



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Análise de Ciclo de Vida de Betão com Agregados Reciclados para Aplicação Estrutural

Alexandre Miguel Vaz Bairras

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

(Ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof. Doutor Luiz António Pereira de Oliveira
(DECA-UBI/UniCeuma)

Covilhã, outubro de 2016

Dedicatória

À minha família
À Sara

Agradecimentos

Ao meu pai, à minha mãe, pelo seu esforço e trabalho que me possibilitaram a conclusão e formação académica em Engenharia Civil, proporcionando-me todas as condições para atingir esse objetivo. À minha irmã. Sem eles, para me apoiar nesta jornada teria sido muito mais difícil. Obrigado do fundo do coração.

Um agradecimento à minha namorada, pelo seu carinho, paciência e presença na redação desta dissertação. Poder sempre contar contigo e ter-te ao meu lado torna tudo ligeiramente mais fácil.

Deixo uma palavra de agradecimento ao professor Doutor Luiz António Pereira de Oliveira, pela orientação ao longo deste trabalho e pela sua disponibilidade de partilhar o conhecimento e informação relativos ao tema da dissertação.

Aos meus amigos, e a todos os colegas feitos enquanto estudante da Universidade da Beira Interior de Engenharia Civil que juntamente comigo percorreram este caminho.

À Universidade da Beira Interior, nomeadamente pelas condições presentes no Departamento de Engenharia Civil e a todos os docentes que permitiram a minha formação em Engenharia Civil.

Resumo

A presente dissertação, “Análise de Ciclo de Vida de Betão com Agregados Reciclados para Aplicação Estrutural”, visa a realização de um estudo efetuado de acordo com a metodologia da Análise de Ciclo de Vida com a aplicação de um *software*.

A indústria da construção é conhecida como ambientalmente ineficiente. Sendo o betão um dos materiais mais utilizados na construção, é relevante estudar os impactes ambientais causados pelo seu ciclo de vida, de forma a ser possível implementar estratégias para a diminuição dos impactes ambientais em cada etapa do seu processo de fabrico.

Este estudo compara um betão sem agregados reciclados com quatro betões com diversas percentagens de agregados reciclados. Para avaliar o ciclo de vida dos diferentes betões em estudo foi utilizada a metodologia de ACV, seguindo os requisitos das normas NP EN ISO 14040:2008 e NP EN ISO 14044:2010. Para efetuar o cálculo global dos impactes ambientais das várias fases associadas à produção de betão, onde é possível comparar, quantificar e verificar qual o mais vantajoso em termos ambientais ao longo do seu ciclo de vida, foi utilizado o *software* OpenLCA.

A partir dos resultados do estudo é possível afirmar que o aumento de percentagem de agregados reciclados na mistura de betão, apresenta um desempenho ambiental mais favorável.

Palavras-chave

Análise de Ciclo de Vida, Agregados reciclados, Betão, Impactes ambientais, OpenLCA.

Abstract

The current dissertation, “Analysis of the Life Cycle of the Concrete with Recycled Aggregates for Structural Application”, aims for the conduction of a study carried out according to the methodology of the analysis of the Life Cycle with the application of a software.

The construction industry is known as environmentally inefficient. Being the concrete one of the most used materials in construction, it is relevant to study the environmental impacts caused by its life cycle, in order to be possible to implement strategies for the reduction of environmental impacts at each step of its manufacturing process.

This study compares a concrete without recycled aggregates with four other concretes with different percentages of recycled aggregates. In order to evaluate the life cycle of different concretes in the study, it was used the Life Cycle Assessment methodology, following the requirements of ISO 14040 and ISO 14044 norms. To make the overall calculation of the environmental impacts of the different stages associated to the production of concrete, where is possible to compare, quantify and verify which is the most beneficial for the environment throughout their life cycle, it was used the OpenLCA software.

From the study results it is possible to say that the increased percentage of recycled aggregates in the concrete mix shows a better environmental performance.

Keywords

Life Cycle Assessment, Recycled Aggregates, Concrete, Environmental Impact, OpenLCA.

Índice

1.	Introdução	1
1.1	Enquadramento	3
1.2	Objetivos e Âmbito	4
1.3	Organização da Dissertação.....	4
2.	Revisão Bibliográfica.....	7
2.1	Análise de Ciclo de Vida	9
2.1.1	Visão Geral do Conceito	9
2.1.2	História da ACV	11
2.1.3	Benefícios e Limitações da ACV	11
2.1.4	Normas ISO referentes à ACV	12
2.2	Metodologia de Análise de Ciclo de Vida	13
2.2.1	Definição de Objetivo e Âmbito	14
2.2.2	Inventário do Ciclo de Vida (ICV)	14
2.2.3	Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV)	15
2.2.4	Interpretação	16
2.3	Software OpenLCA.....	17
2.3.1	Base de dados ELCD	20
2.3.2	Metodologia CML	20
2.4	Processo de Fabrico do Betão	21
2.4.1	Cimento.....	22
2.4.2	Agregados	25
2.4.3	Água	26
2.4.4	Adições.....	26
2.4.5	Adjuvantes	27
2.5	Processamento de Resíduos de Construção e Demolição	27
2.6	Normas para utilização de Agregados Recicladoss em Betão	29
2.7	Impactes ambientais associados ao betão	31
2.7.1	Acidificação	32
2.7.2	Aquecimento Global	32
2.7.3	Destruição da Camada de Ozono	33
2.7.4	Ecotoxicidade.....	34
2.7.5	Esgotamento de Recursos Abióticos	35
2.7.6	Eutrofização	35
2.7.7	Oxidação fotoquímica	36
2.7.8	Toxicidade Humana.....	37
2.8	Principais estudos de ACV de betão com agregados reciclados	37

3.	Caso de estudo.....	39
3.1	Enquadramento	41
3.2	Caracterização dos materiais para aplicação do software	41
4.	Metodologia de ACV.....	49
4.1	Considerações Iniciais	51
4.2	Definição de Objetivo e Âmbito	51
4.2.1	Definição Unidade Funcional.....	51
4.2.2	Definição dos Limites do Sistema	52
4.3	Inventário do Ciclo de Vida	53
4.3.1	Betão auto-compactável sem agregados reciclados	53
4.3.2	Betão auto-compactável com 10 % de agregados reciclados	54
4.3.3	Betão auto-compactável com 20 % de agregados reciclados	54
4.3.4	Betão auto-compactável com 30 % de agregados reciclados	55
4.3.5	Betão auto-compactável com 40 % de agregados reciclados	56
4.4	Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida	57
4.4.1	Resultados de indicador de impacte.....	57
4.4.2	Contribuição dos processos para os impactes ambientais	60
4.4.3	Comparação entre os diferentes betões	63
4.5	Interpretação.....	65
5.	Conclusões.....	67
5.1	Principais Conclusões	69
5.2	Limitações	70
5.3	Desenvolvimentos Futuros	70
	Referências Bibliográficas	73
	ANEXOS	77

Índice de Figuras

Figura 2.1.1 - Processos do ciclo de vida do produto	10
Figura 2.1.2 - Evolução das preocupações na construção civil	10
Figura 2.2.1 - Metodologia de Análise de Ciclo de Vida.....	14
Figura 2.2.2 - Elementos que constituem a fase AICV	16
Figura 2.3.1 - Imagem de abertura do software OpenLCA	18
Figura 2.3.2 - Processo de produção do cimento Portland	19
Figura 2.3.3 - Processo de produção do betão de referência.....	19
Figura 2.4.1 - Entradas e saídas do ciclo de vida da produção de betão	21
Figura 2.4.2 - Processo simplificado do fabrico do cimento	22
Figura 2.4.3 - Diagrama de fabrico de cimento	25
Figura 2.5.1 - Processamento de RCD	28
Figura 3.2.1 - Processo cimento Portland	42
Figura 3.2.2 - Processo filer calcário.....	42
Figura 3.2.3 - Processo areia	44
Figura 3.2.4 - Processo brita.....	44
Figura 3.2.5 - Processo agregados reciclados.....	45
Figura 3.2.6 - Processo água	46
Figura 4.2.1 - Sistema de betão com agregados reciclados	52
Figura 4.2.2 - Sistema de betão sem agregados reciclados	53
Figura 4.3.1- Fluxos de entrada para BRF	54
Figura 4.3.2 - Fluxos de entrada para BRC10	54
Figura 4.3.3 - Fluxos de entrada para BRC20	55
Figura 4.3.4- Fluxos de entrada para BRC30.....	55
Figura 4.3.5 - Fluxos de entrada para BRC40	56
Figura 4.3.6 - Sistema sem agregados reciclados	56
Figura 4.3.7 - Sistema com agregados reciclados	57
Figura 4.4.1 - Comparação dos impactes ambientais dos diferentes betões.....	65

Índice de Tabelas

Tabela 2.2.1 - Fluxos de entrada e saída num estudo ACV	15
Tabela 2.3.1 - Softwares utilizados para ACV	17
Tabela 2.3.2 - Categorias de impacte e respetivas unidades de referência	21
Tabela 2.4.1 - Composição química do cimento Portland - Componentes principais.....	22
Tabela 2.6.1 - Requisitos dos agregados.....	29
Tabela 2.6.2 - Classificação dos agregados reciclados grossos	30
Tabela 2.6.3 - Classes de resistência e exposição ambiental permitidas.....	30
Tabela 2.7.1 - Síntese de Acidificação.....	32
Tabela 2.7.2 - Síntese de Aquecimento global	33
Tabela 2.7.3 - Síntese da destruição da camada de ozono.....	34
Tabela 2.7.4 - Síntese da ecotoxicidade.....	34
Tabela 2.7.5 - Síntese de esgotamento de recursos abióticos.....	35
Tabela 2.7.6 - Síntese de eutrofização	36
Tabela 2.7.7 - Síntese de oxidação fotoquímica	36
Tabela 2.7.8 - Síntese de toxicidade humana	37
Tabela 3.2.1 - Visão geral das composições dos betões em análise para aplicação do software (em kg)	47
Tabela 4.4.1 - Análise de impactes BRF	58
Tabela 4.4.2 - Análise de impactes BRC10	58
Tabela 4.4.3 - Análise de impactes BRC20	59
Tabela 4.4.4- Análise de impactes BRC30	59
Tabela 4.4.5 - Análise de impactes BRC40	60
Tabela 4.4.6 - Contribuição dos processos de BRF para os impactes ambientais (em %)	61
Tabela 4.4.7 - Contribuição dos processos de BRC10 para os impactes ambientais (em %)	61
Tabela 4.4.8 - Contribuição dos processos de BRC20 para os impactes ambientais (em %)	62
Tabela 4.4.9 - Contribuição dos processos de BRC30 para os impactes ambientais (em %)	62
Tabela 4.4.10 - Contribuição dos processos de BRC40 para os impactes ambientais (em %) ..	63
Tabela 4.4.11 - Análise de impactes, síntese dos betões.....	63

Lista de Acrónimos

ACV	Análise de Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Inventário de Ciclo de Vida
BRC10	Betão auto-compactável com 10 % de agregados
BRC20	Betão auto-compactável com 20 % de agregados
BRC30	Betão auto-compactável com 30 % de agregados
BRC40	Betão auto-compactável com 40 % de agregados
BRF	Betão auto-compactável sem agregados
C ₂ H ₄	Etileno
CFC-11	Triclorofluormetano
CFCs	Clorofluorcarbonetos
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
DECA	Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura
ELCD	European Life Cycle Database
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MPN	Matérias-Primas Naturais
MRI	Midwest Research Institute
N ₂ O	Óxido nitroso
NH ₃	Amoníaco
NO _x	Óxidos de azoto
PO ₄ ³⁻	Fosfato
RCD	Resíduos de Construção e demolição
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SO ₂	Dióxido de enxofre
UBI	Universidade da Beira Interior

Lista de Unidades

°C	Graus Celsius
kg	Quilograma
km	Quilómetros
l	Litros
m ³	Metro Cúbico
mm	Milímetros

1. Introdução

1.1 Enquadramento

1.2 Objetivos e Âmbito

1.3 Organização da Dissertação

1.1 Enquadramento

A degradação provocada pelo homem ao meio ambiente tornou-se uma preocupação mundial. O ser humano interfere na vida do planeta, interagindo em tudo o que se refere a água, ar e solo. A poluição tornou-se maior a cada dia e devido a este facto procuram-se alternativas de preservar o meio ambiente. As atividades influenciam as condições humanas através da alteração da natureza, cobertura do solo, adição de energia proveniente de fontes artificiais e lançamento de emissões no estado sólido, líquido e gasoso.

“O ambiente é um sistema de subsistemas, todos ligados entre si de forma inextrincável, uma perturbação num dos subsistemas pode repercutir-se em todos os outros”. [1]

A indústria da construção é conhecida como ambientalmente ineficiente. Na área da engenharia civil apresentam-se construções de grande porte, o que origina o consumo de muitas matérias-primas disponíveis no planeta. Um dos materiais mais utilizados na construção de estruturas é o betão porque é um material de fácil produção, com baixa exigência de tecnologias, além de baixos custos de produção e para a sua produção são necessários materiais de fácil obtenção. As infraestruturas criadas trouxeram benefícios e facilidades para a população em geral, o que permite ter mais acessibilidades e comodidades. Estas também têm promovido uma maior produção e consumo de cimento, face ao crescimento demográfico. Uma tonelada de betão é produzida anualmente para cada ser humano no mundo. No entanto, este uso em massa tem precursões a nível ambiental devido às emissões para a atmosfera. [2]

A indústria do betão apresenta um impacte considerável no meio ambiente devido à produção e à matéria-prima consumida. A forma de quantificar e avaliar os impactes ambientais surge com a metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV). Com foco na sustentabilidade, é necessário avaliar o impacte ambiental do betão, para isso efetuou-se uma pesquisa na literatura disponível sobre cada etapa de ACV para o betão com agregados reciclados.

O principal constituinte do betão é o cimento, sendo o segundo material mais usado no mundo, perdendo para a água que é o mais consumido a nível mundial. Para a produção de cimento são despendidas necessidades energéticas e materiais bastante elevadas. Estas necessidades referem-se à extração e transformação das matérias-primas naturais (MPN), expostas a temperaturas extremas obtidas pelo consumo de combustíveis. A começar pela exploração de recursos naturais até às emissões para a atmosfera de gases efeito de estufa, a indústria cimenteira representa nos dias de hoje grande parte dos impactos ambientais. A necessidade de empregar materiais com menores impactos e maior sustentabilidade na construção requer a aplicação da ACV para a escolha de materiais e processos. [3]

A ACV é uma ferramenta para análise do impacte ambiental dos produtos em todas as fases do seu ciclo de vida, isto é, a ferramenta ACV permite avaliar todas as etapas de produção de um produto, desde a extração de MPN até a produção do produto final. São estabelecidas relações entre as etapas que constituem os ciclos de produção com base nos fluxos de entrada e saída, de cada fase do ciclo de vida do produto. Desta forma é possível observar aspetos a melhorar no processo de produção para obter menores impactes ambientais em cada fase do ciclo de vida de uma matéria, processo e edificação. [2]

1.2 Objetivos e Âmbito

O objetivo principal desta dissertação é quantificar e comparar os impactes ambientais da produção de betão sem agregados reciclados com a produção de betão com diversas percentagens de agregados reciclados, para aplicação estrutural. É aplicada uma metodologia de ACV e desta forma o trabalho tem um carácter analítico e destina-se a estudar o desempenho ambiental da produção de betão com agregados reciclados para aplicação estrutural.

