $\Phi$ 10mm                     | 16,97                        | Kg             | 3,54           | 2,00  | 60,07          | 33,94       |
| Forma para pilar - Madeira compensada resinada e=12 | 3,85                         | m <sup>2</sup> | 18,03          | 9,04  | 69,42          | 34,80       |
| Betoneira   | 0,306                        | h prod         | 2,64           | -     | 0,81           | -           |
| Servente  | 6,00                         | h              | -              | 9,39  | -              | 56,34       |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 219,92         | 125,08      |
| Leis sociais  | 117,66                       | %              | -              | -     | -              | 147,17      |
| Ferramentas   | 5,00                         | %              | -              | -     | 11,00          | -           |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 230,92         | 272,26      |

Quadro 06 – Composição de materiais e custos do pilar ARC15CV - CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152)

| ARC15CV - CP V (35 MPa)                             |                              |                |                |       | Unidade        | 1 Pilar     |
|---|------------------------------|----------------|----------------|-------|----------------|-------------|
|   |                              |                |                |       | Data           | Março/17    |
| Componentes   | Composição do Custo Unitário |                |                |       | TOTAL          | 500,26      |
| Discriminação                                       | Coeficiente                  | Unidade        | Preço Unitário |       | Custo Material | Custo M. O. |
|   |                              |                | Mat.           | M. O. |                |             |
| Cimento CP V  | 94,54                        | Kg             | 0,64           | -     | 60,51          | -           |
| Areia média   | 225,00                       | Kg             | 0,02           | -     | 4,50           | -           |
| Brita 01  | 278,89                       | Kg             | 0,02           | -     | 5,58           | -           |
| Água para concreto                                  | 53,89                        | Kg             | 0,0041         | -     | 0,22           | -           |
| Aditivo hiperplastificante MasterGlenium54          | 0,14                         | Kg             | 9,56           | -     | 1,36           | -           |
| Estribos 5mm  | 3,99                         | Kg             | 3,68           | -     | 14,68          | -           |
| Armadura para pilar $\Phi$ 10mm                     | 16,97                        | Kg             | 3,54           | 2,00  | 60,07          | 33,94       |
| Forma para pilar - Madeira compensada resinada e=12 | 3,85                         | m <sup>2</sup> | 18,03          | 9,04  | 69,42          | 34,80       |
| Betoneira   | 0,306                        | h prod         | 2,64           | -     | 0,81           | -           |
| Servente  | 6,00                         | h              | -              | 9,39  | -              | 56,34       |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 217,14         | 125,08      |
| Leis sociais  | 117,66                       | %              | -              | -     | -              | 147,17      |
| Ferramentas   | 5,00                         | %              | -              | -     | 10,86          | -           |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 228,00         | 272,26      |

Quadro 07 – Composição de materiais e custos do pilar ARC30CV - CP V (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152)

| ARC30CV - CP V (35 MPa)                             |                              |                |                |       | Unidade        | 1 Pilar     |
|---|------------------------------|----------------|----------------|-------|----------------|-------------|
|   |                              |                |                |       | Data           | Março/17    |
| Componentes   | Composição do Custo Unitário |                |                |       | TOTAL          | 511,91      |
| Discriminação                                       | Coeficiente                  | Unidade        | Preço Unitário |       | Custo Material | Custo M. O. |
|   |                              |                | Mat.           | M. O. |                |             |
| Cimento CP V  | 113,25                       | Kg             | 0,64           | -     | 72,48          | -           |
| Areia média   | 200,45                       | Kg             | 0,02           | -     | 4,01           | -           |
| Brita 01  | 226,50                       | Kg             | 0,02           | -     | 4,53           | -           |
| Água para concreto                                  | 53,23                        | Kg             | 0,0041         | -     | 0,22           | -           |
| Aditivo hiperplastificante MasterGlenium54          | 0,21                         | Kg             | 9,56           | -     | 2,03           | -           |
| Estribos 5mm  | 3,99                         | Kg             | 3,68           | -     | 14,68          | -           |
| Armadura para pilar $\Phi$ 10mm                     | 16,97                        | Kg             | 3,54           | 2,00  | 60,07          | 33,94       |
| Forma para pilar - Madeira compensada resinada e=12 | 3,85                         | m <sup>2</sup> | 18,03          | 9,04  | 69,42          | 34,80       |
| Betoneira   | 0,306                        | h prod         | 2,64           | -     | 0,81           | -           |
| Servente  | 6,00                         | h              | -              | 9,39  | -              | 56,34       |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 228,24         | 125,08      |
| Leis sociais  | 117,66                       | %              | -              | -     | -              | 147,17      |
| Ferramentas   | 5,00                         | %              | -              | -     | 11,41          | -           |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 239,66         | 272,26      |

Quadro 08 – Composição de materiais e custos do pilar REF- CP IV (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152)

| REF - CP IV (25 MPa)                                |                              |                |                |       | Unidade        | 1 Pilar     |
|---|------------------------------|----------------|----------------|-------|----------------|-------------|
|   |                              |                |                |       | Data           | Março/17    |
| Componentes   | Composição do Custo Unitário |                |                |       | TOTAL          | 514,37      |
| Discriminação                                       | Coeficiente                  | Unidade        | Preço Unitário |       | Custo Material | Custo M. O. |
|   |                              |                | Mat.           | M. O. |                |             |
| Cimento CP IV                                       | 113,48                       | Kg             | 0,54           | -     | 61,28          | -           |
| Areia média   | 251,93                       | Kg             | 0,02           | -     | 5,04           | -           |
| Brita 01  | 365,42                       | Kg             | 0,02           | -     | 7,31           | -           |
| Água para concreto                                  | 60,14                        | Kg             | 0,0041         | -     | 0,25           | -           |
| Estribos 5mm  | 4,43                         | Kg             | 3,68           | -     | 16,30          | -           |
| Armadura para pilar $\Phi$ 10mm                     | 16,97                        | Kg             | 3,54           | 2,00  | 60,07          | 33,94       |
| Forma para pilar - Madeira compensada resinada e=12 | 4,125                        | m <sup>2</sup> | 18,03          | 9,04  | 74,37          | 37,29       |
| Betoneira   | 0,306                        | h prod         | 2,64           | -     | 0,81           | -           |
| Servente  | 6,00                         | h              | -              | 9,39  | -              | 56,34       |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 225,43         | 127,57      |
| Leis sociais  | 117,66                       | %              | -              | -     | -              | 150,10      |
| Ferramentas   | 5,00                         | %              | -              | -     | 11,27          | -           |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | 236,70         | 277,67      |

Quadro 09 – Composição de materiais e custos do pilar ARC15 - CP IV (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152)

| ARC15 - CP IV (25 MPa)                              |                              |                |                |       | Unidade        | 1 Pilar       |
|---|------------------------------|----------------|----------------|-------|----------------|---------------|
|   |                              |                |                |       | Data           | Março/17      |
| Componentes   | Composição do Custo Unitário |                |                |       | TOTAL          | 516,78        |
| Discriminação                                       | Coeficiente                  | Unidade        | Preço Unitário |       | Custo Material | Custo M. O.   |
|   |                              |                | Mat.           | M. O. |                |               |
| Cimento CP IV                                       | 118,27                       | Kg             | 0,54           | -     | 63,87          | -             |
| Areia média   | 241,27                       | Kg             | 0,02           | -     | 4,83           | -             |
| Brita 01  | 305,13                       | Kg             | 0,02           | -     | 6,10           | -             |
| Água para concreto                                  | 59,13                        | Kg             | 0,0041         | -     | 0,24           | -             |
| Aditivo hiperplastificante MasterGlenium54          | 0,12                         | Kg             | 9,56           | -     | 1,13           | -             |
| Estribos 5mm  | 4,43                         | Kg             | 3,68           | -     | 16,30          | -             |
| Armadura para pilar $\Phi$ 10mm                     | 16,97                        | Kg             | 3,54           | 2,00  | 60,07          | 33,94         |
| Forma para pilar - Madeira compensada resinada e=12 | 4,125                        | m <sup>2</sup> | 18,03          | 9,04  | 74,37          | 37,29         |
| Betoneira   | 0,306                        | h prod         | 2,64           | -     | 0,81           | -             |
| Servente  | 6,00                         | h              | -              | 9,39  | -              | 56,34         |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | <b>227,72</b>  | <b>127,57</b> |
| Leis sociais  | 117,66                       | %              | -              | -     | -              | 150,10        |
| Ferramentas   | 5,00                         | %              | -              | -     | 11,39          | -             |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | <b>239,11</b>  | <b>277,67</b> |

Quadro 10 – Composição de materiais e custos do pilar ARC30 - CP IV (código 03310.8.1 - TCPO 13, página 152)

| ARC30 - CP IV (25 MPa)                              |                              |                |                |       | Unidade        | 1 Pilar       |
|---|------------------------------|----------------|----------------|-------|----------------|---------------|
|   |                              |                |                |       | Data           | Março/17      |
| Componentes   | Composição do Custo Unitário |                |                |       | TOTAL          | 526,83        |
| Discriminação                                       | Coeficiente                  | Unidade        | Preço Unitário |       | Custo Material | Custo M. O.   |
|   |                              |                | Mat.           | M. O. |                |               |
| Cimento CP IV                                       | 138,76                       | Kg             | 0,54           | -     | 74,93          | -             |
| Areia média   | 215,09                       | Kg             | 0,02           | -     | 4,30           | -             |
| Brita 01  | 247,00                       | Kg             | 0,02           | -     | 4,94           | -             |
| Água para concreto                                  | 58,28                        | Kg             | 0,0041         | -     | 0,24           | -             |
| Aditivo hiperplastificante MasterGlenium54          | 0,14                         | Kg             | 9,56           | -     | 1,33           | -             |
| Estribos 5mm  | 4,43                         | Kg             | 3,68           | -     | 16,30          | -             |
| Armadura para pilar $\Phi$ 10mm                     | 16,97                        | Kg             | 3,54           | 2,00  | 60,07          | 33,94         |
| Forma para pilar - Madeira compensada resinada e=12 | 4,125                        | m <sup>2</sup> | 18,03          | 9,04  | 74,37          | 37,29         |
| Betoneira   | 0,306                        | h prod         | 2,64           | -     | 0,81           | -             |
| Servente  | 6,00                         | h              | -              | 9,39  | -              | 56,34         |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | <b>237,30</b>  | <b>127,57</b> |
| Leis sociais  | 117,66                       | %              | -              | -     | -              | 150,10        |
| Ferramentas   | 5,00                         | %              | -              | -     | 11,86          | -             |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>                           |                              |                |                |       | <b>249,16</b>  | <b>277,67</b> |

Quadro 11 – Composição de fôrma para pilares com madeira compensada 12mm (código 03110.8.2 - TCPO 13, página 127)

| FÔRMA PARA PILARES COM MADEIRA COMPENSADA 12 mm                              |                              |                |                |       | Unidade        | m <sup>2</sup> |
|--|------------------------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|
|  |                              |                |                |       | Data           | Março/17       |
| Componentes  | Composição do Custo Unitário |                |                |       | TOTAL          | 35,23          |
| Discriminação  | Coeficiente                  | Unidade        | Preço Unitário |       | Custo Material | Custo M. O.    |
|  |                              |                | Mat.           | M. O. |                |                |
| Ajudante de carpinteiro  | 0,204                        | h              | -              | 6,98  | -              | 1,42           |
| Carpinteiro  | 0,82                         | h              | -              | 9,29  | -              | 7,62           |
| Chapa compensada 12mm  | 0,25                         | m <sup>2</sup> | 27,63          | -     | 6,91           | -              |
| Prego 17x21 com cabeça (comprimento 48,3 mm / diâmetro da cabeça: 3,0 mm)    | 0,04                         | Kg             | 8,8000         | -     | 0,35           | -              |
| Pontaletes 3"x3" (altura: 75mm / largura: 75mm)                              | 1,20                         | m              | 2,81           | -     | 3,37           | -              |
| Sarrafo 1"x3" (altura: 75mm/ espessura 25 mm)                                | 1,65                         | m              | 0,65           | -     | 1,07           | -              |
| Tábua 1"x8" (espessura 25mm/ largura: 200mm)                                 | 0,104                        | m <sup>2</sup> | 8,07           | -     | 0,84           | -              |
| Tábua 1"x6" (espessura 25mm/ largura: 150mm)                                 | 0,10                         | m <sup>2</sup> | 5,62           | -     | 0,56           | -              |
| Desmoldante de fôrmas para concreto  | 0,02                         | L              | 6,03           | -     | 0,12           | -              |
| Prego 17x27 com cabeça dupla (comprimento: 62,1 mm/ diâmetro da cabeça: 3mm) | 0,10                         | Kg             | 10,96          | -     | 1,10           | -              |
| Prego 15x15 com cabeça (comprimento 34,5 mm/diâmetro da cabeça: 2,4 mm)      | 0,05                         | Kg             | 9,83           | -     | 0,49           | -              |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>  |                              |                |                |       | 14,81          | 9,04           |
| <b>Leis sociais</b>  | 117,66                       | %              | -              | -     | -              | 10,64          |
| <b>Ferramentas</b>   | 5,00                         | %              | -              | -     | 0,74           | -              |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>  |                              |                |                |       | 15,55          | 19,68          |

Quadro 12 – Composição de armadura para pilar  $\Phi 10$  – sem estribo (código 03210.8.1.11 - TCPO 13, página 150)

| <b>ARMADURA PARA PILAR <math>\Phi 10</math> - sem estribo</b> |                                     |                |                       |              | <b>Unidade</b>        | <b>Kg</b>          |
|---|-------------------------------------|----------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------------|
|   |                                     |                |                       |              | <b>Data</b>           | <b>Março/17</b>    |
| <b>Componentes</b>  | <b>Composição do Custo Unitário</b> |                |                       |              | <b>TOTAL</b>          | <b>9,83</b>        |
| <b>Discriminação</b>  | <b>Coefficiente</b>                 | <b>Unidade</b> | <b>Preço Unitário</b> |              | <b>Custo Material</b> | <b>Custo M. O.</b> |
|   |                                     |                | <b>Mat.</b>           | <b>M. O.</b> |                       |                    |
| <b>Ajudante de armador</b>                                    | 0,093                               | h              | -                     | 9,23         | -                     | 0,86               |
| <b>Armador</b>  | 0,093                               | h              | -                     | 12,30        | -                     | 1,14               |
| <b>Espaçador circular de plástico para pilares</b>            | 7,30                                | unidade        | 0,09                  | -            | 0,66                  | -                  |
| <b>Arame recozido (diâm. do fio: 1,25 mm/ bitola 18 BWG)</b>  | 0,02                                | Kg             | 8,82                  | -            | 0,18                  | -                  |
| <b>Barra CA-50 bitola 10 mm</b>                               | 1,10                                | Kg             | 3,98                  | -            | 4,38                  | -                  |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>                                     |                                     |                |                       |              | <b>5,22</b>           | <b>2,00</b>        |
| <b>Leis sociais</b>   | 117,66                              | %              | -                     | -            | -                     | 2,36               |
| <b>Ferramentas</b>  | 5,00                                | %              | -                     | -            | 0,26                  | -                  |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>                                     |                                     |                |                       |              | <b>5,48</b>           | <b>4,35</b>        |

Quadro 13 – Composição da limpeza dos pilares (código 03910.8.8.1 - TCPO 13, página 169)

| <b>LIMPEZA DO SUBSTRATO DO PILAR COM JATO DE ÁGUA</b>                 |                                     |                |                       |              | <b>Unidade</b>        | <b>m<sup>2</sup></b> |
|---|-------------------------------------|----------------|-----------------------|--------------|-----------------------|----------------------|
|   |                                     |                |                       |              | <b>Data</b>           | <b>Março/17</b>      |
| <b>Componentes</b>  | <b>Composição do Custo Unitário</b> |                |                       |              | <b>TOTAL</b>          | <b>9,50</b>          |
| <b>Discriminação</b>  | <b>Coeficiente</b>                  | <b>Unidade</b> | <b>Preço Unitário</b> |              | <b>Custo Material</b> | <b>Custo M. O.</b>   |
|   |                                     |                | <b>Mat.</b>           | <b>M. O.</b> |                       |                      |
| <b>Servente</b>   | 0,110                               | h              | -                     | 9,39         | -                     | 1,03                 |
| <b>Água</b>   | 6,000                               | L              | 0,00413               | -            | 0,025                 | -                    |
| <b>Solução limpadora diluída em água</b>                              | 0,10                                | L              | 44,32                 | -            | 4,43                  | -                    |
| <b>Máquina lava-jato água quente/fria, pressão 1700 psi - locação</b> | 2,50E-04                            | loc/ un/ h     | 1.549,00              | -            | 0,39                  | -                    |
| <b>Querosene</b>  | 0,13                                | L              | 15,87                 | -            | 2,06                  | -                    |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>   |                                     |                |                       |              | <b>6,91</b>           | <b>1,03</b>          |
| <b>Leis sociais</b>   | 117,66                              | %              | -                     | -            | -                     | 1,22                 |
| <b>Ferramentas</b>  | 5,00                                | %              | -                     | -            | 0,35                  | -                    |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>   |                                     |                |                       |              | <b>7,25</b>           | <b>2,25</b>          |

Quadro 14 – Composição da pintura dos pilares (código 09115.8.5.1 - TCPO 13, página 291)

| <b>PINTURA COM TINTA ACRILICA EM CONCRETO, 2 DEMÃOS, APLICADO COM ROLO DE LÃ</b> |                                     |                |                       |              | <b>Unidade</b>        | <b>m<sup>2</sup></b> |
|--|-------------------------------------|----------------|-----------------------|--------------|-----------------------|----------------------|
|  |                                     |                |                       |              | <b>Data</b>           | <b>Março/17</b>      |
| <b>Componentes</b>   | <b>Composição do Custo Unitário</b> |                |                       |              | <b>TOTAL</b>          | <b>41,90</b>         |
| <b>Discriminação</b>   | <b>Coefficiente</b>                 | <b>Unidade</b> | <b>Preço Unitário</b> |              | <b>Custo Material</b> | <b>Custo M. O.</b>   |
|  |                                     |                | <b>Mat.</b>           | <b>M. O.</b> |                       |                      |
| <b>Ajudante de pintor</b>  | 0,30                                | h              | -                     | 9,25         | -                     | 2,78                 |
| <b>Pintor</b>  | 1,20                                | h              | -                     | 12,30        | -                     | 14,76                |
| <b>Tinta acrílica</b>  | 0,30                                | L              | 11,79                 | -            | 3,54                  | -                    |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>  |                                     |                |                       |              | <b>3,54</b>           | <b>17,54</b>         |
| <b>Leis sociais</b>  | 117,66                              | %              | -                     | -            | -                     | 20,64                |
| <b>Ferramentas</b>   | 5,00                                | %              | -                     | -            | 0,18                  | -                    |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>  |                                     |                |                       |              | <b>3,72</b>           | <b>38,18</b>         |

Quadro 15 – Composição da demolição com martelo rompedor (código 02220.8.4.1 - TCPO 13, página 59)

| <b>DEMOLIÇÃO DE CONCRETO ARMADO COM UTILIZAÇÃO DE MARTELO ROMPEDOR</b>  |                                     |                |                       |              | <b>Unidade</b>        | <b>m³</b>          |
|---|-------------------------------------|----------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------------|
|   |                                     |                |                       |              | <b>Data</b>           | <b>Março/17</b>    |
| <b>Componentes</b>  | <b>Composição do Custo Unitário</b> |                |                       |              | <b>TOTAL</b>          | <b>146,98</b>      |
| <b>Discriminação</b>  | <b>Coeficiente</b>                  | <b>Unidade</b> | <b>Preço Unitário</b> |              | <b>Custo Material</b> | <b>Custo M. O.</b> |
|   |                                     |                | <b>Mat.</b>           | <b>M. O.</b> |                       |                    |
| <b>Pedreiro</b>   | 1,50                                | h              | -                     | 12,30        | -                     | 18,45              |
| <b>Ponteiro para rompedor (comprimento: 160mm/ diâmetro da seção: 32mm)</b>                                       | 0,075                               | Unidade        | 144,38                | -            | 10,829                | -                  |
| <b>Comp. de ar port. rebocável, diesel, potência 63 HP (47 KW), capacidade 3,3m³/min (116 pcm) - vida útil 20</b> | 5,00                                | h prod         | 5,82                  | -            | 29,100                | -                  |
| <b>Martelo rompedor, pneumático, capacidade para furos com até 32mm de diâmetro - vida útil de 8000 h</b>         | 15,00                               | h prod         | 4,12                  | -            | 61,800                | -                  |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>   |                                     |                |                       |              | <b>101,73</b>         | <b>18,45</b>       |
| <b>Leis sociais</b>   | 117,66                              | %              | -                     | -            | -                     | 21,71              |
| <b>Ferramentas</b>  | 5,00                                | %              | -                     | -            | 5,09                  | -                  |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>   |                                     |                |                       |              | <b>106,82</b>         | <b>40,16</b>       |

Quadro 16 – Composição do carregamento do entulho no caminhão basculante (código 14510.8.1.1 - TCPO 13, página 368)

| <b>CARGA MECANIZADA DE ENTULHO EM CAMINHÃO BASCULANTE</b>   |                                     |                |                       |              | <b>Unidade</b>        | <b>m<sup>3</sup></b> |
|---|-------------------------------------|----------------|-----------------------|--------------|-----------------------|----------------------|
|   |                                     |                |                       |              | <b>Data</b>           | <b>Março/17</b>      |
| <b>Componentes</b>  | <b>Composição do Custo Unitário</b> |                |                       |              | <b>TOTAL</b>          | <b>3,29</b>          |
| <b>Discriminação</b>  | <b>Coefficiente</b>                 | <b>Unidade</b> | <b>Preço Unitário</b> |              | <b>Custo Material</b> | <b>Custo M. O.</b>   |
|   |                                     |                | <b>Mat.</b>           | <b>M. O.</b> |                       |                      |
| <b>Servente</b>   | 0,0208                              | h              | -                     | 9,39         | -                     | 0,20                 |
| <b>Carregadeira sobre rodas 129 HP, com caçamba para aplicação geral com bordas cortantes aparafusáveis, capacidade coroada de 2,10 m<sup>3</sup>, fator de carga média - vida útil: 8000 h</b> | 0,0104                              | h prod         | 164,25                | -            | 1,71                  | -                    |
| <b>Caminhão basc., diesel, potência 228 HP (170KW), cap. de carg. útil 15,46t, caçamba 6m<sup>3</sup>- vida útil: 8000 h</b>  | 0,0104                              | h imp          | 96,19                 | -            | 1,00                  | -                    |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>   |                                     |                |                       |              | <b>2,71</b>           | <b>0,20</b>          |
| <b>Leis sociais</b>   | 117,66                              | %              | -                     | -            | -                     | 0,24                 |
| <b>Ferramentas</b>  | 5,00                                | %              | -                     | -            | 0,14                  | -                    |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>   |                                     |                |                       |              | <b>2,85</b>           | <b>0,44</b>          |

Quadro 17 – Composição do transporte no caminhão basculante (código 22800.9.1. - TCPO 13, página 558)

| <b>CAMINHÃO BASCULANTE, DIESEL, POTÊNCIA 228 HP (170 KW), CAPAC. DE CARGA ÚTIL:<br/>15,46 t, CAÇAMBA: 6 M³ - VIDA ÚTIL: 8000 h</b> |                                     |                |                       |              | <b>Unidade</b>            | <b>h</b>               |
|--|-------------------------------------|----------------|-----------------------|--------------|---------------------------|------------------------|
|  |                                     |                |                       |              | <b>Data</b>               | <b>Março/17</b>        |
| <b>Componentes</b>   | <b>Composição do Custo Unitário</b> |                |                       |              | <b>TOTAL</b>              | <b>229,58</b>          |
| <b>Discriminação</b>   | <b>Coeficiente</b>                  | <b>Unidade</b> | <b>Preço Unitário</b> |              | <b>Custo<br/>Material</b> | <b>Custo<br/>M. O.</b> |
|  |                                     |                | <b>Mat.</b>           | <b>M. O.</b> |                           |                        |
| Motorista de veículo comercial/ caminhão basculante  | 1,00                                | h              | -                     | 15,91        | -                         | 15,91                  |
| Pneu 10 x 20 x 16 com câmara   | 0,004                               | Unidade        | 8.590,00              | -            | 34,36                     | -                      |
| Graxa  | 0,009                               | Kg             | 12,40                 | -            | 0,11                      | -                      |
| Óleo diesel  | 36,50                               | L              | 2,95                  | -            | 107,68                    | -                      |
| Depreciação de equipamentos de transportes   | 3,96E-05                            |                | 226.238,11            | -            | 8,96                      | -                      |
| Juros do capital de equipamentos de transportes  | 3,98E-05                            |                | 226.238,11            | -            | 9,00                      | -                      |
| Manutenção de equipamentos de transporte   | 1,13E-04                            |                | 226.238,11            | -            | 25,56                     | -                      |
| <b>TOTAL SEM ENCARGOS</b>  |                                     |                |                       |              | <b>185,67</b>             | <b>15,91</b>           |
| <b>Leis sociais</b>  | 117,66                              | %              | -                     | -            | -                         | 18,72                  |
| <b>Ferramentas</b>   | 5,00                                | %              | -                     | -            | 9,28                      | -                      |
| <b>TOTAL COM ENCARGOS</b>  |                                     |                |                       |              | <b>194,95</b>             | <b>34,63</b>           |



Quadro 18 – Materiais para montagem dos pilares.

| PILAR           | Quantidade de Materiais por Pilar |          |        |        |       |         |       |         |                  |
|-----------------|-----------------------------------|----------|--------|--------|-------|---------|-------|---------|------------------|
|                 | Kg                                | Kg       | Kg     | Kg     | Kg    | Kg      | Kg    | m³      | KWh              |
|                 | CP V                              | CP IV-32 | Areia  | Brita  | Água  | Aditivo | Aço   | Madeira | Energia Elétrica |
| REF - CP V      | 101,78                            | -        | 232,05 | 333,82 | 54,96 | -       | 20,96 | 0,0465  | 0,5508           |
| ARC15 - CP V    | 109,12                            | -        | 256,44 | 311,00 | 60,02 | 0,11    | 21,40 | 0,0495  | 0,5508           |
| ARC30 - CP V    | 141,73                            | -        | 219,69 | 252,28 | 59,53 | 0,14    | 21,40 | 0,0495  | 0,5508           |
| ARC15CCA - CP V | 86,82                             | -        | 231,81 | 277,83 | 53,83 | 0,13    | 20,96 | 0,0465  | 0,5508           |
| ARC30CCA - CP V | 100,26                            | -        | 212,55 | 225,59 | 53,14 | 0,19    | 20,96 | 0,0465  | 0,5508           |
| ARC15CV - CP V  | 94,54                             | -        | 225,00 | 278,89 | 53,89 | 0,14    | 20,96 | 0,0465  | 0,5508           |
| ARC30CV - CP V  | 113,25                            | -        | 200,45 | 226,50 | 53,23 | 0,21    | 20,96 | 0,0465  | 0,5508           |
| REF - CP IV     | -                                 | 113,48   | 251,93 | 365,42 | 60,14 | -       | 21,40 | 0,0495  | 0,5508           |
| ARC15 - CP IV   | -                                 | 118,27   | 241,27 | 305,13 | 59,13 | 0,12    | 21,40 | 0,0495  | 0,5508           |
| ARC30 - CP IV   | -                                 | 138,76   | 215,09 | 247,00 | 58,28 | 0,14    | 21,40 | 0,0495  | 0,5508           |

Fonte: Adaptado dos dados de entrada do SimaPro

Quadro 19 – Manutenção dos pilares.

| PILAR           | Quantidade de Materiais por Pilar |           |                     |                 |       |
|-----------------|-----------------------------------|-----------|---------------------|-----------------|-------|
|                 | Kg                                | L         | KWh                 | Kg              | L     |
|                 | Água p/<br>lavagem                | Querosene | Energia<br>Elétrica | CO <sub>2</sub> | Tinta |
| REF - CP V      | 0,00                              | 0,00      | 0,00                | 8,41            | 19,64 |
| ARC15 - CP V    | 0,00                              | 0,00      | 0,00                | 11,89           | 18,56 |
| ARC30 - CP V    | 0,00                              | 0,00      | 0,00                | 19,78           | 16,09 |
| ARC15CCA - CP V | 0,00                              | 0,00      | 0,00                | 7,41            | 21,95 |
| ARC30CCA - CP V | 0,00                              | 0,00      | 0,00                | 8,55            | 18,48 |
| ARC15CV - CP V  | 0,00                              | 0,00      | 0,00                | 7,55            | 21,95 |
| ARC30CV - CP V  | 0,00                              | 0,00      | 0,00                | 9,65            | 16,17 |
| REF - CP IV     | 0,00                              | 0,00      | 0,00                | 7,44            | 19,80 |
| ARC15 - CP IV   | 0,00                              | 0,00      | 0,00                | 8,14            | 22,28 |
| ARC30 - CP IV   | 0,00                              | 0,00      | 0,00                | 11,75           | 17,33 |

Fonte: Adaptado dos dados de entrada do SimaPro

Quadro 20 – Descarte final dos resíduos dos pilares.

| PILAR           | Óleo Diesel (litros) |
|-----------------|----------------------|
| REF - CP V      | 12,85                |
| ARC15 - CP V    | 12,85                |
| ARC30 - CP V    | 12,85                |
| ARC15CCA - CP V | 12,85                |
| ARC30CCA - CP V | 12,85                |
| ARC15CV - CP V  | 12,85                |
| ARC30CV - CP V  | 12,85                |
| REF - CP IV     | 12,85                |
| ARC15 - CP IV   | 12,85                |
| ARC30 - CP IV   | 12,85                |