Como objetivo secundário o trabalho destina-se à compreensão e domínio de uma ferramenta de ACV, que se revela de extrema importância nas atividades de engenharia. A ferramenta utilizada é o *software OpenLCA*, sendo este de livre acesso e código aberto desenvolvido pela empresa de consultoria alemã *GreenDelta*.

1.3 Organização da Dissertação

A presente dissertação está organizada em 5 capítulos, os quais estão descritos de forma sucinta de seguida.

O **Capítulo 1** é destinado a uma introdução e enquadramento do tema da dissertação, e a uma primeira envolvência do leitor com a “Análise de Ciclo de Vida de Betão com Agregados Reciclados para Aplicação Estrutural”. Faz uma breve descrição da avaliação de impactes ambientais presentes na construção e engenharia civil.

De seguida foi introduzido o **Capítulo 2**, onde se efetua uma revisão bibliográfica acerca dos principais temas para melhor compreensão do tema abordado. Neste é introduzido a ACV, com descrição detalhada das principais etapas da mesma. É apresentada uma abordagem aos principais impactes ambientais e posteriormente uma referência ao betão onde são descritas as principais análises que servem de apoio ao estudo efetuado no capítulo 4.

O **capítulo 3** irá incidir no caso de estudo no qual se pretende dar a conhecer os casos que foram objeto de análise deste estudo. Neste, são descritos os dados utilizados para a ACV.

No seguimento irá encontra-se o **Capítulo 4**, onde é abordada a metodologia de ACV e onde são apresentados os resultados e discussões dos casos que foram objeto de estudo no anterior capítulo. Este inclui a apresentação das quatro fases correspondentes aos requisitos de uma metodologia ACV.

O **Capítulo 5** é o último na redação desta dissertação. Este, apresenta a conclusão que envolve a revisão crítica do trabalho desenvolvido e conclusões do trabalho realizado de acordo com os objetivos delineados.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Análise de Ciclo de Vida

2.2 Metodologia de Análise de Ciclo de Vida

2.3 Software OpenLCA

2.4 Processo de Fabrico do Betão

2.5 Processamento de Resíduos de Construção e Demolição

2.6 Normas para utilização de Agregados Reciclados em Betão

2.7 Impactes ambientais associados ao betão

2.8 Principais estudos de ACV de betão com agregados reciclados

2.1 Análise de Ciclo de Vida

2.1.1 Visão Geral do Conceito

À medida que se começou a avaliar como a indústria tem um impacto negativo sobre o ambiente, a sociedade aumentou a sua preocupação com questões ambientais e muitas empresas têm respondido fornecendo produtos mais ecológicos.

O desempenho ambiental dos produtos e processos tornaram-se uma questão chave para as empresas investigarem formas de minimizar os seus efeitos sobre o meio ambiente. Uma dessas ferramentas é ACV, considerada como uma das mais importantes que fornece a base científica para soluções de engenharia para a sustentabilidade, tanto durante a fase de projeto como durante a gestão do ciclo de vida. A ACV é uma ferramenta bastante versátil e eficiente, exequível de ser aplicada a inúmeros produtos. [4,5]

A Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) define ACV como um “processo para avaliar as implicações ambientais de um produto, processo ou atividades, através da identificação e quantificação dos usos de energia e matéria e das emissões ambientais; avaliar o impacto ambiental desses usos de energia e matéria e das emissões; e identificar e avaliar oportunidades de realizar melhorias ambientais. A avaliação inclui todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividades, abrangendo a extração e o processamento de matérias-primas; manufatura, transporte e distribuição; uso, reuso, manutenção; reciclagem e disposição final”. [6]

A ACV é uma abordagem que vai do berço ao túmulo (“*from cradle-to-grave*”) para avaliar sistemas industriais. Esta começa com a recolha de matérias-primas da terra para criar um produto e termina no momento em que todos os produtos são devolvidos à terra.

A ACV avalia todas as fases da vida de um produto a partir da perspetiva de que eles são interdependentes, o que significa que uma operação leva à próxima. A ACV permite a estimativa dos impactes ambientais resultantes de todas as fases do ciclo de vida do produto, incluindo muitas vezes impactes que não são considerados nas análises mais tradicionais (por exemplo: extração de matérias-primas e rejeição do produto). Na figura 2.1.1 é possível verificar o processo de ciclo de vida de um produto, onde estão representados os fluxos de entrada, o seu processamento e os fluxos de saída. [7]

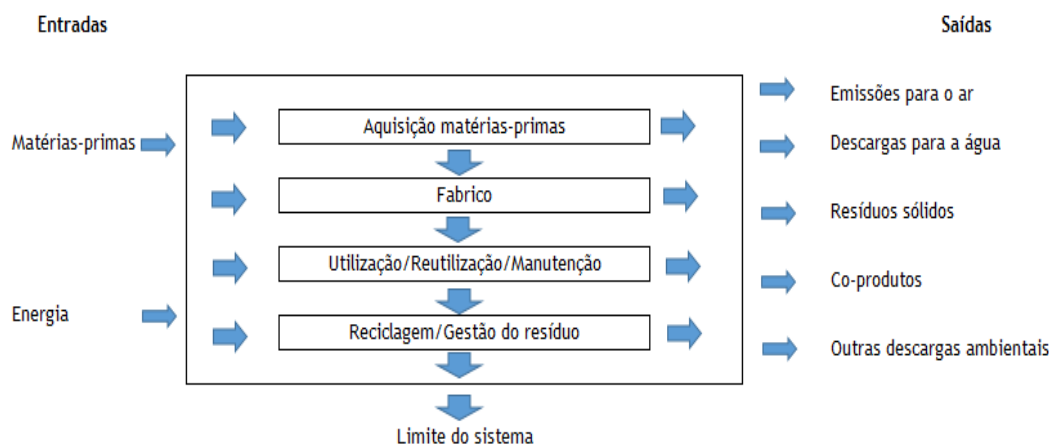


Figura 2.1.1 - Processos do ciclo de vida do produto, adaptado de [7]

Para o desenvolvimento sustentável na construção são requeridos métodos e ferramentas que possibilitem quantificar e comparar os impactes ambientais, incluindo todas as emissões para o meio ambiente através da extração e consumo de recursos, bem como outras intervenções (por exemplo, o uso da terra), produção de materiais, fabrico dos produtos, durante o consumo e produtos em fim de vida. Estas emissões e consumos contribuem para uma série de impactes ambientais como mudanças climáticas, destruição da camada de ozono, esgotamento dos recursos, entre outros.

Os impactes ambientais surgem da prestação de bens e serviços para a sociedade, sendo estes criados e usados para satisfazer uma necessidade. Quando conduzido um estudo de ACV a fase do desenvolvimento do produto é normalmente excluída e não se assume para contribuir significativamente nos impactes, porém tem que se observar que é esta fase do desenvolvimento que vai influenciar os impactes dos estágios de ciclo de vida. [8]

A construção sustentável mostra uma nova forma de avaliar a conceção, construção e demolição. As preocupações, deixam de ser só com a qualidade do produto, tempo despendido e custos associados à construção. A construção sustentável dá importância às preocupações ambientais relacionadas com a qualidade de vida, a equidade social a qualidade do ambiente construído, as questões culturais e os constrangimentos económicos como representado na figura 2.1.2. [9]

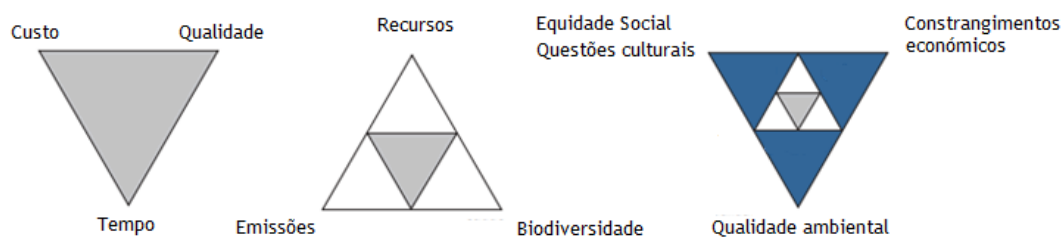


Figura 2.1.2 - Evolução das preocupações na construção civil, adaptado de [9]

2.1.2 História da ACV

A primeira abordagem da ACV surgiu em finais de 1960 e inícios de 1970 nos Estados Unidos da América, com um método conhecido como “*Resource and Environmental Profile Analyses*”. Este tinha por base o estudo quantitativo de recursos e das emissões na fase do ciclo de vida de um produto.

Em 1969, a coca cola foi a primeira companhia a efetuar um destes estudos, através do “*Midwest Research Institute*” (MRI), quantificando as necessidades de recursos, emissões e resíduos originados pelas embalagens da bebida. Embora este estudo nunca tenha sido publicado, devido ao seu teor confidencial, a empresa começou a tomar as suas decisões sobre as embalagens a partir do mesmo. [10]

No final de 1972 o MRI fez um estudo encomendado pela *U.S. Environmental Protection Agency*, nas embalagens de cervejas e sumos. Este estudo marcou o início da ACV até a data. A designação de ACV, conhecida internacionalmente por *Life Cycle Assessment* (LCA), como hoje é conhecida, só surgiu nos anos 90. [11]

Em 1990 o interesse nesta área assumiu um papel importante e surge um crescimento das atividades de ACV na Europa e Estados Unidos da América, isto devido aos inúmeros *workshops* e fóruns realizados pela SETAC, a primeira organização a desenvolver uma metodologia de ACV. Posteriormente, em 1994 a *International Organization for Standardization* (ISO) participa no desenvolvimento e apresenta uma estrutura de trabalho, metodologias e procedimentos de análise no contexto da ACV, onde aparecem as normas ISO, nomeadamente a ISO 14040 e a ISO 14044, abordadas mais à frente neste trabalho. [10]

Na primeira década do século XXI, houve uma crescente preocupação com a ACV devido essencialmente a uma maior consciencialização com o meio ambiente, que se mantém até aos dias de hoje.

2.1.3 Benefícios e Limitações da ACV

Um dos principais benefícios do estudo ACV é permitir a seleção do produto ou processo que resulta em menor impacto para o meio ambiente. Esta análise é a única que identifica a transferência de impactos ambientais. Se a ACV não for realizada, a transferência não pode ser reconhecida e devidamente incluída na análise, porque é fora do normal na seleção dos produtos.

Por exemplo, quando temos de escolher entre dois produtos concorrentes, pode parecer que a “opção-1” é melhor para o ambiente que a “opção-2” porque necessita de menos matérias-primas, na fase de fabrico. Porém, como na elaboração de um estudo ACV são considerados todos os estágios do ciclo de vida, os resultados finais podem mostrar que é a “opção-1” que causa mais impacte ambiental, dada a necessidade que tem de um maior consumo de eletricidade, na fase de utilização, que a “opção-2”. Sem a elaboração de um estudo ACV estes factos não seriam detetados. [7]

Além do benefício referido anteriormente, ainda se podem considerar como benefícios da elaboração de um estudo ACV, outros aspetos tais como: [12]

- Ajuda na identificação dos processos que mais contribuem para a troca de impactes ambientais entre as fases do ciclo de vida.
- Avaliar as consequências ambientais associadas a um dado produto.
- Analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais.
- Quantificar as descargas ambientais para o ar, água e solo a cada fase de ciclo dos processos que levam à produção do produto.
- Avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de materiais e descargas ambientais.
- Comparar os impactos ecológicos e na saúde humana entre produtos.
- E por último, mas não menos importante, identificar impactes ambientais numa ou mais áreas específicas.

Quanto às limitações da realização de uma ACV podemos verificar que, por norma, dependem da necessidade de muitos recursos e um limite de tempo bastante considerável. Os recursos financeiros devem assim ser considerados tendo em conta os benefícios previsíveis do estudo. Outra limitação é o facto de o estudo não determinar qual produto ou processo é mais rentável, ou funciona melhor. Portanto, a informação desenvolvida numa ACV deve ser utilizada como componente de um processo de decisão mais abrangente. [7]

2.1.4 Normas ISO referentes à ACV

A ISO é uma organização internacional de normalização, que desenvolve e publica as normas internacionais. Esta começou em 1946, quando delegados de 25 países se reuniram no Instituto de Engenheiros Civis em Londres e decidiram criar uma nova organização internacional para facilitar a coordenação internacional e unificação dos padrões internacionais. Em 23 de fevereiro de 1947 a nova organização ISO, iniciou oficialmente as suas operações. Desde essa altura, tem publicado mais de 21000 normas internacionais que abrangem quase todos os aspetos da tecnologia e fabrico. [13]

Os princípios associados à ACV encontram-se na norma ISO 14040 - *LCA: Principles and Framework* e ISO 14044 - *LCA: Requirements and Guidelines*, estas normas servem de base a todas as que são adaptadas nos diversos países. Em Portugal são representadas por NP EN ISO, seguido do número correspondente à norma e ano de revisão da mesma, em que NP é a Norma Portuguesa adaptada da EN - Norma Europeia. Temos portanto em Portugal as seguintes normas referentes à ACV:

- NP EN ISO 14040:2008 - ACV: Princípios e enquadramento;

Esta norma especifica a estrutura geral, princípios e requisitos para estudos de ACV, não incluindo as técnicas de ACV em detalhe.

- NP EN ISO 14044:2010 - ACV: Requisitos e linhas de orientação.

A ISO 14044 pormenoriza os requisitos para a realização de estudos de ACV.

2.2 Metodologia de Análise de Ciclo de Vida

A metodologia de ACV de acordo com a NP EN ISO 14040:2008 e NP EN ISO 14044:2010 tem sido utilizada de forma a capturar múltiplos benefícios ambientais e avalia os impactos ambientais do sistema de produção. [4]

A NP EN ISO 14040:2008, define as diferentes fases da metodologia ACV que certificam o planeamento, desenvolvimento e conclusão do estudo, sendo elas: [14]

- Definição do Objetivo e âmbito.
- Inventário do ciclo de vida (ICV).
- Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV).
- Interpretação.

A figura 2.2.1 mostra a metodologia de ACV e as aplicações desta, que passam pelo desenvolvimento e melhoramento do produto, planeamento estratégico, política governamental, marketing, entre outras.

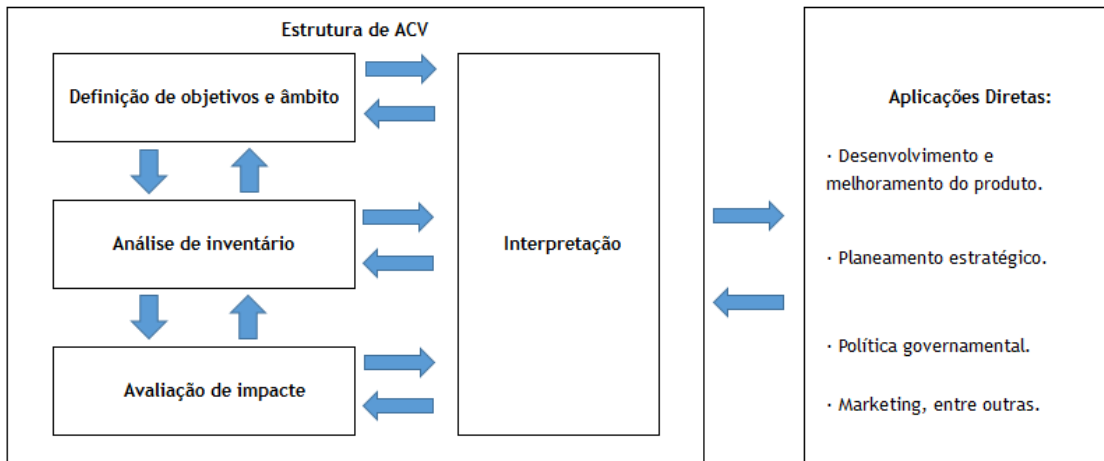


Figura 2.2.1 - Metodologia de Análise de Ciclo de Vida, adaptado de [14]

2.2.1 Definição de Objetivo e Âmbito

A primeira fase da ACV é fundamental para o planeamento e enquadramento do estudo. Nesta fase devem ser definidos de forma clara e concisa os objetivos, que devem ser classificados em objetivos principais e secundários, o tipo de informação a comunicar, organização dos dados, e definição do âmbito de estudo. Além do que já foi referido devem também ser definidas questões às quais se pretendem que a ACV responda. [14,15]

Quanto ao âmbito do estudo deve-se dar importância a diversos aspetos:

- Unidade funcional

Fornece a relação entre como os fluxos de entrada e saída se relacionam, para comparação de resultados ACV. A unidade funcional é de importante relevância, principalmente quando se estão a avaliar diferentes sistemas.

- Fronteiras do sistema de produto

Começa por definir quais as unidades de processo que devem ser incluídas no sistema de ACV. Estes critérios de estabelecimento de fronteiras devem ser devidamente claros e justificados. Os limites do sistema devem ser descritos claramente utilizando um diagrama de fluxo ou uma árvore de processo. [2]

2.2.2 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A segunda fase é a que despande mais trabalho, e é a fase na qual se coletam e quantificam os dados relativos à energia, água, materiais utilizados e descargas ambientais, para atingir os objetivos do estudo definidos. É necessário efetuar uma análise quantitativa e qualitativa detalhada dos fluxos de entrada e de saída de todos os processos envolvidos no ciclo de vida do

produto, de forma a verificar onde estão os setores críticos para ser possível encontrar soluções adequadas e diminuir os impactes ambientais. A tabela 2.2.1 mostra os fluxos normalmente analisados numa ACV.

Tabela 2.2.1 - Fluxos de entrada e saída num estudo ACV

Energias (inputs)	Saídas (outputs)
Consumo energia	Emissões de poluentes para o ar
Consumo de água	Emissões de efluentes líquidos
Consumo matérias-primas não renováveis	Produção resíduos sólidos
Consumo recursos renováveis	

2.2.3 Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV)

A terceira fase permite a avaliação dos dados do ICV, analisa os efeitos humanos e ecológicos da utilização de energia, água, materiais e das descargas ambientais e tem como finalidade fornecer informação adicional que auxilia a avaliação dos resultados para melhor compreender a sua significância ambiental. A análise correlaciona os resultados obtidos na fase anterior às respetivas categorias de impacte.

O principal objetivo da AICV é conectar cada resultado do ICV aos impactes ambientais correspondentes. Normalmente esta abordagem resulta numa classificação das categorias de impacte, cada uma com um indicador de categoria. [2]

O resultado da AICV é uma avaliação de um ciclo de vida do produto, numa base de unidade funcional, em termos de várias categorias de impactes. [8]

Segundo a norma NP EN ISO 14044:2010 esta fase pressupõe uma estrutura na qual estão presentes elementos obrigatórios e elementos opcionais, que vem representada na figura 2.2.2. [15]

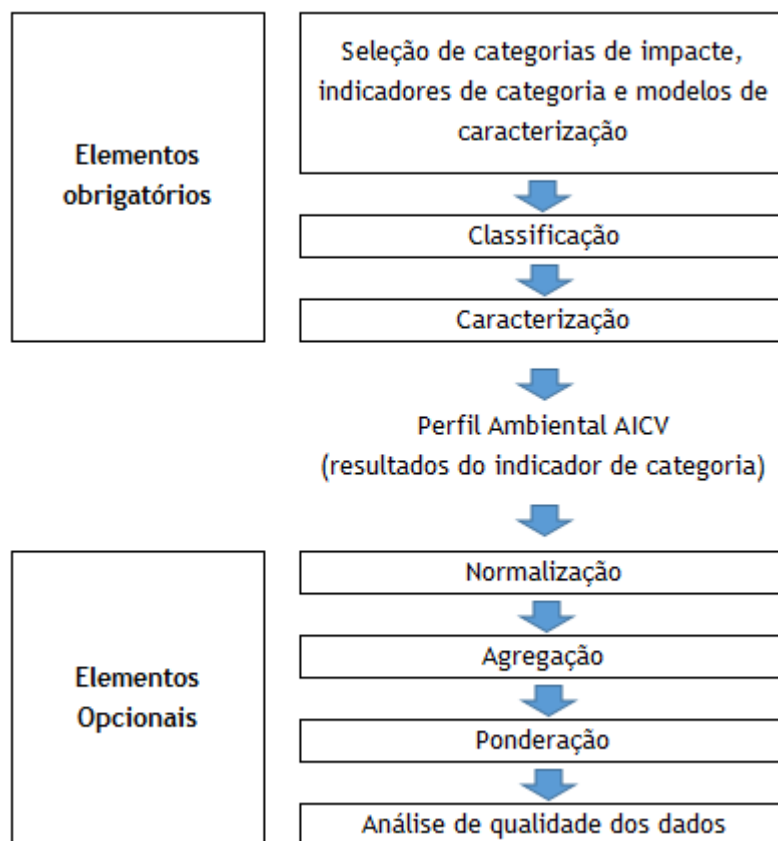


Figura 2.2.2 - Elementos que constituem a fase AICV, adaptado de [15]

2.2.4 Interpretação

A quarta e última fase diz respeito ao processo no qual são formuladas as conclusões de forma a promover soluções para mudanças dos impactes ambientais.

Nesta fase os resultados de ICV e AICV são reunidos e discutidos como base para conclusões, recomendações e tomada de decisões tendo em conta o objetivo e âmbito definidos na primeira fase.

Segundo a norma NP EN ISO 14044, a fase de interpretação deve incluir a identificação de questões ambientais mais importantes com base nos resultados das fases ICV e AICV de uma ACV, assim como conclusões, recomendações e limitações. [15]

2.3 Software OpenLCA

Para aplicar a ACV existe uma diversidade de *softwares* que auxiliam na execução da prática de ACV. Grande parte destes *softwares* apresenta bases de dados próprias, características e funções similares. De entre todos, a lista seguinte apresenta alguns dos principais e mais utilizados, bem como as suas características e funções (Tabela 2.3.1).

Tabela 2.3.1 - Softwares utilizados para ACV, adaptado de [16]

Softwares	Características e funções
GABI	Possibilita introduzir uma grande quantidade de dados, bem como a modelação do ciclo de vida do produto. Fornece soluções para problemas relacionados com critérios ambientais, sociais e técnicos, otimização de processos e custos.
OPENLCA	Este software foi desenvolvido pela GeenDelta e tem diversas aplicações tais como ACV ambientais, custo ciclo de vida, política integrada de produtos, entre outros. Permite utilizar bases de dados e metodologias de avaliação de impactes.
SIMAPRO	Analisa e monitoriza a performance ambiental dos produtos e serviços. É possível analisar e modelar ciclos de vida complexos, de forma clara e sistemática tendo em conta as recomendações da ISO 14040.
UMBERTO	Visa identificar e tratar os pontos críticos de processos de produção de forma a reduzir recursos e energia, permitindo assim a mudança de comportamento produtivo, diminuindo excessos ambientais e de custo.

Como a pesquisa faz parte do estudo de betões com agregados reciclados para aplicação estrutural optou-se por demonstrar o uso de uma ferramenta que pode ser utilizada para qualquer pesquisa similar.

O *software* utilizado para esta pesquisa foi o OpenLCA que é de livre acesso e de código aberto. O programa foi desenvolvido pela empresa de consultoria alemã *GreenDelta*, e é disponibilizado gratuitamente na página do programa, tal como as diversas bases de dados livres. Este possibilita o cálculo de impactes ambientais na saúde e economia, e realiza comparações de energia. Produz gráficos dos processos envolvidos, apontando as fases mais críticas a nível ambiental e energético.

O uso do *software* OpenLCA depende da utilização de diversas bases de dados, das quais são retirados os valores que são obtidos de medições reais nos países englobados pela mesma, por pesquisadores que reuniram os dados num mesmo local. A maior parte das bases de dados são pagas, o que torna mais difícil a execução de uma ACV, pois nem sempre é exequível o pagamento de uma base de dados. De seguida encontra-se a imagem de abertura do *software* (Figura 2.3.1).



Figura 2.3.1 - Imagem de abertura do *software* OpenLCA

Para o funcionamento do *software* OpenLCA é necessário compreender os principais elementos do mesmo, que são apresentados e descritos de seguida:

- Fluxos

São as unidades básicas do OpenLCA, estas correspondem aos produtos, sistemas ou recursos a serem pesquisados. Os fluxos podem ser de entrada ou de saída dos processos.

- Processo

É um conjunto de fluxos que representam um processamento de matéria-prima ou transformação envolvendo os mesmos. É necessário utilizar fluxos de entrada (*inputs*) e de saída (*outputs*). Os processos têm de ser mensuráveis, existindo uma unidade final de saída, em massa, volume ou outro. De seguida apresenta-se na figura 2.3.2 um exemplo de um processo para a produção de cimento Portland, representando algumas das entradas e saídas do mesmo.

Process: Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, at plant, CEMBUREAU technology mix, EN 197-1

Inputs							
Flow	Category	Flow property	Unit	Amount	Uncertainty	Default provi...	Pedigree unc...
Potassium chloride	resource/in ground	Mass	kg	5.1106461091...	none		
Energy, primary, from geoth...	resource/in ground	Energy	MJ	5.1895968573...	none		
Water, surface	resource/in water	Mass	kg	1078.1377553...	none		
Kaolin	resource/in ground	Mass	kg	7.0011539983...	none		
Calcium carbonate, in ground	resource/in ground	Mass	kg	1310.0736524...	none		
secondary fuel renewable	Energy carriers and te...	Net calorific ...	MJ	156.67186120...	none		
Barite	resource/in ground	Mass	kg	0.2754319891...	none		
Palladium	resource/in ground	Mass	kg	6.7078827405...	none		
brown coal; 11.9 MJ/kg	resource/in ground	Net calorific ...	MJ	317.91399814...	none		

Outputs							
Flow	Category	Flow property	Unit	Amount	Uncertainty	Avoided pro...	Pedigree unc...
portland cement (CEM I)	Materials production/...	Mass	kg	1000.0	none		
Plutonium-alpha	air/unspecified	Radioactivity	kBq	7.8506805028...	none		
COD, Chemical Oxygen De...	water/ocean	Mass	kg	3.2548755865...	none		
Aluminium	water/fresh water	Mass	kg	5.4049095803...	none		
VOC, volatile organic comp...	water/ocean	Mass	kg	6.6095116767...	none		
Methane, tetrafluoro-, R-14	air/unspecified	Mass	kg	2.3921666747...	none		
Ammonia	air/unspecified	Mass	kg	0.0391403607...	none		
Strontium	air/unspecified	Mass	kg	2.3774310893...	none		
spoil (unspecified)	Wastes/Mining waste	Mass	kg	8.6142302086...	none		

Figura 2.3.2 - Processo de produção do cimento Portland, fonte: OpenLCA

- Sistemas de Produto

É a estrutura final utilizada no OpenLCA, que traduz a união dos vários processos e exprime a ACV completa. Existe a possibilidade de mostrar os processos num gráfico para melhor visualização e colocar todos os fluxos de entrada num processo para criar um sistema de produto (Figura 2.3.3).

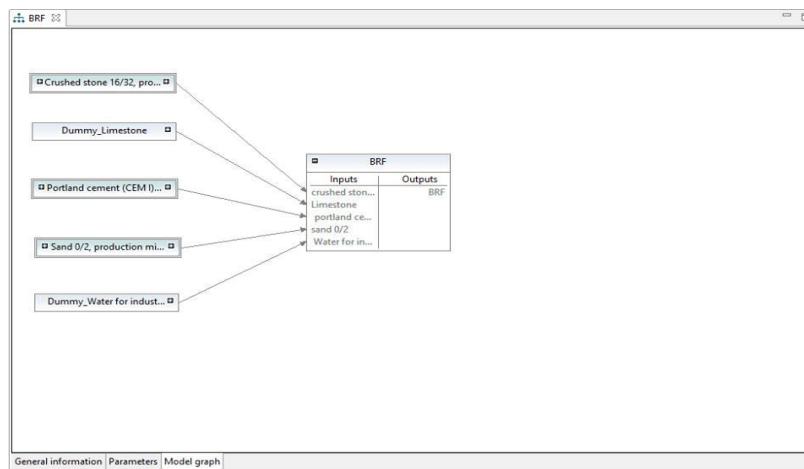


Figura 2.3.3 - Processo de produção do betão de referência, fonte: OpenLCA

- Projeto

No projeto é possível proceder à comparação dos diversos sistemas de produto, e calcular os diversos impactes relativos aos mesmos.

Os processos dentro do ciclo de vida e os fluxos de materiais e energia associados, bem como outras trocas, são modelados para representar o sistema de produto e as suas entradas e saídas totais de e para o meio ambiente. Isto resulta num modelo de sistema de produto e num inventário de trocas ambientais relacionadas com a unidade funcional. [8]

2.3.1 Base de dados ELCD

A base de dados escolhida para este estudo foi a “*European Life Cycle Database*” (ELCD) de *Joint Research Center*, versão 3.2, criada em outubro de 2015. A preferência desta deve-se ao facto de ser gratuita e de ser a que mais se adequa aos processos utilizados para aplicação do tema. A aplicação desta base de dados juntamente com o *software* OpenLCA possibilitou a construção dos diferentes sistemas da produção de betão.

Desde o primeiro lançamento em 2006, a ELCD compreende dados de ICV de associações de negócios da União Europeia e outras fontes de materiais essenciais, vetores de energia, transporte e gestão de resíduos. Os respetivos conjuntos de dados são oficialmente fornecidos e aprovados pela associação da indústria. [17]

2.3.2 Metodologia CML

A ACV pretende proporcionar uma visão global dos impactes ambientais, no entanto os tipos de efeitos não são compreendidos de igual forma pelos diversos métodos de AICV. O método CML proporciona melhores práticas para a operacionalização da série de normas da ISO 14040. [18]

A metodologia para avaliação de impactes ambientais escolhida foi a CML, desenvolvida pelo *Institute for Environmental Sciences of the Leiden University* na Holanda.

O método propõe que o impacte ambiental é feito de acordo com o efeito negativo que a produção tem em oito fenómenos diferentes: acidificação, aquecimento global, destruição da camada de ozono, ecotoxicidade, esgotamento de recursos abióticos, eutrofização, oxidação fotoquímica e toxicidade humana. A análise CML prevê o impacte ambiental da produção de betão medindo a energia gasta durante o seu ciclo de vida bem como os resíduos químicos e não químicos produzidos. [19]

Este método apresenta várias categorias de impacte ambiental, convertendo os dados de fluxo de matéria e energia em unidades específicas, de acordo com a unidade funcional proposta pelo estudo.

A tabela 2.3.2 mostra as diversas categorias dos impactes considerados na ACV do betão, tal como as suas unidades. Posteriormente será dada maior ênfase a cada uma.