Fonte: Adaptado dos dados de entrada do SimaPro



Quadro 21 – Inventário das emissões. (Continua)

| Nº | Substância            | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|----|-----------------------|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 1  | 1-butanol             | Ar            | kg      | 3,074E-11  | 2,074E-11    | 2,039E-11    | 2,838E-11       | 2,928E-11       | 3,049E-11      | 3,366E-11      | 2,662E-11   | 2,591E-11     | 2,401E-11     |
| 2  | 1-butanol             | Água          | kg      | 1,084E-07  | 7,364E-08    | 7,228E-08    | 1,002E-07       | 1,031E-07       | 1,077E-07      | 1,185E-07      | 9,381E-08   | 9,160E-08     | 8,469E-08     |
| 3  | 1-pentanol            | Ar            | kg      | 2,750E-11  | 1,855E-11    | 1,824E-11    | 2,539E-11       | 2,620E-11       | 2,728E-11      | 3,011E-11      | 2,381E-11   | 2,318E-11     | 2,148E-11     |
| 4  | 1-pentanol            | Água          | kg      | 6,600E-11  | 4,451E-11    | 4,378E-11    | 6,094E-11       | 6,286E-11       | 6,546E-11      | 7,226E-11      | 5,714E-11   | 5,565E-11     | 5,154E-11     |
| 5  | 1-Pentene             | Ar            | kg      | 2,078E-11  | 1,401E-11    | 1,378E-11    | 1,919E-11       | 1,979E-11       | 2,061E-11      | 2,275E-11      | 1,799E-11   | 1,752E-11     | 1,623E-11     |
| 6  | 1-Pentene             | Água          | kg      | 4,987E-11  | 3,364E-11    | 3,308E-11    | 4,605E-11       | 4,751E-11       | 4,947E-11      | 5,461E-11      | 4,318E-11   | 4,204E-11     | 3,895E-11     |
| 7  | 1-Propanol            | Ar            | kg      | 2,103E-09  | 1,419E-09    | 1,396E-09    | 1,942E-09       | 2,004E-09       | 2,087E-09      | 2,303E-09      | 1,821E-09   | 1,773E-09     | 1,643E-09     |
| 8  | 1-Propanol            | Água          | kg      | 3,927E-10  | 2,649E-10    | 2,605E-10    | 3,626E-10       | 3,741E-10       | 3,895E-10      | 4,300E-10      | 3,401E-10   | 3,311E-10     | 3,067E-10     |
| 9  | 1,4-butanodiol        | Ar            | kg      | 4,324E-10  | 2,932E-10    | 2,879E-10    | 3,995E-10       | 4,114E-10       | 4,292E-10      | 4,729E-10      | 3,742E-10   | 3,652E-10     | 3,377E-10     |
| 10 | 1,4-butanodiol        | Água          | kg      | 1,730E-10  | 1,173E-10    | 1,151E-10    | 1,598E-10       | 1,646E-10       | 1,717E-10      | 1,892E-10      | 1,497E-10   | 1,461E-10     | 1,351E-10     |
| 11 | 2-Aminopropanol       | Ar            | kg      | 2,487E-11  | 1,677E-11    | 1,650E-11    | 2,297E-11       | 2,369E-11       | 2,467E-11      | 2,723E-11      | 2,154E-11   | 2,097E-11     | 1,942E-11     |
| 12 | 2-Aminopropanol       | Água          | kg      | 6,259E-11  | 4,221E-11    | 4,151E-11    | 5,779E-11       | 5,962E-11       | 6,208E-11      | 6,853E-11      | 5,419E-11   | 5,276E-11     | 4,888E-11     |
| 13 | 2-buteno, 2-metil-    | Ar            | kg      | 4,609E-15  | 3,109E-15    | 3,058E-15    | 4,256E-15       | 4,390E-15       | 4,572E-15      | 5,047E-15      | 3,991E-15   | 3,886E-15     | 3,600E-15     |
| 14 | 2-Cloroacetofenona    | Ar            | kg      | 1,921E-08  | 1,295E-08    | 1,274E-08    | 1,774E-08       | 1,830E-08       | 1,905E-08      | 2,103E-08      | 1,663E-08   | 1,619E-08     | 1,500E-08     |
| 15 | 2-Hexanona            | Água          | kg      | 1,526E-08  | 1,029E-08    | 1,012E-08    | 1,409E-08       | 1,453E-08       | 1,513E-08      | 1,671E-08      | 1,321E-08   | 1,286E-08     | 1,192E-08     |
| 16 | 2-Metil-1-propanol    | Ar            | kg      | 7,272E-11  | 4,904E-11    | 4,823E-11    | 6,714E-11       | 6,926E-11       | 7,212E-11      | 7,962E-11      | 6,296E-11   | 6,131E-11     | 5,679E-11     |
| 17 | 2-Metil-1-propanol    | Água          | kg      | 1,745E-10  | 1,177E-10    | 1,158E-10    | 1,611E-10       | 1,662E-10       | 1,730E-10      | 1,910E-10      | 1,511E-10   | 1,472E-10     | 1,363E-10     |
| 18 | 2-Metil-2-buteno      | Água          | kg      | 1,106E-14  | 7,464E-15    | 7,341E-15    | 1,021E-14       | 1,053E-14       | 1,097E-14      | 1,211E-14      | 9,575E-15   | 9,322E-15     | 8,636E-15     |
| 19 | Ácido 2-nitrobenzóico | Ar            | kg      | 4,478E-11  | 3,020E-11    | 2,970E-11    | 4,134E-11       | 4,265E-11       | 4,441E-11      | 4,903E-11      | 3,877E-11   | 3,775E-11     | 3,497E-11     |
| 20 | 2-propanol            | Ar            | kg      | 6,424E-06  | 4,364E-06    | 4,282E-06    | 5,938E-06       | 6,111E-06       | 6,378E-06      | 7,025E-06      | 5,560E-06   | 5,429E-06     | 5,018E-06     |
| 21 | 2-propanol            | Água          | kg      | 1,836E-10  | 1,238E-10    | 1,217E-10    | 1,695E-10       | 1,748E-10       | 1,821E-10      | 2,010E-10      | 1,589E-10   | 1,547E-10     | 1,433E-10     |
| 22 | 2,4-D                 | Solo          | kg      | 3,270E-09  | 2,208E-09    | 2,169E-09    | 3,019E-09       | 3,112E-09       | 3,243E-09      | 3,577E-09      | 2,832E-09   | 2,757E-09     | 2,552E-09     |
| 23 | 4-Metil-2-pentanona   | Água          | kg      | 9,826E-09  | 6,626E-09    | 6,517E-09    | 9,073E-09       | 9,360E-09       | 9,746E-09      | 1,076E-08      | 8,508E-09   | 8,284E-09     | 7,674E-09     |
| 24 | 5-metil-Chrysene      | Ar            | kg      | 6,316E-11  | 4,260E-11    | 4,189E-11    | 5,832E-11       | 6,017E-11       | 6,265E-11      | 6,916E-11      | 5,469E-11   | 5,325E-11     | 4,933E-11     |
| 25 | Acenafteno            | Ar            | kg      | 1,513E-09  | 1,020E-09    | 1,003E-09    | 1,397E-09       | 1,441E-09       | 1,501E-09      | 1,657E-09      | 1,310E-09   | 1,275E-09     | 1,182E-09     |
| 26 | Acenafteno            | Água          | kg      | 2,176E-09  | 1,471E-09    | 1,446E-09    | 2,010E-09       | 2,073E-09       | 2,160E-09      | 2,383E-09      | 1,884E-09   | 1,837E-09     | 1,701E-09     |
| 27 | Acenaftileno          | Ar            | kg      | 7,178E-10  | 4,840E-10    | 4,760E-10    | 6,627E-10       | 6,837E-10       | 7,119E-10      | 7,859E-10      | 6,215E-10   | 6,051E-10     | 5,605E-10     |
| 28 | Acenaftileno          | Água          | kg      | 1,361E-10  | 9,201E-11    | 9,042E-11    | 1,258E-10       | 1,297E-10       | 1,351E-10      | 1,490E-10      | 1,179E-10   | 1,148E-10     | 1,063E-10     |
| 29 | Acetaldeído           | Ar            | kg      | 5,826E-05  | 3,927E-05    | 3,860E-05    | 5,376E-05       | 5,542E-05       | 5,775E-05      | 6,371E-05      | 5,044E-05   | 4,909E-05     | 4,544E-05     |

| Nº | Substância                                 | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 30 | Acetaldeído                                | Água          | kg      | 2,181E-07  | 1,481E-07    | 1,453E-07    | 2,015E-07       | 2,075E-07       | 2,165E-07      | 2,385E-07      | 1,888E-07   | 1,843E-07     | 1,704E-07     |
| 31 | Ácido acético                              | Ar            | kg      | 1,261E-04  | 8,509E-05    | 8,361E-05    | 1,163E-04       | 1,199E-04       | 1,249E-04      | 1,378E-04      | 1,091E-04   | 1,063E-04     | 9,829E-05     |
| 32 | Ácido acético                              | Água          | kg      | 3,052E-06  | 1,324E-05    | 1,521E-05    | 1,047E-05       | 1,396E-05       | 1,124E-05      | 1,605E-05      | 2,643E-06   | 1,166E-05     | 1,338E-05     |
| 33 | Acetona                                    | Ar            | kg      | 2,162E-05  | 1,460E-05    | 1,433E-05    | 1,994E-05       | 2,052E-05       | 2,142E-05      | 2,358E-05      | 1,871E-05   | 1,821E-05     | 1,683E-05     |
| 34 | Acetona                                    | Água          | kg      | 4,435E-08  | 2,991E-08    | 2,941E-08    | 4,095E-08       | 4,224E-08       | 4,399E-08      | 4,856E-08      | 3,840E-08   | 3,739E-08     | 3,464E-08     |
| 35 | Acetonitrilo                               | Ar            | kg      | 9,668E-09  | 6,525E-09    | 6,411E-09    | 8,924E-09       | 9,198E-09       | 9,586E-09      | 1,057E-08      | 8,370E-09   | 8,150E-09     | 7,543E-09     |
| 36 | Acetonitrilo                               | Água          | kg      | 2,122E-10  | 1,431E-10    | 1,407E-10    | 1,959E-10       | 2,021E-10       | 2,105E-10      | 2,323E-10      | 1,837E-10   | 1,789E-10     | 1,657E-10     |
| 37 | Acetofenona                                | Ar            | kg      | 4,118E-08  | 2,777E-08    | 2,731E-08    | 3,802E-08       | 3,922E-08       | 4,084E-08      | 4,509E-08      | 3,565E-08   | 3,471E-08     | 3,216E-08     |
| 38 | Cloreto de acetilo                         | Água          | kg      | 5,185E-11  | 3,497E-11    | 3,439E-11    | 4,787E-11       | 4,939E-11       | 5,143E-11      | 5,677E-11      | 4,490E-11   | 4,371E-11     | 4,049E-11     |
| 39 | Acidez, não especificado                   | Água          | kg      | 3,098E-07  | 2,538E-07    | 2,582E-07    | 3,166E-07       | 3,390E-07       | 3,401E-07      | 3,897E-07      | 2,683E-07   | 2,975E-07     | 2,858E-07     |
| 40 | Ácidos, não especificados                  | Água          | kg      | 2,060E-10  | 1,389E-10    | 1,366E-10    | 1,902E-10       | 1,962E-10       | 2,043E-10      | 2,255E-10      | 1,784E-10   | 1,737E-10     | 1,609E-10     |
| 41 | Aclonifen                                  | Solo          | kg      | 3,875E-07  | 2,613E-07    | 2,570E-07    | 3,578E-07       | 3,691E-07       | 3,844E-07      | 4,243E-07      | 3,355E-07   | 3,267E-07     | 3,026E-07     |
| 42 | Acrolein                                   | Ar            | kg      | 6,054E-07  | 4,083E-07    | 4,016E-07    | 5,590E-07       | 5,767E-07       | 6,005E-07      | 6,630E-07      | 5,242E-07   | 5,104E-07     | 4,729E-07     |
| 43 | Acrilato, ion                              | Água          | kg      | 3,934E-08  | 2,672E-08    | 2,622E-08    | 3,636E-08       | 3,742E-08       | 3,906E-08      | 4,302E-08      | 3,404E-08   | 3,324E-08     | 3,073E-08     |
| 44 | Ácido acrílico                             | Ar            | kg      | 1,662E-08  | 1,129E-08    | 1,108E-08    | 1,536E-08       | 1,582E-08       | 1,650E-08      | 1,818E-08      | 1,439E-08   | 1,405E-08     | 1,298E-08     |
| 45 | Actínídeos, radioativos, não especificados | Ar            | Bq      | 5,885E-03  | 3,980E-03    | 3,914E-03    | 5,439E-03       | 5,612E-03       | 5,843E-03      | 6,451E-03      | 5,095E-03   | 4,969E-03     | 4,603E-03     |
| 46 | Actínídeos, radioativos, não especificados | Água          | Bq      | 8,745E-01  | 5,914E-01    | 5,818E-01    | 8,085E-01       | 8,343E-01       | 8,684E-01      | 9,590E-01      | 7,572E-01   | 7,385E-01     | 6,843E-01     |
| 47 | Aerossóis, radioativos, não especificados  | Ar            | Bq      | 1,265E-01  | 8,559E-02    | 8,420E-02    | 1,170E-01       | 1,207E-01       | 1,257E-01      | 1,388E-01      | 1,096E-01   | 1,069E-01     | 9,903E-02     |
| 48 | Aldeídos, não especificados                | Ar            | kg      | 2,426E-05  | 1,637E-05    | 1,610E-05    | 2,240E-05       | 2,311E-05       | 2,407E-05      | 2,657E-05      | 2,101E-05   | 2,045E-05     | 1,895E-05     |
| 49 | Aldrin                                     | Solo          | kg      | 4,276E-10  | 2,904E-10    | 2,850E-10    | 3,952E-10       | 4,067E-10       | 4,245E-10      | 4,675E-10      | 3,700E-10   | 3,614E-10     | 3,339E-10     |
| 50 | Ligas                                      | Matéria prima | kg      | 9,146E-01  | 6,167E-01    | 6,066E-01    | 8,444E-01       | 8,712E-01       | 9,071E-01      | 1,001E+00      | 7,919E-01   | 7,710E-01     | 7,142E-01     |
| 51 | Alumínio                                   | Ar            | kg      | 1,504E-02  | 1,014E-02    | 9,977E-03    | 1,389E-02       | 1,433E-02       | 1,492E-02      | 1,647E-02      | 1,302E-02   | 1,268E-02     | 1,175E-02     |
| 52 | Alumínio                                   | Água          | kg      | 5,929E-02  | 4,009E-02    | 3,943E-02    | 5,480E-02       | 5,654E-02       | 5,886E-02      | 6,499E-02      | 5,133E-02   | 5,005E-02     | 4,637E-02     |
| 53 | Alumínio                                   | Solo          | kg      | 2,455E-03  | 1,656E-03    | 1,629E-03    | 2,267E-03       | 2,338E-03       | 2,435E-03      | 2,688E-03      | 2,126E-03   | 2,070E-03     | 1,917E-03     |

| Nº | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 54 | Alumínio, 24% em bauxita, 11% em minério bruto, em solo | Matéria prima | kg      | 3,176E-02  | 2,153E-02    | 2,116E-02    | 2,936E-02       | 3,027E-02       | 3,154E-02      | 3,480E-02      | 2,750E-02   | 2,684E-02     | 2,484E-02     |
| 55 | Amônia  | Ar            | kg      | 3,063E-02  | 2,058E-02    | 2,015E-02    | 2,816E-02       | 2,893E-02       | 3,025E-02      | 3,326E-02      | 2,652E-02   | 2,571E-02     | 2,371E-02     |
| 56 | Amônia  | Água          | kg      | 4,281E-05  | 2,887E-05    | 2,839E-05    | 3,953E-05       | 4,078E-05       | 4,246E-05      | 4,688E-05      | 3,707E-05   | 3,609E-05     | 3,343E-05     |
| 57 | Amônia, como N  | Água          | kg      | 1,035E-10  | 6,977E-11    | 6,861E-11    | 9,552E-11       | 9,854E-11       | 1,026E-10      | 1,133E-10      | 8,958E-11   | 8,721E-11     | 8,079E-11     |
| 59 | Cloreto de amônio                                       | Ar            | kg      | 3,640E-07  | 2,455E-07    | 2,414E-07    | 3,361E-07       | 3,467E-07       | 3,610E-07      | 3,986E-07      | 3,152E-07   | 3,069E-07     | 2,843E-07     |
| 60 | Amônio, íon   | Água          | kg      | 2,311E-03  | 1,550E-03    | 1,514E-03    | 2,120E-03       | 2,173E-03       | 2,277E-03      | 2,498E-03      | 2,000E-03   | 1,935E-03     | 1,781E-03     |
| 61 | Anidrite, no chão                                       | Matéria prima | kg      | 4,998E-07  | 5,559E-07    | 5,896E-07    | 6,111E-07       | 6,921E-07       | 6,565E-07      | 7,956E-07      | 4,328E-07   | 5,991E-07     | 6,054E-07     |
| 62 | Anilina   | Ar            | kg      | 2,049E-10  | 1,382E-10    | 1,359E-10    | 1,892E-10       | 1,952E-10       | 2,033E-10      | 2,244E-10      | 1,774E-10   | 1,728E-10     | 1,600E-10     |
| 63 | Anilina   | Água          | kg      | 5,098E-10  | 3,438E-10    | 3,381E-10    | 4,708E-10       | 4,856E-10       | 5,057E-10      | 5,583E-10      | 4,415E-10   | 4,298E-10     | 3,982E-10     |
| 64 | Antraceno   | Ar            | kg      | 6,029E-10  | 4,066E-10    | 3,999E-10    | 5,567E-10       | 5,743E-10       | 5,980E-10      | 6,601E-10      | 5,220E-10   | 5,083E-10     | 4,709E-10     |
| 65 | Ácido antranílico                                       | Ar            | kg      | 3,263E-11  | 2,200E-11    | 2,164E-11    | 3,013E-11       | 3,108E-11       | 3,236E-11      | 3,573E-11      | 2,825E-11   | 2,751E-11     | 2,548E-11     |
| 66 | Antimônio   | Ar            | kg      | 1,001E-06  | 6,780E-07    | 6,660E-07    | 9,248E-07       | 9,529E-07       | 9,935E-07      | 1,095E-06      | 8,664E-07   | 8,451E-07     | 7,820E-07     |
| 67 | Antimônio   | Água          | kg      | 4,842E-05  | 3,294E-05    | 3,240E-05    | 4,486E-05       | 4,627E-05       | 4,818E-05      | 5,319E-05      | 4,192E-05   | 4,101E-05     | 3,800E-05     |
| 68 | Antimônio   | Solo          | kg      | 6,526E-11  | 4,424E-11    | 4,344E-11    | 6,030E-11       | 6,211E-11       | 6,478E-11      | 7,140E-11      | 5,650E-11   | 5,511E-11     | 5,098E-11     |
| 69 | Antimônio-122   | Água          | Bq      | 7,460E-04  | 5,035E-04    | 4,952E-04    | 6,890E-04       | 7,108E-04       | 7,401E-04      | 8,170E-04      | 6,458E-04   | 6,290E-04     | 5,827E-04     |
| 70 | Antimônio-124   | Ar            | Bq      | 1,850E-06  | 1,249E-06    | 1,228E-06    | 1,709E-06       | 1,763E-06       | 1,835E-06      | 2,026E-06      | 1,602E-06   | 1,560E-06     | 1,445E-06     |
| 71 | Antimônio-124   | Água          | Bq      | 1,600E-01  | 1,081E-01    | 1,064E-01    | 1,479E-01       | 1,526E-01       | 1,588E-01      | 1,754E-01      | 1,385E-01   | 1,351E-01     | 1,251E-01     |
| 72 | Antimônio-125   | Ar            | Bq      | 1,931E-05  | 1,303E-05    | 1,282E-05    | 1,784E-05       | 1,840E-05       | 1,916E-05      | 2,115E-05      | 1,672E-05   | 1,628E-05     | 1,509E-05     |
| 73 | Antimônio-125   | Água          | Bq      | 1,475E-01  | 9,969E-02    | 9,807E-02    | 1,363E-01       | 1,406E-01       | 1,464E-01      | 1,617E-01      | 1,277E-01   | 1,245E-01     | 1,154E-01     |
| 74 | AOX, halogênio orgânico adsorvível como Cl              | Água          | kg      | 2,260E-06  | 1,525E-06    | 1,500E-06    | 2,086E-06       | 2,152E-06       | 2,241E-06      | 2,474E-06      | 1,957E-06   | 1,906E-06     | 1,766E-06     |
| 75 | Argon-41  | Ar            | Bq      | 6,451E+01  | 4,363E+01    | 4,292E+01    | 5,964E+01       | 6,154E+01       | 6,406E+01      | 7,075E+01      | 5,585E+01   | 5,448E+01     | 5,048E+01     |
| 76 | Arsênio   | Ar            | kg      | 1,399E-05  | 9,453E-06    | 9,290E-06    | 1,291E-05       | 1,331E-05       | 1,387E-05      | 1,530E-05      | 1,210E-05   | 1,180E-05     | 1,091E-05     |
| 77 | Arsênio   | Solo          | kg      | 8,053E-07  | 5,432E-07    | 5,341E-07    | 7,435E-07       | 7,670E-07       | 7,987E-07      | 8,817E-07      | 6,972E-07   | 6,789E-07     | 6,289E-07     |
| 78 | Arsênio, íon  | Água          | kg      | 2,727E-04  | 1,842E-04    | 1,811E-04    | 2,520E-04       | 2,598E-04       | 2,706E-04      | 2,987E-04      | 2,361E-04   | 2,300E-04     | 2,131E-04     |
| 79 | Arsine  | Ar            | kg      | 1,937E-13  | 1,316E-13    | 1,291E-13    | 1,790E-13       | 1,843E-13       | 1,923E-13      | 2,119E-13      | 1,677E-13   | 1,637E-13     | 1,514E-13     |
| 80 | Atrazina  | Solo          | kg      | 1,122E-10  | 7,616E-11    | 7,476E-11    | 1,037E-10       | 1,067E-10       | 1,114E-10      | 1,226E-10      | 9,704E-11   | 9,475E-11     | 8,761E-11     |
| 81 | Barite  | Água          | kg      | 2,451E-03  | 1,654E-03    | 1,624E-03    | 2,261E-03       | 2,330E-03       | 2,429E-03      | 2,678E-03      | 2,122E-03   | 2,065E-03     | 1,911E-03     |

| Nº  | Substância                            | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---------------------------------------|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 82  | Barite, 15% em minério bruto, no solo | Matéria prima | kg      | 3,657E-02  | 2,474E-02    | 2,432E-02    | 3,379E-02       | 3,484E-02       | 3,630E-02      | 4,005E-02      | 3,166E-02   | 3,087E-02     | 2,858E-02     |
| 83  | Bário                                 | Ar            | kg      | 1,006E-05  | 6,796E-06    | 6,684E-06    | 9,298E-06       | 9,593E-06       | 9,988E-06      | 1,103E-05      | 8,714E-06   | 8,491E-06     | 7,867E-06     |
| 84  | Bário                                 | Água          | kg      | 4,736E-03  | 3,196E-03    | 3,143E-03    | 4,374E-03       | 4,513E-03       | 4,699E-03      | 5,187E-03      | 4,101E-03   | 3,994E-03     | 3,700E-03     |
| 85  | Bário                                 | Solo          | kg      | 1,000E-04  | 6,759E-05    | 6,642E-05    | 9,238E-05       | 9,521E-05       | 9,923E-05      | 1,094E-04      | 8,661E-05   | 8,438E-05     | 7,809E-05     |
| 86  | Bário-140                             | Ar            | Bq      | 1,256E-03  | 8,478E-04    | 8,338E-04    | 1,160E-03       | 1,197E-03       | 1,246E-03      | 1,376E-03      | 1,087E-03   | 1,059E-03     | 9,813E-04     |
| 87  | Bário-140                             | Água          | Bq      | 3,268E-03  | 2,206E-03    | 2,169E-03    | 3,018E-03       | 3,113E-03       | 3,242E-03      | 3,579E-03      | 2,829E-03   | 2,756E-03     | 2,553E-03     |
| 89  | Benomyl                               | Solo          | kg      | 2,067E-11  | 1,396E-11    | 1,371E-11    | 1,908E-11       | 1,967E-11       | 2,049E-11      | 2,261E-11      | 1,790E-11   | 1,743E-11     | 1,613E-11     |
| 90  | Bentazona                             | Solo          | kg      | 1,978E-07  | 1,334E-07    | 1,312E-07    | 1,826E-07       | 1,884E-07       | 1,962E-07      | 2,165E-07      | 1,712E-07   | 1,667E-07     | 1,544E-07     |
| 91  | Cloreto de benzeno                    | Ar            | kg      | 1,315E-15  | 8,913E-16    | 8,751E-16    | 1,215E-15       | 1,252E-15       | 1,306E-15      | 1,439E-15      | 1,139E-15   | 1,111E-15     | 1,027E-15     |
| 92  | Benzaldeído                           | Ar            | kg      | 3,553E-09  | 2,401E-09    | 2,362E-09    | 3,284E-09       | 3,388E-09       | 3,528E-09      | 3,894E-09      | 3,077E-09   | 2,999E-09     | 2,779E-09     |
| 93  | Benzeno                               | Ar            | kg      | 3,958E-03  | 2,669E-03    | 2,625E-03    | 3,654E-03       | 3,770E-03       | 3,926E-03      | 4,333E-03      | 3,427E-03   | 3,337E-03     | 3,091E-03     |
| 94  | Benzeno                               | Água          | kg      | 5,442E-05  | 3,691E-05    | 3,632E-05    | 5,037E-05       | 5,199E-05       | 5,411E-05      | 5,977E-05      | 4,712E-05   | 4,603E-05     | 4,266E-05     |
| 95  | Benzeno, 1-metil-2-nitro-             | Ar            | kg      | 3,867E-11  | 2,607E-11    | 2,564E-11    | 3,570E-11       | 3,683E-11       | 3,835E-11      | 4,234E-11      | 3,348E-11   | 3,260E-11     | 3,020E-11     |
| 96  | Benzeno, 1-metil-4- (1- metiletil) -  | Água          | kg      | 2,334E-10  | 1,574E-10    | 1,548E-10    | 2,156E-10       | 2,224E-10       | 2,315E-10      | 2,556E-10      | 2,021E-10   | 1,968E-10     | 1,823E-10     |
| 97  | Benzeno, 1,2-dicloro-                 | Ar            | kg      | 8,253E-10  | 5,566E-10    | 5,474E-10    | 7,621E-10       | 7,862E-10       | 8,186E-10      | 9,037E-10      | 7,146E-10   | 6,958E-10     | 6,446E-10     |
| 98  | Benzeno, 1,2-dicloro-                 | Água          | kg      | 5,070E-08  | 3,442E-08    | 3,378E-08    | 4,685E-08       | 4,823E-08       | 5,033E-08      | 5,544E-08      | 4,388E-08   | 4,284E-08     | 3,960E-08     |
| 99  | Benzeno, cloro-                       | Ar            | kg      | 6,039E-08  | 4,072E-08    | 4,005E-08    | 5,576E-08       | 5,752E-08       | 5,989E-08      | 6,612E-08      | 5,229E-08   | 5,091E-08     | 4,716E-08     |
| 100 | Benzeno, cloro-                       | Água          | kg      | 1,009E-06  | 6,848E-07    | 6,721E-07    | 9,321E-07       | 9,595E-07       | 1,001E-06      | 1,103E-06      | 8,729E-07   | 8,522E-07     | 7,878E-07     |
| 101 | Benzeno, etil-                        | Ar            | kg      | 2,205E-05  | 1,489E-05    | 1,464E-05    | 2,037E-05       | 2,101E-05       | 2,188E-05      | 2,415E-05      | 1,909E-05   | 1,860E-05     | 1,723E-05     |
| 102 | Benzeno, etil-                        | Água          | kg      | 8,620E-06  | 5,827E-06    | 5,728E-06    | 7,962E-06       | 8,209E-06       | 8,553E-06      | 9,436E-06      | 7,463E-06   | 7,273E-06     | 6,734E-06     |
| 103 | Benzeno, hexacloro                    | Ar            | kg      | 7,035E-09  | 4,752E-09    | 4,672E-09    | 6,498E-09       | 6,700E-09       | 6,980E-09      | 7,701E-09      | 6,092E-09   | 5,935E-09     | 5,495E-09     |
| 104 | Benzeno, pentacloro                   | Ar            | kg      | 1,005E-09  | 6,800E-10    | 6,688E-10    | 9,291E-10       | 9,585E-10       | 9,980E-10      | 1,102E-09      | 8,701E-10   | 8,487E-10     | 7,863E-10     |
| 105 | Benzeno, pentametil-                  | Água          | kg      | 1,751E-10  | 1,181E-10    | 1,161E-10    | 1,617E-10       | 1,668E-10       | 1,737E-10      | 1,917E-10      | 1,516E-10   | 1,476E-10     | 1,368E-10     |

| Nº  | Substância                              | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 106 | Benzenos, alquilados, não especificados | Água          | kg      | 1,038E-07  | 7,003E-08    | 6,888E-08    | 9,589E-08       | 9,892E-08       | 1,030E-07      | 1,137E-07      | 8,992E-08   | 8,755E-08     | 8,110E-08     |
| 107 | Benzo (a) antraceno                     | Ar            | kg      | 2,297E-10  | 1,549E-10    | 1,523E-10    | 2,121E-10       | 2,188E-10       | 2,278E-10      | 2,515E-10      | 1,989E-10   | 1,937E-10     | 1,794E-10     |
| 108 | Benzo (a) pireno                        | Ar            | kg      | 1,880E-06  | 1,269E-06    | 1,248E-06    | 1,736E-06       | 1,791E-06       | 1,865E-06      | 2,059E-06      | 1,628E-06   | 1,586E-06     | 1,469E-06     |
| 109 | Benzo (b, j, k) fluoranteno             | Ar            | kg      | 3,158E-10  | 2,130E-10    | 2,095E-10    | 2,916E-10       | 3,008E-10       | 3,132E-10      | 3,458E-10      | 2,735E-10   | 2,662E-10     | 2,466E-10     |
| 110 | Benzo (g, h, i) perileno                | Ar            | kg      | 7,752E-11  | 5,228E-11    | 5,142E-11    | 7,158E-11       | 7,384E-11       | 7,689E-11      | 8,488E-11      | 6,713E-11   | 6,535E-11     | 6,054E-11     |
| 111 | Ácido benzóico                          | Água          | kg      | 2,370E-06  | 1,598E-06    | 1,572E-06    | 2,188E-06       | 2,257E-06       | 2,350E-06      | 2,595E-06      | 2,052E-06   | 1,998E-06     | 1,851E-06     |
| 112 | Cloreto de benzilo                      | Ar            | kg      | 1,921E-06  | 1,295E-06    | 1,274E-06    | 1,774E-06       | 1,830E-06       | 1,905E-06      | 2,103E-06      | 1,663E-06   | 1,619E-06     | 1,500E-06     |
| 113 | Berílio                                 | Ar            | kg      | 2,541E-06  | 1,713E-06    | 1,685E-06    | 2,346E-06       | 2,420E-06       | 2,520E-06      | 2,782E-06      | 2,200E-06   | 2,142E-06     | 1,984E-06     |
| 114 | Berílio                                 | Água          | kg      | 7,666E-05  | 5,177E-05    | 5,091E-05    | 7,082E-05       | 7,305E-05       | 7,608E-05      | 8,397E-05      | 6,638E-05   | 6,467E-05     | 5,991E-05     |
| 115 | Bifenil                                 | Ar            | kg      | 3,720E-04  | 2,509E-04    | 2,467E-04    | 3,435E-04       | 3,544E-04       | 3,690E-04      | 4,073E-04      | 3,221E-04   | 3,136E-04     | 2,905E-04     |
| 116 | Bifenil                                 | Água          | kg      | 6,725E-09  | 4,535E-09    | 4,460E-09    | 6,209E-09       | 6,405E-09       | 6,670E-09      | 7,363E-09      | 5,823E-09   | 5,669E-09     | 5,252E-09     |
| 118 | Borato                                  | Água          | kg      | 7,528E-09  | 5,077E-09    | 4,993E-09    | 6,951E-09       | 7,171E-09       | 7,467E-09      | 8,243E-09      | 6,518E-09   | 6,346E-09     | 5,879E-09     |
| 119 | Borax, no chão                          | Matéria prima | kg      | 5,065E-07  | 3,424E-07    | 3,366E-07    | 4,679E-07       | 4,824E-07       | 5,026E-07      | 5,545E-07      | 4,385E-07   | 4,274E-07     | 3,957E-07     |
| 120 | Boro                                    | Ar            | kg      | 1,826E-04  | 1,235E-04    | 1,215E-04    | 1,688E-04       | 1,742E-04       | 1,813E-04      | 2,003E-04      | 1,581E-04   | 1,542E-04     | 1,428E-04     |
| 121 | Boro                                    | Água          | kg      | 1,662E-03  | 1,126E-03    | 1,106E-03    | 1,536E-03       | 1,582E-03       | 1,650E-03      | 1,819E-03      | 1,439E-03   | 1,403E-03     | 1,298E-03     |
| 122 | Boro                                    | Solo          | kg      | 3,633E-06  | 2,455E-06    | 2,413E-06    | 3,356E-06       | 3,460E-06       | 3,605E-06      | 3,977E-06      | 3,145E-06   | 3,065E-06     | 2,839E-06     |
| 123 | Trifluoreto de boro                     | Ar            | kg      | 2,652E-15  | 1,801E-15    | 1,767E-15    | 2,450E-15       | 2,522E-15       | 2,632E-15      | 2,899E-15      | 2,295E-15   | 2,241E-15     | 2,071E-15     |
| 124 | Bromato                                 | Água          | kg      | 1,580E-05  | 1,282E-05    | 1,303E-05    | 1,607E-05       | 1,719E-05       | 1,726E-05      | 1,976E-05      | 1,368E-05   | 1,508E-05     | 1,447E-05     |
| 125 | Brometo                                 | Água          | kg      | 5,010E-04  | 3,378E-04    | 3,323E-04    | 4,626E-04       | 4,772E-04       | 4,969E-04      | 5,485E-04      | 4,338E-04   | 4,223E-04     | 3,913E-04     |
| 126 | Bromo                                   | Ar            | kg      | 4,566E-05  | 3,084E-05    | 3,033E-05    | 4,219E-05       | 4,353E-05       | 4,532E-05      | 5,003E-05      | 3,954E-05   | 3,853E-05     | 3,570E-05     |
| 127 | Bromo                                   | Água          | kg      | 2,881E-04  | 1,950E-04    | 1,917E-04    | 2,663E-04       | 2,746E-04       | 2,860E-04      | 3,156E-04      | 2,495E-04   | 2,433E-04     | 2,253E-04     |
| 128 | Bromina, 0,0023% em água                | Matéria prima | kg      | 5,222E-07  | 3,522E-07    | 3,464E-07    | 4,822E-07       | 4,975E-07       | 5,180E-07      | 5,718E-07      | 4,522E-07   | 4,403E-07     | 4,079E-07     |
| 129 | Bromoform                               | Ar            | kg      | 1,071E-07  | 7,219E-08    | 7,100E-08    | 9,885E-08       | 1,020E-07       | 1,062E-07      | 1,172E-07      | 9,270E-08   | 9,025E-08     | 8,361E-08     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 130 | BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno), razão não especificada | Ar            | kg      | 2,173E-05  | 1,465E-05    | 1,441E-05    | 2,007E-05       | 2,070E-05       | 2,155E-05      | 2,379E-05      | 1,882E-05   | 1,832E-05     | 1,697E-05     |
| 131 | Butadieno   | Ar            | kg      | 7,953E-09  | 5,365E-09    | 5,276E-09    | 7,344E-09       | 7,576E-09       | 7,889E-09      | 8,708E-09      | 6,886E-09   | 6,706E-09     | 6,211E-09     |
| 132 | Butano  | Ar            | kg      | 6,202E-04  | 4,190E-04    | 4,117E-04    | 5,727E-04       | 5,902E-04       | 6,152E-04      | 6,784E-04      | 5,369E-04   | 5,230E-04     | 4,840E-04     |
| 133 | Butene  | Ar            | kg      | 7,749E-06  | 5,239E-06    | 5,150E-06    | 7,159E-06       | 7,380E-06       | 7,690E-06      | 8,484E-06      | 6,709E-06   | 6,539E-06     | 6,054E-06     |
| 134 | Butene  | Água          | kg      | 7,611E-08  | 5,345E-08    | 5,281E-08    | 7,156E-08       | 7,417E-08       | 7,687E-08      | 8,526E-08      | 6,588E-08   | 6,576E-08     | 6,120E-08     |
| 135 | Acetato de butilo   | Água          | kg      | 1,408E-07  | 9,568E-08    | 9,389E-08    | 1,301E-07       | 1,339E-07       | 1,398E-07      | 1,540E-07      | 1,218E-07   | 1,190E-07     | 1,100E-07     |
| 136 | Butyrolactone   | Ar            | kg      | 9,965E-11  | 6,769E-11    | 6,642E-11    | 9,211E-11       | 9,480E-11       | 9,894E-11      | 1,090E-10      | 8,625E-11   | 8,422E-11     | 7,784E-11     |
| 137 | Butyrolactone   | Água          | kg      | 2,392E-10  | 1,625E-10    | 1,594E-10    | 2,211E-10       | 2,276E-10       | 2,375E-10      | 2,616E-10      | 2,070E-10   | 2,021E-10     | 1,868E-10     |
| 138 | Cádmio  | Ar            | kg      | 7,954E-06  | 5,366E-06    | 5,270E-06    | 7,338E-06       | 7,558E-06       | 7,882E-06      | 8,688E-06      | 6,886E-06   | 6,701E-06     | 6,199E-06     |
| 139 | Cádmio  | Solo          | kg      | 1,561E-06  | 1,053E-06    | 1,035E-06    | 1,441E-06       | 1,487E-06       | 1,548E-06      | 1,709E-06      | 1,352E-06   | 1,316E-06     | 1,219E-06     |
| 140 | Cádmio, 0,30% em sulfureto, Cd 0,18%, Pb, Zn, Ag, In, no solo         | Matéria prima | kg      | 7,733E-06  | 5,220E-06    | 5,133E-06    | 7,141E-06       | 7,365E-06       | 7,671E-06      | 8,466E-06      | 6,695E-06   | 6,522E-06     | 6,040E-06     |
| 141 | Cádmio, íon   | Água          | kg      | 7,306E-05  | 4,940E-05    | 4,855E-05    | 6,750E-05       | 6,958E-05       | 7,250E-05      | 7,998E-05      | 6,325E-05   | 6,165E-05     | 5,707E-05     |
| 142 | Calcita, no chão  | Matéria prima | kg      | 3,637E+01  | 2,453E+01    | 2,413E+01    | 3,359E+01       | 3,465E+01       | 3,608E+01      | 3,983E+01      | 3,150E+01   | 3,067E+01     | 2,841E+01     |
| 143 | Cálcio  | Ar            | kg      | 2,688E-03  | 1,813E-03    | 1,783E-03    | 2,482E-03       | 2,561E-03       | 2,666E-03      | 2,944E-03      | 2,328E-03   | 2,266E-03     | 2,100E-03     |
| 144 | Cálcio  | Solo          | kg      | 3,143E-02  | 2,120E-02    | 2,085E-02    | 2,902E-02       | 2,994E-02       | 3,117E-02      | 3,441E-02      | 2,721E-02   | 2,650E-02     | 2,455E-02     |
| 146 | Carbetamida   | Solo          | kg      | 7,033E-08  | 4,744E-08    | 4,665E-08    | 6,494E-08       | 6,700E-08       | 6,976E-08      | 7,701E-08      | 6,090E-08   | 5,930E-08     | 5,493E-08     |
| 147 | Carbofurano   | Solo          | kg      | 1,134E-08  | 7,652E-09    | 7,518E-09    | 1,047E-08       | 1,079E-08       | 1,124E-08      | 1,240E-08      | 9,815E-09   | 9,556E-09     | 8,845E-09     |
| 148 | Carbono   | Solo          | kg      | 3,541E-02  | 2,388E-02    | 2,349E-02    | 3,270E-02       | 3,373E-02       | 3,512E-02      | 3,877E-02      | 3,066E-02   | 2,985E-02     | 2,765E-02     |
| 149 | Carbon-14   | Ar            | Bq      | 5,566E+02  | 3,763E+02    | 3,702E+02    | 5,145E+02       | 5,309E+02       | 5,527E+02      | 6,103E+02      | 4,819E+02   | 4,700E+02     | 4,355E+02     |
| 150 | Preto de carbono  | Ar            | kg      | 5,035E-03  | 5,399E-03    | 7,012E-03    | 4,295E-03       | 4,960E-03       | 4,614E-03      | 5,702E-03      | 3,911E-03   | 4,076E-03     | 4,782E-03     |
| 151 | Dióxido de carbono  | Ar            | kg      | 4,899E+00  | 3,937E+00    | 4,407E+00    | 4,381E+00       | 4,665E+00       | 4,706E+00      | 5,362E+00      | 4,433E+00   | 4,403E+00     | 4,471E+00     |

| Nº  | Substância                                  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 152 | Dióxido de carbono, biogênico               | Ar            | kg      | 4,566E+01  | 3,080E+01    | 3,029E+01    | 4,217E+01       | 4,350E+01       | 4,529E+01      | 5,000E+01      | 3,954E+01   | 3,850E+01     | 3,566E+01     |
| 153 | Dióxido de carbono, fóssil                  | Ar            | kg      | 2,121E+02  | 1,432E+02    | 1,408E+02    | 1,959E+02       | 2,021E+02       | 2,105E+02      | 2,323E+02      | 1,837E+02   | 1,789E+02     | 1,657E+02     |
| 154 | Dióxido de carbono, no ar                   | Matéria prima | kg      | 1,073E+02  | 7,236E+01    | 7,117E+01    | 9,908E+01       | 1,022E+02       | 1,064E+02      | 1,175E+02      | 9,291E+01   | 9,046E+01     | 8,380E+01     |
| 155 | Dióxido de carbono, transformação de terras | Ar            | kg      | 1,520E-03  | 1,028E-03    | 1,012E-03    | 1,406E-03       | 1,450E-03       | 1,510E-03      | 1,667E-03      | 1,317E-03   | 1,284E-03     | 1,190E-03     |
| 156 | Dissulfeto de carbono                       | Ar            | kg      | 1,490E-04  | 1,009E-04    | 9,906E-05    | 1,376E-04       | 1,417E-04       | 1,478E-04      | 1,628E-04      | 1,290E-04   | 1,257E-04     | 1,163E-04     |
| 157 | Dissulfeto de carbono                       | Água          | kg      | 1,565E-09  | 1,056E-09    | 1,038E-09    | 1,445E-09       | 1,491E-09       | 1,552E-09      | 1,714E-09      | 1,355E-09   | 1,320E-09     | 1,222E-09     |
| 158 | Monóxido de carbono                         | Ar            | kg      | 1,331E-06  | 8,977E-07    | 8,829E-07    | 1,229E-06       | 1,268E-06       | 1,320E-06      | 1,458E-06      | 1,153E-06   | 1,122E-06     | 1,040E-06     |
| 159 | Monóxido de carbono, biogênico              | Ar            | kg      | 5,150E-02  | 3,473E-02    | 3,415E-02    | 4,755E-02       | 4,905E-02       | 5,108E-02      | 5,639E-02      | 4,459E-02   | 4,341E-02     | 4,022E-02     |
| 160 | Monóxido de carbono, fóssil                 | Ar            | kg      | 4,941E+01  | 5,187E+01    | 6,678E+01    | 4,234E+01       | 4,858E+01       | 4,548E+01      | 5,584E+01      | 3,782E+01   | 3,924E+01     | 4,547E+01     |
| 161 | Carbono, em matéria orgânica, no solo       | Matéria prima | kg      | 1,432E-05  | 9,662E-06    | 9,495E-06    | 1,322E-05       | 1,362E-05       | 1,420E-05      | 1,565E-05      | 1,240E-05   | 1,207E-05     | 1,117E-05     |
| 162 | Carbonato                                   | Água          | kg      | 2,434E-05  | 1,864E-05    | 1,875E-05    | 2,397E-05       | 2,533E-05       | 2,575E-05      | 2,912E-05      | 2,107E-05   | 2,231E-05     | 2,116E-05     |
| 163 | Ácidos carboxílicos, não especificados      | Água          | kg      | 1,510E-03  | 1,021E-03    | 1,003E-03    | 1,395E-03       | 1,438E-03       | 1,498E-03      | 1,653E-03      | 1,307E-03   | 1,274E-03     | 1,179E-03     |
| 164 | Cerium-141                                  | Ar            | Bq      | 3,045E-04  | 2,056E-04    | 2,022E-04    | 2,813E-04       | 2,901E-04       | 3,021E-04      | 3,335E-04      | 2,637E-04   | 2,568E-04     | 2,379E-04     |
| 165 | Cerium-141                                  | Água          | Bq      | 1,306E-03  | 8,818E-04    | 8,673E-04    | 1,207E-03       | 1,245E-03       | 1,296E-03      | 1,431E-03      | 1,131E-03   | 1,102E-03     | 1,021E-03     |
| 166 | Cerium-144                                  | Água          | Bq      | 3,978E-04  | 2,685E-04    | 2,640E-04    | 3,674E-04       | 3,790E-04       | 3,946E-04      | 4,357E-04      | 3,443E-04   | 3,354E-04     | 3,107E-04     |
| 167 | Césio                                       | Água          | kg      | 3,499E-07  | 2,366E-07    | 2,325E-07    | 3,233E-07       | 3,332E-07       | 3,473E-07      | 3,830E-07      | 3,030E-07   | 2,952E-07     | 2,733E-07     |
| 168 | Cesium-134                                  | Ar            | Bq      | 1,458E-05  | 9,842E-06    | 9,679E-06    | 1,347E-05       | 1,389E-05       | 1,446E-05      | 1,597E-05      | 1,263E-05   | 1,229E-05     | 1,139E-05     |
| 169 | Cesium-134                                  | Água          | Bq      | 1,196E-01  | 8,090E-02    | 7,958E-02    | 1,106E-01       | 1,141E-01       | 1,188E-01      | 1,312E-01      | 1,036E-01   | 1,010E-01     | 9,360E-02     |