Tabela 2.3.2 - Categorias de impacte e respetivas unidades de referência

Categoria de impacte	Unidade de referência
Acidificação	Kg SO ₂ equivalente
Aquecimento global	Kg CO ₂ equivalente
Destruição da camada de ozono	Kg CFC-11 equivalente
Ecotoxicidade	Kg 1,4-diclorobenzeno equivalente
Esgotamento de recursos abióticos	Kg antimónio equivalente
Eutrofização	Kg PO ₄ ³⁻ equivalente
Oxidação fotoquímica	Kg etileno equivalente
Toxicidade humana	Kg 1,4-diclorobenzeno equivalente

2.4 Processo de Fabrico do Betão

O betão é o material de construção mais utilizado no mundo. É um aglomerado artificial obtido pela mistura de diversas matérias primas, tais como cimento, agregados finos ou grossos, água e além destes componentes pode ainda conter adjuvantes e adições. [20]

O betão é um material que emite grandes quantidades de resíduos e consome grandes quantidades de matérias-primas e energia no seu processo de fabrico (Figura 2.4.1).

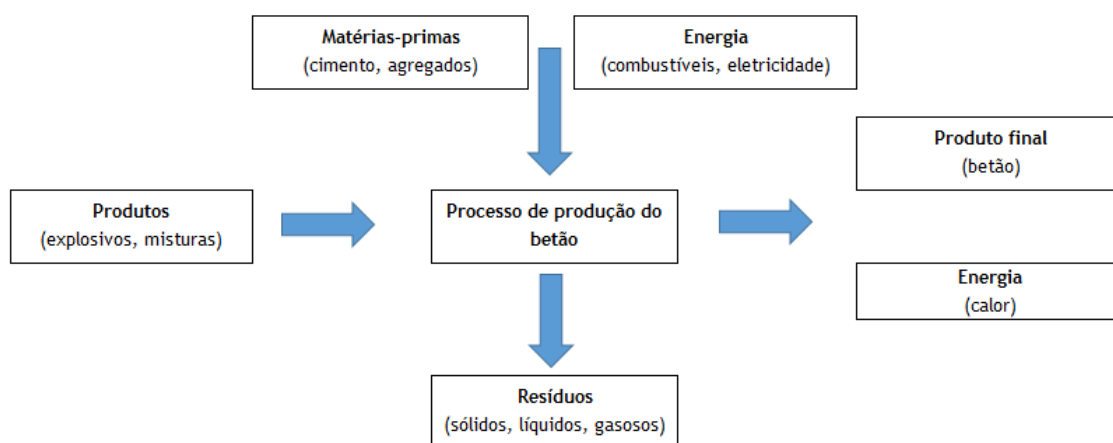


Figura 2.4.1 - Entradas e saídas do ciclo de vida da produção de betão

2.4.1 Cimento

A definição mais usual para cimentos é que são ligantes hidráulicos constituídos por pós muito finos que, ao serem amassados com água, originam uma pasta que endurece pela reação química entre o pó e a água, proporcionando aglomerar uma proporção elevada de agregados. São considerados ligantes hidráulicos devido a endurecerem ao ar e à capacidade de obter resistências elevadas mesmo debaixo de água, o que os torna aptos a ser utilizados em argamassa ou betões para a construção. O ligante hidráulico mais importante é o cimento *Portland*, que tem como principais componentes o carbonato de cálcio (oriundo das rochas calcárias), a sílica e alumina (oriundas das argilas). [21] A composição química dos principais componentes é representada na tabela 2.4.1.

Tabela 2.4.1 - Composição química do cimento Portland - Componentes principais, adaptado de [21]

Nome dos componentes	Composição química	Abreviatura usual
Silicato bicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Aluminoferrato tetracálcico	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_3\text{O}_3$	C_4AF

A produção do cimento envolve uma complexidade de operações que consomem uma grande quantidade de matérias-primas e liberta quantidades de dióxido de carbono (CO_2) para o meio ambiente, como demonstrado na figura 2.4.2 em que a dimensão das setas é proporcional à quantidade de material emitido. Este processo pode ser simplificado em três fases com maior impacto ambiental. Na primeira fase, as emissões de CO_2 são devido à descarbonatação do calcário. Numa segunda fase as emissões são originadas pela queima dos combustíveis no forno e por fim, numa terceira fase, as emissões são devido aos veículos de transporte e distribuição. [22]

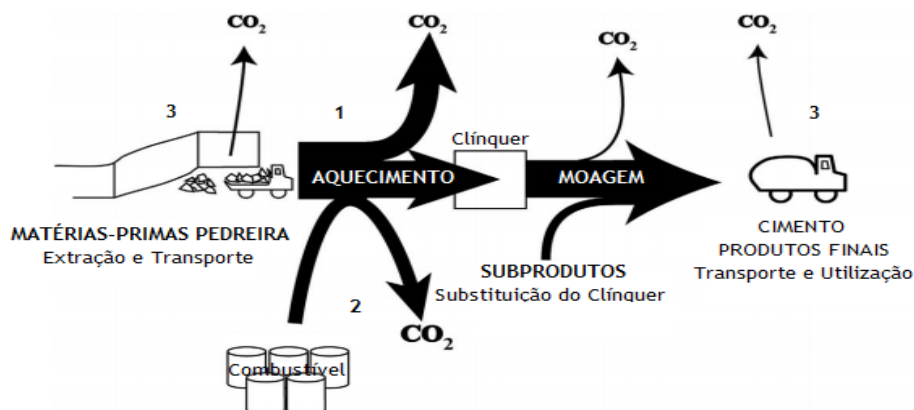


Figura 2.4.2 - Processo simplificado do fabrico do cimento [22]

As fases envolvidas na produção de cimento, são representadas mais detalhadamente na figura 2.4.3, onde são apresentadas as fases desde a extração das matérias-primas na pedreira, preparação do cru, produção de clínquer, até à embalagem e expedição. [23]

Extração das matérias-primas na pedreira:

1. Pedreira

Na primeira etapa, o calcário bem como outras matérias-primas são retiradas através de perfuração, mineração mecânica da superfície e com recurso a explosivos.

2. Britagem

O material é depois transferido para a britagem, onde sofre reduções na sua dimensão de 0-1000 mm para 0-30/40 mm em britadores de impacte ou de maxilas.

Preparação do cru:

3. Transporte

Posteriormente à britagem, procede-se ao deslocamento do material britado para a fábrica de cimento, através de camiões, caminhos de ferro, ou via fluvial.

4. Pré-Homogeneização

Na quarta etapa, o calcário, as matérias-primas alternativas e os materiais corretivos para a composição química são misturados e pré-homogeneizados por depósito em diversas camadas que dão forma a um monte de material. O material é posteriormente retomado de um modo especial que garante a homogeneidade, e é enviado à moagem de cru.

5. Moagem de cru

Nesta fase, as matérias-primas homogeneizadas passam a designar-se por cru. São alimentadas a um moinho de bolas ou moinho vertical onde são submetidas a uma operação de secagem e transformadas em farinha.

6. Silos de Homogeneização

O material proveniente da moagem de cru, isto é, a farinha é sujeita a uma homogeneização e fica armazenada até à sua alimentação para a linha de cozedura.

Preparação de clínquer:

7. Torre de pré-aquecimento

No forno de pré-aquecimento, o material proveniente dos silos de homogeneização (farinha), é submetido a um pré-aquecimento e a uma descarbonatação (>90%) antes de ir para o forno.

8. Forno/Arrefecedor

A farinha alimentada ao forno, é transformada em clínquer através de uma série de reações químicas em torno dos 1450°C pela ação de uma chama a 2000°C. O clínquer incandescente é arrefecido bruscamente no arrefecedor de grelha ou de satélites.

9. Armazenagem de clínquer

O armazenamento de clínquer, após sofrer o arrefecimento até a temperatura de 100 a 200°C, é deslocado para a zona de armazenagem.

Moagem de cimento, embalagem e expedição:

10. Armazenagem de adições

As adições são armazenadas em silos destinadas à produção de cimento (por exemplo: cinzas volantes, escórias e calcário).

11. Transportes

O clínquer e as respetivas adições são transportadas por telas de transporte até às tremonhas para a moagem do cimento.

12. Moagem de cimento

Depois de doseado nas proporções corretas, o clínquer é moído conjuntamente com cerca de 5% de gesso e outras adições, para dar origem a diferentes tipos de cimento, sendo este posteriormente armazenado e conservado em silos.

13. Ensilamento de cimento

Nesta fase, o cimento é armazenado em silos

14. Embalagem e expedição

Por fim, o cimento dos silos é ensacado ou carregado diretamente em granel, e expedido.

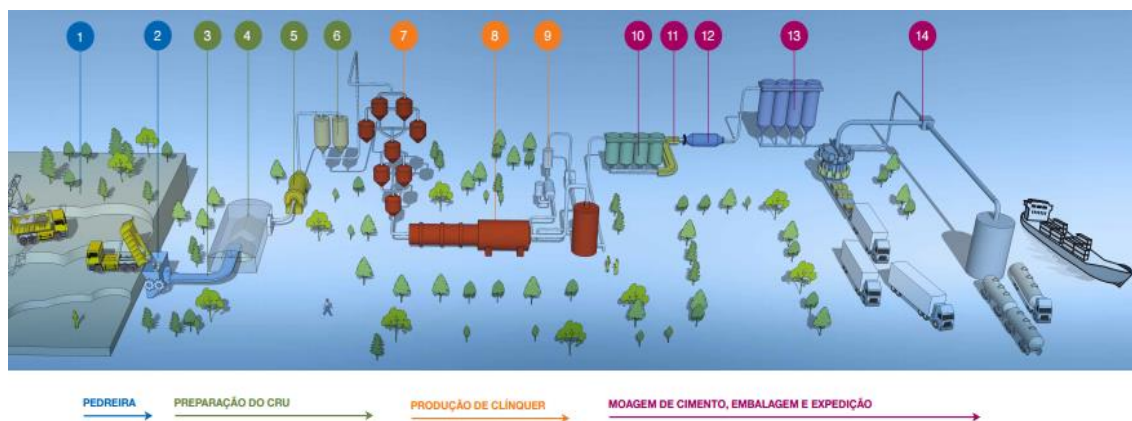


Figura 2.4.3 - Diagrama de fabrico de cimento [23]

2.4.2 Agregados

A sua utilização deve-se sobre tudo a razões técnicas e económicas, e é necessário ter em consideração que as características dos agregados afetam o comportamento do betão. Segundo Coutinho, os agregados são “constituídos por partículas de rochas com dimensões que variam geralmente entre 20 cm e 0,1 mm, dispersas pela pasta de cimento, e cujo volume constitui cerca de 70 a 80% do betão”. [21]

Agregado define-se na norma EN 206-1, como um mineral granular para utilização de betão. Conforme o modo como são obtidos, podem ser naturais (britas ou godos), artificiais (escória de alto forno ou argila expandida) ou reciclados de materiais oriundos da construção civil. [24]

2.4.2.1 Agregados Naturais

A produção de agregados naturais, consiste essencialmente na transformação de rochas grandes em rochas pequenas, sendo classificadas posteriormente por tamanhos. A escavação da areia e da brita depende das características geológicas e da extensão e espessura do depósito. Para extração das rochas na pedreira é necessário a perfuração e detonação com explosivos, para posteriormente ser extraída com pás mecânicas e escavadoras. Para o produto final a rocha escavada passa por um procedimento de esmagamento e é ordenada consoante o seu tamanho. A última fase passa pela lavagem onde o lodo e argila são removidos e os agregados ficam prontos para uso. [25]

2.4.2.2 Agregados Recicladoss

Os agregados reciclados produzidos a partir do betão podem ser utilizados para a produção de betão num circulo de circuito fechado, evitando desta forma a eliminação de resíduos para aterros. É bem conhecido que a introdução de agregados reciclados na produção de betão tem

pelo menos duas vantagens ambientais: a preservação de recursos minerais primários e o evitamento de aterros. Em teoria, o potencial uso de agregados reciclados na composição dos betões para aplicação estrutural, aumenta o seu valor ecológico e por outro lado ficam resolvidas as questões de resíduos criados pela construção e demolição de estruturas. [26]

Os resíduos de betão, devido ao conhecimento das propriedades do material de origem, na maioria dos casos possuem um grande potencial para serem reutilizados como matéria-prima. Os agregados reciclados têm menor densidade e maior absorção de água que os naturais, isto deve-se à quantidade de argamassa do betão original na superfície dos agregados naturais. A resistência à compressão do betão reciclado é afetada pela resistência do betão que originou o resíduo, pela razão água/cimento. Isto confirma-se quando são analisados betões com a mesma classe de resistência e se varia o tipo de agregado, logo a qualidade do agregado reciclado é muito importante. [27]

Atualmente tem sido consensual que o consumo de energia e matérias-primas deve diminuir, bem como os resíduos de construção e demolição (RCD) devem ser impedidos de deposição em aterros, de forma a perseguir o desenvolvimento sustentável em engenharia civil. A reciclagem tem o potencial de reduzir os RCD depositados em aterros e preservar os recursos naturais. [26]

2.4.3 Água

A água no processo de produção do betão serve para a sua amassadura. São incluídas todas as águas potáveis usadas para distribuição de consumo público e águas que não sejam potáveis desde que não apresentem cheiro nem sabor. A qualidade da água de amassadura influencia a capacidade de resistência do betão. [21]

2.4.4 Adições

“Uma adição é um material inorgânico finamente dividido (de finura menor ou igual à do cimento) que pode ser adicionado ao betão na amassadura com a finalidade de melhorar certas propriedades ou para adquirir propriedades especiais”. [21]

Para a composição dos diferentes betões em estudo foi utilizado como adição o filer calcário, que é um material que se obtém pela moagem fina de calcário, matérias carbonáticas, basalto, entre outros. Este, tem uma granulometria muito fina o que o torna eficaz para aumentar a trabalhabilidade, diminuir a capilaridade e permeabilidade de betões. [28]

2.4.5 Adjuvantes

O adjuvante é uma substância com percentagem inferior a 5% da massa do cimento, que é adicionada na amassadura de argamassa e betões, com o intuito de modificar propriedades destes materiais. Alguns dos adjuvantes mais utilizados são, redutor de água/plastificante, superplastificantes e acelerador/retardador de presa. [21]

2.5 Processamento de Resíduos de Construção e Demolição

Existe um volume bastante grande de resíduos, na indústria da construção em betão, que incluem materiais que podem ser reciclados e diminuir os impactes ambientais para a sociedade. A reciclagem manifesta muitos benefícios para o meio ambiente quando comparada com outros processos de disposição final de resíduos. Os RCD desde que utilizados de forma correta podem valorizar em muito a sustentabilidade. A aplicação de agregados reciclados em betão é uma forma de aproveitar os RCD e diminuir impactes ambientais. [5,29]

No que respeita à gestão ambiental da reciclagem, o primeiro ganho ambiental do processamento para agregados reciclados é a prevenção da deposição em aterro de resíduos, o que leva a uma poupança em termos de espaço de despejo de resíduos e poluentes para o ambiente. [4]

O processamento de RCD deve permitir a obtenção de matérias de forma a satisfazer exigências técnicas como as ambientais. O aproveitamento destes é tanto maior quanto menor for a presença de matérias poluentes e indesejáveis. O processamento tem lugar em centrais fixas ou móveis, e compreende habitualmente quatro operações: triagem, redução primária, britagem e peneiração. [30]

- A triagem destina-se a eliminar os componentes indesejados que vão influenciar as características do produto reciclado (por exemplo: gesso, madeira, metais, plásticos, papel, borrachas e matéria orgânicas).
- Na redução primária os materiais são reduzidos a dimensões menores e procede-se à remoção de materiais indesejados que por ventura possam aparecer.
- A britagem faz a redução das dimensões dos RCD em uma ou mais fases progressivas.

- Por fim, na peneiração obtém-se um material que é classificado em diferentes granulometrias, para as diferentes necessidades de aplicação. Os RCD a reciclar devem ser organizados em função dos constituintes e origem (Figura 2.5.1).

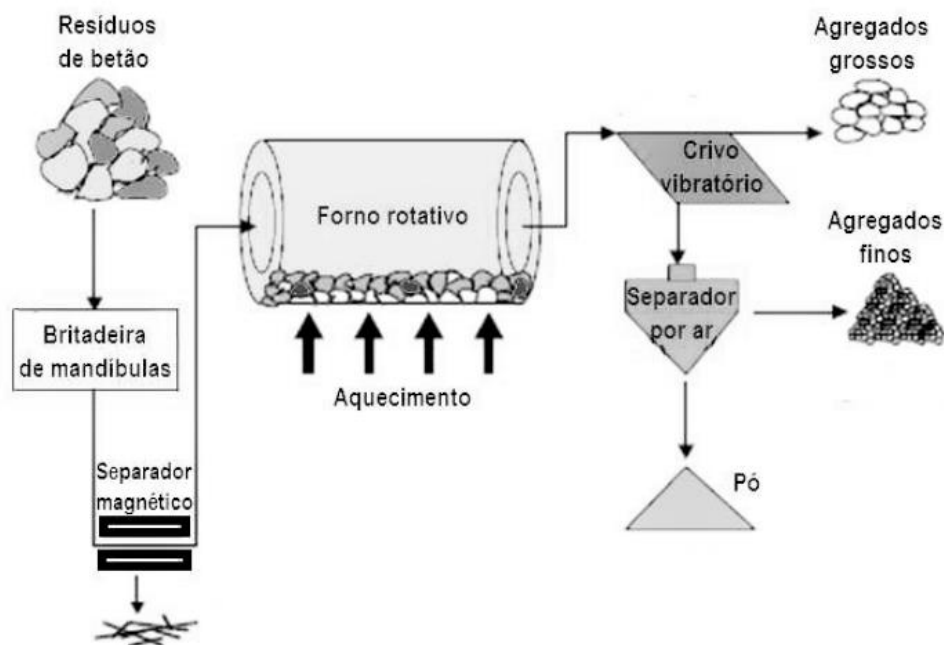


Figura 2.5.1 - Processamento de RCD, adaptado de [31]

Essencialmente, existem dois domínios relacionados com a construção e demolição de construções em que é necessário evoluir. Sendo eles, a deposição em aterro dos RCD e a delapidação de recursos não renováveis, exemplo dos agregados naturais usados no fabrico do betão, embora este último apresente bastante gastos.

No primeiro caso a situação é agravada pela deposição em qualquer parte, (por exemplo: bermas das estradas, caminhos agrícolas, zonas florestais), não existindo fiscalização e punição suficientes. Quanto ao segundo caso, existem outras alternativas que apresentam custos baixos para o produtor e consumidor, como a exploração de agregados. Torna-se necessário criar limitações ao recurso de materiais, bem como uma maior consciencialização da agressão à paisagem que as pedreiras criam. [32]

O desperdício de materiais na construção civil, resulta num volume de resíduos e sempre que possível deve-se proceder à sua reutilização de forma a evitar estes problemas. Grande parte destes resíduos são compostos por argamassas e betão, chamados de resíduos “cinzas”. A reciclagem dos RCD é de extrema importância ambiental, no sentido que os mesmos materiais voltem a ser usados como substituição das matérias-primas que seriam extraídas. [33]

2.6 Normas para utilização de Agregados Recicladoss em Betão

Em Portugal o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), publicou em dezembro de 2009 a especificação E471 “*Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligante hidráulicos*”, que faz a classificação dos agregados grossos reciclados e apresenta os requisitos mínimos a respeitar para serem utilizados no fabrico de betão. [34]

Para poderem ser utilizados no fabrico do betão, os agregados têm de preencher certos requisitos. Estes encontram-se presentes na tabela 2.6.1.

Tabela 2.6.1 - Requisitos dos agregados [34]

Requisitos	ARB1	ARB2	ARC
Massa volúmica (kg/m ³)	≥ 2200		≥ 2000
Absorção de água (%)	≤ 7		≤ 7
Teor em finos (%)	≤ 4		≤ 3
Teor de sulfatos solúveis em ácido (%)	≤ 0,8		≤ 0,8

Para os agregados finos não são apresentadas exigências nem regras para a aplicação, uma vez que os elementos apresentam dimensões inferiores a 0,063 mm e uma maior capacidade de absorção de água, comprometendo a resistência mecânica do betão bem como a sua trabalhabilidade.

A especificação do LNEC para os agregados de RCD apresenta 3 classes:

- ARB1 e ARB2 - Constituídos principalmente por betão, misturados ou não com agregados não ligados;
- ARC - O principal constituinte é o betão, contém agregados não ligados e elementos de alvenaria. Não existem exigências para as percentagens relativas de cada um deles.

De seguida apresenta-se na tabela 2.6.2, a classificação dos agregados reciclados grossos que indica a composição a que cada classe de agregado deve de obedecer, bem como os requisitos de cada um.

Tabela 2.6.2 - Classificação dos agregados reciclados grossos [34]

Classe	Proporção dos constituintes					
	Rc (%)	Rc + Ru (%)	Rb (%)	Ra (%)	X +Rg (%)	FL (%)
ARB1	≥ 90	≥ 90	≤ 10	≤ 5	≤ 0,5	≤ 2
ARB2	≥ 70	≥ 70	≤ 30	≤ 5	≤ 1	≤ 2
ARC	≥ 90	≥ 90	≥ 90	≤ 10	≤ 2	≤ 2

Legenda:

Rc- Betão, produtos de betão e argamassas;

Ru - Agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos;

Ra - Materiais betuminosos;

Rb - Elementos de alvenaria de materiais argilosos, elementos de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante;

Rg - Vidro;

FL- Material flutuante em volume;

X - Outros: materiais coesivos (por exemplo: solos argilosos), plásticos, borrachas, metais.

Quanto ao campo de aplicação, os agregados de classes ARB1 e ARB2, podem ser utilizados no fabrico de betão para aplicação em betão armado estrutural. Para betão de enchimento ou regularização, a percentagem de agregados reciclados pode ser total, desde que o betão não seja aplicado em ambientes agressivos. Para o betão estrutural, é necessário ter em conta a resistência e as condições ambientais onde o betão será aplicado. A classe máxima de resistência e as condições ambientais permitidas encontram-se resumidas na tabela 2.6.3.

Tabela 2.6.3 - Classes de resistência e exposição ambiental permitidas [34]

Classe do agregado	Classes de resistência	Percentagem máxima de incorporação	Classe de exposição ambiental ⁽¹⁾
ARB1	C40/50	25%	X0,XC1,XC2,XC3,XC4,XS1,XA1 ⁽²⁾
ARB2	C35/45	20%	

Legenda:

(1) Conforme definida na norma NP EN 206-1;

(2) Em fundações.

Em conclus0o, a especificaça0o do LNEC permite a utilizaça0o de agregados em bet0o estrutural de resist4ncia razoavelmente elevada, desde que sejam utilizadas as percentagens m0ximas de incorporaça0o e exposto a uma classe de exposiça0o ambiental permitida. As percentagens m0ximas de incorporaça0o de agregados reciclados por agregados naturais s0o limitadas de modo a evitar variaç0es no m0dulo de elasticidade, retraça0o, flu4ncia e durabilidade. Contudo, 4 autorizada a utilizaça0o de maiores percentagens de agregados reciclados, desde que se realizem estudos espec4ficos. [29]

2.7 Impactes ambientais associados ao bet0o

O ciclo de vida do bet0o apresenta impactes consequentes dos consumos de recursos naturais, energ4ticos, de emiss0es e da libertaça0o dos poluentes com subst0ncias t0xicas (que origina ecotoxicidade e toxicidade humana). Os impactes das emiss0es s0o diversos, tais como o aquecimento global, a formaça0o de oxidantes, a acidificaça0o e a destruiça0o do ozono. Outro dos impactes associados 0a ind0stria do bet0o 4 relacionado com a produça0o de RCD. [8]

Os impactes ambientais derivados da produça0o do bet0o podem ser em escala global, regional ou local.

A n4vel global pode-se evidenciar a mudanqa clim0tica presente nas 0ltimas d4cadas, facto que pode ser explicado devido 0s emiss0es de CO₂, e como vimos previamente, o bet0o na sua produça0o emite grandes quantidades deste composto qu4mico.

Impactes ambientais regionais incluem as emiss0es que contribuem para a chuva 0cida, isto 4 a acidificaça0o. Esta, deve-se essencialmente 0a emiss0o de di0xido de enxofre (SO₂) e 0xidos de nitrog4nio (NO_x).

Por fim, as emiss0es dos fornos de cimento s0o as principais a contribuir para o impacte ambiental a n4vel local. Os gases emitidos pela combust0o de mat4rias-primas nos fornos de produça0o de cimento, s0o considerados res4duos potencialmente perigosos devido 0a sua natureza c0ustica e irritante. O cimento *Portland* 4 um dos materiais mais utilizados na construça0o, o seu impacte ambiental est0 associado 0s emiss0es de gases e 0s alteraça0es clim0ticas. [2]

2.7.1 Acidificação

A acidificação é causada essencialmente pela conversão de gases como o SO_2 , amoníaco (NH_3) e os NO_x em substâncias ácidas. Estes, reagem com a chuva na atmosfera e criam as chuvas ácidas, que por sua vez dão lugar a um processo denominado por deposição de ácido. As chuvas ácidas são responsáveis por diversos efeitos adversos ao ecossistema, sendo estes associados aos valores relativamente baixos do pH da precipitação. [1,35]

O potencial de acidificação é expresso utilizando a unidade de referência, kg SO_2 equivalente. O modelo não tem em conta as diferenças regionais em termos de que áreas são mais ou menos suscetíveis à acidificação. O modelo representa apenas a acidificação causada por SO_2 e NO_x . [35]

Tabela 2.7.1 - Síntese de Acidificação, adaptado de [35]

Categoria de impacte	Acidificação
Definição	Redução do pH devido aos efeitos acidificantes de emissões antropogénicas
Indicador de impacte	Aumento da acidez em sistemas de água e de solo
Considerações	Potencial acidificante de óxidos de azoto e de enxofre
Categorias de danos	Danos à qualidade dos ecossistemas e diminuição da biodiversidade
Unidade	Kg SO_2 equivalente
Escala	Local e regional

2.7.2 Aquecimento Global

O aquecimento global é dos impactes ambientais com mais relevância e o maior problema que o meio ambiente apresenta no século XXI, sendo por isso um dos mais difíceis de controlar. [35]

O aquecimento global deve-se essencialmente ao aumento da concentração do CO_2 e de outros gases. O CO_2 destaca-se pelo facto de poder originar ou reforçar o efeito estufa da atmosfera. Este é uma característica da atmosfera que fornece equilíbrio à terra em termos de temperatura, sem ele a temperatura da terra seria mais baixa.

Este aumento da temperatura global causa perturbações no meio ambiente essencialmente na precipitação, com inundações cada vez mais frequentes, na agricultura, no nível médio do mar e na propagação de doenças.

Ainda que o CO₂ seja o gás que influencia de forma mais significativa o clima em escala global, há também outros gases lançados na atmosfera que influenciam o efeito de estufa. Entre estes estão os NO_x, o metano (CH₄) o óxido nitroso (N₂O) e os clorofluorcarbonetos (CFCs). [1]

O fator de caracterização deste impacto é expresso como potencial de aquecimento global sobre o horizonte temporal de 100 anos medido em unidade de referência, kg CO₂ equivalente. [35]

Tabela 2.7.2 - Síntese de Aquecimento global, adaptado de [35]

Categoria de impacte	Aquecimento global
Definição	Alteração da temperatura global causada pelos gases do efeito de estufa
Indicador de impacte	Distúrbios na temperatura global e fenómeno climático
Considerações	Gases de efeito estufa e o seu potencial de aquecimento global
Categorias de danos	Diminuição da biodiversidade
	Distúrbios de temperatura
	Anormalidade de fenómenos climáticos
Unidade	Kg CO ₂ equivalente
Escala	Global

2.7.3 Destruição da Camada de Ozono

Existe uma grande incerteza sobre os efeitos combinados de diferentes gases na estratosfera, e todos os compostos clorados e bromados que são estáveis o suficiente para atingir a estratosfera. Estes, podem ter um efeito negativo sobre a mesma. A camada de ozono é uma camada que absorve a maior parte da radiação ultravioleta. Quando ocorre uma mudança nesta camada toda a temperatura da atmosfera pode ser alterada e a sua capacidade para prevenir a radiação ultravioleta reduz-se, aumentando desta forma a quantidade de luz ultravioleta B cancerígena que atinge a superfície da terra. [35]

As emissões dos CFCs contribuem bastante para a redução da camada de ozono, o que acaba por criar um grande impacte sobre todo o ecossistema e também sobre os seres humanos. [1]

O modelo de caracterização define o potencial de destruição de ozono de diferentes gases relativamente à substância de referência clorofluorcarboneto-11 (CFC-11), expressa em kg de CFC-11 equivalente. [35]

Tabela 2.7.3 - Síntese da destruição da camada de ozono, adaptado de [35]

Categoria de impacte	Destruição da camada de ozono
Definição	Diminuição da camada de ozono devido as emissões antropogénicas de substâncias que destroem o ozono
Indicador de impacte	Aumento da radiação ultravioleta B e número de casos de doenças de pele
Considerações	Tempo de permanência na atmosfera de substâncias que destroem o ozono
Categorias de danos	Saúde humana Qualidade de ecossistemas
Unidade	Kg CFC-11 equivalente
Escala	Global

2.7.4 Ecotoxicidade

A ecotoxicidade é uma medida em que as emissões de algumas substâncias, tais como os metais pesados, podem ter impactes sobre o ecossistema. A avaliação da toxicidade tem sido baseada em concentrações máximas toleráveis na água para o ecossistema. O potencial de ecotoxicidade é calculado com um método para descrever o destino, a exposição e os efeitos das substâncias tóxicas no ambiente.

O fator de caracterização é expresso utilizando a unidade de referência, kg 1,4-diclorobenzeno equivalente. [35]

Tabela 2.7.4 - Síntese da ecotoxicidade, adaptada de [35]

Categoria de impacte	Ecotoxicidade
Definição	Efeitos tóxicos de produtos químicos sobre um ecossistema
Indicador de impacte	A perda de biodiversidade e/ou extinção de espécies
Considerações	Respostas toxicológicas de espécies diferentes Natureza dos produtos químicos no ecossistema
Categorias de danos	Qualidade do ecossistema Extinção de espécies
Unidade	Kg 1,4-diclorobenzeno equivalente
Escala	Local

2.7.5 Esgotamento de Recursos Abióticos

Os recursos naturais disponíveis no planeta terra são de extrema importância para a sobrevivência dos seres humanos, uma vez que na falta dos mesmos a vida acaba na Terra. O esgotamento dos recursos deve-se essencialmente ao crescente aumento da população e também ao crescimento económico. O consumo de materiais de construção é bastante elevado e consome diversos recursos naturais, tornando-se uma ameaça para o ambiente.

De um modo geral, esta categoria de impacto refere-se ao consumo de recursos tais como combustíveis fósseis, minerais, metais, águas, entre outros.