| Nº  | Substância                            | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---------------------------------------|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 170 | Cesium-136                            | Água          | Bq      | 2,318E-04  | 1,565E-04    | 1,539E-04    | 2,142E-04       | 2,209E-04       | 2,301E-04      | 2,540E-04      | 2,007E-04   | 1,955E-04     | 1,811E-04     |
| 171 | Cesium-137                            | Ar            | Bq      | 2,586E-04  | 1,745E-04    | 1,716E-04    | 2,387E-04       | 2,463E-04       | 2,564E-04      | 2,831E-04      | 2,238E-04   | 2,180E-04     | 2,019E-04     |
| 172 | Cesium-137                            | Água          | Bq      | 1,008E+02  | 6,819E+01    | 6,708E+01    | 9,322E+01       | 9,619E+01       | 1,001E+02      | 1,106E+02      | 8,731E+01   | 8,515E+01     | 7,890E+01     |
| 174 | Cloramina                             | Água          | kg      | 1,349E-09  | 9,100E-10    | 8,950E-10    | 1,246E-09       | 1,285E-09       | 1,338E-09      | 1,478E-09      | 1,168E-09   | 1,138E-09     | 1,054E-09     |
| 175 | Clorato                               | Água          | kg      | 1,223E-04  | 9,900E-05    | 1,006E-04    | 1,243E-04       | 1,328E-04       | 1,335E-04      | 1,527E-04      | 1,059E-04   | 1,166E-04     | 1,118E-04     |
| 176 | Cloreto                               | Ar            | kg      | 9,807E-12  | 6,613E-12    | 6,504E-12    | 9,055E-12       | 9,341E-12       | 9,727E-12      | 1,074E-11      | 8,491E-12   | 8,268E-12     | 7,659E-12     |
| 177 | Cloreto                               | Água          | kg      | 9,284E-01  | 6,268E-01    | 6,164E-01    | 8,576E-01       | 8,846E-01       | 9,212E-01      | 1,017E+00      | 8,039E-01   | 7,831E-01     | 7,254E-01     |
| 178 | Cloreto                               | Solo          | kg      | 6,415E-03  | 4,330E-03    | 4,258E-03    | 5,924E-03       | 6,110E-03       | 6,364E-03      | 7,024E-03      | 5,555E-03   | 5,410E-03     | 5,011E-03     |
| 179 | Solventes clorados, não especificados | Água          | kg      | 7,305E-08  | 5,437E-08    | 5,443E-08    | 7,091E-08       | 7,454E-08       | 7,617E-08      | 8,568E-08      | 6,324E-08   | 6,570E-08     | 6,200E-08     |
| 180 | Cloro                                 | Ar            | kg      | 2,045E-04  | 1,382E-04    | 1,359E-04    | 1,890E-04       | 1,950E-04       | 2,030E-04      | 2,241E-04      | 1,771E-04   | 1,726E-04     | 1,600E-04     |
| 181 | Cloro                                 | Água          | kg      | 8,605E-06  | 5,784E-06    | 5,650E-06    | 7,842E-06       | 8,016E-06       | 8,424E-06      | 9,215E-06      | 7,372E-06   | 7,094E-06     | 6,499E-06     |
| 182 | Ácido cloroacético                    | Ar            | kg      | 2,104E-08  | 1,419E-08    | 1,395E-08    | 1,942E-08       | 2,004E-08       | 2,087E-08      | 2,303E-08      | 1,822E-08   | 1,773E-08     | 1,643E-08     |
| 183 | Ácido cloroacético                    | Água          | kg      | 4,294E-06  | 2,896E-06    | 2,849E-06    | 3,966E-06       | 4,090E-06       | 4,260E-06      | 4,702E-06      | 3,718E-06   | 3,621E-06     | 3,354E-06     |
| 184 | Cloreto de cloroacetilo               | Água          | kg      | 8,346E-11  | 5,629E-11    | 5,536E-11    | 7,707E-11       | 7,950E-11       | 8,278E-11      | 9,139E-11      | 7,227E-11   | 7,036E-11     | 6,518E-11     |
| 185 | Clorofórmio                           | Ar            | kg      | 1,863E-07  | 1,257E-07    | 1,237E-07    | 1,720E-07       | 1,775E-07       | 1,848E-07      | 2,040E-07      | 1,613E-07   | 1,571E-07     | 1,455E-07     |
| 186 | Clorofórmio                           | Água          | kg      | 2,269E-09  | 1,541E-09    | 1,512E-09    | 2,097E-09       | 2,159E-09       | 2,253E-09      | 2,481E-09      | 1,964E-09   | 1,918E-09     | 1,772E-09     |
| 187 | Clorossilano, trimetil-               | Ar            | kg      | 5,351E-09  | 3,619E-09    | 3,556E-09    | 4,942E-09       | 5,094E-09       | 5,309E-09      | 5,855E-09      | 4,632E-09   | 4,515E-09     | 4,180E-09     |
| 188 | Ácido clorossulfônico                 | Ar            | kg      | 3,094E-10  | 2,087E-10    | 2,052E-10    | 2,857E-10       | 2,947E-10       | 3,069E-10      | 3,388E-10      | 2,679E-10   | 2,608E-10     | 2,416E-10     |
| 189 | Ácido clorossulfônico                 | Água          | kg      | 7,717E-10  | 5,204E-10    | 5,118E-10    | 7,125E-10       | 7,351E-10       | 7,654E-10      | 8,450E-10      | 6,682E-10   | 6,506E-10     | 6,027E-10     |
| 190 | Chlorothalonil                        | Solo          | kg      | 3,435E-07  | 2,317E-07    | 2,278E-07    | 3,172E-07       | 3,272E-07       | 3,407E-07      | 3,761E-07      | 2,974E-07   | 2,896E-07     | 2,683E-07     |
| 191 | Cromo                                 | Ar            | kg      | 2,696E-04  | 1,820E-04    | 1,789E-04    | 2,489E-04       | 2,568E-04       | 2,674E-04      | 2,952E-04      | 2,334E-04   | 2,273E-04     | 2,105E-04     |
| 192 | Cromo                                 | Água          | kg      | 4,921E-06  | 3,319E-06    | 3,264E-06    | 4,544E-06       | 4,688E-06       | 4,881E-06      | 5,388E-06      | 4,261E-06   | 4,149E-06     | 3,843E-06     |
| 193 | Cromo                                 | Solo          | kg      | 2,225E-05  | 1,501E-05    | 1,476E-05    | 2,055E-05       | 2,120E-05       | 2,207E-05      | 2,437E-05      | 1,927E-05   | 1,876E-05     | 1,738E-05     |
| 194 | Cromo-51                              | Ar            | Bq      | 1,951E-05  | 1,317E-05    | 1,295E-05    | 1,802E-05       | 1,859E-05       | 1,936E-05      | 2,137E-05      | 1,689E-05   | 1,646E-05     | 1,524E-05     |
| 195 | Cromo-51                              | Água          | Bq      | 2,999E-01  | 2,025E-01    | 1,992E-01    | 2,770E-01       | 2,858E-01       | 2,976E-01      | 3,285E-01      | 2,597E-01   | 2,530E-01     | 2,344E-01     |
| 196 | Cromo VI                              | Ar            | kg      | 1,785E-06  | 1,208E-06    | 1,187E-06    | 1,649E-06       | 1,700E-06       | 1,772E-06      | 1,954E-06      | 1,545E-06   | 1,507E-06     | 1,394E-06     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 197 | Cromo VI   | Água          | kg      | 5,322E-04  | 3,595E-04    | 3,536E-04    | 4,917E-04       | 5,072E-04       | 5,282E-04      | 5,831E-04      | 4,608E-04   | 4,491E-04     | 4,160E-04     |
| 198 | Cromo VI   | Solo          | kg      | 9,213E-06  | 6,227E-06    | 6,126E-06    | 8,515E-06       | 8,786E-06       | 9,147E-06      | 1,010E-05      | 7,977E-06   | 7,778E-06     | 7,206E-06     |
| 199 | Cromo, 25,5% em cromite, 11,6% em minério bruto, em solo | Matéria prima | kg      | 1,532E-02  | 1,039E-02    | 1,020E-02    | 1,416E-02       | 1,459E-02       | 1,521E-02      | 1,677E-02      | 1,327E-02   | 1,295E-02     | 1,197E-02     |
| 200 | Cromo, íon   | Água          | kg      | 2,657E-06  | 1,906E-06    | 1,896E-06    | 2,530E-06       | 2,641E-06       | 2,718E-06      | 3,036E-06      | 2,301E-06   | 2,332E-06     | 2,185E-06     |
| 201 | Chrysene   | Ar            | kg      | 2,871E-10  | 1,936E-10    | 1,904E-10    | 2,651E-10       | 2,735E-10       | 2,847E-10      | 3,143E-10      | 2,486E-10   | 2,420E-10     | 2,242E-10     |
| 202 | Crisotila, no solo                                       | Matéria prima | kg      | 2,993E-06  | 2,428E-06    | 2,468E-06    | 3,043E-06       | 3,255E-06       | 3,269E-06      | 3,741E-06      | 2,591E-06   | 2,856E-06     | 2,740E-06     |
| 204 | Argila, bentonite, no solo                               | Matéria prima | kg      | 7,399E-01  | 4,990E-01    | 4,907E-01    | 6,832E-01       | 7,048E-01       | 7,339E-01      | 8,102E-01      | 6,407E-01   | 6,238E-01     | 5,779E-01     |
| 205 | Argila, não especificada, no solo                        | Matéria prima | kg      | 1,154E+00  | 7,810E-01    | 7,674E-01    | 1,066E+00       | 1,099E+00       | 1,145E+00      | 1,263E+00      | 9,993E-01   | 9,742E-01     | 9,016E-01     |
| 206 | Carvão, 26,4 MJ por kg, no solo                          | Matéria prima | kg      | 6,657E+00  | 4,490E+00    | 4,415E+00    | 6,147E+00       | 6,342E+00       | 6,603E+00      | 7,290E+00      | 5,765E+00   | 5,612E+00     | 5,199E+00     |
| 207 | Carvão, 29,3 MJ por kg, no solo                          | Matéria prima | kg      | 3,963E+01  | 2,673E+01    | 2,628E+01    | 3,659E+01       | 3,775E+01       | 3,931E+01      | 4,339E+01      | 3,431E+01   | 3,341E+01     | 3,095E+01     |
| 208 | Carvão, betuminoso, 24,8 MJ por kg, no solo              | Matéria prima | kg      | 6,229E+00  | 6,679E+00    | 8,675E+00    | 5,313E+00       | 6,136E+00       | 5,708E+00      | 7,053E+00      | 5,867E+00   | 6,115E+00     | 7,174E+00     |
| 209 | Carvão, marrom, no solo                                  | Matéria prima | kg      | 6,883E+00  | 4,656E+00    | 4,581E+00    | 6,364E+00       | 6,568E+00       | 6,836E+00      | 7,549E+00      | 5,960E+00   | 5,813E+00     | 5,387E+00     |
| 210 | Carvão, difícil, não especificado, no solo               | Matéria prima | kg      | 5,520E+01  | 3,831E+01    | 3,860E+01    | 5,078E+01       | 5,267E+01       | 5,455E+01      | 6,055E+01      | 4,800E+01   | 4,692E+01     | 4,412E+01     |
| 211 | Cobalto  | Ar            | kg      | 6,607E-06  | 4,449E-06    | 4,364E-06    | 6,086E-06       | 6,260E-06       | 6,537E-06      | 7,196E-06      | 5,720E-06   | 5,556E-06     | 5,132E-06     |
| 212 | Cobalto  | Água          | kg      | 1,051E-03  | 7,097E-04    | 6,979E-04    | 9,706E-04       | 1,001E-03       | 1,043E-03      | 1,151E-03      | 9,097E-04   | 8,865E-04     | 8,211E-04     |
| 213 | Cobalto  | Solo          | kg      | 1,941E-06  | 1,309E-06    | 1,288E-06    | 1,792E-06       | 1,849E-06       | 1,925E-06      | 2,126E-06      | 1,681E-06   | 1,637E-06     | 1,516E-06     |
| 214 | Cobalto-57   | Água          | Bq      | 7,361E-03  | 4,968E-03    | 4,886E-03    | 6,798E-03       | 7,013E-03       | 7,303E-03      | 8,062E-03      | 6,373E-03   | 6,208E-03     | 5,750E-03     |
| 215 | Cobalt-58  | Ar            | Bq      | 2,717E-05  | 1,834E-05    | 1,803E-05    | 2,510E-05       | 2,589E-05       | 2,696E-05      | 2,976E-05      | 2,353E-05   | 2,291E-05     | 2,123E-05     |
| 216 | Cobalt-58  | Água          | Bq      | 1,734E+00  | 1,171E+00    | 1,152E+00    | 1,602E+00       | 1,653E+00       | 1,721E+00      | 1,900E+00      | 1,501E+00   | 1,463E+00     | 1,356E+00     |
| 217 | Cobalt-60  | Ar            | Bq      | 2,401E-04  | 1,620E-04    | 1,594E-04    | 2,217E-04       | 2,287E-04       | 2,381E-04      | 2,629E-04      | 2,078E-04   | 2,024E-04     | 1,875E-04     |
| 218 | Cobalt-60  | Água          | Bq      | 1,432E+00  | 9,674E-01    | 9,516E-01    | 1,323E+00       | 1,365E+00       | 1,421E+00      | 1,569E+00      | 1,240E+00   | 1,208E+00     | 1,120E+00     |
| 219 | Cobalto, no solo   | Matéria prima | kg      | 5,043E-08  | 3,404E-08    | 3,347E-08    | 4,657E-08       | 4,804E-08       | 5,003E-08      | 5,522E-08      | 4,366E-08   | 4,253E-08     | 3,939E-08     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 220 | COD, Demanda química de oxigênio   | Água          | kg      | 2,101E-01  | 1,423E-01    | 1,399E-01    | 1,943E-01       | 2,005E-01       | 2,087E-01      | 2,305E-01      | 1,819E-01   | 1,775E-01     | 1,645E-01     |
| 221 | Colemanite, no chão  | Matéria prima | kg      | 1,296E-04  | 8,783E-05    | 8,631E-05    | 1,198E-04       | 1,234E-04       | 1,286E-04      | 1,419E-04      | 1,122E-04   | 1,095E-04     | 1,013E-04     |
| 222 | Cobre  | Ar            | kg      | 5,470E-05  | 3,697E-05    | 3,632E-05    | 5,052E-05       | 5,207E-05       | 5,427E-05      | 5,985E-05      | 4,736E-05   | 4,614E-05     | 4,270E-05     |
| 223 | Cobre  | Solo          | kg      | 2,481E-05  | 1,674E-05    | 1,647E-05    | 2,292E-05       | 2,364E-05       | 2,462E-05      | 2,718E-05      | 2,148E-05   | 2,092E-05     | 1,938E-05     |
| 224 | Cobre, 0,99% em sulfureto, Cu 0,36% e Mo 8.2E-3% em minério bruto, no solo | Matéria prima | kg      | 1,392E-03  | 9,434E-04    | 9,264E-04    | 1,286E-03       | 1,325E-03       | 1,381E-03      | 1,523E-03      | 1,205E-03   | 1,175E-03     | 1,087E-03     |
| 225 | Cobre, 1,18% em sulfureto, Cu 0,39% e Mo 8.2E-3% em minério bruto, em solo | Matéria prima | kg      | 7,661E-03  | 5,193E-03    | 5,100E-03    | 7,079E-03       | 7,292E-03       | 7,604E-03      | 8,382E-03      | 6,631E-03   | 6,470E-03     | 5,985E-03     |
| 227 | Cobre, 2,19% em sulfureto, Cu 1,83% e Mo 8.2E-3% em minério bruto, no solo | Matéria prima | kg      | 1,016E-02  | 6,884E-03    | 6,760E-03    | 9,385E-03       | 9,666E-03       | 1,008E-02      | 1,111E-02      | 8,791E-03   | 8,577E-03     | 7,934E-03     |
| 228 | Cobre, íon   | Água          | kg      | 9,590E-04  | 6,487E-04    | 6,380E-04    | 8,864E-04       | 9,142E-04       | 9,521E-04      | 1,051E-03      | 8,303E-04   | 8,097E-04     | 7,500E-04     |
| 229 | Cumene   | Ar            | kg      | 1,100E-05  | 7,486E-06    | 7,377E-06    | 1,020E-05       | 1,054E-05       | 1,096E-05      | 1,212E-05      | 9,529E-06   | 9,331E-06     | 8,653E-06     |
| 230 | Cumene   | Água          | kg      | 2,640E-05  | 1,797E-05    | 1,769E-05    | 2,448E-05       | 2,530E-05       | 2,630E-05      | 2,908E-05      | 2,286E-05   | 2,238E-05     | 2,077E-05     |
| 231 | Cianeto  | Ar            | kg      | 8,035E-06  | 5,425E-06    | 5,334E-06    | 7,421E-06       | 7,655E-06       | 7,972E-06      | 8,800E-06      | 6,957E-06   | 6,778E-06     | 6,278E-06     |
| 232 | Cianeto  | Água          | kg      | 8,445E-05  | 5,698E-05    | 5,603E-05    | 7,797E-05       | 8,042E-05       | 8,376E-05      | 9,244E-05      | 7,311E-05   | 7,120E-05     | 6,594E-05     |
| 233 | Ácido cianoacético   | Ar            | kg      | 2,534E-10  | 1,709E-10    | 1,681E-10    | 2,340E-10       | 2,414E-10       | 2,514E-10      | 2,775E-10      | 2,194E-10   | 2,136E-10     | 1,979E-10     |
| 234 | Cypermtrina  | Solo          | kg      | 3,139E-09  | 2,118E-09    | 2,082E-09    | 2,897E-09       | 2,988E-09       | 3,112E-09      | 3,435E-09      | 2,718E-09   | 2,646E-09     | 2,450E-09     |
| 235 | Decano   | Água          | kg      | 6,810E-08  | 4,592E-08    | 4,517E-08    | 6,288E-08       | 6,487E-08       | 6,755E-08      | 7,457E-08      | 5,897E-08   | 5,741E-08     | 5,318E-08     |
| 236 | Detergente, óleo   | Água          | kg      | 1,991E-06  | 1,343E-06    | 1,321E-06    | 1,839E-06       | 1,897E-06       | 1,975E-06      | 2,181E-06      | 1,724E-06   | 1,679E-06     | 1,555E-06     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 237 | Diatomite, no solo  | Matéria prima | kg      | 2,578E-09  | 1,741E-09    | 1,712E-09    | 2,381E-09       | 2,457E-09       | 2,558E-09      | 2,824E-09      | 2,232E-09   | 2,174E-09     | 2,014E-09     |
| 238 | Dibenzofurano   | Água          | kg      | 4,442E-10  | 2,996E-10    | 2,946E-10    | 4,102E-10       | 4,232E-10       | 4,406E-10      | 4,864E-10      | 3,847E-10   | 3,745E-10     | 3,469E-10     |
| 239 | Dibenzotiofeno  | Água          | kg      | 3,807E-10  | 2,567E-10    | 2,525E-10    | 3,515E-10       | 3,626E-10       | 3,776E-10      | 4,168E-10      | 3,296E-10   | 3,209E-10     | 2,973E-10     |
| 240 | Dichromato  | Água          | kg      | 2,403E-07  | 1,624E-07    | 1,598E-07    | 2,221E-07       | 2,292E-07       | 2,385E-07      | 2,634E-07      | 2,081E-07   | 2,028E-07     | 1,879E-07     |
| 241 | Dietilamina   | Ar            | kg      | 1,048E-10  | 7,068E-11    | 6,951E-11    | 9,677E-11       | 9,983E-11       | 1,039E-10      | 1,148E-10      | 9,074E-11   | 8,836E-11     | 8,185E-11     |
| 242 | Dietilamina   | Água          | kg      | 2,515E-10  | 1,697E-10    | 1,668E-10    | 2,322E-10       | 2,396E-10       | 2,495E-10      | 2,754E-10      | 2,178E-10   | 2,120E-10     | 1,964E-10     |
| 243 | Malonato de dimetilo  | Ar            | kg      | 3,177E-10  | 2,143E-10    | 2,107E-10    | 2,934E-10       | 3,027E-10       | 3,152E-10      | 3,479E-10      | 2,751E-10   | 2,679E-10     | 2,482E-10     |
| 244 | Dimetilamina  | Água          | kg      | 2,090E-09  | 1,409E-09    | 1,386E-09    | 1,930E-09       | 1,991E-09       | 2,073E-09      | 2,288E-09      | 1,809E-09   | 1,762E-09     | 1,632E-09     |
| 245 | Monóxido de dinitrogênio  | Ar            | kg      | 7,243E-03  | 4,627E-03    | 4,295E-03    | 6,312E-03       | 6,137E-03       | 6,780E-03      | 7,054E-03      | 6,242E-03   | 5,741E-03     | 5,014E-03     |
| 246 | Dioxina, 2,3,7,8 Tetraclorodibenzo-p-                           | Ar            | kg      | 6,899E-10  | 4,652E-10    | 4,575E-10    | 6,370E-10       | 6,571E-10       | 6,842E-10      | 7,554E-10      | 5,973E-10   | 5,816E-10     | 5,388E-10     |
| 247 | Dipropilamina   | Ar            | kg      | 5,213E-11  | 3,515E-11    | 3,457E-11    | 4,813E-11       | 4,964E-11       | 5,170E-11      | 5,707E-11      | 4,514E-11   | 4,395E-11     | 4,070E-11     |
| 248 | Dipropilamina   | Água          | kg      | 1,251E-10  | 8,437E-11    | 8,298E-11    | 1,155E-10       | 1,192E-10       | 1,241E-10      | 1,370E-10      | 1,083E-10   | 1,055E-10     | 9,771E-11     |
| 249 | DOC, Carbono Orgânico Dissolvido                                | Água          | kg      | 9,713E-02  | 6,556E-02    | 6,447E-02    | 8,970E-02       | 9,252E-02       | 9,636E-02      | 1,064E-01      | 8,410E-02   | 8,192E-02     | 7,587E-02     |
| 250 | Docosano  | Água          | kg      | 2,500E-09  | 1,686E-09    | 1,658E-09    | 2,308E-09       | 2,381E-09       | 2,480E-09      | 2,737E-09      | 2,165E-09   | 2,108E-09     | 1,952E-09     |
| 251 | Dodecane  | Água          | kg      | 1,292E-07  | 8,711E-08    | 8,567E-08    | 1,193E-07       | 1,230E-07       | 1,281E-07      | 1,414E-07      | 1,118E-07   | 1,089E-07     | 1,009E-07     |
| 252 | Dolomita, no chão   | Matéria prima | kg      | 5,560E-03  | 3,754E-03    | 3,691E-03    | 5,135E-03       | 5,295E-03       | 5,516E-03      | 6,087E-03      | 4,814E-03   | 4,689E-03     | 4,343E-03     |
| 253 | Eicosane  | Água          | kg      | 3,558E-08  | 2,399E-08    | 2,360E-08    | 3,285E-08       | 3,389E-08       | 3,529E-08      | 3,896E-08      | 3,081E-08   | 2,999E-08     | 2,779E-08     |
| 255 | Energia, valor calorífico bruto, em biomassa, floresta primária | Matéria prima | MJ      | 9,925E-04  | 6,699E-04    | 6,583E-04    | 9,162E-04       | 9,443E-04       | 9,841E-04      | 1,086E-03      | 8,593E-04   | 8,368E-04     | 7,744E-04     |
| 256 | Energia, cinética (em vento), convertida                        | Matéria prima | MJ      | 2,826E+00  | 1,911E+00    | 1,880E+00    | 2,613E+00       | 2,696E+00       | 2,806E+00      | 3,099E+00      | 2,447E+00   | 2,386E+00     | 2,212E+00     |
| 257 | Energia, potencial (em reservatório hidrelétrico), convertido   | Matéria prima | MJ      | 2,391E+01  | 1,617E+01    | 1,590E+01    | 2,210E+01       | 2,281E+01       | 2,374E+01      | 2,622E+01      | 2,071E+01   | 2,019E+01     | 1,871E+01     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 258 | Energia, energia solar, convertida                | Matéria prima | MJ      | 4,360E-02  | 2,949E-02    | 2,901E-02    | 4,031E-02       | 4,160E-02       | 4,330E-02      | 4,782E-02      | 3,775E-02   | 3,682E-02     | 3,412E-02     |
| 259 | Etano   | Ar            | kg      | 2,172E-03  | 1,464E-03    | 1,438E-03    | 2,003E-03       | 2,064E-03       | 2,152E-03      | 2,372E-03      | 1,880E-03   | 1,829E-03     | 1,692E-03     |
| 260 | Etano, 1,1-difluoro-, HFC- 152a                   | Ar            | kg      | 1,599E-08  | 1,081E-08    | 1,064E-08    | 1,479E-08       | 1,526E-08       | 1,588E-08      | 1,754E-08      | 1,385E-08   | 1,350E-08     | 1,252E-08     |
| 261 | Etano, 1,1,1-tricloro, HCFC- 140                  | Ar            | kg      | 5,501E-08  | 3,710E-08    | 3,649E-08    | 5,079E-08       | 5,240E-08       | 5,456E-08      | 6,024E-08      | 4,763E-08   | 4,638E-08     | 4,296E-08     |
| 262 | Etano, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC- 134a            | Ar            | kg      | 5,737E-06  | 3,872E-06    | 3,807E-06    | 5,298E-06       | 5,465E-06       | 5,692E-06      | 6,282E-06      | 4,968E-06   | 4,839E-06     | 4,481E-06     |
| 263 | Etano, 1,1,2-tricloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113   | Ar            | kg      | 7,888E-10  | 5,358E-10    | 5,258E-10    | 7,291E-10       | 7,504E-10       | 7,832E-10      | 8,625E-10      | 6,827E-10   | 6,667E-10     | 6,161E-10     |
| 264 | Etano, 1,2-dibromo-                               | Ar            | kg      | 3,294E-09  | 2,221E-09    | 2,185E-09    | 3,041E-09       | 3,138E-09       | 3,267E-09      | 3,607E-09      | 2,852E-09   | 2,777E-09     | 2,572E-09     |
| 265 | Etano, 1,2-dicloro-                               | Ar            | kg      | 1,381E-06  | 9,403E-07    | 9,247E-07    | 1,280E-06       | 1,321E-06       | 1,375E-06      | 1,518E-06      | 1,196E-06   | 1,171E-06     | 1,085E-06     |
| 266 | Etano, 1,2-dicloro-                               | Água          | kg      | 8,483E-08  | 5,733E-08    | 5,638E-08    | 7,839E-08       | 8,086E-08       | 8,420E-08      | 9,294E-08      | 7,345E-08   | 7,160E-08     | 6,632E-08     |
| 267 | Etano, 1,2-dicloro-1,1,2,2- tetrafluoro-, CFC-114 | Ar            | kg      | 2,338E-07  | 1,580E-07    | 1,555E-07    | 2,160E-07       | 2,230E-07       | 2,321E-07      | 2,563E-07      | 2,023E-07   | 1,973E-07     | 1,828E-07     |
| 268 | Etano, cloro                                      | Ar            | kg      | 1,153E-07  | 7,774E-08    | 7,646E-08    | 1,064E-07       | 1,098E-07       | 1,143E-07      | 1,262E-07      | 9,982E-08   | 9,719E-08     | 9,003E-08     |
| 269 | Etano, hexafluoro-, HFC-116                       | Ar            | kg      | 7,779E-07  | 5,265E-07    | 5,173E-07    | 7,187E-07       | 7,406E-07       | 7,720E-07      | 8,513E-07      | 6,735E-07   | 6,567E-07     | 6,077E-07     |
| 270 | Etanol  | Ar            | kg      | 2,442E-05  | 1,643E-05    | 1,611E-05    | 2,248E-05       | 2,312E-05       | 2,415E-05      | 2,658E-05      | 2,114E-05   | 2,053E-05     | 1,896E-05     |
| 271 | Etanol  | Água          | kg      | 3,027E-07  | 2,053E-07    | 2,015E-07    | 2,797E-07       | 2,879E-07       | 3,004E-07      | 3,309E-07      | 2,620E-07   | 2,556E-07     | 2,364E-07     |
| 272 | Ethene  | Ar            | kg      | 1,191E-03  | 8,037E-04    | 7,904E-04    | 1,100E-03       | 1,135E-03       | 1,182E-03      | 1,305E-03      | 1,032E-03   | 1,005E-03     | 9,307E-04     |
| 273 | Ethene  | Água          | kg      | 1,051E-05  | 7,151E-06    | 7,045E-06    | 9,746E-06       | 1,007E-05       | 1,047E-05      | 1,158E-05      | 9,097E-06   | 8,910E-06     | 8,268E-06     |
| 274 | Ethene, cloro-                                    | Ar            | kg      | 5,667E-07  | 3,856E-07    | 3,792E-07    | 5,249E-07       | 5,414E-07       | 5,639E-07      | 6,224E-07      | 4,906E-07   | 4,800E-07     | 4,447E-07     |
| 275 | Ethene, cloro-                                    | Água          | kg      | 5,988E-09  | 4,059E-09    | 3,987E-09    | 5,535E-09       | 5,704E-09       | 5,946E-09      | 6,557E-09      | 5,184E-09   | 5,058E-09     | 4,681E-09     |
| 276 | Ethene, tetrachloro-                              | Ar            | kg      | 1,256E-07  | 8,473E-08    | 8,333E-08    | 1,160E-07       | 1,197E-07       | 1,246E-07      | 1,376E-07      | 1,088E-07   | 1,059E-07     | 9,813E-08     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 277 | Acetato de etilo  | Ar            | kg      | 2,985E-05  | 2,027E-05    | 1,990E-05    | 2,759E-05       | 2,839E-05       | 2,964E-05      | 3,264E-05      | 2,584E-05   | 2,523E-05     | 2,331E-05     |
| 278 | Acetato de etilo  | Água          | kg      | 2,224E-10  | 1,502E-10    | 1,476E-10    | 2,055E-10       | 2,119E-10       | 2,207E-10      | 2,436E-10      | 1,926E-10   | 1,876E-10     | 1,737E-10     |
| 279 | Celulose de etil  | Ar            | kg      | 6,034E-08  | 4,099E-08    | 4,022E-08    | 5,577E-08       | 5,740E-08       | 5,990E-08      | 6,598E-08      | 5,222E-08   | 5,100E-08     | 4,714E-08     |
| 280 | Etilamina   | Ar            | kg      | 7,949E-11  | 5,361E-11    | 5,273E-11    | 7,340E-11       | 7,572E-11       | 7,884E-11      | 8,704E-11      | 6,883E-11   | 6,701E-11     | 6,208E-11     |
| 281 | Etilamina   | Água          | kg      | 1,908E-10  | 1,287E-10    | 1,266E-10    | 1,762E-10       | 1,818E-10       | 1,893E-10      | 2,089E-10      | 1,652E-10   | 1,609E-10     | 1,490E-10     |
| 282 | Etilenodiamina  | Ar            | kg      | 3,365E-10  | 2,270E-10    | 2,232E-10    | 3,107E-10       | 3,206E-10       | 3,338E-10      | 3,685E-10      | 2,913E-10   | 2,837E-10     | 2,628E-10     |
| 283 | Etilenodiamina  | Água          | kg      | 8,094E-10  | 5,461E-10    | 5,370E-10    | 7,475E-10       | 7,711E-10       | 8,029E-10      | 8,864E-10      | 7,009E-10   | 6,825E-10     | 6,322E-10     |
| 284 | Óxido de etileno  | Ar            | kg      | 1,548E-07  | 1,053E-07    | 1,037E-07    | 1,435E-07       | 1,483E-07       | 1,542E-07      | 1,704E-07      | 1,340E-07   | 1,312E-07     | 1,217E-07     |
| 285 | Óxido de etileno  | Água          | kg      | 3,099E-08  | 2,099E-08    | 2,061E-08    | 2,863E-08       | 2,949E-08       | 3,075E-08      | 3,390E-08      | 2,683E-08   | 2,617E-08     | 2,421E-08     |
| 286 | Ethyne  | Ar            | kg      | 4,179E-05  | 2,819E-05    | 2,772E-05    | 3,858E-05       | 3,980E-05       | 4,144E-05      | 4,575E-05      | 3,618E-05   | 3,524E-05     | 3,263E-05     |
| 287 | Feldspato, no chão                                      | Matéria prima | kg      | 1,272E-08  | 8,596E-09    | 8,432E-09    | 1,170E-08       | 1,202E-08       | 1,257E-08      | 1,382E-08      | 1,097E-08   | 1,066E-08     | 9,829E-09     |
| 288 | Fenpiclonil   | Solo          | kg      | 2,688E-08  | 1,813E-08    | 1,783E-08    | 2,482E-08       | 2,561E-08       | 2,666E-08      | 2,943E-08      | 2,328E-08   | 2,266E-08     | 2,099E-08     |
| 289 | Fluoranteno   | Ar            | kg      | 2,039E-09  | 1,375E-09    | 1,352E-09    | 1,882E-09       | 1,942E-09       | 2,022E-09      | 2,232E-09      | 1,765E-09   | 1,719E-09     | 1,592E-09     |
| 290 | Fluoreno  | Ar            | kg      | 2,612E-09  | 1,762E-09    | 1,733E-09    | 2,412E-09       | 2,488E-09       | 2,591E-09      | 2,860E-09      | 2,262E-09   | 2,202E-09     | 2,040E-09     |
| 291 | Fluoreno, 1-metil-                                      | Água          | kg      | 2,659E-10  | 1,793E-10    | 1,764E-10    | 2,455E-10       | 2,533E-10       | 2,638E-10      | 2,912E-10      | 2,303E-10   | 2,242E-10     | 2,077E-10     |
| 292 | Fluorenos, alquilados, não especificados                | Água          | kg      | 6,018E-09  | 4,059E-09    | 3,992E-09    | 5,557E-09       | 5,733E-09       | 5,969E-09      | 6,590E-09      | 5,211E-09   | 5,074E-09     | 4,700E-09     |
| 293 | Fluoreto  | Ar            | kg      | 1,224E-04  | 8,257E-05    | 8,121E-05    | 1,131E-04       | 1,166E-04       | 1,214E-04      | 1,341E-04      | 1,060E-04   | 1,032E-04     | 9,562E-05     |
| 294 | Fluoreto  | Água          | kg      | 6,253E-03  | 4,241E-03    | 4,164E-03    | 5,779E-03       | 5,952E-03       | 6,208E-03      | 6,842E-03      | 5,413E-03   | 5,282E-03     | 4,885E-03     |
| 295 | Fluoreto  | Solo          | kg      | 1,624E-05  | 1,097E-05    | 1,078E-05    | 1,499E-05       | 1,547E-05       | 1,611E-05      | 1,778E-05      | 1,406E-05   | 1,370E-05     | 1,268E-05     |
| 296 | Flúor   | Ar            | kg      | 3,802E-05  | 2,568E-05    | 2,525E-05    | 3,513E-05       | 3,624E-05       | 3,774E-05      | 4,166E-05      | 3,292E-05   | 3,208E-05     | 2,972E-05     |
| 297 | Flúor   | Água          | kg      | 2,982E-09  | 2,011E-09    | 1,978E-09    | 2,753E-09       | 2,840E-09       | 2,958E-09      | 3,265E-09      | 2,582E-09   | 2,514E-09     | 2,329E-09     |
| 298 | Fluoreto, 4,5% em apatite, 1% em minério bruto, no solo | Matéria prima | kg      | 2,747E-04  | 1,855E-04    | 1,823E-04    | 2,536E-04       | 2,615E-04       | 2,724E-04      | 3,007E-04      | 2,378E-04   | 2,317E-04     | 2,145E-04     |
| 299 | Fluoreto, 4,5% em apatite, 3% em minério bruto, em solo | Matéria prima | kg      | 1,475E-04  | 9,957E-05    | 9,793E-05    | 1,362E-04       | 1,405E-04       | 1,463E-04      | 1,616E-04      | 1,278E-04   | 1,244E-04     | 1,152E-04     |
| 300 | Fluorescência, 92%, no solo                             | Matéria prima | kg      | 2,016E-03  | 1,367E-03    | 1,343E-03    | 1,864E-03       | 1,920E-03       | 2,002E-03      | 2,207E-03      | 1,745E-03   | 1,703E-03     | 1,576E-03     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 301 | Ácido fluossilícico  | Ar            | kg      | 8,452E-07  | 5,719E-07    | 5,619E-07    | 7,808E-07       | 8,047E-07       | 8,388E-07      | 9,250E-07      | 7,317E-07   | 7,134E-07     | 6,603E-07     |
| 302 | Ácido fluossilícico  | Água          | kg      | 1,521E-06  | 1,030E-06    | 1,011E-06    | 1,406E-06       | 1,448E-06       | 1,510E-06      | 1,665E-06      | 1,317E-06   | 1,284E-06     | 1,188E-06     |
| 303 | Formaldeído  | Ar            | kg      | 9,199E-03  | 6,204E-03    | 6,101E-03    | 8,494E-03       | 8,763E-03       | 9,124E-03      | 1,007E-02      | 7,966E-03   | 7,755E-03     | 7,184E-03     |
| 304 | Formaldeído  | Água          | kg      | 1,555E-04  | 1,048E-04    | 1,031E-04    | 1,435E-04       | 1,481E-04       | 1,542E-04      | 1,702E-04      | 1,346E-04   | 1,311E-04     | 1,214E-04     |
| 305 | Formamida  | Ar            | kg      | 5,029E-11  | 3,392E-11    | 3,336E-11    | 4,643E-11       | 4,790E-11       | 4,988E-11      | 5,506E-11      | 4,354E-11   | 4,240E-11     | 3,928E-11     |
| 306 | Formamida  | Água          | kg      | 1,207E-10  | 8,142E-11    | 8,007E-11    | 1,115E-10       | 1,150E-10       | 1,197E-10      | 1,322E-10      | 1,045E-10   | 1,018E-10     | 9,429E-11     |
| 307 | Formato  | Água          | kg      | 6,023E-08  | 4,061E-08    | 3,994E-08    | 5,561E-08       | 5,737E-08       | 5,974E-08      | 6,594E-08      | 5,215E-08   | 5,077E-08     | 4,704E-08     |
| 308 | Ácido fórmico  | Ar            | kg      | 1,020E-07  | 6,902E-08    | 6,778E-08    | 9,421E-08       | 9,705E-08       | 1,012E-07      | 1,116E-07      | 8,831E-08   | 8,608E-08     | 7,963E-08     |
| 309 | Ácido fórmico  | Água          | kg      | 3,504E-11  | 2,363E-11    | 2,324E-11    | 3,236E-11       | 3,338E-11       | 3,476E-11      | 3,837E-11      | 3,034E-11   | 2,954E-11     | 2,737E-11     |
| 310 | Furan  | Ar            | kg      | 1,837E-08  | 1,239E-08    | 1,218E-08    | 1,695E-08       | 1,747E-08       | 1,821E-08      | 2,009E-08      | 1,589E-08   | 1,547E-08     | 1,433E-08     |
| 311 | Gálio, 0,014% em bauxita, em solo                          | Matéria prima | kg      | 1,232E-10  | 8,329E-11    | 8,199E-11    | 1,139E-10       | 1,175E-10       | 1,224E-10      | 1,351E-10      | 1,067E-10   | 1,040E-10     | 9,646E-11     |
| 312 | Gás, mina, fora do gás, processo, mineração de carvão / m3 | Matéria prima | m3      | 5,075E-01  | 3,424E-01    | 3,367E-01    | 4,687E-01       | 4,835E-01       | 5,035E-01      | 5,558E-01      | 4,395E-01   | 4,279E-01     | 3,964E-01     |
| 313 | Gás, natural, no solo                                      | Matéria prima | m3      | 9,972E+00  | 6,741E+00    | 6,624E+00    | 9,210E+00       | 9,491E+00       | 9,893E+00      | 1,091E+01      | 8,633E+00   | 8,413E+00     | 7,786E+00     |
| 314 | Glutaraldeído  | Água          | kg      | 3,026E-07  | 2,042E-07    | 2,005E-07    | 2,792E-07       | 2,876E-07       | 2,999E-07      | 3,306E-07      | 2,620E-07   | 2,550E-07     | 2,359E-07     |
| 315 | Glifosato  | Solo          | kg      | 3,326E-06  | 2,245E-06    | 2,208E-06    | 3,072E-06       | 3,168E-06       | 3,300E-06      | 3,642E-06      | 2,880E-06   | 2,805E-06     | 2,598E-06     |
| 316 | Ouro, Au 1.1E-4%, Ag 4.2E-3%, em minério, no solo          | Matéria prima | kg      | 5,910E-08  | 4,015E-08    | 3,940E-08    | 5,463E-08       | 5,623E-08       | 5,869E-08      | 6,463E-08      | 5,116E-08   | 4,995E-08     | 4,617E-08     |
| 317 | Ouro, Au 1.3E-4%, Ag 4.6E-5%, em minério, no solo          | Matéria prima | kg      | 1,083E-07  | 7,364E-08    | 7,228E-08    | 1,002E-07       | 1,031E-07       | 1,077E-07      | 1,185E-07      | 9,381E-08   | 9,160E-08     | 8,469E-08     |
| 318 | Ouro, Au 1.4E-4%, em minério, no solo                      | Matéria prima | kg      | 1,298E-07  | 8,819E-08    | 8,652E-08    | 1,200E-07       | 1,234E-07       | 1,289E-07      | 1,419E-07      | 1,123E-07   | 1,097E-07     | 1,014E-07     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 319 | Ouro, Au 2.1E-4%, Ag 2.1E-4%, em minério, no solo                                | Matéria prima | kg      | 1,982E-07  | 1,347E-07    | 1,322E-07    | 1,832E-07       | 1,886E-07       | 1,968E-07      | 2,168E-07      | 1,716E-07   | 1,675E-07     | 1,549E-07     |
| 320 | Ouro, Au 4.3E-4%, em minério, no solo  | Matéria prima | kg      | 4,913E-08  | 3,337E-08    | 3,274E-08    | 4,541E-08       | 4,673E-08       | 4,878E-08      | 5,372E-08      | 4,252E-08   | 4,152E-08     | 3,837E-08     |
| 321 | Ouro, Au 4.9E-5%, em minério, no solo  | Matéria prima | kg      | 1,176E-07  | 7,990E-08    | 7,844E-08    | 1,087E-07       | 1,119E-07       | 1,168E-07      | 1,287E-07      | 1,019E-07   | 9,944E-08     | 9,195E-08     |
| 322 | Ouro, Au 6.7E-4%, em minério, no solo  | Matéria prima | kg      | 1,822E-07  | 1,238E-07    | 1,215E-07    | 1,684E-07       | 1,733E-07       | 1,809E-07      | 1,992E-07      | 1,576E-07   | 1,539E-07     | 1,423E-07     |
| 323 | Ouro, Au 7.1E-4%, no minério, no solo  | Matéria prima | kg      | 2,055E-07  | 1,396E-07    | 1,369E-07    | 1,899E-07       | 1,954E-07       | 2,040E-07      | 2,246E-07      | 1,778E-07   | 1,736E-07     | 1,605E-07     |
| 324 | Ouro, Au 9.7E-4%, Ag 9.7E-4%, Zn 0,63%, Cu 0,38%, Pb 0,014%, no minério, no solo | Matéria prima | kg      | 1,231E-08  | 8,365E-09    | 8,206E-09    | 1,137E-08       | 1,171E-08       | 1,222E-08      | 1,346E-08      | 1,066E-08   | 1,040E-08     | 9,612E-09     |
| 325 | Granito, no solo   | Matéria prima | kg      | 1,076E-10  | 7,277E-11    | 7,150E-11    | 9,944E-11       | 1,025E-10       | 1,068E-10      | 1,178E-10      | 9,316E-11   | 9,079E-11     | 8,402E-11     |
| 326 | Cascalho, no solo  | Matéria prima | kg      | 4,738E+01  | 3,196E+01    | 3,143E+01    | 4,375E+01       | 4,513E+01       | 4,700E+01      | 5,188E+01      | 4,103E+01   | 3,995E+01     | 3,701E+01     |
| 327 | Gesso, no solo   | Matéria prima | kg      | 2,321E-01  | 2,488E-01    | 3,232E-01    | 1,980E-01       | 2,286E-01       | 2,127E-01      | 2,628E-01      | 2,236E+00   | 2,330E+00     | 2,734E+00     |
| 328 | Calor, desperdício   | Ar            | MJ      | 2,141E+03  | 1,445E+03    | 1,421E+03    | 1,977E+03       | 2,039E+03       | 2,124E+03      | 2,344E+03      | 1,854E+03   | 1,805E+03     | 1,672E+03     |
| 329 | Calor, desperdício   | Água          | MJ      | 3,333E+01  | 2,254E+01    | 2,217E+01    | 3,081E+01       | 3,179E+01       | 3,310E+01      | 3,655E+01      | 2,886E+01   | 2,814E+01     | 2,608E+01     |
| 330 | Calor, desperdício   | Solo          | MJ      | 1,273E+00  | 8,598E-01    | 8,458E-01    | 1,176E+00       | 1,214E+00       | 1,263E+00      | 1,395E+00      | 1,102E+00   | 1,074E+00     | 9,952E-01     |
| 331 | Hélio  | Ar            | kg      | 2,033E-05  | 1,374E-05    | 1,351E-05    | 1,878E-05       | 1,937E-05       | 2,018E-05      | 2,226E-05      | 1,760E-05   | 1,716E-05     | 1,589E-05     |
| 332 | Heptano  | Ar            | kg      | 7,717E-05  | 5,217E-05    | 5,127E-05    | 7,128E-05       | 7,350E-05       | 7,657E-05      | 8,449E-05      | 6,681E-05   | 6,512E-05     | 6,029E-05     |
| 333 | Hexadecane   | Água          | kg      | 1,410E-07  | 9,511E-08    | 9,354E-08    | 1,302E-07       | 1,343E-07       | 1,399E-07      | 1,544E-07      | 1,221E-07   | 1,189E-07     | 1,101E-07     |
| 334 | Hexano   | Ar            | kg      | 2,372E-04  | 1,604E-04    | 1,577E-04    | 2,192E-04       | 2,260E-04       | 2,355E-04      | 2,598E-04      | 2,054E-04   | 2,002E-04     | 1,854E-04     |
| 335 | Ácido hexanóico  | Água          | kg      | 4,908E-07  | 3,310E-07    | 3,255E-07    | 4,532E-07       | 4,675E-07       | 4,868E-07      | 5,374E-07      | 4,250E-07   | 4,138E-07     | 3,833E-07     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 336 | Hidrazina, metil-                                       | Ar            | kg      | 4,667E-07  | 3,147E-07    | 3,095E-07    | 4,309E-07       | 4,445E-07       | 4,629E-07      | 5,110E-07      | 4,041E-07   | 3,934E-07     | 3,645E-07     |
| 337 | Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, cíclicos          | Ar            | kg      | 1,637E-07  | 1,323E-07    | 1,344E-07    | 1,661E-07       | 1,775E-07       | 1,785E-07      | 2,040E-07      | 1,417E-07   | 1,557E-07     | 1,493E-07     |
| 338 | Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, não especificados | Ar            | kg      | 1,412E-02  | 9,521E-03    | 9,364E-03    | 1,304E-02       | 1,345E-02       | 1,400E-02      | 1,546E-02      | 1,222E-02   | 1,190E-02     | 1,103E-02     |
| 339 | Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, não especificados | Água          | kg      | 4,549E-05  | 3,076E-05    | 3,023E-05    | 4,202E-05       | 4,332E-05       | 4,514E-05      | 4,980E-05      | 3,938E-05   | 3,839E-05     | 3,554E-05     |
| 340 | Hidrocarbonetos, alifáticos, insaturados                | Ar            | kg      | 1,419E-03  | 9,570E-04    | 9,412E-04    | 1,310E-03       | 1,352E-03       | 1,407E-03      | 1,554E-03      | 1,229E-03   | 1,196E-03     | 1,108E-03     |
| 341 | Hidrocarbonetos, alifáticos, insaturados                | Água          | kg      | 4,200E-06  | 2,839E-06    | 2,790E-06    | 3,880E-06       | 4,000E-06       | 4,168E-06      | 4,597E-06      | 3,636E-06   | 3,544E-06     | 3,281E-06     |
| 342 | Hidrocarbonetos aromáticos                              | Ar            | kg      | 8,763E-05  | 6,113E-05    | 6,044E-05    | 8,222E-05       | 8,527E-05       | 8,833E-05      | 9,802E-05      | 7,587E-05   | 7,547E-05     | 7,028E-05     |
| 343 | Hidrocarbonetos aromáticos                              | Água          | kg      | 1,885E-04  | 1,275E-04    | 1,253E-04    | 1,741E-04       | 1,795E-04       | 1,870E-04      | 2,064E-04      | 1,632E-04   | 1,591E-04     | 1,473E-04     |
| 344 | Hidrocarbonetos, clorados                               | Ar            | kg      | 8,216E-07  | 5,587E-07    | 5,494E-07    | 7,609E-07       | 7,849E-07       | 8,173E-07      | 9,022E-07      | 7,112E-07   | 6,957E-07     | 6,444E-07     |
| 345 | Hidrocarbonetos, não especificados                      | Ar            | kg      | 9,432E-03  | 7,113E-03    | 7,573E-03    | 7,850E-03       | 7,811E-03       | 8,432E-03      | 8,979E-03      | 8,658E-03   | 8,111E-03     | 7,822E-03     |
| 346 | Hidrocarbonetos, não especificados                      | Água          | kg      | 5,589E-05  | 3,837E-05    | 3,781E-05    | 5,202E-05       | 5,378E-05       | 5,588E-05      | 6,181E-05      | 4,838E-05   | 4,763E-05     | 4,421E-05     |
| 347 | Hidrogênio  | Ar            | kg      | 9,350E-05  | 6,876E-05    | 6,867E-05    | 9,016E-05       | 9,449E-05       | 9,685E-05      | 1,086E-04      | 8,094E-05   | 8,340E-05     | 7,848E-05     |
| 348 | Hidrogênio-3, Tritio                                    | Ar            | Bq      | 3,049E+03  | 2,062E+03    | 2,029E+03    | 2,819E+03       | 2,909E+03       | 3,028E+03      | 3,344E+03      | 2,640E+03   | 2,575E+03     | 2,386E+03     |
| 349 | Hidrogênio-3, Tritio                                    | Água          | Bq      | 2,307E+05  | 1,560E+05    | 1,535E+05    | 2,133E+05       | 2,201E+05       | 2,291E+05      | 2,530E+05      | 1,997E+05   | 1,948E+05     | 1,805E+05     |
| 350 | Cloreto de hidrogênio                                   | Ar            | kg      | 7,755E-03  | 5,233E-03    | 5,147E-03    | 7,162E-03       | 7,388E-03       | 7,693E-03      | 8,493E-03      | 6,714E-03   | 6,540E-03     | 6,058E-03     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 351 | Fluoreto de hidrogênio   | Ar            | kg      | 1,596E-02  | 1,076E-02    | 1,059E-02    | 1,474E-02       | 1,520E-02       | 1,583E-02      | 1,747E-02      | 1,382E-02   | 1,345E-02     | 1,246E-02     |
| 352 | Peróxido de hidrogênio   | Ar            | kg      | 4,472E-08  | 3,038E-08    | 2,981E-08    | 4,133E-08       | 4,254E-08       | 4,440E-08      | 4,890E-08      | 3,871E-08   | 3,779E-08     | 3,494E-08     |
| 353 | Peróxido de hidrogênio   | Água          | kg      | 4,292E-07  | 3,663E-06    | 4,265E-06    | 2,704E-06       | 3,741E-06       | 2,905E-06      | 4,300E-06      | 3,711E-07   | 3,102E-06     | 3,653E-06     |
| 354 | Sulfato de hidrogênio  | Ar            | kg      | 1,758E-03  | 1,185E-03    | 1,166E-03    | 1,623E-03       | 1,674E-03       | 1,743E-03      | 1,924E-03      | 1,522E-03   | 1,482E-03     | 1,372E-03     |
| 355 | Sulfato de hidrogênio  | Água          | kg      | 8,648E-05  | 5,834E-05    | 5,735E-05    | 7,981E-05       | 8,229E-05       | 8,573E-05      | 9,459E-05      | 7,484E-05   | 7,284E-05     | 6,744E-05     |
| 356 | Hidróxido  | Água          | kg      | 1,250E-06  | 8,487E-07    | 8,326E-07    | 1,155E-06       | 1,189E-06       | 1,241E-06      | 1,366E-06      | 1,081E-06   | 1,057E-06     | 9,762E-07     |
| 357 | Hipoclorito  | Água          | kg      | 1,158E-05  | 7,839E-06    | 7,710E-06    | 1,071E-05       | 1,105E-05       | 1,151E-05      | 1,270E-05      | 1,003E-05   | 9,782E-06     | 9,070E-06     |
| 358 | Indeno (1,2,3-cd) pireno                                       | Ar            | kg      | 1,751E-10  | 1,181E-10    | 1,161E-10    | 1,617E-10       | 1,668E-10       | 1,737E-10      | 1,917E-10      | 1,516E-10   | 1,476E-10     | 1,368E-10     |
| 359 | Índio, 0,005% em sulfureto, em 0,003%, Pb, Zn, Ag, Cd, no solo | Matéria prima | kg      | 1,349E-07  | 9,114E-08    | 8,957E-08    | 1,246E-07       | 1,285E-07       | 1,338E-07      | 1,478E-07      | 1,168E-07   | 1,138E-07     | 1,054E-07     |
| 360 | Iodeto   | Água          | kg      | 3,629E-05  | 2,454E-05    | 2,412E-05    | 3,353E-05       | 3,457E-05       | 3,602E-05      | 3,974E-05      | 3,143E-05   | 3,062E-05     | 2,835E-05     |
| 361 | Iodo   | Ar            | kg      | 1,051E-05  | 7,106E-06    | 6,991E-06    | 9,713E-06       | 1,002E-05       | 1,043E-05      | 1,152E-05      | 9,097E-06   | 8,873E-06     | 8,222E-06     |
| 362 | Iodo-129   | Ar            | Bq      | 5,384E-01  | 3,641E-01    | 3,582E-01    | 4,977E-01       | 5,136E-01       | 5,347E-01      | 5,904E-01      | 4,662E-01   | 4,546E-01     | 4,213E-01     |
| 363 | Iodo-131   | Ar            | Bq      | 2,537E+01  | 1,716E+01    | 1,688E+01    | 2,345E+01       | 2,420E+01       | 2,519E+01      | 2,782E+01      | 2,197E+01   | 2,142E+01     | 1,985E+01     |
| 364 | Iodo-131   | Água          | Bq      | 3,118E-02  | 2,107E-02    | 2,073E-02    | 2,882E-02       | 2,973E-02       | 3,095E-02      | 3,418E-02      | 2,700E-02   | 2,632E-02     | 2,439E-02     |
| 365 | Iodo-133   | Ar            | Bq      | 2,203E-03  | 1,488E-03    | 1,464E-03    | 2,036E-03       | 2,100E-03       | 2,187E-03      | 2,414E-03      | 1,908E-03   | 1,859E-03     | 1,722E-03     |
| 366 | Iodo-133   | Água          | Bq      | 2,051E-03  | 1,385E-03    | 1,362E-03    | 1,895E-03       | 1,954E-03       | 2,035E-03      | 2,247E-03      | 1,776E-03   | 1,730E-03     | 1,603E-03     |
| 367 | Iodo-135   | Ar            | Bq      | 1,522E-03  | 1,029E-03    | 1,012E-03    | 1,406E-03       | 1,451E-03       | 1,511E-03      | 1,668E-03      | 1,317E-03   | 1,285E-03     | 1,190E-03     |
| 368 | Iodo, 0,03% em água  | Matéria prima | kg      | 1,199E-07  | 8,084E-08    | 7,950E-08    | 1,107E-07       | 1,142E-07       | 1,189E-07      | 1,313E-07      | 1,038E-07   | 1,011E-07     | 9,362E-08     |
| 369 | Ferro  | Ar            | kg      | 5,080E-04  | 3,431E-04    | 3,375E-04    | 4,694E-04       | 4,842E-04       | 5,042E-04      | 5,566E-04      | 4,399E-04   | 4,286E-04     | 3,971E-04     |
| 370 | Ferro  | Água          | kg      | 1,097E-03  | 7,395E-04    | 7,273E-04    | 1,013E-03       | 1,045E-03       | 1,088E-03      | 1,201E-03      | 9,495E-04   | 9,245E-04     | 8,564E-04     |
| 371 | Ferro  | Solo          | kg      | 9,076E-03  | 6,125E-03    | 6,023E-03    | 8,382E-03       | 8,646E-03       | 9,004E-03      | 9,938E-03      | 7,858E-03   | 7,654E-03     | 7,090E-03     |
| 372 | Iron-59  | Água          | Bq      | 5,640E-04  | 3,807E-04    | 3,744E-04    | 5,209E-04       | 5,373E-04       | 5,595E-04      | 6,177E-04      | 4,883E-04   | 4,756E-04     | 4,406E-04     |
| 373 | Minério de ferro, no solo                                      | Matéria prima | kg      | 2,605E+00  | 2,793E+00    | 3,627E+00    | 2,222E+00       | 2,566E+00       | 2,387E+00      | 2,949E+00      | 1,978E+00   | 2,061E+00     | 2,418E+00     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 374 | Ferro, 46% em minério, 25% em minério bruto, em solo | Matéria prima | kg      | 9,672E+01  | 6,523E+01    | 6,415E+01    | 8,931E+01       | 9,213E+01       | 9,594E+01      | 1,059E+02      | 8,375E+01   | 8,154E+01     | 7,554E+01     |
| 375 | Ferro, íon   | Água          | kg      | 1,227E-01  | 8,288E-02    | 8,151E-02    | 1,133E-01       | 1,169E-01       | 1,218E-01      | 1,344E-01      | 1,062E-01   | 1,035E-01     | 9,590E-02     |
| 376 | Ácido isocianico                                     | Ar            | kg      | 1,460E-02  | 9,848E-03    | 9,685E-03    | 1,348E-02       | 1,391E-02       | 1,448E-02      | 1,599E-02      | 1,264E-02   | 1,231E-02     | 1,140E-02     |
| 377 | Isoforona  | Ar            | kg      | 1,592E-06  | 1,074E-06    | 1,056E-06    | 1,470E-06       | 1,516E-06       | 1,579E-06      | 1,743E-06      | 1,378E-06   | 1,342E-06     | 1,243E-06     |
| 378 | Isopreno   | Ar            | kg      | 3,215E-04  | 2,168E-04    | 2,132E-04    | 2,968E-04       | 3,062E-04       | 3,189E-04      | 3,520E-04      | 2,784E-04   | 2,710E-04     | 2,511E-04     |
| 379 | Isopropilamina                                       | Ar            | kg      | 3,315E-11  | 2,236E-11    | 2,199E-11    | 3,061E-11       | 3,158E-11       | 3,288E-11      | 3,630E-11      | 2,871E-11   | 2,795E-11     | 2,589E-11     |
| 380 | Isopropilamina                                       | Água          | kg      | 7,957E-11  | 5,366E-11    | 5,278E-11    | 7,347E-11       | 7,580E-11       | 7,893E-11      | 8,713E-11      | 6,890E-11   | 6,708E-11     | 6,215E-11     |
| 381 | Kaolinite, 24% em minério bruto, em solo             | Matéria prima | kg      | 7,795E-04  | 5,258E-04    | 5,171E-04    | 7,198E-04       | 7,425E-04       | 7,732E-04      | 8,535E-04      | 6,750E-04   | 6,572E-04     | 6,088E-04     |
| 382 | Querosene  | Ar            | kg      | 1,744E-07  | 1,176E-07    | 1,156E-07    | 1,610E-07       | 1,661E-07       | 1,729E-07      | 1,909E-07      | 1,510E-07   | 1,470E-07     | 1,362E-07     |
| 383 | Kieserite, 25% em minério bruto, em solo             | Matéria prima | kg      | 2,441E-06  | 1,647E-06    | 1,620E-06    | 2,254E-06       | 2,325E-06       | 2,421E-06      | 2,673E-06      | 2,114E-06   | 2,059E-06     | 1,907E-06     |
| 384 | Krypton-85   | Ar            | Bq      | 2,025E+02  | 1,370E+02    | 1,348E+02    | 1,872E+02       | 1,932E+02       | 2,011E+02      | 2,221E+02      | 1,754E+02   | 1,710E+02     | 1,585E+02     |
| 385 | Krypton-85m  | Ar            | Bq      | 2,129E+01  | 1,437E+01    | 1,414E+01    | 1,966E+01       | 2,029E+01       | 2,112E+01      | 2,332E+01      | 1,843E+01   | 1,796E+01     | 1,663E+01     |
| 386 | Krypton-87   | Ar            | Bq      | 6,452E+00  | 4,358E+00    | 4,287E+00    | 5,961E+00       | 6,150E+00       | 6,403E+00      | 7,070E+00      | 5,586E+00   | 5,444E+00     | 5,044E+00     |
| 387 | Krypton-88   | Ar            | Bq      | 7,216E+00  | 4,874E+00    | 4,794E+00    | 6,667E+00       | 6,878E+00       | 7,161E+00      | 7,906E+00      | 6,248E+00   | 6,088E+00     | 5,640E+00     |
| 388 | Krypton-89   | Ar            | Bq      | 2,421E+00  | 1,634E+00    | 1,607E+00    | 2,236E+00       | 2,307E+00       | 2,402E+00      | 2,651E+00      | 2,096E+00   | 2,042E+00     | 1,891E+00     |
| 389 | Ácido láctico  | Ar            | kg      | 4,083E-11  | 2,754E-11    | 2,708E-11    | 3,770E-11       | 3,889E-11       | 4,050E-11      | 4,470E-11      | 3,536E-11   | 3,442E-11     | 3,189E-11     |
| 390 | Ácido láctico  | Água          | kg      | 9,799E-11  | 6,609E-11    | 6,500E-11    | 9,048E-11       | 9,334E-11       | 9,720E-11      | 1,073E-10      | 8,485E-11   | 8,261E-11     | 7,653E-11     |
| 391 | Lantânio-140   | Ar            | Bq      | 1,074E-04  | 7,248E-05    | 7,129E-05    | 9,914E-05       | 1,023E-04       | 1,065E-04      | 1,176E-04      | 9,297E-05   | 9,052E-05     | 8,386E-05     |
| 392 | Lantânio-140   | Água          | Bq      | 3,480E-03  | 2,349E-03    | 2,310E-03    | 3,214E-03       | 3,316E-03       | 3,453E-03      | 3,812E-03      | 3,013E-03   | 2,935E-03     | 2,719E-03     |
| 393 | Conduzir   | Ar            | kg      | 4,537E-04  | 3,061E-04    | 3,010E-04    | 4,190E-04       | 4,322E-04       | 4,501E-04      | 4,968E-04      | 3,929E-04   | 3,826E-04     | 3,544E-04     |
| 394 | Conduzir   | Água          | kg      | 1,314E-04  | 8,898E-05    | 8,751E-05    | 1,215E-04       | 1,254E-04       | 1,306E-04      | 1,441E-04      | 1,138E-04   | 1,111E-04     | 1,029E-04     |
| 395 | Conduzir   | Solo          | kg      | 7,292E-06  | 4,918E-06    | 4,837E-06    | 6,734E-06       | 6,947E-06       | 7,234E-06      | 7,985E-06      | 6,314E-06   | 6,148E-06     | 5,696E-06     |
| 396 | Lead-210   | Ar            | Bq      | 3,164E+00  | 2,139E+00    | 2,105E+00    | 2,925E+00       | 3,018E+00       | 3,142E+00      | 3,469E+00      | 2,740E+00   | 2,672E+00     | 2,476E+00     |
| 397 | Lead-210   | Água          | Bq      | 4,592E+00  | 3,102E+00    | 3,050E+00    | 4,242E+00       | 4,376E+00       | 4,557E+00      | 5,030E+00      | 3,976E+00   | 3,874E+00     | 3,589E+00     |
| 398 | Lead-210 / kg  | Água          | kg      | 2,427E-16  | 1,637E-16    | 1,610E-16    | 2,241E-16       | 2,312E-16       | 2,408E-16      | 2,658E-16      | 2,102E-16   | 2,046E-16     | 1,896E-16     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 399 | Chumbo, 5,0% em sulfureto, Pb 3,0%, Zn, Ag, Cd, In, no solo | Matéria prima | kg      | 5,572E-04  | 3,762E-04    | 3,700E-04    | 5,147E-04       | 5,308E-04       | 5,528E-04      | 6,102E-04      | 4,824E-04   | 4,700E-04     | 4,353E-04     |
| 400 | Linuron   | Solo          | kg      | 2,985E-06  | 2,013E-06    | 1,980E-06    | 2,756E-06       | 2,843E-06       | 2,961E-06      | 3,269E-06      | 2,585E-06   | 2,517E-06     | 2,331E-06     |
| 401 | Lítio, 0,15% em salmoura, no solo                           | Matéria prima | kg      | 1,455E-09  | 9,813E-10    | 9,651E-10    | 1,344E-09       | 1,386E-09       | 1,443E-09      | 1,593E-09      | 1,260E-09   | 1,227E-09     | 1,136E-09     |
| 402 | Lithium, ion  | Água          | kg      | 3,042E-04  | 2,051E-04    | 2,017E-04    | 2,809E-04       | 2,897E-04       | 3,017E-04      | 3,331E-04      | 2,634E-04   | 2,564E-04     | 2,376E-04     |
| 403 | m-xileno  | Ar            | kg      | 5,202E-05  | 3,508E-05    | 3,450E-05    | 4,803E-05       | 4,955E-05       | 5,160E-05      | 5,696E-05      | 4,504E-05   | 4,386E-05     | 4,063E-05     |
| 404 | m-xileno  | Água          | kg      | 7,096E-08  | 4,786E-08    | 4,707E-08    | 6,552E-08       | 6,760E-08       | 7,039E-08      | 7,770E-08      | 6,145E-08   | 5,982E-08     | 5,542E-08     |
| 405 | Magnésito, 60% em minério bruto, no solo                    | Matéria prima | kg      | 1,032E-02  | 6,971E-03    | 6,852E-03    | 9,532E-03       | 9,828E-03       | 1,024E-02      | 1,130E-02      | 8,936E-03   | 8,705E-03     | 8,060E-03     |
| 406 | Magnésio  | Ar            | kg      | 3,998E-04  | 2,697E-04    | 2,652E-04    | 3,691E-04       | 3,808E-04       | 3,965E-04      | 4,378E-04      | 3,462E-04   | 3,371E-04     | 3,122E-04     |
| 407 | Magnésio  | Água          | kg      | 4,901E-01  | 3,309E-01    | 3,255E-01    | 4,527E-01       | 4,670E-01       | 4,863E-01      | 5,369E-01      | 4,243E-01   | 4,134E-01     | 3,830E-01     |
| 408 | Magnésio  | Solo          | kg      | 3,622E-03  | 2,443E-03    | 2,402E-03    | 3,344E-03       | 3,450E-03       | 3,592E-03      | 3,966E-03      | 3,136E-03   | 3,054E-03     | 2,829E-03     |
| 409 | Magnésio, 0,13% em água                                     | Matéria prima | kg      | 1,526E-05  | 1,029E-05    | 1,012E-05    | 1,409E-05       | 1,453E-05       | 1,513E-05      | 1,671E-05      | 1,321E-05   | 1,286E-05     | 1,192E-05     |
| 410 | Mancozeb  | Solo          | kg      | 4,461E-07  | 3,009E-07    | 2,959E-07    | 4,120E-07       | 4,249E-07       | 4,425E-07      | 4,884E-07      | 3,862E-07   | 3,761E-07     | 3,484E-07     |
| 411 | Manganês  | Ar            | kg      | 1,372E-04  | 9,258E-05    | 9,106E-05    | 1,267E-04       | 1,307E-04       | 1,361E-04      | 1,502E-04      | 1,188E-04   | 1,156E-04     | 1,071E-04     |
| 412 | Manganês  | Água          | kg      | 4,170E-02  | 2,816E-02    | 2,769E-02    | 3,852E-02       | 3,974E-02       | 4,138E-02      | 4,568E-02      | 3,610E-02   | 3,518E-02     | 3,259E-02     |
| 413 | Manganês  | Solo          | kg      | 2,165E-03  | 1,460E-03    | 1,436E-03    | 1,999E-03       | 2,062E-03       | 2,147E-03      | 2,370E-03      | 1,874E-03   | 1,825E-03     | 1,691E-03     |
| 414 | Manganês-54   | Ar            | Bq      | 9,992E-06  | 6,745E-06    | 6,633E-06    | 9,229E-06       | 9,521E-06       | 9,913E-06      | 1,094E-05      | 8,651E-06   | 8,427E-06     | 7,806E-06     |
| 415 | Manganês-54   | Água          | Bq      | 1,058E-01  | 7,150E-02    | 7,033E-02    | 9,779E-02       | 1,009E-01       | 1,050E-01      | 1,160E-01      | 9,163E-02   | 8,930E-02     | 8,274E-02     |
| 416 | Minério de manganês, no solo                                | Matéria prima | kg      | 9,146E-01  | 6,167E-01    | 6,066E-01    | 8,444E-01       | 8,712E-01       | 9,071E-01      | 1,001E+00      | 7,919E-01   | 7,710E-01     | 7,142E-01     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 417 | Manganês, 35,7% em depósito sedimentar, 14,2% em minério bruto, no solo | Matéria prima | kg      | 3,837E-03  | 2,593E-03    | 2,549E-03    | 3,544E-03       | 3,654E-03       | 3,807E-03      | 4,200E-03      | 3,322E-03   | 3,237E-03     | 2,997E-03     |
| 418 | Mercaptans, não especificado  | Ar            | kg      | 5,956E-04  | 4,017E-04    | 3,950E-04    | 5,500E-04       | 5,674E-04       | 5,908E-04      | 6,522E-04      | 5,157E-04   | 5,021E-04     | 4,652E-04     |
| 419 | Mercúrio  | Ar            | kg      | 3,240E-05  | 2,187E-05    | 2,151E-05    | 2,993E-05       | 3,088E-05       | 3,215E-05      | 3,549E-05      | 2,806E-05   | 2,733E-05     | 2,532E-05     |
| 420 | Mercúrio  | Água          | kg      | 1,371E-05  | 9,258E-06    | 9,106E-06    | 1,267E-05       | 1,307E-05       | 1,361E-05      | 1,502E-05      | 1,187E-05   | 1,156E-05     | 1,072E-05     |
| 421 | Mercúrio  | Solo          | kg      | 1,353E-08  | 9,129E-09    | 8,978E-09    | 1,249E-08       | 1,289E-08       | 1,342E-08      | 1,482E-08      | 1,171E-08   | 1,141E-08     | 1,057E-08     |
| 422 | Metaldeído  | Solo          | kg      | 1,333E-08  | 8,992E-09    | 8,843E-09    | 1,231E-08       | 1,270E-08       | 1,323E-08      | 1,460E-08      | 1,155E-08   | 1,124E-08     | 1,041E-08     |
| 423 | Iões metálicos, não especificados                                       | Água          | kg      | 9,664E-12  | 6,517E-12    | 6,409E-12    | 8,923E-12       | 9,205E-12       | 9,585E-12      | 1,058E-11      | 8,368E-12   | 8,147E-12     | 7,547E-12     |
| 424 | Metais, não especificados   | Ar            | kg      | 3,637E-14  | 2,453E-14    | 2,412E-14    | 3,358E-14       | 3,464E-14       | 3,607E-14      | 3,982E-14      | 3,149E-14   | 3,066E-14     | 2,840E-14     |
| 425 | Rock metamórfico, contendo grafite, no solo                             | Matéria prima | kg      | 4,539E-05  | 3,071E-05    | 3,018E-05    | 4,194E-05       | 4,321E-05       | 4,505E-05      | 4,967E-05      | 3,930E-05   | 3,832E-05     | 3,545E-05     |
| 426 | Metano  | Ar            | kg      | 7,311E-02  | 4,931E-02    | 4,849E-02    | 6,751E-02       | 6,964E-02       | 7,252E-02      | 8,006E-02      | 6,331E-02   | 6,164E-02     | 5,710E-02     |
| 427 | Metano, biogênico   | Ar            | kg      | 3,350E-03  | 2,262E-03    | 2,225E-03    | 3,095E-03       | 3,193E-03       | 3,324E-03      | 3,670E-03      | 2,900E-03   | 2,826E-03     | 2,618E-03     |
| 428 | Metano, bromo, Halon 1001   | Ar            | kg      | 4,392E-07  | 2,962E-07    | 2,913E-07    | 4,056E-07       | 4,184E-07       | 4,356E-07      | 4,809E-07      | 3,803E-07   | 3,703E-07     | 3,430E-07     |
| 429 | Metano, bromoclorodifluoro-, Halon 1211                                 | Ar            | kg      | 4,550E-07  | 3,065E-07    | 3,009E-07    | 4,195E-07       | 4,319E-07       | 4,506E-07      | 4,965E-07      | 3,939E-07   | 3,830E-07     | 3,541E-07     |
| 430 | Metano, bromotrifluoro-, Halon 1301                                     | Ar            | kg      | 2,170E-07  | 1,466E-07    | 1,441E-07    | 2,005E-07       | 2,066E-07       | 2,153E-07      | 2,375E-07      | 1,879E-07   | 1,831E-07     | 1,695E-07     |