O valor do consumo de recursos abióticos é uma medida de escassez de uma substância, isto significa que depende da quantidade de recursos e da taxa de extração. É formado pela quantidade de recursos esgotados e medidos em equivalentes de antimónio. [35]

Tabela 2.7.5 - Síntese de esgotamento de recursos abióticos, adaptado de [35]

Categoria de impacto	Esgotamento de Recursos Abióticos
Definição	Diminuição da disponibilidade de recursos como resultado da sua utilização insustentável
Indicador de impacto	Diminuição de recursos
Considerações	Distinções entre recursos renováveis e não renováveis
Categorias de danos	Recursos naturais Possível colapso do ecossistema
Unidade	Kg antimónio equivalente
Escala	Global, regional e local

2.7.6 Eutrofização

A eutrofização é um processo natural que ocorre devido à acumulação de matérias de origem mineral ou orgânica trazidas por cursos de água e por águas drenantes da bacia hidrográfica. [36]

Esta acumulação leva a uma produtividade anormal, que faz com que ocorra crescimento excessivo de plantas como as algas em rios, que provoca fortes reduções na qualidade da água e nas populações de animais. As emissões de NH_3 , NO_x e fósforo (PO_4^{3-}) para o ar ou água, têm um impacto sobre a eutrofização. Esta categoria é expressa usando a unidade de referência, kg PO_4^{3-} equivalentes. [35]

Tabela 2.7.6 - Síntese de eutrofização, adaptada de [35]

Categoria de impacte	Eutrofização
Definição	Acumulação de nutrientes nos sistemas aquáticos
Indicador de impacte	Aumento das concentrações de nitrogénio e fósforo Formação de biomassa
Considerações	Transporte dos nutrientes (ar, água)
Categorias de danos	Qualidade do ecossistema
Unidade	Kg PO ₄ ³⁻ equivalente
Escala	Local

2.7.7 Oxidação fotoquímica

O ozono em concentrações altas ao nível do solo, ao contrário do que acontece na estratosfera, é tóxico para os seres humanos.

O ozono fotoquímico resulta da existência de óxidos de nitrogénio, de hidrocarbonetos, de ozono, e é formado pela reação entre compostos orgânicos voláteis e NO_x na presença de calor e luz solar. A oxidação fotoquímica, também conhecida por *smog*, dá um tom acastanhado à atmosfera, provoca irritação nos olhos, reduz a visibilidade e tem um leve odor. [1]

O potencial de oxidação fotoquímica é expresso usando a unidade de referência kg etileno (C₂H₄) equivalente. [35]

Tabela 2.7.7 - Síntese de oxidação fotoquímica, adaptada de [35]

Categoria de impacte	Oxidação fotoquímica
Definição	Tipo de poluição criada a partir do efeito da luz solar, calor e óxido de azoto
Indicador de impacte	Aumento do <i>smog</i>
Considerações	Meteorologia, composição química da atmosfera e emissões de outros poluentes
Categorias de danos	Saúde humana Qualidade do ecossistema
Unidade	Kg C ₂ H ₄ equivalente
Escala	Local

2.7.8 Toxicidade Humana

O potencial de toxicidade humana é um índice calculado que reflete o dano potencial de uma unidade de produtos químicos libertados no ambiente, e baseia-se na toxicidade de um composto. Produtos químicos como o arsénio, bicromato de sódio e fluoreto de hidrogénio são potencialmente perigosos para os seres humanos através de inalação, ingestão e até mesmo contato. A categoria de impacte é uma medida em 1,4-diclorobenzeno equivalente. [35]

Tabela 2.7.8 - Síntese de toxicidade humana, adaptada de [35]

Categoria de impacte	Toxicidade humana
Definição	Efeitos tóxicos de substâncias químicas nos seres humanos
Indicador de impacte	Cancro, doenças respiratórias, outros efeitos não cancerígenos e efeitos à radiação ionizante
Considerações	Respostas toxicológicas dos seres humanos Natureza dos produtos químicos no corpo humano
Categorias de danos	Saúde humana
Unidade	Kg 1,4-diclorobenzeno equivalente
Escala	Global, regional e local

2.8 Principais estudos de ACV de betão com agregados reciclados

O estudo e pesquisa da bibliografia existente, permitiu verificar os principais estudos realizados com a comparação de betões com agregados naturais e agregados reciclados. De seguida são apresentados os artigos mais pertinentes, tal como os seus principais resultados.

Em 2012, no artigo “*Comparative LCA of recycled and conventional concrete for structural applications*” chegou à conclusão que existem benefícios ambientais claros para todas as opções de betão reciclado, em cerca de 30%. A diferença deve-se principalmente aos encargos evitados associados à reciclagem dos RCD.

Além disso ainda concluiu que distâncias de transporte acima de 15 Km para as opções de betão reciclado resultam em impactes ambientais mais elevados do que os betões com agregados naturais. [37]

Em 2015, no artigo intitulado “*Environmental life cycle assessment of coarse natural and recycled aggregates for concrete*” concluiu-se que o uso de agregados reciclados na produção de betão é mais favorável que o uso de agregados naturais apenas em relação ao uso da terra. Os agregados grossos reciclados podem apresentar um melhor desempenho ambiental do que os agregados naturais se os agregados finos reciclados também forem utilizados na produção de betão em vez de serem enviados para aterro. Estes resultados são, no entanto, muito sensíveis às distâncias de transporte. [38]

Em 2016, em “*A closed-loop life cycle assessment of recycled aggregate concrete utilization in China*” é mostrado que a proporção de cimento e transporte são dois dos principais contributos para as emissões de CO₂ e consumo de energia, tanto para betões sem agregados reciclados como para betões com agregados reciclados. Através de uma análise de sensibilidade, também provam que as distâncias de entrega longas para os agregados grossos naturais deixam uma possível oportunidade para diminuir os impactes ambientais dos betões com agregados reciclados na China. [26]

3. Caso de estudo

3.1 Enquadramento

3.2 Caracterização dos materiais para aplicação do software

3.1 Enquadramento

O presente capítulo serve de introdução aos dados analisados para a ACV, que servem para a aplicação da ferramenta informática OpenLCA, para avaliação de impactes ambientais. Os dados para a realização da ACV foram sugeridos pelo orientador da dissertação, Professor Doutor Luiz António Pereira de Oliveira.

Pretende-se com os dados comparar os impactes ambientais da produção de um betão de sem agregados reciclados com betões de agregados reciclados de dez, vinte, trinta e quarenta por cento.

Os dados das misturas de betão são obtidos da tese de Mauro Rangel, intitulada “Propriedades do betão auto-compactável com incorporação de agregados grossos reciclados”, realizada na Universidade da Beira Interior em 2010. Esta, foi orientada pelo Professor Doutor Luiz Oliveira tendo como coorientador o Professor Doutor Miguel Nepomuceno. [39]

3.2 Caracterização dos materiais para aplicação do software

De seguida são apresentados os materiais, para posteriormente se efetuar a ACV dos diferentes betões auto-compactáveis para aplicação estrutural. Tendo em conta a base de dados selecionada, foi fundamental adaptar os fluxos de entrada e saídas do inventário aos fluxos disponíveis nesta. As conversões dos dados das misturas dos betões em estudo para aplicação do software estão descritas de seguida:

- Ligante

Como ligante foi utilizado o cimento Portland (CEM I 42,5R) que é, como já foi referido anteriormente, um produto muito utilizado no fabrico de betões. A ficha técnica referente ao mesmo está disponível no Anexo A.

Para introdução deste no *software* foi considerado o processo de fabrico existente na base de dados ELCD, que corresponde ao fabrico do cimento Portland, sendo introduzido como processo “Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, at plant, CEMBUREAU technology mix, EN 197-1” (Figura 3.2.1).

Process: Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, at plant, CEMBUREAU technology mix, EN 197-1

Flow	Category	Amount	Unit
Phosphorus	resource/in ground	1.91332E-7	kg
Zinc	resource/in ground	0.00019	kg
Nickel	resource/in ground	9.11217E-5	kg
Clay, bentonite, in ground	resource/in ground	0.03408	kg
Metamorphous rock, graphite containing, in ground	resource/in ground	656.67025	kg
Basalt, in ground	resource/in ground	0.44527	kg
CaF2 (low radioactive)	Deposited goods/Radioactive waste	-8.09696E-5	kg
Waste radioactive	Deposited goods/Radioactive waste	-0.00048	kg

Flow	Category	Amount	Unit
portland cement (CEM I)	Materials production/Other mineral materials	1000.00000	kg
Naphthalene	water/ocean	1.67469E-6	kg
Zinc	soil/unspecified	2.11324E-7	kg
Sulfide	water/fresh water	0.00011	kg
Cadmium	water/ocean	1.25822E-6	kg
Dinitrogen monoxide	air/unspecified	0.00222	kg
Oxygen, in air	air/unspecified	0.04163	kg
Cesium-134	air/unspecified	0.00023	kBq

Figura 3.2.1 - Processo cimento Portland, fonte: OpenLCA

- Adição

A adição utilizada foi o fíler calcário, uma adição do tipo I, que se apresenta na forma de pó, tendo como constituinte o carbonato de cálcio oolítico.

Foi considerado no *software* para a produção de fíler calcário o processo da base de dados ELCD. Sendo introduzido como “*Calcium carbonate > 63 microns, at plant, Production - EU - 27*” (Figura 3.2.2).

Process: Calcium carbonate > 63 microns, at plant, Production

Flow	Category	Amount	Unit
Dolomite, in ground	resource/in ground	4.73000E-11	kg
Feldspar, in ground	resource/in ground	1.12000E-14	kg
Calcium carbonate, in ground	resource/in ground	6.06000E-5	kg
Magnesium	resource/in ground	3.92000E-42	kg
Water, salt, ocean	resource/in water	1.04000E-10	m3
Sand, unspecified, in ground	resource/in ground	8.33000E-7	kg
Medium and low radioactive wastes	Deposited goods/Radioactive waste	-1.39000E-6	kg
Highly radioactive waste	Deposited goods/Radioactive waste	-2.13000E-8	kg
Titanium	resource/in ground	1.11000E-14	kg

Flow	Category	Amount	Unit
Calcium carbonate (> 63 microns)	Materials production/Other mineral materials	1.00000	kg
Uranium-235	soil/unspecified	2.14000E-5	kBq
Carbonate	water/unspecified	6.11000E-9	kg
Chlorine	water/unspecified	2.00000E-11	kg
TOC, Total Organic Carbon	water/unspecified	3.92380E-6	kg
Rubidium	water/unspecified	1.09000E-9	kg
Polonium-210	air/unspecified	5.47000E-6	kBq
Ethane, 1,1,2-trichloro-	water/unspecified	6.50000E-15	kg

Figura 3.2.2 - Processo fíler calcário, fonte: OpenLCA

- Adjuvante

O adjuvante utilizado foi um superplastificante, com nome comercial de Sika Viscocrete 3005. As características são fornecidas pelo fabricante e estão presentes na ficha técnica do produto disponível no Anexo A.

No entanto, não foi possível atribuir um fluxo equivalente ao superplastificante no *software*, devido ao facto de na base de dados não existirem dados relativos a este. Contudo, poder-se-ia introduzir os componentes químicos, mas, uma vez que devido ao teor de confidencialidade dos dados por parte da empresa, estes não são disponibilizados. A quantidade de superplastificante utilizada na produção de betão é praticamente negligenciável quando comparada com o conteúdo de cimento e, portanto, as suas emissões não contribuem significativamente para o impacte ambiental global. Dado isto, o superplastificante não foi considerado para o estudo.

- Agregados

Os agregados estão divididos em agregados finos, grossos e grossos reciclados. Para os agregados finos, são considerados dois tipos de areia, areia fina designada comercialmente por Areia 0/2 (AF) e areia grossa com designação comercial de Areia 0/4 (AG). Quanto aos agregados grossos são utilizados agregados grossos naturais, cujo nome comercial é a Brita 3/6 (B1) e a Brita 6/15 (B2). Os agregados grossos reciclados foram produzidos pela britagem de provetes de betão e resultam daqui os que passam no peneiro 8 mm (BR1) e os que ficam retidos no peneiro 8 mm (BR2) da série europeia.

Para a aplicação do *software* OpenLCA, foi considerado a soma das areias (AF e AG), britas (B1 e B2) e agregados reciclados (BR1 e BR2), uma vez que a dimensão destes não influencia significativamente os impactes ambientais dado que o mais importante para a ACV é a composição dos mesmos e não as suas dimensões. Outro fator que contribuiu para as somas foi o facto de a base de dados utilizada não ter disponível todos os materiais necessários.

Para introdução dos agregados naturais são considerados na aplicação do *software* os processos existentes na base de dados. Estes, contemplam os processos relativos à pedreira e preparação dos agregados naturais na industria da construção, areia e brita. São introduzidos como processo para areia “*Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarry, undried*” (Figura 3.2.3) e para a brita como “*Crushed stone 16/32, production mix, at plant, open pit mining, undried*” (Figura 3.2.4).

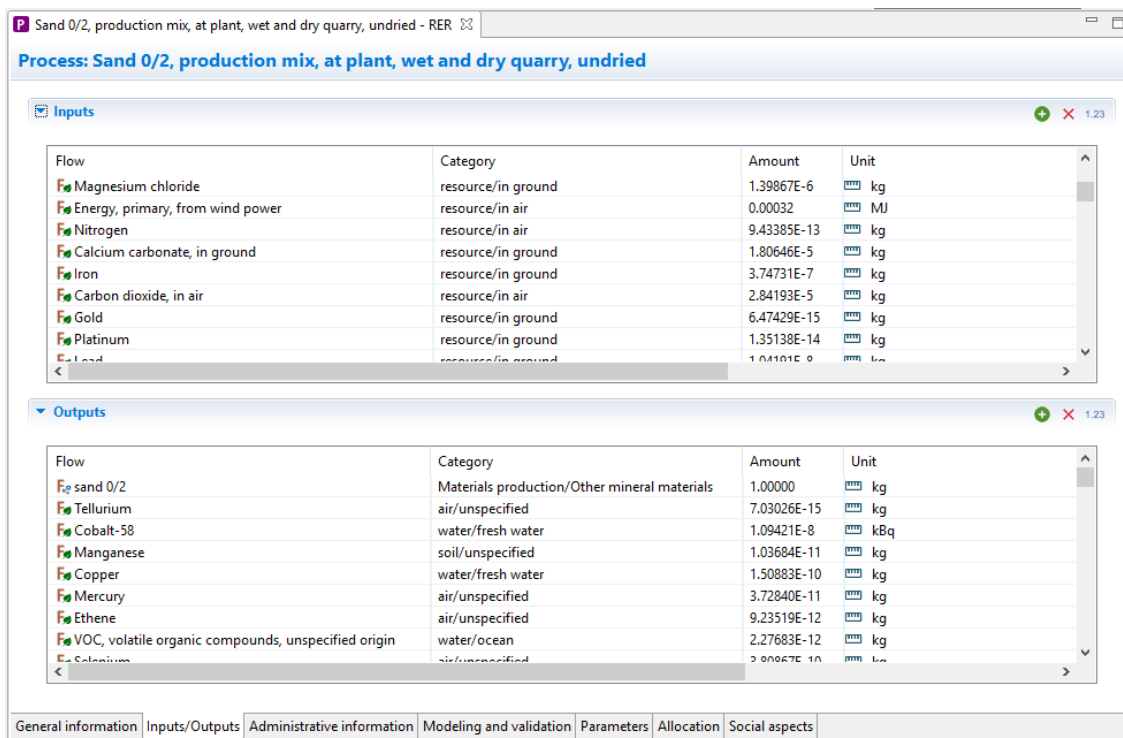


Figura 3.2.3 - Processo areia, fonte: OpenLCA

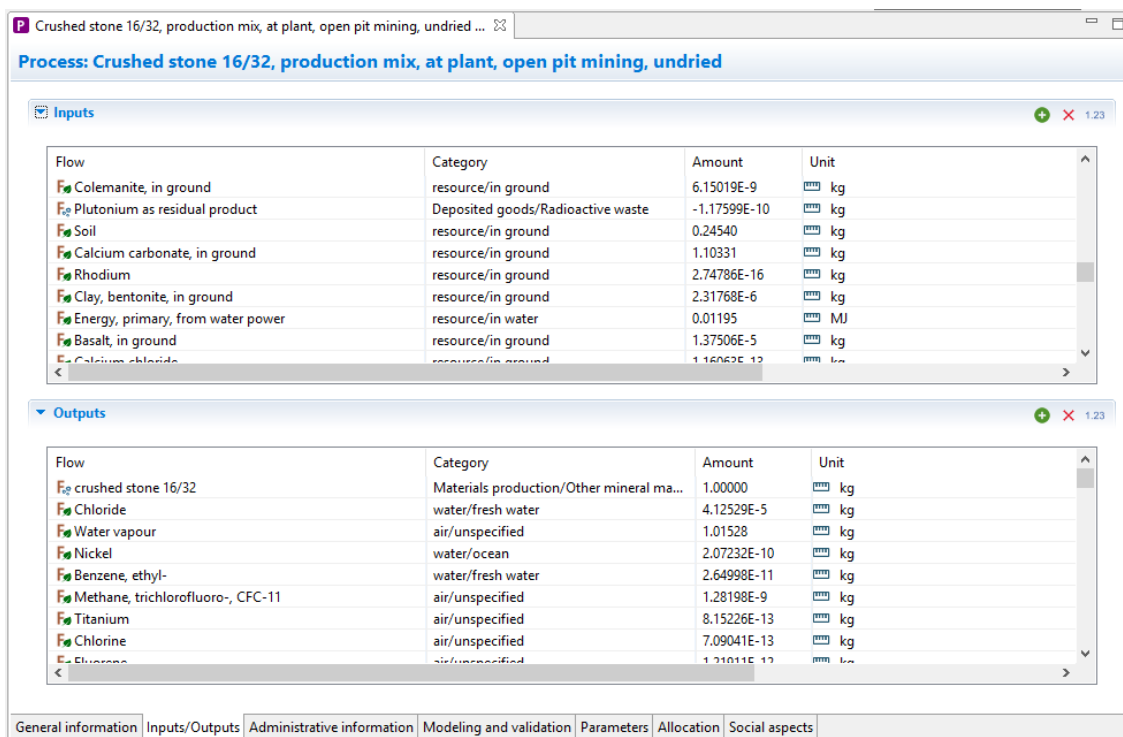


Figura 3.2.4 - Processo brita, fonte: OpenLCA

Em relação aos agregados reciclados, o *software* não permite a sua introdução de forma direta, pois a base de dados não contempla estes agregados. A única maneira de ter em conta este tipo de agregados é a criação de um novo fluxo com dados relativos à sua produção e energias associadas.

O processo de reciclagem para o *software* foi criado tendo em conta os fluxos de entradas e saídas mais significativas. Foi criado um processo, introduzido com a designação de “Agregados Reciclados” (Figura 3.2.5). Os fluxos de entrada são relacionados com a escavadora, a retroescavadora, o britador e a emissão de partículas, que resultam da fase de britagem dos RCD. Como fluxos de entrada foram considerados “*Water, process, well, in ground*”, “*Diesel*” e “*Particulates, < 2,5 μm*” e como fluxo de saída evitado “*crushed stone 16/32*”. O fluxo de saída evitado corresponde à transformação dos RCD em brita, em que é evitada a extração e preparação dos agregados naturais grossos. Os dados são provenientes do artigo “*Life Cycle Inventory analysis of a precast reinforced concrete shed for goods storage*”. Os valores utilizados para os agregados reciclados, foram escolhidos devido a serem valores precisos para uma tonelada e ser possível adaptá-los ao estudo em questão. [40]

Flow	Category	Amount	Unit	Provider
Diesel	Energy carriers and technologies/Crude oil based fuels	0.29500	l	P Diesel mix at refinery, production mix, at refinery...
Water, process, well, in ground	resource/unspecified	100.00000	kg	
Particulates, < 2.5 μm	air/unspecified	0.01500	kg	

Flow	Category	Amount	Unit	Avoided product
Agregados Reciclados		1000.00000	kg	
crushed stone 16/32	Materials production/Other mineral materials	999.98500	kg	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 3.2.5 - Processo agregados reciclados, fonte: OpenLCA

- Água de amassadura

A água utilizada é água potável da rede pública como referido anteriormente na Especificação do LNEC.

Para aplicação do *software* foi considerado o processo relativo à água para amassadura do betão, disponível na base de dados. Sendo introduzido como processo “*Process water, production mix, at plant, ion exchange, from groundwater*” (Figura 3.2.6).

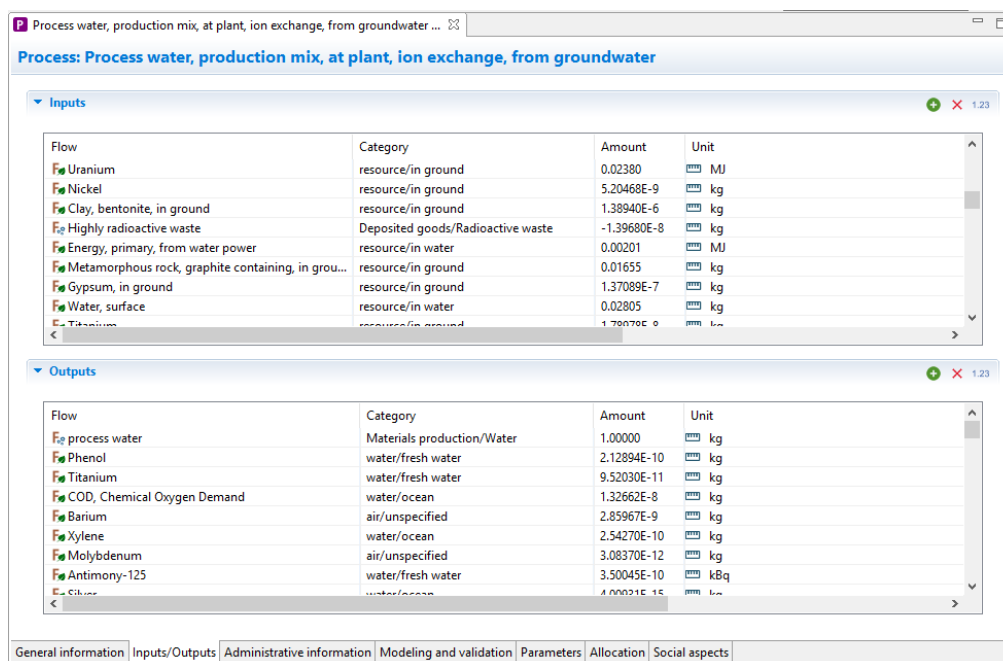


Figura 3.2.6 - Processo água, fonte: OpenLCA

A base de dados ELCD apresenta várias limitações quanto aos materiais de construção, sendo por isso necessário proceder a adaptações. De entre as disponíveis gratuitamente, esta é a que mais se podia adaptar ao caso de análise e os fluxos selecionados são os que mais se aproximam para a análise pretendida.

Após recolha dos dados foram considerados cinco cenários para utilização do *software* OpenLCA, tendo por base as quantidades de amassadura para 1 m³ de betão. O primeiro cenário corresponde a um betão sem agregados reciclados - BRF, o segundo à utilização de dez por cento de agregados reciclados - BRC10, o terceiro cenário corresponde à utilização de vinte por cento de agregados reciclados - BRC20, o quarto com trinta por cento de agregados reciclados - BRC30, e por último, o quinto cenário, com quarenta por cento de agregados reciclados - BRC40. Os dados completos relativos aos betões incluindo os seus parâmetros são disponibilizados no Anexo B.

Os betões em estudo apresentam a mesma quantidade de cimento, fíler calcário, água e areia. A única diferença entre eles é a quantidade de brita e agregados reciclados na mistura que variam de quantidade. No entanto, esta variação mantém a massa total aproximada do BRF. A composição geral dos betões em estudo segue representada de seguida na tabela 3.2.1.

Tabela 3.2.1 - Visão geral das composições dos betões em análise para aplicação do software (em kg)

Material	BRF	BRC10	BRC20	BRC30	BRC40
Cimento Portland [kg]	284,92	284,92	284,92	284,92	284,92
Fíler calcário [kg]	370,21	370,21	370,21	370,21	370,21
Água [l]	158,79	158,79	158,79	158,79	158,79
Areia [kg]	730,68	730,68	730,68	730,68	730,68
Brita [kg]	807,54	726,79	646,04	565,28	484,53
Agregados reciclados [kg]	0,00	74,85	149,70	224,55	299,39

4. Metodologia de ACV

4.1 Considerações Iniciais

4.2 Definição de Objetivo e Âmbito

4.3 Inventário do Ciclo de Vida

4.4 Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida

4.5 Interpretação

4.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo são expostas as quatro fases da metodologia ACV, esta metodologia seguiu os requisitos descritos nas normas NP EN ISO 14040 e NP EN ISO 14044 para ACV. Inicialmente é considerada a definição de objetivo e âmbito, numa segunda fase expõe-se o ICV, de seguida é efetuada a AICV e para finalizar é feita a interpretação.

4.2 Definição de Objetivo e Âmbito

O objetivo principal deste trabalho é a comparação da ACV do processo de fabrico do betão sem agregados reciclados e de betões com agregados reciclados para avaliar se a utilização destes últimos tem influência nos impactes ambientais.

A metodologia ACV foi aplicada a cinco sistemas de produção, idênticos entre eles, correspondentes aos processos de fabrico dos diferentes produtos em estudo:

1. BRF - Betão auto-compactável sem agregados reciclados;
2. BRC10 - Betão auto-compactável com 10 % de agregados reciclados;
3. BRC20 - Betão auto-compactável com 20 % de agregados reciclados;
4. BRC30 - Betão auto-compactável com 30 % de agregados reciclados;
5. BRC40 - Betão auto-compactável com 40 % de agregados reciclados.

O âmbito deste estudo é puramente académico, para a redação da dissertação. Pretende-se que esta ACV responda às questões:

- O betão com agregados reciclados apresenta melhor desempenho ambiental?
- Quais os impactes mais significativos da produção de betão com agregados reciclados?

4.2.1 Definição Unidade Funcional

Quando se pretende comparar os impactes ambientais de diferentes misturas de betão é apropriado utilizar uma unidade funcional de pequena escala. Dado isto, a unidade funcional utilizada para ACV neste caso foi de 1 m³ de betão, para avaliação de impactes criados na produção do mesmo, no sistema produtivo.

4.2.2 Definição dos Limites do Sistema

Nesta fase é necessário definir os limites do sistema estudado, de forma a esclarecer as fases da ACV tidas em consideração para a aplicação do *software* OpenLCA. Para a realização da produção de betão sem agregados reciclados e betão com agregados reciclados, é necessário modelar cada fase de processamento da matéria-prima e detalhar todas as fases de processamento. Em estudos de ACV completos, o limite do sistema compreende todas as etapas do ciclo de vida, ou seja, da extração de recursos até ao fim de vida dos mesmos. O sistema de estudo deste trabalho só inclui a extração de matérias-primas e o seu processamento.

De forma a estudar os benefícios da adoção de agregados reciclados para a produção de betão, os sistemas considerados para a produção de betão sem agregados e com diferentes percentagens de agregados reciclados, incluem ambos a produção das matérias-primas como fluxos de entrada e 1 m³ de betão como fluxos de saída. O sistema de betão com agregados reciclados considera ainda os impactos evitados da extração de agregados naturais (brita).

A seguinte figura 4.2.1, mostra o limite do sistema considerado para o estudo de ACV para a produção de betão reciclado. Como podemos verificar, temos representados do lado esquerdo os fluxos de entrada, dos quais fazem parte a produção de matérias-primas, que incluem a extração de agregados, produção de cimento, produção de aditivos e abastecimento de água. No betão reciclado, além das matérias-primas referidas anteriormente, temos também como fluxo de entrada os agregados reciclados que resultam da reciclagem dos RCD provenientes da desmontagem.

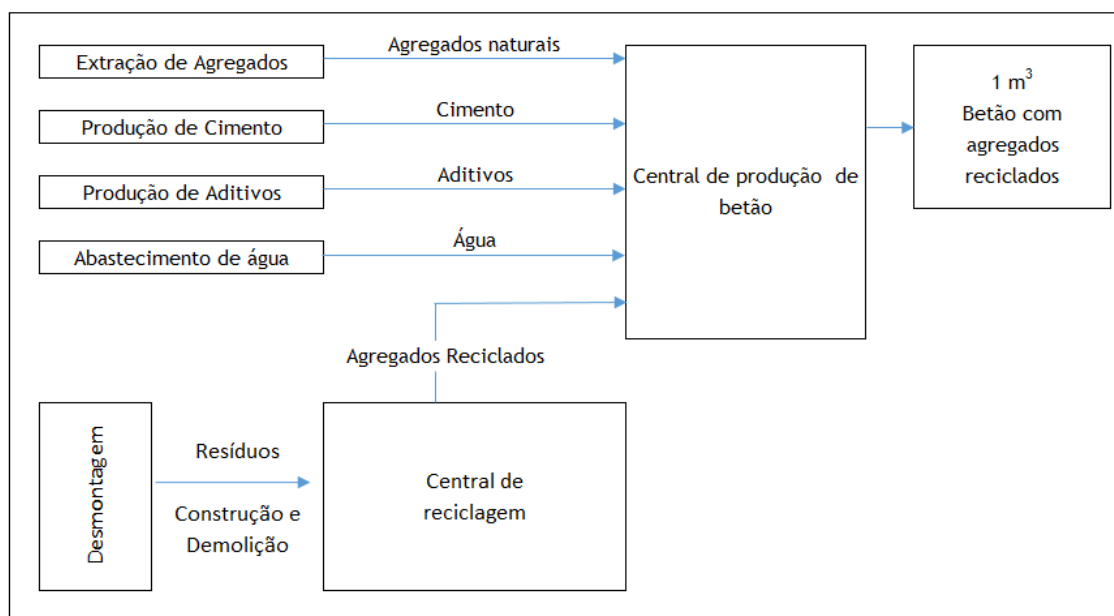


Figura 4.2.1 - Sistema de betão com agregados reciclados

Para o betão convencional o sistema torna-se mais simples, uma vez que apenas são considerados como fluxos de entrada as matérias-primas utilizadas para a produção de betão, obtendo como produto final o BRF (Figura 4.2.2).