| Nº  | Substância                       | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|----------------------------------|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 431 | Metano, clorodifluoro-, HCFC-22  | Ar            | kg      | 1,718E-06  | 1,158E-06    | 1,137E-06    | 1,584E-06       | 1,631E-06       | 1,702E-06      | 1,875E-06      | 1,488E-06   | 1,447E-06     | 1,338E-06     |
| 432 | Metano, dicloro, HCC-30          | Ar            | kg      | 9,587E-07  | 6,465E-07    | 6,358E-07    | 8,852E-07       | 9,132E-07       | 9,509E-07      | 1,050E-06      | 8,301E-07   | 8,082E-07     | 7,487E-07     |
| 433 | Metano, dicloro, HCC-30          | Água          | kg      | 5,066E-06  | 3,423E-06    | 3,363E-06    | 4,678E-06       | 4,822E-06       | 5,025E-06      | 5,543E-06      | 4,386E-06   | 4,273E-06     | 3,955E-06     |
| 434 | Metano, diclorodifluoro-, CFC-12 | Ar            | kg      | 6,476E-09  | 4,487E-09    | 4,424E-09    | 6,049E-09       | 6,256E-09       | 6,498E-09      | 7,191E-09      | 5,605E-09   | 5,547E-09     | 5,151E-09     |
| 435 | Metano, diclorofluoro-, HCFC-21  | Ar            | kg      | 5,392E-12  | 3,662E-12    | 3,593E-12    | 4,983E-12       | 5,129E-12       | 5,353E-12      | 5,896E-12      | 4,666E-12   | 4,556E-12     | 4,211E-12     |
| 436 | Metano, fóssil                   | Ar            | kg      | 3,566E-01  | 2,409E-01    | 2,370E-01    | 3,295E-01       | 3,399E-01       | 3,539E-01      | 3,908E-01      | 3,087E-01   | 3,009E-01     | 2,788E-01     |
| 437 | Metano, monocloro, R-40          | Ar            | kg      | 1,456E-06  | 9,820E-07    | 9,658E-07    | 1,345E-06       | 1,387E-06       | 1,444E-06      | 1,595E-06      | 1,261E-06   | 1,228E-06     | 1,137E-06     |
| 438 | Metano, monocloro, R-40          | Água          | kg      | 9,404E-11  | 6,342E-11    | 6,237E-11    | 8,683E-11       | 8,958E-11       | 9,327E-11      | 1,030E-10      | 8,143E-11   | 7,928E-11     | 7,344E-11     |
| 439 | Metano, tetracloro, CFC-10       | Ar            | kg      | 1,563E-07  | 1,057E-07    | 1,040E-07    | 1,445E-07       | 1,492E-07       | 1,552E-07      | 1,715E-07      | 1,353E-07   | 1,320E-07     | 1,223E-07     |
| 440 | Metano, tetrafluoro-, CFC-14     | Ar            | kg      | 6,510E-06  | 4,405E-06    | 4,328E-06    | 6,014E-06       | 6,198E-06       | 6,460E-06      | 7,124E-06      | 5,635E-06   | 5,494E-06     | 5,085E-06     |
| 441 | Metano, triclorofluoro-, CFC-11  | Ar            | kg      | 8,753E-12  | 5,944E-12    | 5,833E-12    | 8,089E-12       | 8,326E-12       | 8,690E-12      | 9,571E-12      | 7,576E-12   | 7,397E-12     | 6,836E-12     |
| 442 | Metano, trifluoro-, HFC-23       | Ar            | kg      | 1,716E-09  | 1,165E-09    | 1,144E-09    | 1,585E-09       | 1,632E-09       | 1,703E-09      | 1,876E-09      | 1,485E-09   | 1,449E-09     | 1,340E-09     |
| 443 | Ácido metanossulfônico           | Ar            | kg      | 2,561E-10  | 1,727E-10    | 1,699E-10    | 2,365E-10       | 2,439E-10       | 2,540E-10      | 2,804E-10      | 2,217E-10   | 2,159E-10     | 2,000E-10     |
| 444 | Metanol                          | Ar            | kg      | 9,231E-04  | 6,221E-04    | 6,112E-04    | 8,515E-04       | 8,777E-04       | 9,147E-04      | 1,009E-03      | 7,992E-04   | 7,775E-04     | 7,196E-04     |
| 445 | Metanol                          | Água          | kg      | 5,347E-05  | 3,606E-05    | 3,546E-05    | 4,936E-05       | 5,092E-05       | 5,303E-05      | 5,853E-05      | 4,630E-05   | 4,507E-05     | 4,175E-05     |
| 446 | Acetato de metilo                | Ar            | kg      | 1,037E-11  | 6,992E-12    | 6,877E-12    | 9,573E-12       | 9,876E-12       | 1,028E-11      | 1,135E-11      | 8,977E-12   | 8,741E-12     | 8,097E-12     |
| 447 | Acetato de metilo                | Água          | kg      | 2,488E-11  | 1,678E-11    | 1,650E-11    | 2,298E-11       | 2,370E-11       | 2,468E-11      | 2,725E-11      | 2,155E-11   | 2,098E-11     | 1,943E-11     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 448 | Acrilato de metilo   | Ar            | kg      | 1,886E-08  | 1,281E-08    | 1,257E-08    | 1,743E-08       | 1,794E-08       | 1,872E-08      | 2,062E-08      | 1,632E-08   | 1,594E-08     | 1,473E-08     |
| 449 | Acrilato de metilo   | Água          | kg      | 3,684E-07  | 2,502E-07    | 2,455E-07    | 3,405E-07       | 3,505E-07       | 3,658E-07      | 4,029E-07      | 3,189E-07   | 3,114E-07     | 2,878E-07     |
| 450 | Metil amina  | Ar            | kg      | 1,224E-10  | 8,271E-11    | 8,128E-11    | 1,131E-10       | 1,165E-10       | 1,214E-10      | 1,339E-10      | 1,060E-10   | 1,032E-10     | 9,562E-11     |
| 451 | Metil amina  | Água          | kg      | 2,938E-10  | 1,986E-10    | 1,951E-10    | 2,713E-10       | 2,797E-10       | 2,914E-10      | 3,215E-10      | 2,543E-10   | 2,479E-10     | 2,295E-10     |
| 452 | Borato de metilo   | Ar            | kg      | 1,199E-11  | 8,084E-12    | 7,950E-12    | 1,107E-11       | 1,142E-11       | 1,189E-11      | 1,313E-11      | 1,038E-11   | 1,011E-11     | 9,362E-12     |
| 453 | Metil-etil-cetona  | Ar            | kg      | 3,092E-05  | 2,100E-05    | 2,061E-05    | 2,858E-05       | 2,941E-05       | 3,070E-05      | 3,381E-05      | 2,676E-05   | 2,613E-05     | 2,415E-05     |
| 454 | Metil-etil-cetona  | Água          | kg      | 1,880E-10  | 1,268E-10    | 1,247E-10    | 1,736E-10       | 1,791E-10       | 1,865E-10      | 2,059E-10      | 1,628E-10   | 1,585E-10     | 1,469E-10     |
| 455 | Formado de metilo  | Ar            | kg      | 8,643E-11  | 5,865E-11    | 5,757E-11    | 7,988E-11       | 8,223E-11       | 8,580E-11      | 9,452E-11      | 7,481E-11   | 7,302E-11     | 6,751E-11     |
| 456 | Formado de metilo  | Água          | kg      | 3,451E-11  | 2,342E-11    | 2,299E-11    | 3,189E-11       | 3,283E-11       | 3,426E-11      | 3,774E-11      | 2,987E-11   | 2,916E-11     | 2,695E-11     |
| 457 | Lactato de metilo  | Ar            | kg      | 4,482E-11  | 3,023E-11    | 2,973E-11    | 4,139E-11       | 4,269E-11       | 4,446E-11      | 4,908E-11      | 3,881E-11   | 3,779E-11     | 3,500E-11     |
| 458 | Metacrilato de metilo  | Ar            | kg      | 5,489E-08  | 3,702E-08    | 3,641E-08    | 5,069E-08       | 5,229E-08       | 5,445E-08      | 6,011E-08      | 4,753E-08   | 4,628E-08     | 4,287E-08     |
| 459 | Metolaclor   | Solo          | kg      | 2,160E-05  | 1,457E-05    | 1,433E-05    | 1,995E-05       | 2,058E-05       | 2,143E-05      | 2,365E-05      | 1,871E-05   | 1,821E-05     | 1,687E-05     |
| 460 | Metribuzin   | Solo          | kg      | 1,571E-08  | 1,060E-08    | 1,042E-08    | 1,450E-08       | 1,496E-08       | 1,558E-08      | 1,720E-08      | 1,360E-08   | 1,324E-08     | 1,227E-08     |
| 461 | Molibdênio   | Ar            | kg      | 1,818E-06  | 1,226E-06    | 1,202E-06    | 1,676E-06       | 1,725E-06       | 1,800E-06      | 1,983E-06      | 1,575E-06   | 1,530E-06     | 1,414E-06     |
| 462 | Molibdênio   | Água          | kg      | 2,615E-04  | 1,767E-04    | 1,737E-04    | 2,417E-04       | 2,492E-04       | 2,596E-04      | 2,865E-04      | 2,265E-04   | 2,207E-04     | 2,044E-04     |
| 463 | Molibdênio   | Solo          | kg      | 3,994E-07  | 2,693E-07    | 2,649E-07    | 3,688E-07       | 3,804E-07       | 3,961E-07      | 4,373E-07      | 3,458E-07   | 3,367E-07     | 3,119E-07     |
| 464 | Molibdênio-99  | Água          | Bq      | 1,200E-03  | 8,100E-04    | 7,966E-04    | 1,108E-03       | 1,143E-03       | 1,190E-03      | 1,314E-03      | 1,039E-03   | 1,012E-03     | 9,374E-04     |
| 465 | Molibdênio, 0,010% em sulfureto, Mo 8.2E-3% e Cu 1,83% em minério bruto, no solo | Matéria prima | kg      | 1,887E-04  | 1,280E-04    | 1,256E-04    | 1,744E-04       | 1,796E-04       | 1,874E-04      | 2,065E-04      | 1,634E-04   | 1,594E-04     | 1,474E-04     |
| 466 | Molibdênio, 0,014% em sulfureto, Mo 8.2E-3% e Cu 0,81% em minério bruto, no solo | Matéria prima | kg      | 2,669E-05  | 1,809E-05    | 1,776E-05    | 2,466E-05       | 2,540E-05       | 2,649E-05      | 2,920E-05      | 2,311E-05   | 2,254E-05     | 2,085E-05     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 467 | Molibdênio, 0,022% em sulfureto, Mo 8.2E-3% e Cu 0,36% em minério bruto, no solo | Matéria prima | kg      | 5,328E-05  | 3,599E-05    | 3,538E-05    | 4,921E-05       | 5,074E-05       | 5,286E-05      | 5,833E-05      | 4,613E-05   | 4,494E-05     | 4,161E-05     |
| 468 | Molibdênio, 0,025% em sulfureto, Mo 8.2E-3% e Cu 0,39% em minério bruto, no solo | Matéria prima | kg      | 9,780E-05  | 6,630E-05    | 6,511E-05    | 9,038E-05       | 9,309E-05       | 9,709E-05      | 1,070E-04      | 8,467E-05   | 8,260E-05     | 7,641E-05     |
| 469 | Molibdênio, 0,11% em sulfureto, Mo 4.1E-2% e Cu 0,36% em minério bruto, no solo  | Matéria prima | kg      | 1,072E-04  | 7,234E-05    | 7,114E-05    | 9,895E-05       | 1,020E-04       | 1,063E-04      | 1,172E-04      | 9,279E-05   | 9,034E-05     | 8,369E-05     |
| 470 | Monoetanolamina  | Ar            | kg      | 9,180E-07  | 6,229E-07    | 6,115E-07    | 8,483E-07       | 8,734E-07       | 9,112E-07      | 1,004E-06      | 7,946E-07   | 7,755E-07     | 7,171E-07     |
| 471 | n-Hexacosano   | Água          | kg      | 1,560E-09  | 1,052E-09    | 1,035E-09    | 1,440E-09       | 1,486E-09       | 1,547E-09      | 1,708E-09      | 1,351E-09   | 1,315E-09     | 1,218E-09     |
| 472 | Naftaleno  | Ar            | kg      | 1,934E-03  | 1,304E-03    | 1,283E-03    | 1,786E-03       | 1,843E-03       | 1,919E-03      | 2,118E-03      | 1,675E-03   | 1,631E-03     | 1,511E-03     |
| 473 | Naftaleno  | Água          | kg      | 4,255E-08  | 2,870E-08    | 2,822E-08    | 3,929E-08       | 4,053E-08       | 4,221E-08      | 4,659E-08      | 3,685E-08   | 3,587E-08     | 3,323E-08     |
| 474 | Naftaleno, 2-metil-  | Água          | kg      | 3,701E-08  | 2,496E-08    | 2,455E-08    | 3,417E-08       | 3,525E-08       | 3,671E-08      | 4,052E-08      | 3,205E-08   | 3,120E-08     | 2,890E-08     |
| 475 | Naftalenos, alquilados, não especificados  | Água          | kg      | 1,702E-09  | 1,148E-09    | 1,129E-09    | 1,571E-09       | 1,621E-09       | 1,688E-09      | 1,864E-09      | 1,474E-09   | 1,435E-09     | 1,329E-09     |
| 476 | Napropamida  | Solo          | kg      | 2,359E-08  | 1,591E-08    | 1,565E-08    | 2,178E-08       | 2,247E-08       | 2,340E-08      | 2,583E-08      | 2,043E-08   | 1,989E-08     | 1,842E-08     |
| 477 | Níquel   | Ar            | kg      | 2,894E-04  | 1,951E-04    | 1,918E-04    | 2,670E-04       | 2,754E-04       | 2,869E-04      | 3,166E-04      | 2,506E-04   | 2,439E-04     | 2,258E-04     |
| 478 | Níquel   | Água          | kg      | 6,143E-07  | 4,143E-07    | 4,074E-07    | 5,672E-07       | 5,852E-07       | 6,093E-07      | 6,727E-07      | 5,319E-07   | 5,179E-07     | 4,798E-07     |
| 479 | Níquel   | Solo          | kg      | 6,075E-06  | 4,097E-06    | 4,030E-06    | 5,609E-06       | 5,787E-06       | 6,025E-06      | 6,652E-06      | 5,260E-06   | 5,121E-06     | 4,744E-06     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 480 | Níquel, 1,13% em sulfureto, Ni 0,76% e Cu 0,76% em minério bruto, no solo  | Matéria prima | kg      | 2,688E-03  | 1,805E-03    | 1,769E-03    | 2,471E-03       | 2,539E-03       | 2,655E-03      | 2,919E-03      | 2,326E-03   | 2,256E-03     | 2,081E-03     |
| 481 | Níquel, 1,98% em silicatos, 1,04% em minério bruto, no solo                | Matéria prima | kg      | 3,995E-02  | 2,707E-02    | 2,658E-02    | 3,692E-02       | 3,803E-02       | 3,965E-02      | 4,371E-02      | 3,459E-02   | 3,374E-02     | 3,121E-02     |
| 482 | Níquel, ion  | Água          | kg      | 4,512E-03  | 3,047E-03    | 2,997E-03    | 4,168E-03       | 4,300E-03       | 4,478E-03      | 4,943E-03      | 3,907E-03   | 3,807E-03     | 3,527E-03     |
| 483 | Niobio-95  | Ar            | Bq      | 1,186E-06  | 8,005E-07    | 7,873E-07    | 1,096E-06       | 1,130E-06       | 1,177E-06      | 1,299E-06      | 1,027E-06   | 1,001E-06     | 9,270E-07     |
| 484 | Niobio-95  | Água          | Bq      | 1,295E-02  | 8,756E-03    | 8,613E-03    | 1,197E-02       | 1,235E-02       | 1,286E-02      | 1,420E-02      | 1,122E-02   | 1,093E-02     | 1,013E-02     |
| 485 | Nitrato  | Ar            | kg      | 3,590E-06  | 2,426E-06    | 2,387E-06    | 3,318E-06       | 3,424E-06       | 3,564E-06      | 3,935E-06      | 3,108E-06   | 3,030E-06     | 2,808E-06     |
| 486 | Nitrato  | Água          | kg      | 4,982E-02  | 3,364E-02    | 3,309E-02    | 4,602E-02       | 4,748E-02       | 4,944E-02      | 5,458E-02      | 4,313E-02   | 4,203E-02     | 3,894E-02     |
| 487 | Compostos de nitrato   | Água          | kg      | 2,792E-12  | 1,883E-12    | 1,852E-12    | 2,578E-12       | 2,659E-12       | 2,769E-12      | 3,057E-12      | 2,417E-12   | 2,354E-12     | 2,180E-12     |
| 488 | Ácido nítrico  | Água          | kg      | 6,262E-09  | 4,223E-09    | 4,153E-09    | 5,782E-09       | 5,965E-09       | 6,211E-09      | 6,856E-09      | 5,422E-09   | 5,279E-09     | 4,890E-09     |
| 489 | Nitrito  | Água          | kg      | 2,949E-06  | 2,027E-06    | 2,000E-06    | 2,748E-06       | 2,843E-06       | 2,952E-06      | 3,269E-06      | 2,552E-06   | 2,517E-06     | 2,339E-06     |
| 490 | Nitrobenzeno   | Ar            | kg      | 3,130E-10  | 2,111E-10    | 2,076E-10    | 2,890E-10       | 2,982E-10       | 3,105E-10      | 3,428E-10      | 2,711E-10   | 2,639E-10     | 2,445E-10     |
| 491 | Nitrobenzeno   | Água          | kg      | 1,254E-09  | 8,459E-10    | 8,319E-10    | 1,158E-09       | 1,195E-09       | 1,244E-09      | 1,373E-09      | 1,086E-09   | 1,057E-09     | 9,796E-10     |
| 492 | Azoto  | Ar            | kg      | 4,922E-02  | 2,977E-02    | 2,569E-02    | 3,827E-02       | 3,293E-02       | 4,111E-02      | 3,785E-02      | 4,178E-02   | 3,464E-02     | 2,714E-02     |
| 493 | Azoto  | Água          | kg      | 7,961E-04  | 5,315E-04    | 5,170E-04    | 7,269E-04       | 7,415E-04       | 7,808E-04      | 8,523E-04      | 6,886E-04   | 6,633E-04     | 6,076E-04     |
| 494 | Óxidos de nitrogênio   | Ar            | kg      | 6,809E-01  | 4,640E-01    | 4,599E-01    | 6,231E-01       | 6,407E-01       | 6,693E-01      | 7,365E-01      | 5,927E-01   | 5,750E-01     | 5,344E-01     |
| 495 | Nitrogênio, ligação orgânica   | Água          | kg      | 1,019E-04  | 6,895E-05    | 6,773E-05    | 9,414E-05       | 9,700E-05       | 1,011E-04      | 1,115E-04      | 8,825E-05   | 8,601E-05     | 7,958E-05     |
| 496 | Nitrogênio, total  | Água          | kg      | 1,937E-07  | 1,306E-07    | 1,285E-07    | 1,789E-07       | 1,845E-07       | 1,921E-07      | 2,121E-07      | 1,677E-07   | 1,633E-07     | 1,513E-07     |
| 497 | NMVOC, compostos orgânicos voláteis não metânicos, origem não especificada | Ar            | kg      | 5,920E-02  | 4,002E-02    | 3,936E-02    | 5,472E-02       | 5,646E-02       | 5,878E-02      | 6,490E-02      | 5,126E-02   | 4,998E-02     | 4,631E-02     |

| Nº  | Substância                                   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 498 | Gases nobres, radioativos, não especificados | Ar            | Bq      | 5,174E+06  | 3,499E+06    | 3,442E+06    | 4,783E+06       | 4,935E+06       | 5,138E+06      | 5,673E+06      | 4,480E+06   | 4,369E+06     | 4,048E+06     |
| 499 | o-Cresol                                     | Água          | kg      | 6,721E-08  | 4,533E-08    | 4,458E-08    | 6,206E-08       | 6,402E-08       | 6,667E-08      | 7,360E-08      | 5,820E-08   | 5,666E-08     | 5,249E-08     |
| 500 | o-xileno                                     | Água          | kg      | 4,108E-11  | 2,784E-11    | 2,734E-11    | 3,795E-11       | 3,909E-11       | 4,077E-11      | 4,493E-11      | 3,556E-11   | 3,469E-11     | 3,208E-11     |
| 501 | Ocupação, arável, não irrigado               | Matéria prima | m2a     | 9,860E-02  | 6,649E-02    | 6,539E-02    | 9,104E-02       | 9,392E-02       | 9,779E-02      | 1,080E-01      | 8,537E-02   | 8,312E-02     | 7,700E-02     |
| 502 | Ocupação, construção                         | Matéria prima | m2a     | 4,863E-03  | 3,287E-03    | 3,230E-03    | 4,491E-03       | 4,628E-03       | 4,824E-03      | 5,320E-03      | 4,210E-03   | 4,102E-03     | 3,796E-03     |
| 503 | Ocupação, local de despejo                   | Matéria prima | m2a     | 2,941E-01  | 1,984E-01    | 1,951E-01    | 2,716E-01       | 2,801E-01       | 2,917E-01      | 3,220E-01      | 2,546E-01   | 2,480E-01     | 2,297E-01     |
| 504 | Ocupação, despejo, benthos                   | Matéria prima | m2a     | 3,934E-03  | 2,654E-03    | 2,607E-03    | 3,629E-03       | 3,739E-03       | 3,899E-03      | 4,298E-03      | 3,405E-03   | 3,315E-03     | 3,066E-03     |
| 505 | Ocupação, floresta, intensivo                | Matéria prima | m2a     | 1,720E-02  | 1,162E-02    | 1,143E-02    | 1,589E-02       | 1,638E-02       | 1,707E-02      | 1,883E-02      | 1,489E-02   | 1,451E-02     | 1,344E-02     |
| 506 | Ocupação, floresta, intensivo, normal        | Matéria prima | m2a     | 4,896E+02  | 3,302E+02    | 3,247E+02    | 4,521E+02       | 4,664E+02       | 4,856E+02      | 5,361E+02      | 4,239E+02   | 4,128E+02     | 3,824E+02     |
| 507 | Ocupação, floresta, intensivo, ciclo curto   | Matéria prima | m2a     | 2,489E-04  | 1,680E-04    | 1,651E-04    | 2,299E-04       | 2,369E-04       | 2,469E-04      | 2,723E-04      | 2,155E-04   | 2,099E-04     | 1,942E-04     |
| 508 | Ocupação, área industrial                    | Matéria prima | m2a     | 2,450E-01  | 1,653E-01    | 1,625E-01    | 2,262E-01       | 2,334E-01       | 2,430E-01      | 2,682E-01      | 2,121E-01   | 2,066E-01     | 1,913E-01     |
| 509 | Ocupação, área industrial, benthos           | Matéria prima | m2a     | 3,532E-05  | 2,383E-05    | 2,341E-05    | 3,258E-05       | 3,357E-05       | 3,500E-05      | 3,859E-05      | 3,057E-05   | 2,976E-05     | 2,753E-05     |
| 510 | Ocupação, área industrial, construída        | Matéria prima | m2a     | 9,439E-02  | 6,378E-02    | 6,269E-02    | 8,718E-02       | 8,988E-02       | 9,365E-02      | 1,033E-01      | 8,172E-02   | 7,963E-02     | 7,372E-02     |
| 511 | Ocupação, área industrial, vegetação         | Matéria prima | m2a     | 3,695E-02  | 2,496E-02    | 2,454E-02    | 3,413E-02       | 3,519E-02       | 3,666E-02      | 4,045E-02      | 3,199E-02   | 3,117E-02     | 2,886E-02     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 512 | Ocupação, local de extração mineral               | Matéria prima | m2a     | 1,405E-01  | 9,479E-02    | 9,323E-02    | 1,297E-01       | 1,339E-01       | 1,394E-01      | 1,539E-01      | 1,217E-01   | 1,185E-01     | 1,098E-01     |
| 513 | Ocupação, colheita permanente, fruta intensiva    | Matéria prima | m2a     | 3,213E-04  | 2,168E-04    | 2,130E-04    | 2,964E-04       | 3,056E-04       | 3,184E-04      | 3,513E-04      | 2,781E-04   | 2,708E-04     | 2,506E-04     |
| 514 | Ocupação, arbustos, esclerófilos                  | Matéria prima | m2a     | 2,079E-03  | 1,405E-03    | 1,381E-03    | 1,921E-03       | 1,981E-03       | 2,063E-03      | 2,277E-03      | 1,800E-03   | 1,754E-03     | 1,624E-03     |
| 515 | Ocupação, área de trânsito, aterro de trilho      | Matéria prima | m2a     | 4,719E-02  | 3,185E-02    | 3,132E-02    | 4,358E-02       | 4,495E-02       | 4,681E-02      | 5,167E-02      | 4,086E-02   | 3,980E-02     | 3,686E-02     |
| 516 | Ocupação, área de trânsito, rede ferroviária      | Matéria prima | m2a     | 5,218E-02  | 3,522E-02    | 3,463E-02    | 4,819E-02       | 4,970E-02       | 5,176E-02      | 5,713E-02      | 4,518E-02   | 4,401E-02     | 4,076E-02     |
| 517 | Ocupação, área de trânsito, aterro rodoviário     | Matéria prima | m2a     | 4,786E+00  | 3,227E+00    | 3,174E+00    | 4,419E+00       | 4,559E+00       | 4,747E+00      | 5,240E+00      | 4,144E+00   | 4,035E+00     | 3,738E+00     |
| 518 | Ocupação, área de trânsito, rede rodoviária       | Matéria prima | m2a     | 5,728E-02  | 3,866E-02    | 3,801E-02    | 5,290E-02       | 5,456E-02       | 5,682E-02      | 6,272E-02      | 4,960E-02   | 4,830E-02     | 4,474E-02     |
| 519 | Ocupação, urbana, construída de forma descontínua | Matéria prima | m2a     | 9,245E-05  | 6,234E-05    | 6,132E-05    | 8,536E-05       | 8,806E-05       | 9,170E-05      | 1,012E-04      | 8,005E-05   | 7,794E-05     | 7,220E-05     |
| 520 | Ocupação, corpos d'água, artificiais              | Matéria prima | m2a     | 6,214E-02  | 4,197E-02    | 4,129E-02    | 5,742E-02       | 5,924E-02       | 6,168E-02      | 6,810E-02      | 5,380E-02   | 5,244E-02     | 4,858E-02     |
| 521 | Ocupação, cursos de água artificial               | Matéria prima | m2a     | 4,541E-02  | 3,066E-02    | 3,015E-02    | 4,194E-02       | 4,327E-02       | 4,505E-02      | 4,974E-02      | 3,932E-02   | 3,830E-02     | 3,548E-02     |
| 522 | Octadecane  | Água          | kg      | 3,484E-08  | 2,350E-08    | 2,311E-08    | 3,217E-08       | 3,319E-08       | 3,456E-08      | 3,815E-08      | 3,017E-08   | 2,937E-08     | 2,721E-08     |
| 523 | Óleo, bruto, no solo                              | Matéria prima | kg      | 6,397E+00  | 4,358E+00    | 4,291E+00    | 5,933E+00       | 6,127E+00       | 6,373E+00      | 7,043E+00      | 5,538E+00   | 5,426E+00     | 5,031E+00     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 524 | Óleos biogênicos   | Solo          | kg      | 2,546E-03  | 1,717E-03    | 1,689E-03    | 2,351E-03       | 2,425E-03       | 2,525E-03      | 2,788E-03      | 2,204E-03   | 2,146E-03     | 1,988E-03     |
| 525 | Óleos, não especificados   | Água          | kg      | 2,289E-02  | 1,547E-02    | 1,521E-02    | 2,114E-02       | 2,179E-02       | 2,271E-02      | 2,505E-02      | 1,981E-02   | 1,931E-02     | 1,788E-02     |
| 526 | Óleos, não especificados   | Solo          | kg      | 2,270E-02  | 1,535E-02    | 1,509E-02    | 2,097E-02       | 2,162E-02       | 2,253E-02      | 2,485E-02      | 1,965E-02   | 1,916E-02     | 1,773E-02     |
| 527 | Olivina, no chão   | Matéria prima | kg      | 1,847E-07  | 2,002E-07    | 2,117E-07    | 2,223E-07       | 2,507E-07       | 2,388E-07      | 2,881E-07      | 1,599E-07   | 2,172E-07     | 2,186E-07     |
| 528 | Orbencarb  | Solo          | kg      | 8,482E-08  | 5,721E-08    | 5,627E-08    | 7,833E-08       | 8,080E-08       | 8,414E-08      | 9,287E-08      | 7,344E-08   | 7,152E-08     | 6,625E-08     |
| 529 | Ácidos orgânicos   | Ar            | kg      | 1,338E-09  | 9,021E-10    | 8,872E-10    | 1,235E-09       | 1,274E-09       | 1,327E-09      | 1,465E-09      | 1,158E-09   | 1,128E-09     | 1,045E-09     |
| 530 | Substâncias orgânicas, não especificadas   | Ar            | kg      | 1,741E-05  | 1,174E-05    | 1,155E-05    | 1,608E-05       | 1,659E-05       | 1,727E-05      | 1,907E-05      | 1,508E-05   | 1,468E-05     | 1,360E-05     |
| 531 | Ozônio   | Ar            | kg      | 1,838E-04  | 1,243E-04    | 1,222E-04    | 1,699E-04       | 1,752E-04       | 1,825E-04      | 2,014E-04      | 1,591E-04   | 1,552E-04     | 1,438E-04     |
| 532 | p-Cresol   | Água          | kg      | 7,251E-08  | 4,890E-08    | 4,809E-08    | 6,695E-08       | 6,907E-08       | 7,192E-08      | 7,940E-08      | 6,279E-08   | 6,113E-08     | 5,663E-08     |
| 533 | HAP, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos                                       | Ar            | kg      | 5,994E-05  | 4,043E-05    | 3,975E-05    | 5,534E-05       | 5,708E-05       | 5,945E-05      | 6,562E-05      | 5,190E-05   | 5,053E-05     | 4,680E-05     |
| 534 | HAP, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos                                       | Água          | kg      | 2,628E-06  | 1,776E-06    | 1,746E-06    | 2,428E-06       | 2,504E-06       | 2,608E-06      | 2,878E-06      | 2,276E-06   | 2,218E-06     | 2,053E-06     |
| 535 | Partículas, <2,5 um  | Ar            | kg      | 9,599E-02  | 6,474E-02    | 6,365E-02    | 8,862E-02       | 9,140E-02       | 9,519E-02      | 1,051E-01      | 8,311E-02   | 8,091E-02     | 7,494E-02     |
| 536 | Partículas, > 10 um  | Ar            | kg      | 4,342E-01  | 2,928E-01    | 2,880E-01    | 4,009E-01       | 4,136E-01       | 4,306E-01      | 4,754E-01      | 3,759E-01   | 3,660E-01     | 3,391E-01     |
| 537 | Partículas, > 2,5 um, e <10um  | Ar            | kg      | 3,110E-01  | 2,097E-01    | 2,063E-01    | 2,872E-01       | 2,962E-01       | 3,085E-01      | 3,405E-01      | 2,693E-01   | 2,622E-01     | 2,429E-01     |
| 538 | Partículas, fuligem de diesel  | Ar            | kg      | 1,934E-03  | 1,459E-03    | 1,553E-03    | 1,609E-03       | 1,602E-03       | 1,729E-03      | 1,841E-03      | 1,775E-03   | 1,663E-03     | 1,604E-03     |
| 539 | Partículas, não especificadas  | Ar            | kg      | 1,678E-01  | 1,132E-01    | 1,113E-01    | 1,549E-01       | 1,598E-01       | 1,664E-01      | 1,837E-01      | 1,453E-01   | 1,415E-01     | 1,310E-01     |
| 540 | Pd, Pd 2.0E-4%, Pt 4.8E-4%, Rh 2.4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% no minério, no solo | Matéria prima | kg      | 2,052E-08  | 1,397E-08    | 1,373E-08    | 1,901E-08       | 1,959E-08       | 2,042E-08      | 2,252E-08      | 1,777E-08   | 1,738E-08     | 1,609E-08     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 541 | Pd, Pd 7.3E-4%, Pt 2.5E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E + 0%, Cu 3.2E + 0% no minério, no solo | Matéria prima | kg      | 4,933E-08  | 3,358E-08    | 3,300E-08    | 4,567E-08       | 4,709E-08       | 4,906E-08      | 5,413E-08      | 4,269E-08   | 4,177E-08     | 3,867E-08     |
| 542 | Turfa, no solo   | Matéria prima | kg      | 2,751E-04  | 1,986E-04    | 1,976E-04    | 2,626E-04       | 2,742E-04       | 2,821E-04      | 3,152E-04      | 2,382E-04   | 2,423E-04     | 2,270E-04     |
| 543 | Pentane  | Ar            | kg      | 8,018E-04  | 5,412E-04    | 5,317E-04    | 7,401E-04       | 7,626E-04       | 7,950E-04      | 8,766E-04      | 6,942E-04   | 6,759E-04     | 6,254E-04     |
| 544 | Phenanthrene   | Ar            | kg      | 1,012E-04  | 6,824E-05    | 6,711E-05    | 9,343E-05       | 9,639E-05       | 1,004E-04      | 1,108E-04      | 8,762E-05   | 8,531E-05     | 7,903E-05     |
| 545 | Phenanthrene   | Água          | kg      | 6,226E-10  | 4,198E-10    | 4,129E-10    | 5,748E-10       | 5,930E-10       | 6,175E-10      | 6,817E-10      | 5,391E-10   | 5,248E-10     | 4,862E-10     |
| 546 | Phenanthrenes, alquilados, não especificados   | Água          | kg      | 7,057E-10  | 4,759E-10    | 4,680E-10    | 6,516E-10       | 6,722E-10       | 6,999E-10      | 7,727E-10      | 6,110E-10   | 5,949E-10     | 5,511E-10     |
| 547 | Fenol  | Ar            | kg      | 1,862E-06  | 1,260E-06    | 1,238E-06    | 1,720E-06       | 1,773E-06       | 1,848E-06      | 2,038E-06      | 1,612E-06   | 1,572E-06     | 1,455E-06     |
| 548 | Fenol  | Água          | kg      | 5,018E-05  | 3,394E-05    | 3,338E-05    | 4,638E-05       | 4,783E-05       | 4,982E-05      | 5,498E-05      | 4,344E-05   | 4,237E-05     | 3,924E-05     |
| 549 | Fenol, 2,4-dicloro-  | Ar            | kg      | 4,524E-11  | 3,051E-11    | 3,001E-11    | 4,177E-11       | 4,309E-11       | 4,487E-11      | 4,953E-11      | 3,917E-11   | 3,814E-11     | 3,533E-11     |
| 550 | Fenol, 2,4-dimetil-  | Água          | kg      | 6,544E-08  | 4,413E-08    | 4,340E-08    | 6,042E-08       | 6,233E-08       | 6,491E-08      | 7,165E-08      | 5,666E-08   | 5,517E-08     | 5,111E-08     |
| 551 | Fenol, pentacloro  | Ar            | kg      | 1,397E-07  | 9,453E-08    | 9,304E-08    | 1,292E-07       | 1,333E-07       | 1,388E-07      | 1,532E-07      | 1,210E-07   | 1,181E-07     | 1,094E-07     |
| 552 | Fenóis, não especificados  | Ar            | kg      | 1,392E-07  | 9,388E-08    | 9,233E-08    | 1,285E-07       | 1,326E-07       | 1,381E-07      | 1,524E-07      | 1,205E-07   | 1,174E-07     | 1,087E-07     |
| 553 | Fenóis, não especificados  | Água          | kg      | 2,537E-07  | 1,711E-07    | 1,683E-07    | 2,343E-07       | 2,417E-07       | 2,517E-07      | 2,778E-07      | 2,197E-07   | 2,139E-07     | 1,982E-07     |
| 554 | Fosfato  | Água          | kg      | 1,601E-01  | 1,081E-01    | 1,063E-01    | 1,479E-01       | 1,526E-01       | 1,588E-01      | 1,754E-01      | 1,386E-01   | 1,350E-01     | 1,251E-01     |
| 555 | Fosfina  | Ar            | kg      | 1,437E-11  | 9,763E-12    | 9,573E-12    | 1,328E-11       | 1,367E-11       | 1,426E-11      | 1,571E-11      | 1,243E-11   | 1,214E-11     | 1,122E-11     |
| 556 | Fósforo  | Ar            | kg      | 1,337E-04  | 9,013E-05    | 8,865E-05    | 1,234E-04       | 1,273E-04       | 1,326E-04      | 1,463E-04      | 1,157E-04   | 1,127E-04     | 1,044E-04     |
| 557 | Fósforo  | Água          | kg      | 7,299E-05  | 4,925E-05    | 4,843E-05    | 6,741E-05       | 6,954E-05       | 7,241E-05      | 7,994E-05      | 6,320E-05   | 6,155E-05     | 5,702E-05     |
| 558 | Fósforo  | Solo          | kg      | 1,067E-03  | 7,194E-04    | 7,075E-04    | 9,850E-04       | 1,016E-03       | 1,058E-03      | 1,168E-03      | 9,237E-04   | 8,993E-04     | 8,331E-04     |
| 559 | Fósforo, 18% em apatite, 12% em minério bruto, no solo                                 | Matéria prima | kg      | 5,938E-04  | 4,010E-04    | 3,942E-04    | 5,484E-04       | 5,655E-04       | 5,891E-04      | 6,501E-04      | 5,142E-04   | 5,008E-04     | 4,638E-04     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 560 | Fósforo, 18% em apatite, 4% em minério bruto, em solo | Matéria prima | kg      | 1,099E-03  | 7,418E-04    | 7,294E-04    | 1,015E-03       | 1,046E-03       | 1,090E-03      | 1,203E-03      | 9,512E-04   | 9,266E-04     | 8,582E-04     |
| 561 | Ftalato, dioctil-                                     | Ar            | kg      | 2,003E-07  | 1,351E-07    | 1,329E-07    | 1,850E-07       | 1,908E-07       | 1,987E-07      | 2,193E-07      | 1,735E-07   | 1,689E-07     | 1,565E-07     |
| 562 | Pirimicarbe   | Solo          | kg      | 1,871E-08  | 1,262E-08    | 1,241E-08    | 1,727E-08       | 1,782E-08       | 1,856E-08      | 2,048E-08      | 1,620E-08   | 1,577E-08     | 1,461E-08     |
| 563 | Platina   | Ar            | kg      | 7,871E-12  | 5,322E-12    | 5,236E-12    | 7,275E-12       | 7,508E-12       | 7,815E-12      | 8,630E-12      | 6,814E-12   | 6,645E-12     | 6,159E-12     |
| 564 | Plutonium-238   | Ar            | Bq      | 7,344E-08  | 4,966E-08    | 4,887E-08    | 6,790E-08       | 7,007E-08       | 7,294E-08      | 8,054E-08      | 6,359E-08   | 6,202E-08     | 5,747E-08     |
| 565 | Plutonium-alpha                                       | Ar            | Bq      | 1,684E-07  | 1,138E-07    | 1,120E-07    | 1,557E-07       | 1,606E-07       | 1,672E-07      | 1,846E-07      | 1,458E-07   | 1,421E-07     | 1,318E-07     |
| 566 | Polonium-210  | Ar            | Bq      | 5,589E+00  | 3,779E+00    | 3,718E+00    | 5,166E+00       | 5,331E+00       | 5,550E+00      | 6,128E+00      | 4,839E+00   | 4,719E+00     | 4,373E+00     |
| 567 | Polonium-210  | Água          | Bq      | 6,388E+00  | 4,315E+00    | 4,243E+00    | 5,901E+00       | 6,086E+00       | 6,339E+00      | 6,996E+00      | 5,531E+00   | 5,389E+00     | 4,992E+00     |
| 568 | Bifenilos policlorados                                | Ar            | kg      | 6,189E-07  | 4,174E-07    | 4,105E-07    | 5,715E-07       | 5,896E-07       | 6,139E-07      | 6,777E-07      | 5,359E-07   | 5,218E-07     | 4,834E-07     |
| 569 | Potássio  | Ar            | kg      | 1,025E-02  | 6,912E-03    | 6,798E-03    | 9,464E-03       | 9,763E-03       | 1,017E-02      | 1,122E-02      | 8,875E-03   | 8,641E-03     | 8,005E-03     |
| 570 | Potássio  | Solo          | kg      | 5,947E-03  | 4,010E-03    | 3,944E-03    | 5,491E-03       | 5,665E-03       | 5,898E-03      | 6,511E-03      | 5,149E-03   | 5,013E-03     | 4,644E-03     |
| 571 | Potássio-40   | Ar            | Bq      | 7,241E-01  | 4,896E-01    | 4,816E-01    | 6,693E-01       | 6,906E-01       | 7,190E-01      | 7,939E-01      | 6,269E-01   | 6,114E-01     | 5,665E-01     |
| 572 | Potássio-40   | Água          | Bq      | 1,889E+00  | 1,277E+00    | 1,256E+00    | 1,746E+00       | 1,802E+00       | 1,876E+00      | 2,071E+00      | 1,636E+00   | 1,595E+00     | 1,478E+00     |
| 573 | Potássio, ion   | Água          | kg      | 3,217E-01  | 2,172E-01    | 2,136E-01    | 2,971E-01       | 3,065E-01       | 3,192E-01      | 3,524E-01      | 2,785E-01   | 2,714E-01     | 2,514E-01     |
| 574 | Propanal  | Ar            | kg      | 1,048E-06  | 7,066E-07    | 6,949E-07    | 9,675E-07       | 9,981E-07       | 1,039E-06      | 1,147E-06      | 9,072E-07   | 8,833E-07     | 8,183E-07     |
| 575 | Propanal  | Água          | kg      | 9,554E-11  | 6,443E-11    | 6,337E-11    | 8,821E-11       | 9,100E-11       | 9,476E-11      | 1,046E-10      | 8,272E-11   | 8,055E-11     | 7,461E-11     |
| 576 | Propano   | Ar            | kg      | 1,073E-03  | 7,240E-04    | 7,113E-04    | 9,903E-04       | 1,021E-03       | 1,064E-03      | 1,173E-03      | 9,292E-04   | 9,044E-04     | 8,369E-04     |
| 577 | Propene   | Ar            | kg      | 1,016E-04  | 6,871E-05    | 6,759E-05    | 9,392E-05       | 9,694E-05       | 1,009E-04      | 1,114E-04      | 8,797E-05   | 8,580E-05     | 7,951E-05     |
| 578 | Propene   | Água          | kg      | 1,110E-05  | 7,551E-06    | 7,440E-06    | 1,029E-05       | 1,063E-05       | 1,105E-05      | 1,222E-05      | 9,612E-06   | 9,412E-06     | 8,728E-06     |
| 579 | Ácido propiónico                                      | Ar            | kg      | 5,193E-06  | 3,498E-06    | 3,433E-06    | 4,786E-06       | 4,928E-06       | 5,142E-06      | 5,664E-06      | 4,496E-06   | 4,370E-06     | 4,040E-06     |
| 580 | Ácido propiónico                                      | Água          | kg      | 2,539E-10  | 1,712E-10    | 1,684E-10    | 2,344E-10       | 2,418E-10       | 2,518E-10      | 2,780E-10      | 2,198E-10   | 2,140E-10     | 1,983E-10     |
| 581 | Propilamina   | Ar            | kg      | 1,593E-11  | 1,074E-11    | 1,057E-11    | 1,471E-11       | 1,517E-11       | 1,580E-11      | 1,744E-11      | 1,379E-11   | 1,343E-11     | 1,244E-11     |
| 582 | Propilamina   | Água          | kg      | 3,823E-11  | 2,578E-11    | 2,535E-11    | 3,530E-11       | 3,641E-11       | 3,792E-11      | 4,186E-11      | 3,310E-11   | 3,223E-11     | 2,985E-11     |
| 583 | Óxido de propileno                                    | Ar            | kg      | 4,841E-07  | 3,274E-07    | 3,218E-07    | 4,472E-07       | 4,609E-07       | 4,804E-07      | 5,298E-07      | 4,192E-07   | 4,086E-07     | 3,782E-07     |
| 584 | Óxido de propileno                                    | Água          | kg      | 1,165E-06  | 7,875E-07    | 7,738E-07    | 1,075E-06       | 1,108E-06       | 1,155E-06      | 1,274E-06      | 1,008E-06   | 9,827E-07     | 9,095E-07     |
| 585 | Protactinium-234                                      | Ar            | Bq      | 7,580E-02  | 5,125E-02    | 5,042E-02    | 7,007E-02       | 7,230E-02       | 7,527E-02      | 8,311E-02      | 6,563E-02   | 6,400E-02     | 5,930E-02     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 586 | Protactinium-234   | Água          | Bq      | 1,397E+00  | 9,447E-01    | 9,293E-01    | 1,291E+00       | 1,333E+00       | 1,387E+00      | 1,532E+00      | 1,210E+00   | 1,180E+00     | 1,093E+00     |
| 587 | Pt, Pt 2.5E-4%, Pd 7.3E-4%, Rh 2.0E-5%, Ni 2.3E + 0%, Cu 3.2E + 0% no minério, no solo | Matéria prima | kg      | 5,327E-10  | 3,615E-10    | 3,558E-10    | 4,933E-10       | 5,092E-10       | 5,298E-10      | 5,853E-10      | 4,613E-10   | 4,508E-10     | 4,179E-10     |
| 588 | Pt, Pt 4.8E-4%, Pd 2.0E-4%, Rh 2,4E-5%, Ni 3.7E-2%, Cu 5.2E-2% no minério, no solo     | Matéria prima | kg      | 1,909E-09  | 1,296E-09    | 1,275E-09    | 1,768E-09       | 1,826E-09       | 1,899E-09      | 2,099E-09      | 1,653E-09   | 1,616E-09     | 1,498E-09     |
| 589 | Pirena   | Ar            | kg      | 9,475E-10  | 6,389E-10    | 6,284E-10    | 8,748E-10       | 9,025E-10       | 9,397E-10      | 1,037E-09      | 8,204E-10   | 7,987E-10     | 7,399E-10     |
| 590 | Espécies radioativas, emissores alfa   | Água          | Bq      | 9,803E-03  | 6,620E-03    | 6,508E-03    | 9,054E-03       | 9,337E-03       | 9,726E-03      | 1,073E-02      | 8,488E-03   | 8,269E-03     | 7,658E-03     |
| 591 | Espécies radioativas, Nuclides, não especificados                                      | Água          | Bq      | 5,357E+02  | 3,623E+02    | 3,564E+02    | 4,952E+02       | 5,111E+02       | 5,320E+02      | 5,875E+02      | 4,639E+02   | 4,524E+02     | 4,192E+02     |
| 592 | Espécies radioativas, outros emissores beta  | Ar            | Bq      | 4,138E+00  | 2,794E+00    | 2,748E+00    | 3,822E+00       | 3,943E+00       | 4,106E+00      | 4,532E+00      | 3,583E+00   | 3,491E+00     | 3,233E+00     |
| 593 | Espécies radioativas, não especificadas  | Ar            | Bq      | 7,167E+03  | 4,833E+03    | 4,754E+03    | 6,618E+03       | 6,827E+03       | 7,109E+03      | 7,848E+03      | 6,206E+03   | 6,042E+03     | 5,597E+03     |
| 594 | Radionuclides (incluindo o Radônio)  | Ar            | kg      | 9,749E-06  | 6,575E-06    | 6,466E-06    | 9,002E-06       | 9,287E-06       | 9,670E-06      | 1,067E-05      | 8,442E-06   | 8,219E-06     | 7,614E-06     |
| 595 | Radium-224   | Água          | Bq      | 1,750E+01  | 1,183E+01    | 1,163E+01    | 1,616E+01       | 1,666E+01       | 1,736E+01      | 1,915E+01      | 1,515E+01   | 1,476E+01     | 1,367E+01     |
| 596 | Radium-226   | Ar            | Bq      | 3,256E+00  | 2,201E+00    | 2,166E+00    | 3,009E+00       | 3,105E+00       | 3,233E+00      | 3,570E+00      | 2,819E+00   | 2,749E+00     | 2,547E+00     |
| 597 | Radium-226   | Água          | Bq      | 9,015E+02  | 6,096E+02    | 5,997E+02    | 8,334E+02       | 8,599E+02       | 8,952E+02      | 9,885E+02      | 7,806E+02   | 7,612E+02     | 7,053E+02     |
| 598 | Radium-226 / kg  | Água          | kg      | 8,446E-14  | 5,696E-14    | 5,601E-14    | 7,798E-14       | 8,045E-14       | 8,377E-14      | 9,248E-14      | 7,313E-14   | 7,120E-14     | 6,596E-14     |
| 599 | Radium-228   | Ar            | Bq      | 8,555E-01  | 5,778E-01    | 5,682E-01    | 7,903E-01       | 8,153E-01       | 8,490E-01      | 9,372E-01      | 7,407E-01   | 7,218E-01     | 6,686E-01     |
| 600 | Radium-228   | Água          | Bq      | 3,500E+01  | 2,366E+01    | 2,325E+01    | 3,233E+01       | 3,333E+01       | 3,473E+01      | 3,831E+01      | 3,030E+01   | 2,953E+01     | 2,734E+01     |
| 601 | Radium-228 / kg  | Água          | kg      | 4,320E-16  | 2,913E-16    | 2,865E-16    | 3,988E-16       | 4,115E-16       | 4,284E-16      | 4,730E-16      | 3,740E-16   | 3,642E-16     | 3,373E-16     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 602 | Radon-220   | Ar            | Bq      | 2,723E+01  | 1,842E+01    | 1,812E+01    | 2,517E+01       | 2,598E+01       | 2,704E+01      | 2,986E+01      | 2,357E+01   | 2,299E+01     | 2,131E+01     |
| 603 | Radon-222   | Ar            | Bq      | 1,001E+07  | 6,771E+06    | 6,661E+06    | 9,256E+06       | 9,552E+06       | 9,943E+06      | 1,098E+07      | 8,670E+06   | 8,455E+06     | 7,834E+06     |
| 604 | Rh, Rh 2.0E-5%, Pt 2.5E- 4%, Pd 7.3E-4%, Ni 2.3E + 0%, Cu 3.2E + 0% no minério, no solo | Matéria prima | kg      | 2,455E-10  | 1,672E-10    | 1,647E-10    | 2,277E-10       | 2,352E-10       | 2,446E-10      | 2,704E-10      | 2,126E-10   | 2,082E-10     | 1,932E-10     |
| 605 | Rh, Rh 2.4E-5%, Pt 4.8E- 4%, Pd 2.0E-4%, Ni 3.7E- 2%, Cu 5.2E-2% no minério, no solo    | Matéria prima | kg      | 7,689E-10  | 5,239E-10    | 5,159E-10    | 7,132E-10       | 7,368E-10       | 7,662E-10      | 8,470E-10      | 6,657E-10   | 6,523E-10     | 6,050E-10     |
| 606 | Rênio, em minério bruto, em solo  | Matéria prima | kg      | 4,983E-10  | 3,384E-10    | 3,332E-10    | 4,616E-10       | 4,767E-10       | 4,958E-10      | 5,480E-10      | 4,315E-10   | 4,220E-10     | 3,913E-10     |
| 607 | Rubídio   | Água          | kg      | 3,499E-06  | 2,366E-06    | 2,325E-06    | 3,233E-06       | 3,332E-06       | 3,473E-06      | 3,830E-06      | 3,030E-06   | 2,952E-06     | 2,733E-06     |
| 608 | Ruthenium-103   | Ar            | Bq      | 2,606E-07  | 1,759E-07    | 1,730E-07    | 2,407E-07       | 2,483E-07       | 2,586E-07      | 2,854E-07      | 2,256E-07   | 2,198E-07     | 2,036E-07     |
| 609 | Ruthenium-103   | Água          | Bq      | 2,532E-04  | 1,709E-04    | 1,681E-04    | 2,339E-04       | 2,412E-04       | 2,513E-04      | 2,773E-04      | 2,192E-04   | 2,136E-04     | 1,978E-04     |
| 610 | Areia, não especificada, no solo  | Matéria prima | kg      | 6,983E-05  | 4,989E-05    | 4,959E-05    | 6,636E-05       | 6,921E-05       | 7,129E-05      | 7,956E-05      | 6,046E-05   | 6,112E-05     | 5,723E-05     |
| 611 | Escândio  | Ar            | kg      | 1,025E-06  | 6,929E-07    | 6,816E-07    | 9,474E-07       | 9,776E-07       | 1,018E-06      | 1,124E-06      | 8,874E-07   | 8,653E-07     | 8,019E-07     |
| 612 | Escândio  | Água          | kg      | 1,064E-04  | 7,187E-05    | 7,068E-05    | 9,829E-05       | 1,014E-04       | 1,056E-04      | 1,166E-04      | 9,212E-05   | 8,977E-05     | 8,316E-05     |
| 613 | Selênio   | Ar            | kg      | 2,660E-05  | 1,794E-05    | 1,764E-05    | 2,456E-05       | 2,533E-05       | 2,639E-05      | 2,912E-05      | 2,303E-05   | 2,243E-05     | 2,077E-05     |
| 614 | Selênio   | Água          | kg      | 1,694E-04  | 1,144E-04    | 1,125E-04    | 1,566E-04       | 1,614E-04       | 1,682E-04      | 1,855E-04      | 1,467E-04   | 1,429E-04     | 1,324E-04     |
| 615 | Shale, no chão  | Matéria prima | kg      | 1,415E-06  | 1,574E-06    | 1,669E-06    | 1,730E-06       | 1,959E-06       | 1,859E-06      | 2,252E-06      | 1,225E-06   | 1,696E-06     | 1,714E-06     |
| 616 | Silício   | Ar            | kg      | 8,207E-04  | 5,537E-04    | 5,446E-04    | 7,579E-04       | 7,819E-04       | 8,142E-04      | 8,988E-04      | 7,107E-04   | 6,921E-04     | 6,412E-04     |
| 617 | Silício   | Água          | kg      | 6,725E-01  | 4,544E-01    | 4,469E-01    | 6,213E-01       | 6,409E-01       | 6,674E-01      | 7,367E-01      | 5,822E-01   | 5,675E-01     | 5,256E-01     |
| 618 | Silício   | Solo          | kg      | 8,930E-03  | 6,022E-03    | 5,923E-03    | 8,245E-03       | 8,506E-03       | 8,857E-03      | 9,778E-03      | 7,732E-03   | 7,528E-03     | 6,974E-03     |
| 619 | Tetrafluoreto de silício  | Ar            | kg      | 8,282E-09  | 5,593E-09    | 5,499E-09    | 7,649E-09       | 7,888E-09       | 8,217E-09      | 9,067E-09      | 7,170E-09   | 6,986E-09     | 6,469E-09     |
| 620 | Prata   | Ar            | kg      | 4,112E-08  | 2,781E-08    | 2,736E-08    | 3,802E-08       | 3,923E-08       | 4,084E-08      | 4,510E-08      | 3,561E-08   | 3,472E-08     | 3,217E-08     |
| 621 | Prata   | Água          | kg      | 4,906E-06  | 3,309E-06    | 3,254E-06    | 4,530E-06       | 4,673E-06       | 4,866E-06      | 5,372E-06      | 4,248E-06   | 4,136E-06     | 3,832E-06     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 622 | Silver-110  | Ar            | Bq      | 2,582E-06  | 1,744E-06    | 1,715E-06    | 2,385E-06       | 2,461E-06       | 2,562E-06      | 2,829E-06      | 2,236E-06   | 2,178E-06     | 2,018E-06     |
| 623 | Silver-110  | Água          | Bq      | 1,360E+00  | 9,187E-01    | 9,036E-01    | 1,257E+00       | 1,296E+00       | 1,350E+00      | 1,490E+00      | 1,178E+00   | 1,148E+00     | 1,063E+00     |
| 624 | Prata, 0,007% em sulfureto, Ag 0,004%, Pb, Zn, Cd, In, em terra                   | Matéria prima | kg      | 1,317E-06  | 8,949E-07    | 8,780E-07    | 1,217E-06       | 1,253E-06       | 1,308E-06      | 1,440E-06      | 1,140E-06   | 1,113E-06     | 1,029E-06     |
| 625 | Prata, 3,2 ppm em sulfureto, Ag 1,2ppm, Cu e Te, em minério bruto, no solo        | Matéria prima | kg      | 9,399E-07  | 6,384E-07    | 6,265E-07    | 8,687E-07       | 8,940E-07       | 9,332E-07      | 1,028E-06      | 8,134E-07   | 7,943E-07     | 7,341E-07     |
| 626 | Prata, Ag 2.1E-4%, Au 2.1E-4%, no minério, no solo                                | Matéria prima | kg      | 8,675E-08  | 5,893E-08    | 5,783E-08    | 8,018E-08       | 8,253E-08       | 8,613E-08      | 9,486E-08      | 7,509E-08   | 7,332E-08     | 6,777E-08     |
| 627 | Prata, Ag 4.2E-3%, Au 1.1E-4%, em minério, no solo                                | Matéria prima | kg      | 1,982E-07  | 1,346E-07    | 1,321E-07    | 1,832E-07       | 1,885E-07       | 1,968E-07      | 2,167E-07      | 1,715E-07   | 1,674E-07     | 1,548E-07     |
| 628 | Prata, Ag 4.6E-5%, Au 1.3E-4%, em minério, no solo                                | Matéria prima | kg      | 1,942E-07  | 1,319E-07    | 1,295E-07    | 1,795E-07       | 1,847E-07       | 1,929E-07      | 2,123E-07      | 1,681E-07   | 1,641E-07     | 1,517E-07     |
| 629 | Prata, Ag 9.7E-4%, Au 9.7E-4%, Zn 0,63%, Cu 0,38%, Pb 0,014%, em minério, no solo | Matéria prima | kg      | 1,281E-07  | 8,704E-08    | 8,539E-08    | 1,185E-07       | 1,219E-07       | 1,273E-07      | 1,401E-07      | 1,109E-07   | 1,083E-07     | 1,001E-07     |
| 630 | Silver, ion   | Água          | kg      | 3,174E-06  | 2,149E-06    | 2,111E-06    | 2,933E-06       | 3,023E-06       | 3,150E-06      | 3,474E-06      | 2,748E-06   | 2,680E-06     | 2,480E-06     |
| 631 | Sódio   | Ar            | kg      | 6,580E-04  | 4,437E-04    | 4,363E-04    | 6,075E-04       | 6,265E-04       | 6,526E-04      | 7,202E-04      | 5,698E-04   | 5,547E-04     | 5,137E-04     |
| 632 | Sódio   | Solo          | kg      | 4,209E-04  | 2,845E-04    | 2,795E-04    | 3,887E-04       | 4,006E-04       | 4,175E-04      | 4,605E-04      | 3,644E-04   | 3,551E-04     | 3,286E-04     |
| 633 | Sódio-24  | Água          | Bq      | 9,079E-03  | 6,128E-03    | 6,027E-03    | 8,385E-03       | 8,650E-03       | 9,007E-03      | 9,943E-03      | 7,860E-03   | 7,657E-03     | 7,093E-03     |
| 634 | Clorato de sódio  | Ar            | kg      | 2,527E-08  | 1,713E-08    | 1,684E-08    | 2,337E-08       | 2,408E-08       | 2,510E-08      | 2,768E-08      | 2,188E-08   | 2,136E-08     | 1,977E-08     |
| 635 | Cloreto de sódio, no solo   | Matéria prima | kg      | 1,997E-01  | 1,489E-01    | 1,491E-01    | 1,941E-01       | 2,042E-01       | 2,085E-01      | 2,347E-01      | 1,729E-01   | 1,798E-01     | 1,699E-01     |

| Nº  | Substância                               | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 636 | Dicromato de sódio                       | Ar            | kg      | 6,540E-08  | 5,758E-08    | 5,927E-08    | 6,960E-08       | 7,558E-08       | 7,476E-08      | 8,688E-08      | 5,662E-08   | 6,607E-08     | 6,431E-08     |
| 637 | Formado de sódio                         | Ar            | kg      | 2,743E-09  | 1,855E-09    | 1,823E-09    | 2,533E-09       | 2,612E-09       | 2,721E-09      | 3,003E-09      | 2,374E-09   | 2,315E-09     | 2,144E-09     |
| 638 | Formado de sódio                         | Água          | kg      | 6,588E-09  | 4,456E-09    | 4,380E-09    | 6,087E-09       | 6,277E-09       | 6,538E-09      | 7,216E-09      | 5,703E-09   | 5,561E-09     | 5,149E-09     |
| 639 | Hidróxido de sódio                       | Ar            | kg      | 1,668E-07  | 1,133E-07    | 1,111E-07    | 1,541E-07       | 1,587E-07       | 1,655E-07      | 1,824E-07      | 1,443E-07   | 1,410E-07     | 1,302E-07     |
| 640 | Nitrato de sódio, no solo                | Matéria prima | kg      | 4,436E-11  | 3,004E-11    | 2,951E-11    | 4,099E-11       | 4,224E-11       | 4,403E-11      | 4,856E-11      | 3,840E-11   | 3,746E-11     | 3,466E-11     |
| 641 | Sulfato de sódio, várias formas, no solo | Matéria prima | kg      | 4,567E-04  | 3,100E-04    | 3,045E-04    | 4,223E-04       | 4,350E-04       | 4,537E-04      | 5,000E-04      | 3,953E-04   | 3,860E-04     | 3,571E-04     |
| 642 | Sódio, ion                               | Água          | kg      | 6,351E-01  | 4,289E-01    | 4,218E-01    | 5,867E-01       | 6,052E-01       | 6,302E-01      | 6,957E-01      | 5,499E-01   | 5,358E-01     | 4,963E-01     |
| 643 | Sólidos inorgânicos                      | Água          | kg      | 4,315E-02  | 2,917E-02    | 2,869E-02    | 3,989E-02       | 4,116E-02       | 4,284E-02      | 4,731E-02      | 3,736E-02   | 3,643E-02     | 3,376E-02     |
| 644 | Sólidos resolvidos                       | Água          | kg      | 1,136E-01  | 7,659E-02    | 7,533E-02    | 1,049E-01       | 1,082E-01       | 1,126E-01      | 1,244E-01      | 9,834E-02   | 9,574E-02     | 8,870E-02     |
| 645 | Stibnite, no chão                        | Matéria prima | kg      | 2,678E-10  | 1,809E-10    | 1,779E-10    | 2,475E-10       | 2,552E-10       | 2,659E-10      | 2,934E-10      | 2,319E-10   | 2,260E-10     | 2,094E-10     |
| 646 | Estrôncio                                | Ar            | kg      | 1,009E-05  | 6,812E-06    | 6,700E-06    | 9,320E-06       | 9,616E-06       | 1,001E-05      | 1,105E-05      | 8,736E-06   | 8,512E-06     | 7,886E-06     |
| 647 | Estrôncio                                | Água          | kg      | 1,697E-02  | 1,146E-02    | 1,127E-02    | 1,568E-02       | 1,618E-02       | 1,684E-02      | 1,860E-02      | 1,470E-02   | 1,432E-02     | 1,327E-02     |
| 648 | Estrôncio                                | Solo          | kg      | 2,013E-06  | 1,360E-06    | 1,336E-06    | 1,860E-06       | 1,916E-06       | 1,998E-06      | 2,203E-06      | 1,743E-06   | 1,698E-06     | 1,572E-06     |
| 649 | Estrôncio-89                             | Água          | Bq      | 2,712E-02  | 1,831E-02    | 1,801E-02    | 2,505E-02       | 2,585E-02       | 2,691E-02      | 2,971E-02      | 2,348E-02   | 2,288E-02     | 2,120E-02     |
| 650 | Estrôncio-90                             | Água          | Bq      | 7,011E+02  | 4,742E+02    | 4,665E+02    | 6,482E+02       | 6,689E+02       | 6,963E+02      | 7,689E+02      | 6,070E+02   | 5,921E+02     | 5,487E+02     |
| 651 | Estireno                                 | Ar            | kg      | 2,319E-07  | 1,574E-07    | 1,550E-07    | 2,148E-07       | 2,217E-07       | 2,307E-07      | 2,548E-07      | 2,008E-07   | 1,963E-07     | 1,820E-07     |
| 652 | Sulfato                                  | Ar            | kg      | 9,347E-04  | 6,316E-04    | 6,212E-04    | 8,638E-04       | 8,913E-04       | 9,279E-04      | 1,025E-03      | 8,094E-04   | 7,889E-04     | 7,309E-04     |
| 653 | Sulfato                                  | Água          | kg      | 3,862E+00  | 2,608E+00    | 2,565E+00    | 3,568E+00       | 3,681E+00       | 3,833E+00      | 4,231E+00      | 3,344E+00   | 3,258E+00     | 3,019E+00     |
| 654 | Sulfureto                                | Água          | kg      | 1,502E-06  | 1,016E-06    | 9,991E-07    | 1,388E-06       | 1,432E-06       | 1,491E-06      | 1,646E-06      | 1,301E-06   | 1,268E-06     | 1,175E-06     |
| 655 | Sulfito                                  | Água          | kg      | 3,146E-05  | 2,128E-05    | 2,094E-05    | 2,909E-05       | 3,002E-05       | 3,125E-05      | 3,451E-05      | 2,724E-05   | 2,658E-05     | 2,463E-05     |
| 656 | Enxofre                                  | Água          | kg      | 7,048E-05  | 4,765E-05    | 4,682E-05    | 6,511E-05       | 6,712E-05       | 6,994E-05      | 7,715E-05      | 6,103E-05   | 5,947E-05     | 5,505E-05     |
| 657 | Enxofre                                  | Solo          | kg      | 1,113E-03  | 7,510E-04    | 7,386E-04    | 1,028E-03       | 1,061E-03       | 1,104E-03      | 1,219E-03      | 9,640E-04   | 9,387E-04     | 8,695E-04     |
| 658 | Dióxido de enxofre                       | Ar            | kg      | 1,747E+00  | 1,178E+00    | 1,159E+00    | 1,613E+00       | 1,664E+00       | 1,733E+00      | 1,913E+00      | 1,513E+00   | 1,473E+00     | 1,365E+00     |
| 659 | Hexafluoreto de enxofre                  | Ar            | kg      | 2,545E-06  | 1,721E-06    | 1,694E-06    | 2,353E-06       | 2,428E-06       | 2,527E-06      | 2,791E-06      | 2,204E-06   | 2,149E-06     | 1,992E-06     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 660 | Óxidos de enxofre  | Ar            | kg      | 2,296E-03  | 1,548E-03    | 1,523E-03    | 2,120E-03       | 2,187E-03       | 2,278E-03      | 2,514E-03      | 1,988E-03   | 1,936E-03     | 1,793E-03     |
| 661 | Trióxido de enxofre  | Ar            | kg      | 2,722E-09  | 1,836E-09    | 1,806E-09    | 2,514E-09       | 2,593E-09       | 2,700E-09      | 2,981E-09      | 2,357E-09   | 2,295E-09     | 2,126E-09     |
| 662 | Enxofre, no solo   | Matéria prima | kg      | 3,150E-05  | 2,296E-05    | 2,289E-05    | 3,023E-05       | 3,162E-05       | 3,247E-05      | 3,635E-05      | 2,726E-05   | 2,792E-05     | 2,623E-05     |
| 663 | Ácido sulfúrico  | Ar            | kg      | 3,493E-08  | 2,373E-08    | 2,328E-08    | 3,229E-08       | 3,323E-08       | 3,468E-08      | 3,820E-08      | 3,023E-08   | 2,952E-08     | 2,728E-08     |
| 664 | Ácido sulfúrico  | Solo          | kg      | 2,155E-11  | 1,464E-11    | 1,436E-11    | 1,992E-11       | 2,050E-11       | 2,140E-11      | 2,356E-11      | 1,865E-11   | 1,821E-11     | 1,683E-11     |
| 665 | Ácido sulfúrico, éster   | Ar            | kg      | 1,317E-07  | 8,884E-08    | 8,737E-08    | 1,216E-07       | 1,255E-07       | 1,307E-07      | 1,442E-07      | 1,141E-07   | 1,111E-07     | 1,029E-07     |
| 666 | Sólidos suspensos, não especificados                           | Água          | kg      | 3,738E-02  | 2,522E-02    | 2,480E-02    | 3,452E-02       | 3,560E-02       | 3,708E-02      | 4,092E-02      | 3,237E-02   | 3,152E-02     | 2,919E-02     |
| 667 | Sylvite, 25% em sylvinite, em solo                             | Matéria prima | kg      | 5,244E-04  | 3,541E-04    | 3,481E-04    | 4,843E-04       | 4,994E-04       | 5,202E-04      | 5,740E-04      | 4,539E-04   | 4,422E-04     | 4,095E-04     |
| 668 | Éter metílico de t-butilo                                      | Ar            | kg      | 2,513E-06  | 1,695E-06    | 1,667E-06    | 2,320E-06       | 2,394E-06       | 2,492E-06      | 2,751E-06      | 2,176E-06   | 2,118E-06     | 1,963E-06     |
| 669 | Éter metílico de t-butilo                                      | Água          | kg      | 7,268E-07  | 4,915E-07    | 4,830E-07    | 6,714E-07       | 6,922E-07       | 7,212E-07      | 7,957E-07      | 6,293E-07   | 6,134E-07     | 5,678E-07     |
| 670 | t-butilamina   | Ar            | kg      | 1,954E-10  | 1,318E-10    | 1,296E-10    | 1,804E-10       | 1,861E-10       | 1,938E-10      | 2,140E-10      | 1,692E-10   | 1,647E-10     | 1,526E-10     |
| 671 | t-butilamina   | Água          | kg      | 4,689E-10  | 3,163E-10    | 3,110E-10    | 4,330E-10       | 4,467E-10       | 4,651E-10      | 5,134E-10      | 4,060E-10   | 3,953E-10     | 3,662E-10     |
| 672 | Talco, no chão   | Matéria prima | kg      | 8,181E-05  | 5,519E-05    | 5,427E-05    | 7,554E-05       | 7,790E-05       | 8,114E-05      | 8,955E-05      | 7,083E-05   | 6,897E-05     | 6,387E-05     |
| 673 | Tântalo, 81,9% em tantalite, 1,6E-4% em minério bruto, no solo | Matéria prima | kg      | 1,038E-06  | 7,050E-07    | 6,918E-07    | 9,593E-07       | 9,873E-07       | 1,030E-06      | 1,135E-06      | 8,983E-07   | 8,771E-07     | 8,107E-07     |
| 674 | Alcatrão   | Ar            | kg      | 1,103E-11  | 7,436E-12    | 7,313E-12    | 1,018E-11       | 1,050E-11       | 1,094E-11      | 1,207E-11      | 9,547E-12   | 9,295E-12     | 8,611E-12     |
| 675 | Alcatrão   | Água          | kg      | 1,578E-13  | 1,064E-13    | 1,047E-13    | 1,457E-13       | 1,503E-13       | 1,565E-13      | 1,728E-13      | 1,366E-13   | 1,330E-13     | 1,232E-13     |
| 676 | Tebutam  | Solo          | kg      | 5,589E-08  | 3,770E-08    | 3,707E-08    | 5,160E-08       | 5,324E-08       | 5,543E-08      | 6,119E-08      | 4,839E-08   | 4,712E-08     | 4,365E-08     |
| 677 | Technetium-99m   | Água          | Bq      | 2,765E-02  | 1,866E-02    | 1,835E-02    | 2,554E-02       | 2,634E-02       | 2,743E-02      | 3,028E-02      | 2,394E-02   | 2,332E-02     | 2,160E-02     |
| 678 | Teflubenzuron  | Solo          | kg      | 1,047E-09  | 7,064E-10    | 6,946E-10    | 9,670E-10       | 9,974E-10       | 1,039E-09      | 1,147E-09      | 9,067E-10   | 8,829E-10     | 8,179E-10     |
| 679 | Tellurium-123m   | Água          | Bq      | 1,575E-02  | 1,065E-02    | 1,048E-02    | 1,456E-02       | 1,503E-02       | 1,564E-02      | 1,728E-02      | 1,364E-02   | 1,330E-02     | 1,233E-02     |
| 680 | Tellurium-132  | Água          | Bq      | 6,948E-05  | 4,690E-05    | 4,612E-05    | 6,417E-05       | 6,620E-05       | 6,893E-05      | 7,610E-05      | 6,016E-05   | 5,860E-05     | 5,428E-05     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 681 | Tellurium, 0,5ppm em sulfeto, Te 0.2ppm, Cu e Ag, em minério bruto, no solo | Matéria prima | kg      | 1,409E-07  | 9,575E-08    | 9,396E-08    | 1,303E-07       | 1,341E-07       | 1,400E-07      | 1,542E-07      | 1,220E-07   | 1,192E-07     | 1,101E-07     |
| 682 | Terpenos  | Ar            | kg      | 8,057E-09  | 5,438E-09    | 5,344E-09    | 7,436E-09       | 7,665E-09       | 7,988E-09      | 8,811E-09      | 6,975E-09   | 6,791E-09     | 6,286E-09     |
| 683 | Tetradecane   | Água          | kg      | 5,663E-08  | 3,819E-08    | 3,756E-08    | 5,228E-08       | 5,394E-08       | 5,616E-08      | 6,200E-08      | 4,903E-08   | 4,774E-08     | 4,422E-08     |
| 684 | Tálio   | Ar            | kg      | 5,223E-08  | 3,525E-08    | 3,466E-08    | 4,824E-08       | 4,976E-08       | 5,182E-08      | 5,719E-08      | 4,523E-08   | 4,404E-08     | 4,079E-08     |
| 685 | Tálio   | Água          | kg      | 6,857E-06  | 4,636E-06    | 4,557E-06    | 6,334E-06       | 6,531E-06       | 6,804E-06      | 7,507E-06      | 5,936E-06   | 5,787E-06     | 5,358E-06     |
| 686 | Thiram  | Solo          | kg      | 3,668E-11  | 2,476E-11    | 2,433E-11    | 3,386E-11       | 3,490E-11       | 3,637E-11      | 4,011E-11      | 3,176E-11   | 3,092E-11     | 2,862E-11     |
| 687 | Tório   | Ar            | kg      | 1,144E-07  | 7,724E-08    | 7,596E-08    | 1,057E-07       | 1,090E-07       | 1,135E-07      | 1,253E-07      | 9,908E-08   | 9,646E-08     | 8,936E-08     |
| 688 | Thorium-228   | Ar            | Bq      | 1,744E-01  | 1,179E-01    | 1,160E-01    | 1,612E-01       | 1,663E-01       | 1,732E-01      | 1,912E-01      | 1,510E-01   | 1,472E-01     | 1,364E-01     |
| 689 | Thorium-228   | Água          | Bq      | 7,003E+01  | 4,734E+01    | 4,653E+01    | 6,469E+01       | 6,669E+01       | 6,949E+01      | 7,666E+01      | 6,063E+01   | 5,909E+01     | 5,471E+01     |
| 690 | Thorium-230   | Ar            | Bq      | 2,961E-01  | 2,002E-01    | 1,969E-01    | 2,737E-01       | 2,824E-01       | 2,940E-01      | 3,246E-01      | 2,564E-01   | 2,500E-01     | 2,316E-01     |
| 691 | Thorium-230   | Água          | Bq      | 1,906E+02  | 1,289E+02    | 1,268E+02    | 1,762E+02       | 1,818E+02       | 1,893E+02      | 2,090E+02      | 1,650E+02   | 1,609E+02     | 1,491E+02     |
| 692 | Thorium-232   | Ar            | Bq      | 2,242E-01  | 1,516E-01    | 1,491E-01    | 2,072E-01       | 2,138E-01       | 2,226E-01      | 2,458E-01      | 1,941E-01   | 1,893E-01     | 1,754E-01     |
| 693 | Thorium-232   | Água          | Bq      | 2,752E-01  | 1,862E-01    | 1,832E-01    | 2,545E-01       | 2,626E-01       | 2,734E-01      | 3,019E-01      | 2,383E-01   | 2,325E-01     | 2,154E-01     |
| 694 | Thorium-234   | Ar            | Bq      | 7,581E-02  | 5,126E-02    | 5,043E-02    | 7,008E-02       | 7,232E-02       | 7,528E-02      | 8,313E-02      | 6,564E-02   | 6,401E-02     | 5,932E-02     |
| 695 | Thorium-234   | Água          | Bq      | 1,397E+00  | 9,448E-01    | 9,294E-01    | 1,292E+00       | 1,333E+00       | 1,387E+00      | 1,532E+00      | 1,210E+00   | 1,180E+00     | 1,093E+00     |
| 696 | Lata  | Ar            | kg      | 1,326E-06  | 8,977E-07    | 8,822E-07    | 1,225E-06       | 1,262E-06       | 1,316E-06      | 1,451E-06      | 1,147E-06   | 1,120E-06     | 1,035E-06     |
| 697 | Lata  | Água          | kg      | 4,933E-07  | 3,327E-07    | 3,272E-07    | 4,555E-07       | 4,699E-07       | 4,893E-07      | 5,401E-07      | 4,271E-07   | 4,159E-07     | 3,852E-07     |
| 698 | Lata  | Solo          | kg      | 1,812E-09  | 1,299E-09    | 1,292E-09    | 1,725E-09       | 1,800E-09       | 1,853E-09      | 2,069E-09      | 1,569E-09   | 1,590E-09     | 1,490E-09     |
| 699 | Estanho, 79% em cassiterite, 0,1% em minério bruto, em solo                 | Matéria prima | kg      | 6,466E-05  | 4,383E-05    | 4,303E-05    | 5,974E-05       | 6,153E-05       | 6,418E-05      | 7,073E-05      | 5,597E-05   | 5,461E-05     | 5,051E-05     |
| 700 | Estanho   | Água          | kg      | 3,946E-05  | 2,675E-05    | 2,629E-05    | 3,648E-05       | 3,760E-05       | 3,919E-05      | 4,323E-05      | 3,416E-05   | 3,334E-05     | 3,086E-05     |
| 701 | TiO <sub>2</sub> , 54% em ilmenite, 2,6% em minério bruto, no solo          | Matéria prima | kg      | 2,025E-03  | 1,371E-03    | 1,347E-03    | 1,871E-03       | 1,929E-03       | 2,010E-03      | 2,218E-03      | 1,753E-03   | 1,710E-03     | 1,583E-03     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade        | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|----------------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 702 | TiO <sub>2</sub> , 95% em rutilo, 0,40% em minério bruto, em solo | Matéria prima | kg             | 9,957E-09  | 6,745E-09    | 6,625E-09    | 9,200E-09       | 9,477E-09       | 9,883E-09      | 1,089E-08      | 8,619E-09   | 8,407E-09     | 7,777E-09     |
| 703 | Titânio   | Ar            | kg             | 3,677E-05  | 2,484E-05    | 2,443E-05    | 3,398E-05       | 3,506E-05       | 3,650E-05      | 4,030E-05      | 3,184E-05   | 3,103E-05     | 2,875E-05     |
| 704 | Titânio   | Solo          | kg             | 1,488E-04  | 1,004E-04    | 9,871E-05    | 1,374E-04       | 1,418E-04       | 1,476E-04      | 1,630E-04      | 1,289E-04   | 1,255E-04     | 1,162E-04     |
| 705 | Titânio, íon  | Água          | kg             | 1,699E-03  | 1,149E-03    | 1,130E-03    | 1,570E-03       | 1,620E-03       | 1,687E-03      | 1,862E-03      | 1,471E-03   | 1,434E-03     | 1,329E-03     |
| 706 | TOC, carbono orgânico total                                       | Água          | kg             | 9,922E-02  | 6,698E-02    | 6,586E-02    | 9,163E-02       | 9,452E-02       | 9,843E-02      | 1,086E-01      | 8,591E-02   | 8,368E-02     | 7,751E-02     |
| 707 | Tolueno   | Ar            | kg             | 3,164E-04  | 2,134E-04    | 2,098E-04    | 2,920E-04       | 3,011E-04       | 3,137E-04      | 3,462E-04      | 2,739E-04   | 2,667E-04     | 2,469E-04     |
| 708 | Tolueno   | Água          | kg             | 4,719E-05  | 3,190E-05    | 3,136E-05    | 4,359E-05       | 4,495E-05       | 4,683E-05      | 5,167E-05      | 4,086E-05   | 3,983E-05     | 3,687E-05     |
| 709 | Tolueno, 2-cloro-   | Ar            | kg             | 1,442E-10  | 9,727E-11    | 9,566E-11    | 1,332E-10       | 1,374E-10       | 1,431E-10      | 1,579E-10      | 1,249E-10   | 1,216E-10     | 1,126E-10     |
| 710 | Tolueno, 2-cloro-   | Água          | kg             | 2,525E-10  | 1,703E-10    | 1,674E-10    | 2,331E-10       | 2,405E-10       | 2,504E-10      | 2,764E-10      | 2,186E-10   | 2,128E-10     | 1,972E-10     |
| 711 | Tolueno, 2,4-dinitro-   | Ar            | kg             | 7,686E-10  | 5,183E-10    | 5,098E-10    | 7,097E-10       | 7,321E-10       | 7,623E-10      | 8,416E-10      | 6,655E-10   | 6,480E-10     | 6,003E-10     |
| 712 | Transformação, de culturas arvenses                               | Matéria prima | m <sup>2</sup> | 2,649E-05  | 1,793E-05    | 1,763E-05    | 2,448E-05       | 2,526E-05       | 2,630E-05      | 2,904E-05      | 2,293E-05   | 2,237E-05     | 2,072E-05     |
| 713 | Transformação, de culturas arvenses, não irrigadas                | Matéria prima | m <sup>2</sup> | 1,822E-01  | 1,229E-01    | 1,209E-01    | 1,682E-01       | 1,736E-01       | 1,807E-01      | 1,995E-01      | 1,578E-01   | 1,536E-01     | 1,423E-01     |
| 714 | Transformação, de cultivo, não irrigado, em pousio                | Matéria prima | m <sup>2</sup> | 3,854E-06  | 2,612E-06    | 2,567E-06    | 3,562E-06       | 3,673E-06       | 3,827E-06      | 4,222E-06      | 3,336E-06   | 3,256E-06     | 3,014E-06     |
| 715 | Transformação, do local de despejo, aterro de material            | Matéria prima | m <sup>2</sup> | 3,267E-04  | 2,205E-04    | 2,168E-04    | 3,017E-04       | 3,111E-04       | 3,241E-04      | 3,576E-04      | 2,828E-04   | 2,755E-04     | 2,552E-04     |
| 716 | Transformação, do local de despejo, aterro de material residual   | Matéria prima | m <sup>2</sup> | 8,113E-05  | 5,492E-05    | 5,399E-05    | 7,499E-05       | 7,732E-05       | 8,056E-05      | 8,888E-05      | 7,024E-05   | 6,852E-05     | 6,344E-05     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 717 | Transformação, do local de despejo, aterro sanitário         | Matéria prima | m2      | 3,480E-06  | 2,350E-06    | 2,308E-06    | 3,207E-06       | 3,303E-06       | 3,445E-06      | 3,797E-06      | 3,008E-06   | 2,925E-06     | 2,703E-06     |
| 718 | Transformação, do local de despejo, compartimento escabio    | Matéria prima | m2      | 4,468E-06  | 3,018E-06    | 2,969E-06    | 4,129E-06       | 4,260E-06       | 4,435E-06      | 4,897E-06      | 3,869E-06   | 3,770E-06     | 3,494E-06     |
| 719 | Transformação, da floresta                                   | Matéria prima | m2      | 9,221E-03  | 6,229E-03    | 6,120E-03    | 8,513E-03       | 8,774E-03       | 9,145E-03      | 1,009E-02      | 7,983E-03   | 7,776E-03     | 7,197E-03     |
| 720 | Transformação, de floresta, extensa                          | Matéria prima | m2      | 3,289E+00  | 2,218E+00    | 2,182E+00    | 3,037E+00       | 3,133E+00       | 3,262E+00      | 3,602E+00      | 2,848E+00   | 2,773E+00     | 2,569E+00     |
| 721 | Transformação, de floresta, intensiva, de corte transparente | Matéria prima | m2      | 8,892E-06  | 6,002E-06    | 5,898E-06    | 8,209E-06       | 8,460E-06       | 8,818E-06      | 9,725E-06      | 7,699E-06   | 7,496E-06     | 6,938E-06     |
| 722 | Transformação, da área industrial                            | Matéria prima | m2      | 8,278E-05  | 5,586E-05    | 5,490E-05    | 7,640E-05       | 7,876E-05       | 8,207E-05      | 9,053E-05      | 7,167E-05   | 6,978E-05     | 6,458E-05     |
| 723 | Transformação, da área industrial, benthos                   | Matéria prima | m2      | 2,800E-07  | 1,886E-07    | 1,852E-07    | 2,582E-07       | 2,658E-07       | 2,773E-07      | 3,056E-07      | 2,425E-07   | 2,357E-07     | 2,179E-07     |
| 724 | Transformação, de área industrial, construída                | Matéria prima | m2      | 3,910E-07  | 2,641E-07    | 2,596E-07    | 3,612E-07       | 3,725E-07       | 3,880E-07      | 4,282E-07      | 3,386E-07   | 3,298E-07     | 3,055E-07     |
| 725 | Transformação, da área industrial, vegetação                 | Matéria prima | m2      | 6,671E-07  | 4,505E-07    | 4,429E-07    | 6,162E-07       | 6,355E-07       | 6,619E-07      | 7,305E-07      | 5,776E-07   | 5,628E-07     | 5,212E-07     |
| 726 | Transformação, do local de extração mineral                  | Matéria prima | m2      | 1,336E-03  | 9,022E-04    | 8,872E-04    | 1,234E-03       | 1,273E-03       | 1,326E-03      | 1,464E-03      | 1,157E-03   | 1,127E-03     | 1,044E-03     |
| 727 | Transformação, de pastagem e prado                           | Matéria prima | m2      | 8,808E-04  | 5,950E-04    | 5,849E-04    | 8,136E-04       | 8,390E-04       | 8,739E-04      | 9,644E-04      | 7,626E-04   | 7,430E-04     | 6,880E-04     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 728 | Transformação, de pastagem e prado, intensiva                   | Matéria prima | m2      | 1,487E-04  | 1,003E-04    | 9,864E-05    | 1,373E-04       | 1,417E-04       | 1,475E-04      | 1,628E-04      | 1,288E-04   | 1,254E-04     | 1,161E-04     |
| 729 | Transformação, do mar e oceano                                  | Matéria prima | m2      | 3,938E-03  | 2,657E-03    | 2,610E-03    | 3,634E-03       | 3,743E-03       | 3,903E-03      | 4,303E-03      | 3,409E-03   | 3,318E-03     | 3,070E-03     |
| 730 | Transformação, de arbustos, esclerófilos                        | Matéria prima | m2      | 5,294E-04  | 3,577E-04    | 3,517E-04    | 4,890E-04       | 5,044E-04       | 5,253E-04      | 5,798E-04      | 4,583E-04   | 4,467E-04     | 4,137E-04     |
| 731 | Transformação, da floresta tropical                             | Matéria prima | m2      | 8,892E-06  | 6,002E-06    | 5,898E-06    | 8,209E-06       | 8,460E-06       | 8,818E-06      | 9,725E-06      | 7,699E-06   | 7,496E-06     | 6,938E-06     |
| 732 | Transformação, de desconhecido                                  | Matéria prima | m2      | 2,064E-02  | 1,393E-02    | 1,369E-02    | 1,906E-02       | 1,966E-02       | 2,047E-02      | 2,260E-02      | 1,787E-02   | 1,740E-02     | 1,612E-02     |
| 733 | Transformação, para cultivar                                    | Matéria prima | m2      | 1,044E-03  | 7,046E-04    | 6,925E-04    | 9,640E-04       | 9,938E-04       | 1,036E-03      | 1,142E-03      | 9,042E-04   | 8,803E-04     | 8,149E-04     |
| 734 | Transformação, para culturas arvenses, não irrigadas            | Matéria prima | m2      | 1,824E-01  | 1,230E-01    | 1,210E-01    | 1,684E-01       | 1,737E-01       | 1,809E-01      | 1,997E-01      | 1,579E-01   | 1,537E-01     | 1,424E-01     |
| 735 | Transformação, para cultivo, sem irrigação, em pousio           | Matéria prima | m2      | 8,397E-06  | 5,686E-06    | 5,587E-06    | 7,760E-06       | 7,998E-06       | 8,336E-06      | 9,194E-06      | 7,269E-06   | 7,090E-06     | 6,563E-06     |
| 736 | Transformação, para despejar o site                             | Matéria prima | m2      | 2,381E-03  | 1,607E-03    | 1,580E-03    | 2,199E-03       | 2,269E-03       | 2,362E-03      | 2,608E-03      | 2,062E-03   | 2,008E-03     | 1,860E-03     |
| 737 | Transformação, para despejar o site, benthos                    | Matéria prima | m2      | 3,934E-03  | 2,654E-03    | 2,607E-03    | 3,629E-03       | 3,739E-03       | 3,899E-03      | 4,298E-03      | 3,405E-03   | 3,315E-03     | 3,066E-03     |
| 738 | Transformação, para despejar o local, aterro de material inerte | Matéria prima | m2      | 3,267E-04  | 2,205E-04    | 2,168E-04    | 3,017E-04       | 3,111E-04       | 3,241E-04      | 3,576E-04      | 2,828E-04   | 2,755E-04     | 2,552E-04     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 739 | Transformação, para despejar o local, aterro de material residual | Matéria prima | m2      | 8,113E-05  | 5,492E-05    | 5,399E-05    | 7,499E-05       | 7,732E-05       | 8,056E-05      | 8,888E-05      | 7,024E-05   | 6,852E-05     | 6,345E-05     |
| 740 | Transformação, aterro sanitário, aterro sanitário                 | Matéria prima | m2      | 3,480E-06  | 2,350E-06    | 2,308E-06    | 3,207E-06       | 3,303E-06       | 3,445E-06      | 3,797E-06      | 3,008E-06   | 2,925E-06     | 2,703E-06     |
| 741 | Transformação, para despejar o local, compartimento escabio       | Matéria prima | m2      | 4,468E-06  | 3,018E-06    | 2,969E-06    | 4,129E-06       | 4,260E-06       | 4,435E-06      | 4,897E-06      | 3,869E-06   | 3,770E-06     | 3,494E-06     |
| 742 | Transformação, para floresta                                      | Matéria prima | m2      | 7,390E-04  | 4,989E-04    | 4,906E-04    | 6,826E-04       | 7,039E-04       | 7,332E-04      | 8,092E-04      | 6,399E-04   | 6,233E-04     | 5,772E-04     |
| 743 | Transformação, para floresta, intensiva                           | Matéria prima | m2      | 1,145E-04  | 7,745E-05    | 7,610E-05    | 1,059E-04       | 1,091E-04       | 1,137E-04      | 1,254E-04      | 9,917E-05   | 9,665E-05     | 8,953E-05     |
| 744 | Transformação, para floresta, intensiva, desobstruída             | Matéria prima | m2      | 8,892E-06  | 6,002E-06    | 5,898E-06    | 8,209E-06       | 8,460E-06       | 8,818E-06      | 9,725E-06      | 7,699E-06   | 7,496E-06     | 6,938E-06     |
| 745 | Transformação, para floresta, intensiva, normal                   | Matéria prima | m2      | 3,257E+00  | 2,197E+00    | 2,160E+00    | 3,008E+00       | 3,103E+00       | 3,231E+00      | 3,567E+00      | 2,820E+00   | 2,746E+00     | 2,544E+00     |
| 746 | Transformação, floresta, intensivo, ciclo curto                   | Matéria prima | m2      | 8,892E-06  | 6,002E-06    | 5,898E-06    | 8,209E-06       | 8,460E-06       | 8,818E-06      | 9,725E-06      | 7,699E-06   | 7,496E-06     | 6,938E-06     |
| 747 | Transformação, heterogênea, agrícola                              | Matéria prima | m2      | 4,315E-04  | 2,914E-04    | 2,863E-04    | 3,983E-04       | 4,104E-04       | 4,279E-04      | 4,718E-04      | 3,736E-04   | 3,638E-04     | 3,367E-04     |
| 748 | Transformação, para área industrial                               | Matéria prima | m2      | 6,550E-03  | 4,418E-03    | 4,345E-03    | 6,048E-03       | 6,239E-03       | 6,497E-03      | 7,172E-03      | 5,671E-03   | 5,522E-03     | 5,115E-03     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 749 | Transformação, para área industrial, benthos            | Matéria prima | m2      | 4,469E-06  | 3,026E-06    | 2,971E-06    | 4,129E-06       | 4,252E-06       | 4,435E-06      | 4,888E-06      | 3,869E-06   | 3,772E-06     | 3,489E-06     |
| 750 | Transformação, para área industrial, construída         | Matéria prima | m2      | 1,906E-03  | 1,288E-03    | 1,266E-03    | 1,761E-03       | 1,815E-03       | 1,891E-03      | 2,087E-03      | 1,650E-03   | 1,608E-03     | 1,489E-03     |
| 751 | Transformação, para área industrial, vegetação          | Matéria prima | m2      | 7,559E-04  | 5,106E-04    | 5,019E-04    | 6,981E-04       | 7,199E-04       | 7,499E-04      | 8,275E-04      | 6,544E-04   | 6,376E-04     | 5,904E-04     |
| 752 | Transformação, para o local de extração mineral         | Matéria prima | m2      | 1,595E-02  | 1,077E-02    | 1,059E-02    | 1,473E-02       | 1,519E-02       | 1,582E-02      | 1,746E-02      | 1,381E-02   | 1,345E-02     | 1,245E-02     |
| 753 | Transformação, pastagem e prado                         | Matéria prima | m2      | 5,055E-05  | 3,406E-05    | 3,345E-05    | 4,660E-05       | 4,800E-05       | 5,006E-05      | 5,518E-05      | 4,376E-05   | 4,255E-05     | 3,936E-05     |
| 754 | Transformação, para cultivo permanente, fruta intensiva | Matéria prima | m2      | 4,521E-06  | 3,052E-06    | 2,999E-06    | 4,174E-06       | 4,302E-06       | 4,484E-06      | 4,945E-06      | 3,915E-06   | 3,812E-06     | 3,528E-06     |
| 755 | Transformação, para mar e oceano                        | Matéria prima | m2      | 2,800E-07  | 1,886E-07    | 1,852E-07    | 2,582E-07       | 2,658E-07       | 2,773E-07      | 3,056E-07      | 2,425E-07   | 2,357E-07     | 2,179E-07     |
| 756 | Transformação, arbustos terrestres, esclerófilos        | Matéria prima | m2      | 4,157E-04  | 2,809E-04    | 2,761E-04    | 3,840E-04       | 3,960E-04       | 4,125E-04      | 4,552E-04      | 3,600E-04   | 3,507E-04     | 3,247E-04     |
| 757 | Transformação, área de trânsito, aterro de trilho       | Matéria prima | m2      | 1,098E-04  | 7,414E-05    | 7,291E-05    | 1,014E-04       | 1,046E-04       | 1,089E-04      | 1,203E-04      | 9,510E-05   | 9,259E-05     | 8,578E-05     |
| 758 | Transformação, área de trânsito, rede ferroviária       | Matéria prima | m2      | 1,207E-04  | 8,149E-05    | 8,007E-05    | 1,115E-04       | 1,150E-04       | 1,197E-04      | 1,322E-04      | 1,045E-04   | 1,018E-04     | 9,429E-05     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 759 | Transformação, área de trânsito, aterro de estrada            | Matéria prima | m2      | 3,189E-02  | 2,151E-02    | 2,115E-02    | 2,945E-02       | 3,038E-02       | 3,163E-02      | 3,492E-02      | 2,762E-02   | 2,689E-02     | 2,491E-02     |
| 760 | Transformação, área de trânsito, rede rodoviária              | Matéria prima | m2      | 5,771E-04  | 3,896E-04    | 3,830E-04    | 5,330E-04       | 5,497E-04       | 5,726E-04      | 6,318E-04      | 4,996E-04   | 4,867E-04     | 4,507E-04     |
| 761 | Transformação, para desconhecido                              | Matéria prima | m2      | 4,776E-04  | 3,224E-04    | 3,170E-04    | 4,411E-04       | 4,549E-04       | 4,738E-04      | 5,229E-04      | 4,135E-04   | 4,028E-04     | 3,731E-04     |
| 762 | Transformação, para o urbano, construído de forma descontínua | Matéria prima | m2      | 1,842E-06  | 1,242E-06    | 1,222E-06    | 1,701E-06       | 1,755E-06       | 1,827E-06      | 2,017E-06      | 1,595E-06   | 1,553E-06     | 1,439E-06     |
| 763 | Transformação, a corpos d'água, artificial                    | Matéria prima | m2      | 7,557E-04  | 5,101E-04    | 5,017E-04    | 6,980E-04       | 7,201E-04       | 7,498E-04      | 8,278E-04      | 6,543E-04   | 6,374E-04     | 5,905E-04     |
| 764 | Transformação, cursos de água, artificial                     | Matéria prima | m2      | 4,559E-04  | 3,079E-04    | 3,028E-04    | 4,211E-04       | 4,345E-04       | 4,524E-04      | 4,994E-04      | 3,947E-04   | 3,846E-04     | 3,563E-04     |
| 765 | Compostos de tributilestanho                                  | Água          | kg      | 5,439E-06  | 3,669E-06    | 3,608E-06    | 5,022E-06       | 5,181E-06       | 5,395E-06      | 5,956E-06      | 4,710E-06   | 4,585E-06     | 4,248E-06     |
| 766 | Trietilenoglicol  | Água          | kg      | 5,149E-06  | 3,468E-06    | 3,405E-06    | 4,746E-06       | 4,887E-06       | 5,098E-06      | 5,618E-06      | 4,457E-06   | 4,333E-06     | 4,007E-06     |
| 767 | Trimetilamina   | Ar            | kg      | 1,834E-11  | 1,237E-11    | 1,217E-11    | 1,694E-11       | 1,747E-11       | 1,820E-11      | 2,009E-11      | 1,588E-11   | 1,547E-11     | 1,433E-11     |
| 768 | Trimetilamina   | Água          | kg      | 4,404E-11  | 2,970E-11    | 2,921E-11    | 4,066E-11       | 4,195E-11       | 4,368E-11      | 4,822E-11      | 3,813E-11   | 3,713E-11     | 3,439E-11     |
| 769 | Tungstênio  | Ar            | kg      | 1,036E-07  | 7,006E-08    | 6,892E-08    | 9,578E-08       | 9,883E-08       | 1,029E-07      | 1,136E-07      | 8,971E-08   | 8,748E-08     | 8,106E-08     |
| 770 | Tungstênio  | Água          | kg      | 5,077E-05  | 3,439E-05    | 3,378E-05    | 4,691E-05       | 4,832E-05       | 5,039E-05      | 5,554E-05      | 4,394E-05   | 4,286E-05     | 3,966E-05     |
| 771 | Ulexite, no chão  | Matéria prima | kg      | 5,672E-06  | 3,838E-06    | 3,775E-06    | 5,244E-06       | 5,410E-06       | 5,633E-06      | 6,219E-06      | 4,911E-06   | 4,791E-06     | 4,438E-06     |
| 772 | Urânio  | Ar            | kg      | 7,338E-08  | 4,950E-08    | 4,868E-08    | 6,775E-08       | 6,990E-08       | 7,278E-08      | 8,035E-08      | 6,354E-08   | 6,187E-08     | 5,731E-08     |
| 773 | Uranium-234   | Ar            | Bq      | 8,971E-01  | 6,066E-01    | 5,967E-01    | 8,292E-01       | 8,557E-01       | 8,908E-01      | 9,836E-01      | 7,767E-01   | 7,574E-01     | 7,019E-01     |
| 774 | Uranium-234   | Água          | Bq      | 1,676E+00  | 1,134E+00    | 1,115E+00    | 1,550E+00       | 1,599E+00       | 1,665E+00      | 1,838E+00      | 1,452E+00   | 1,416E+00     | 1,312E+00     |
| 775 | Uranium-235   | Ar            | Bq      | 4,275E-02  | 2,891E-02    | 2,844E-02    | 3,952E-02       | 4,078E-02       | 4,245E-02      | 4,688E-02      | 3,701E-02   | 3,610E-02     | 3,345E-02     |
| 776 | Uranium-235   | Água          | Bq      | 2,766E+00  | 1,870E+00    | 1,840E+00    | 2,557E+00       | 2,639E+00       | 2,747E+00      | 3,033E+00      | 2,395E+00   | 2,336E+00     | 2,164E+00     |
| 777 | Uranium-238   | Ar            | Bq      | 1,461E+00  | 9,879E-01    | 9,719E-01    | 1,351E+00       | 1,394E+00       | 1,451E+00      | 1,602E+00      | 1,265E+00   | 1,234E+00     | 1,143E+00     |

| Nº  | Substância   | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 778 | Uranium-238  | Água          | Bq      | 6,547E+00  | 4,425E+00    | 4,353E+00    | 6,050E+00       | 6,243E+00       | 6,499E+00      | 7,176E+00      | 5,668E+00   | 5,526E+00     | 5,120E+00     |
| 779 | Uranium alpha  | Ar            | Bq      | 4,118E+00  | 2,785E+00    | 2,739E+00    | 3,807E+00       | 3,928E+00       | 4,089E+00      | 4,516E+00      | 3,566E+00   | 3,477E+00     | 3,222E+00     |
| 780 | Uranium alpha  | Água          | Bq      | 8,049E+01  | 5,442E+01    | 5,354E+01    | 7,440E+01       | 7,678E+01       | 7,992E+01      | 8,826E+01      | 6,969E+01   | 6,796E+01     | 6,298E+01     |
| 781 | Óxido de urânio, 332 GJ por kg, em minério                                     | Matéria prima | kg      | 6,858E-06  | 4,625E-06    | 4,549E-06    | 6,332E-06       | 6,533E-06       | 6,802E-06      | 7,509E-06      | 5,938E-06   | 5,782E-06     | 5,356E-06     |
| 782 | Urânio, no solo  | Matéria prima | kg      | 3,086E-04  | 2,087E-04    | 2,054E-04    | 2,853E-04       | 2,944E-04       | 3,065E-04      | 3,384E-04      | 2,672E-04   | 2,607E-04     | 2,416E-04     |
| 783 | Ureia  | Água          | kg      | 1,330E-10  | 8,977E-11    | 8,829E-11    | 1,228E-10       | 1,267E-10       | 1,319E-10      | 1,456E-10      | 1,152E-10   | 1,121E-10     | 1,039E-10     |
| 784 | Vanádio  | Ar            | kg      | 1,705E-04  | 1,146E-04    | 1,122E-04    | 1,569E-04       | 1,611E-04       | 1,685E-04      | 1,852E-04      | 1,476E-04   | 1,431E-04     | 1,321E-04     |
| 785 | Vanádio  | Água          | kg      | 6,344E-08  | 4,278E-08    | 4,208E-08    | 5,858E-08       | 6,043E-08       | 6,292E-08      | 6,947E-08      | 5,493E-08   | 5,348E-08     | 4,955E-08     |
| 786 | Vanádio  | Solo          | kg      | 4,260E-06  | 2,873E-06    | 2,825E-06    | 3,933E-06       | 4,058E-06       | 4,225E-06      | 4,664E-06      | 3,688E-06   | 3,591E-06     | 3,327E-06     |
| 787 | Vanádio, íon   | Água          | kg      | 3,124E-04  | 2,111E-04    | 2,076E-04    | 2,886E-04       | 2,978E-04       | 3,101E-04      | 3,423E-04      | 2,705E-04   | 2,636E-04     | 2,442E-04     |
| 788 | Vermiculita, no solo   | Matéria prima | kg      | 1,669E-05  | 1,122E-05    | 1,096E-05    | 1,521E-05       | 1,555E-05       | 1,634E-05      | 1,788E-05      | 1,430E-05   | 1,376E-05     | 1,261E-05     |
| 789 | Acetato de vinila  | Ar            | kg      | 2,087E-08  | 1,407E-08    | 1,384E-08    | 1,927E-08       | 1,988E-08       | 2,070E-08      | 2,285E-08      | 1,807E-08   | 1,759E-08     | 1,630E-08     |
| 790 | COV, compostos orgânicos voláteis  | Ar            | kg      | 4,190E-03  | 2,825E-03    | 2,779E-03    | 3,868E-03       | 3,991E-03       | 4,155E-03      | 4,587E-03      | 3,628E-03   | 3,532E-03     | 3,272E-03     |
| 791 | COV, compostos orgânicos voláteis, origem não especificada                     | Água          | kg      | 1,260E-04  | 8,516E-05    | 8,369E-05    | 1,163E-04       | 1,200E-04       | 1,249E-04      | 1,379E-04      | 1,091E-04   | 1,063E-04     | 9,838E-05     |
| 792 | Volume ocupado, repositório final para resíduos radioativos de baixa atividade | Matéria prima | m3      | 6,355E-07  | 4,297E-07    | 4,228E-07    | 5,875E-07       | 6,062E-07       | 6,311E-07      | 6,969E-07      | 5,502E-07   | 5,365E-07     | 4,972E-07     |
| 793 | Volume ocupado, repositório  | Matéria prima | m3      | 1,577E-07  | 1,066E-07    | 1,049E-07    | 1,457E-07       | 1,504E-07       | 1,565E-07      | 1,729E-07      | 1,365E-07   | 1,331E-07     | 1,233E-07     |
| 794 | Volume occupied, reservoir   | Matéria prima | m3y     | 4,242E-01  | 2,867E-01    | 2,820E-01    | 3,920E-01       | 4,045E-01       | 4,211E-01      | 4,650E-01      | 3,673E-01   | 3,581E-01     | 3,317E-01     |
| 795 | Volume occupied, underground deposit   | Matéria prima | m3      | 5,878E-06  | 3,966E-06    | 3,900E-06    | 5,429E-06       | 5,600E-06       | 5,832E-06      | 6,438E-06      | 5,090E-06   | 4,957E-06     | 4,592E-06     |
| 796 | Waste water/m3   | Água          | m3      | 1,372E-01  | 9,251E-02    | 9,098E-02    | 1,267E-01       | 1,307E-01       | 1,361E-01      | 1,502E-01      | 1,188E-01   | 1,156E-01     | 1,071E-01     |

| Nº  | Substância                                     | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|--|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 797 | Water  | Ar            | kg      | 9,481E-02  | 5,818E-02    | 5,130E-02    | 7,680E-02       | 6,917E-02       | 8,250E-02      | 7,951E-02      | 8,096E-02   | 6,962E-02     | 5,673E-02     |
| 798 | Water, cooling, unspecified natural origin/m3  | Matéria prima | m3      | 8,301E-01  | 5,654E-01    | 5,570E-01    | 7,702E-01       | 7,959E-01       | 8,273E-01      | 9,149E-01      | 7,188E-01   | 7,042E-01     | 6,535E-01     |
| 799 | Water, lake                                    | Matéria prima | m3      | 1,597E-02  | 1,074E-02    | 1,049E-02    | 1,456E-02       | 1,489E-02       | 1,564E-02      | 1,711E-02      | 1,368E-02   | 1,317E-02     | 1,207E-02     |
| 800 | Water, process, unspecified natural origin/m3  | Matéria prima | m3      | 2,353E-02  | 1,248E-02    | 9,299E-03    | 2,105E-02       | 2,037E-02       | 2,261E-02      | 2,342E-02      | 1,798E-02   | 1,646E-02     | 1,254E-02     |
| 801 | Water, river                                   | Matéria prima | m3      | 2,179E-01  | 1,471E-01    | 1,445E-01    | 2,008E-01       | 2,068E-01       | 2,157E-01      | 2,378E-01      | 1,883E-01   | 1,831E-01     | 1,692E-01     |
| 802 | Water, salt, ocean                             | Matéria prima | m3      | 2,663E-02  | 1,800E-02    | 1,770E-02    | 2,461E-02       | 2,538E-02       | 2,643E-02      | 2,918E-02      | 2,306E-02   | 2,248E-02     | 2,082E-02     |
| 803 | Water, salt, sole                              | Matéria prima | m3      | 4,495E-03  | 3,039E-03    | 2,987E-03    | 4,152E-03       | 4,281E-03       | 4,460E-03      | 4,921E-03      | 3,892E-03   | 3,793E-03     | 3,511E-03     |
| 804 | Water, turbine use, unspecified natural origin | Matéria prima | m3      | 1,901E+02  | 1,285E+02    | 1,264E+02    | 1,757E+02       | 1,813E+02       | 1,887E+02      | 2,084E+02      | 1,646E+02   | 1,605E+02     | 1,487E+02     |
| 805 | Water, unspecified natural origin/m3           | Matéria prima | m3      | 6,477E-01  | 4,370E-01    | 4,297E-01    | 5,981E-01       | 6,169E-01       | 6,424E-01      | 7,091E-01      | 5,608E-01   | 5,461E-01     | 5,058E-01     |
| 806 | Water, well, in ground                         | Matéria prima | m3      | 1,212E-01  | 8,171E-02    | 8,020E-02    | 1,115E-01       | 1,147E-01       | 1,198E-01      | 1,319E-01      | 1,046E-01   | 1,015E-01     | 9,376E-02     |
| 807 | Wood, hard, standing                           | Matéria prima | m3      | 9,072E-02  | 6,118E-02    | 6,017E-02    | 8,376E-02       | 8,641E-02       | 8,998E-02      | 9,933E-02      | 7,855E-02   | 7,648E-02     | 7,085E-02     |
| 808 | Wood, primary forest, standing                 | Matéria prima | m3      | 9,207E-08  | 6,214E-08    | 6,107E-08    | 8,499E-08       | 8,760E-08       | 9,129E-08      | 1,007E-07      | 7,972E-08   | 7,761E-08     | 7,184E-08     |
| 809 | Wood, soft, standing                           | Matéria prima | m3      | 5,580E-04  | 3,777E-04    | 3,713E-04    | 5,157E-04       | 5,319E-04       | 5,540E-04      | 6,114E-04      | 4,831E-04   | 4,712E-04     | 4,364E-04     |
| 810 | Wood, unspecified, standing/m3                 | Matéria prima | m3      | 4,212E-09  | 2,970E-09    | 2,945E-09    | 3,976E-09       | 4,136E-09       | 4,271E-09      | 4,754E-09      | 3,647E-09   | 3,655E-09     | 3,414E-09     |
| 811 | Xenon-131m                                     | Ar            | Bq      | 3,134E+01  | 2,117E+01    | 2,082E+01    | 2,896E+01       | 2,988E+01       | 3,111E+01      | 3,434E+01      | 2,714E+01   | 2,644E+01     | 2,450E+01     |
| 812 | Xenon-133                                      | Ar            | Bq      | 1,064E+03  | 7,183E+02    | 7,065E+02    | 9,826E+02       | 1,014E+03       | 1,055E+03      | 1,165E+03      | 9,208E+02   | 8,973E+02     | 8,313E+02     |
| 813 | Xenon-133m                                     | Ar            | Bq      | 2,888E+00  | 1,952E+00    | 1,921E+00    | 2,669E+00       | 2,755E+00       | 2,868E+00      | 3,166E+00      | 2,501E+00   | 2,438E+00     | 2,259E+00     |
| 814 | Xenon-135                                      | Ar            | Bq      | 4,310E+02  | 2,911E+02    | 2,863E+02    | 3,982E+02       | 4,108E+02       | 4,277E+02      | 4,722E+02      | 3,731E+02   | 3,636E+02     | 3,369E+02     |
| 815 | Xenon-135m                                     | Ar            | Bq      | 2,624E+02  | 1,772E+02    | 1,743E+02    | 2,424E+02       | 2,501E+02       | 2,604E+02      | 2,875E+02      | 2,272E+02   | 2,214E+02     | 2,051E+02     |
| 816 | Xenon-137                                      | Ar            | Bq      | 6,630E+00  | 4,476E+00    | 4,402E+00    | 6,124E+00       | 6,318E+00       | 6,578E+00      | 7,262E+00      | 5,740E+00   | 5,592E+00     | 5,180E+00     |

| Nº  | Substância  | Compartimento | Unidade | REF - CP V | ARC15 - CP V | ARC30 - CP V | ARC15CCA - CP V | ARC30CCA - CP V | ARC15CV - CP V | ARC30CV - CP V | REF - CP IV | ARC15 - CP IV | ARC30 - CP IV |
|-----|---|---------------|---------|------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|---------------|---------------|
| 817 | Xenon-138   | Ar            | Bq      | 5,302E+01  | 3,580E+01    | 3,521E+01    | 4,898E+01       | 5,053E+01       | 5,261E+01      | 5,808E+01      | 4,591E+01   | 4,472E+01     | 4,143E+01     |
| 818 | Xylene  | Ar            | kg      | 1,872E-04  | 1,265E-04    | 1,244E-04    | 1,729E-04       | 1,784E-04       | 1,858E-04      | 2,051E-04      | 1,621E-04   | 1,580E-04     | 1,464E-04     |
| 819 | Xylene  | Água          | kg      | 3,764E-05  | 2,544E-05    | 2,501E-05    | 3,476E-05       | 3,584E-05       | 3,734E-05      | 4,120E-05      | 3,258E-05   | 3,176E-05     | 2,940E-05     |
| 820 | Yttrium   | Água          | kg      | 1,575E-08  | 1,062E-08    | 1,044E-08    | 1,454E-08       | 1,500E-08       | 1,562E-08      | 1,724E-08      | 1,364E-08   | 1,328E-08     | 1,230E-08     |
| 821 | Zinc  | Ar            | kg      | 2,623E-04  | 1,770E-04    | 1,740E-04    | 2,422E-04       | 2,498E-04       | 2,602E-04      | 2,872E-04      | 2,271E-04   | 2,212E-04     | 2,048E-04     |
| 822 | Zinc  | Água          | kg      | 4,509E-06  | 3,041E-06    | 2,990E-06    | 4,163E-06       | 4,295E-06       | 4,472E-06      | 4,937E-06      | 3,904E-06   | 3,801E-06     | 3,521E-06     |
| 823 | Zinc  | Solo          | kg      | 1,986E-04  | 1,339E-04    | 1,317E-04    | 1,834E-04       | 1,892E-04       | 1,970E-04      | 2,175E-04      | 1,720E-04   | 1,674E-04     | 1,551E-04     |
| 824 | Zinc-65   | Ar            | Bq      | 4,989E-05  | 3,368E-05    | 3,312E-05    | 4,608E-05       | 4,754E-05       | 4,950E-05      | 5,464E-05      | 4,319E-05   | 4,207E-05     | 3,897E-05     |
| 825 | Zinc-65   | Água          | Bq      | 1,231E-01  | 8,309E-02    | 8,172E-02    | 1,137E-01       | 1,173E-01       | 1,221E-01      | 1,348E-01      | 1,066E-01   | 1,038E-01     | 9,616E-02     |
| 826 | Zinc, 9.0% in sulfide, Zn 5.3%, Pb, Ag, Cd, In, in ground | Matéria prima | kg      | 6,848E-03  | 4,641E-03    | 4,557E-03    | 6,328E-03       | 6,517E-03       | 6,797E-03      | 7,492E-03      | 5,928E-03   | 5,783E-03     | 5,349E-03     |
| 827 | Zinc, ion   | Água          | kg      | 7,398E-03  | 4,998E-03    | 4,914E-03    | 6,834E-03       | 7,048E-03       | 7,341E-03      | 8,102E-03      | 6,405E-03   | 6,242E-03     | 5,781E-03     |
| 828 | Zirconium   | Ar            | kg      | 1,183E-06  | 7,976E-07    | 7,844E-07    | 1,092E-06       | 1,127E-06       | 1,173E-06      | 1,295E-06      | 1,024E-06   | 9,971E-07     | 9,237E-07     |
| 829 | Zirconium-95  | Ar            | Bq      | 4,877E-05  | 3,292E-05    | 3,238E-05    | 4,504E-05       | 4,647E-05       | 4,839E-05      | 5,342E-05      | 4,222E-05   | 4,113E-05     | 3,810E-05     |
| 830 | Zirconium-95  | Água          | Bq      | 1,425E-03  | 9,622E-04    | 9,463E-04    | 1,316E-03       | 1,358E-03       | 1,414E-03      | 1,561E-03      | 1,234E-03   | 1,202E-03     | 1,114E-03     |
| 831 | Zirconium, 50% in zircon, 0.39% in crude ore, in ground   | Matéria prima | kg      | 1,417E-06  | 9,626E-07    | 9,446E-07    | 1,309E-06       | 1,347E-06       | 1,406E-06      | 1,549E-06      | 1,227E-06   | 1,197E-06     | 1,106E-06     |