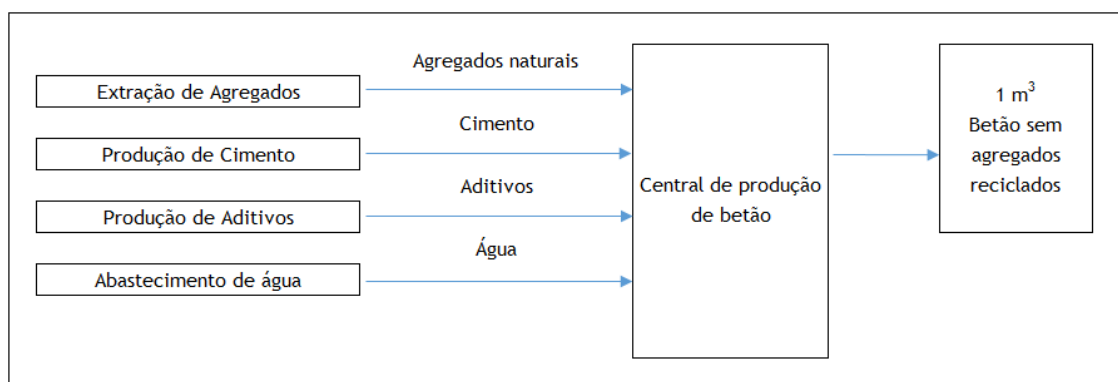


Figura 4.2.2 - Sistema de betão sem agregados reciclados

4.3 Inventário do Ciclo de Vida

A análise de inventário tem implicações na quantificação dos fluxos para o sistema do produto. Os fluxos de inventário incluem a entrada de diversas matérias-primas, água e energia bem como as emissões para o ar e as descargas para solo e água. De forma a completar o ICV da produção de betões foi aplicado o *software* OpenLCA. Para a sua aplicação é necessário recorrer a uma base de dados de ICV, que foi selecionada tendo em conta os dados recolhidos para este trabalho. Como já foi visto anteriormente, a base de dados selecionada para este trabalho foi a ELCD. A aplicação do OpenLCA possibilitou a construção dos diferentes sistemas da produção de betão.

A descrição do sistema de produto aborda o processo de produção dos diferentes betões em estudo. A cada um dos processos unitários envolvidos no sistema de produto correspondem fluxos de entrada de matérias-primas e fluxos de saída de produtos.

4.3.1 Betão auto-compactável sem agregados reciclados

Na figura 4.3.1 são apresentados os resultados do inventário referente ao consumo de matérias-primas para a produção de 1 m³ de BRF. É possível verificar que o material mais consumido é a brita com 807,54 kg, seguido da areia com 730,60 kg, posteriormente o fíler calcário com 370,21 kg, o cimento Portland com 284,92 kg e por último a água com 158,79 l.

Flow	Category	Amount	Unit	Provider
F ₂ sand 0/2	Materials production/Other mineral materials	730.68000	kg	P Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarry, u
F ₂ portland cement (CEM I)	Materials production/Other mineral materials	284.92000	kg	P Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, a
F ₂ crushed stone 16/32	Materials production/Other mineral materials	807.54000	kg	P Crushed stone 16/32, production mix, at plant, open pit r
F ₂ process water	Materials production/Water	158.79000	kg	P Process water, production mix, at plant, ion exchange, fro
F ₂ Calcium carbonate (> 63 microns)	Materials production/Other mineral materials	370.21000	kg	P Calcium carbonate > 63 microns, at plant, Production - E

Flow	Category	Amount	Unit
F ₂ BRF		1.00000	m3

Figura 4.3.1- Fluxos de entrada para BRF, fonte: OpenLCA

4.3.2 Betão auto-compactável com 10 % de agregados reciclados

Para a produção de 1 m³ de BRC10, foram consideradas as mesmas quantidades de matérias-primas de produção do BRF à exceção da brita. Esta é reduzida para 726,79 kg e são introduzidos 158,79 kg de agregados reciclados como apresentado na figura 4.3.2.

Flow	Category	Amount	Unit	Provider
F ₂ portland cement (CEM I)	Materials production/Other mineral materials	284.92000	kg	P Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production m.
F ₂ sand 0/2	Materials production/Other mineral materials	730.68000	kg	P Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarr..
F ₂ crushed stone 16/32	Materials production/Other mineral materials	726.79000	kg	P Crushed stone 16/32, production mix, at plant, open ..
F ₂ Agregados Recicladoss		74.85000	kg	P Agregados Recicladoss
F ₂ Calcium carbonate (> 63 microns)	Materials production/Other mineral materials	370.21000	kg	P Calcium carbonate > 63 microns, at plant, Productio...
F ₂ process water	Materials production/Water	158.79000	kg	P Process water, production mix, at plant, ion exchange.

Flow	Category	Amount	Unit
F ₂ BRC10		1.00000	m3

Figura 4.3.2 - Fluxos de entrada para BRC10, fonte: OpenLCA

4.3.3 Betão auto-compactável com 20 % de agregados reciclados

Em relação a produção de 1 m³ de BRC20 foram consideradas as mesmas quantidades de cimento Portland, fíler calcário, água e areia da produção do BRF. A quantidade de brita introduzida foi de 646,04 kg e a de agregados reciclados 149.7 kg (Figura 4.3.3).

Flow	Category	Amount	Unit	Provider
F _{re} sand 0/2	Materials production/Other mineral materials	730.68000	kg	P Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarry, i
F _{re} portland cement (CEM I)	Materials production/Other mineral materials	284.92000	kg	P Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix,
F _{re} crushed stone 16/32	Materials production/Other mineral materials	646.04000	kg	P Crushed stone 16/32, production mix, at plant, open pit
F _{re} Agregados Recicladados	Materials production/Other mineral materials	149.70000	kg	P Agregados Recicladados
F _{re} Calcium carbonate (> 63 microns)	Materials production/Other mineral materials	370.21000	kg	P Calcium carbonate > 63 microns, at plant, Production -
F _{re} process water	Materials production/Water	158.79000	kg	P Process water, production mix, at plant, ion exchange, f

Flow	Category	Amount	Unit
F _{re} BRC20		1.00000	m3

Figura 4.3.3 - Fluxos de entrada para BRC20, fonte: OpenLCA

4.3.4 Betão auto-compactável com 30 % de agregados reciclados

Na produção de 1 m³ de BRC30 é alterada a quantidade de brita e de agregados reciclados, correspondendo a 565,28 kg e 224,55 kg respetivamente. Todas as outras quantidades de matérias-primas permanecem iguais aos anteriores (Figura 4.3.4).

Flow	Category	Amount	Unit	Provider
F _{re} sand 0/2	Materials production/Other mineral materials	730.68000	kg	P Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarry, u...
F _{re} portland cement (CEM I)	Materials production/Other mineral materials	284.92000	kg	P Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, ...
F _{re} crushed stone 16/32	Materials production/Other mineral materials	565.28000	kg	P Crushed stone 16/32, production mix, at plant, open pit ...
F _{re} Agregados Recicladados	Materials production/Other mineral materials	224.55000	kg	P Agregados Recicladados
F _{re} process water	Materials production/Water	158.79000	kg	P Process water, production mix, at plant, ion exchange, fr...
F _{re} Calcium carbonate (> 63 microns)	Materials production/Other mineral materials	370.21000	kg	P Calcium carbonate > 63 microns, at plant, Production - E...

Flow	Category	Amount	Unit
F _{re} BRC30		1.00000	m3

Figura 4.3.4- Fluxos de entrada para BRC30, fonte: OpenLCA

4.3.5 Betão auto-compactável com 40 % de agregados reciclados

Neste caso, tal como nos anteriores, as quantidades de cimento Portland, filer calcário, água e areia mantiveram-se as mesmas. A quantidade de brita introduzida foi de 484,53 kg e a de agregados reciclados 299,39 kg (Figura 4.3.5).

Process: BRC40

Inputs

Flow	Category	Amount	Unit	Provider
F ₂ sand 0/2	Materials production/Other mineral materials	730.68000	kg	P Sand 0/2, production mix, at plant, wet and dry quarry, und...
F ₂ portland cement (CEM I)	Materials production/Other mineral materials	284.92000	kg	P Portland cement (CEM I), CEMBUREAU production mix, at p...
F ₂ crushed stone 16/32	Materials production/Other mineral materials	484.53000	kg	P Crushed stone 16/32, production mix, at plant, open pit mir...
F ₂ Agregados Recicladoss	Materials production/Other mineral materials	299.39000	kg	P Agregados Recicladoss
F ₂ process water	Materials production/Water	158.79000	kg	P Process water, production mix, at plant, ion exchange, from...
F ₂ Calcium carbonate (> 63 microns)	Materials production/Other mineral materials	370.21000	kg	P Calcium carbonate > 63 microns, at plant, Production - EU...

Outputs

Flow	Category	Amount	Unit
F ₂ BRC40		1.00000	m ³

Figura 4.3.5 - Fluxos de entrada para BRC40, FONTE: OpenLCA

A aplicação do OpenLCA, permitiu a construção de sistema de produto dos betões em estudo. Na figura 4.3.6 é apresentado o sistema de produto para BRF e na figura 4.3.7 para os betões com agregados reciclados, BRC10, BRC20, BRC30 e BRC40.

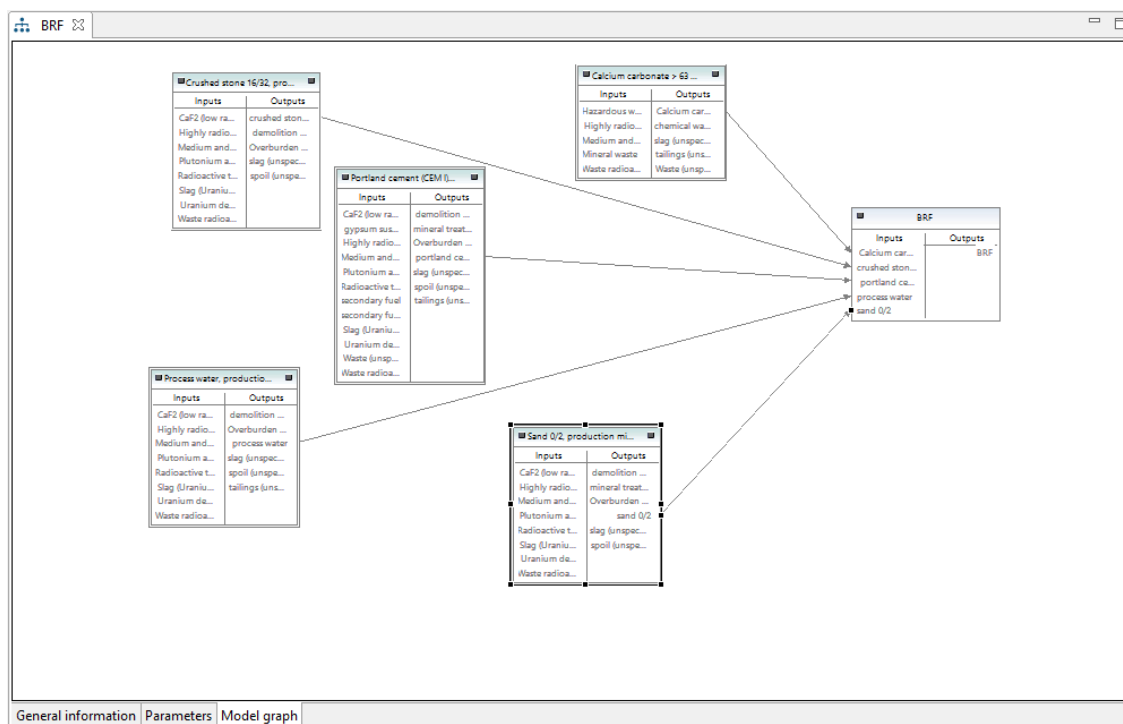


Figura 4.3.6 - Sistema sem agregados reciclados, fonte: OpenLCA

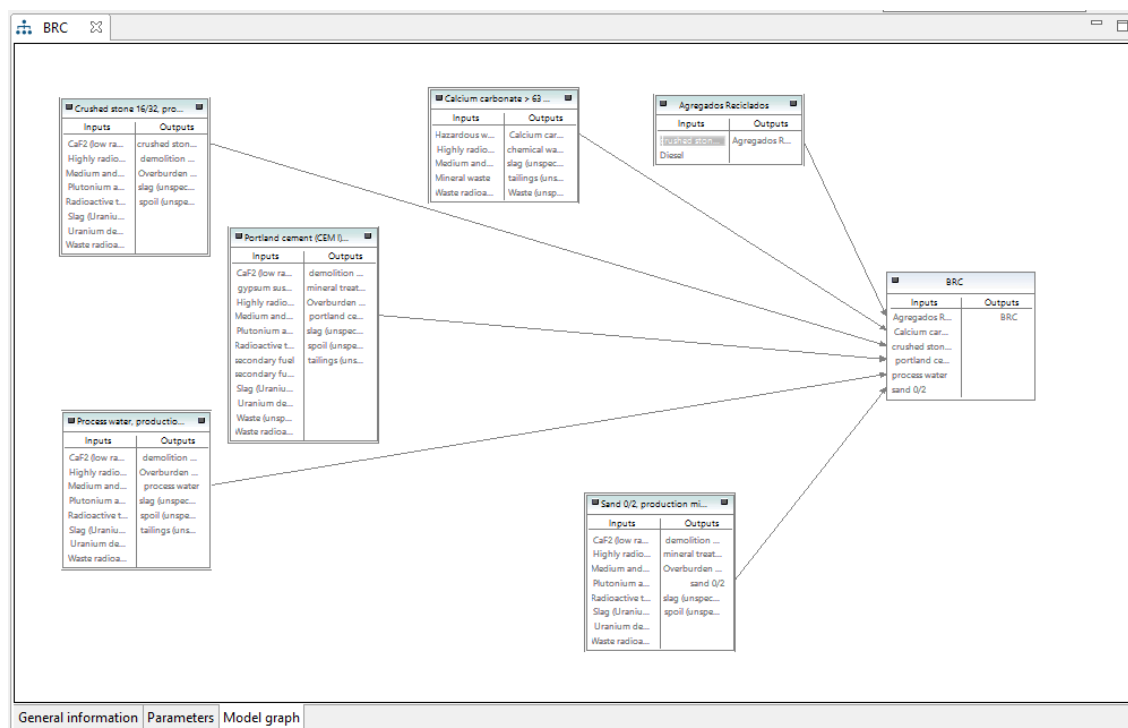


Figura 4.3.7 - Sistema com agregados reciclados, fonte: OpenLCA

4.4 Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida

Esta é a terceira etapa de uma ACV, em que o principal objetivo é transpor as cargas ambientais quantificadas no ICV aos impactes ambientais correspondentes. É definida como um processo quantitativo e/ou qualitativo para identificar, avaliar e caracterizar os potenciais impactes. Existem diversas formas de avaliar os impactes da ACV do betão, entre elas encontra-se a metodologia CML que foi a escolhida para este estudo, como já foi referido anteriormente. Para a metodologia CML os dados do inventário foram coletados e inseridos no *software* com o objetivo de fazer distinções entre os produtos.

4.4.1 Resultados de indicador de impacte

Os resultados de indicador de impacte, obtidos através do método CML para os diferentes cenários em estudo, estão apresentados nas tabelas 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3, 4.4.4 e 4.4.5. Este método apresenta várias categorias de impacte ambiental, convertendo os dados de fluxo de matéria e energia em unidades específicas, de acordo com a unidade funcional proposta pelo estudo.

Tabela 4.4.1 - Análise de impactes BRF

Categoria de impacte	Resultados	Unidade de referência
Acidificação	0,74453	Kg SO ₂ eq.
Aquecimento global	286,04788	Kg CO ₂ eq.
Destruição da camada de ozono	1,62511E-5	Kg CFC-11 eq.
Ecotoxicidade	0,33279	Kg 1,4-diclorobenzeno eq.
Esgotamento de recursos abióticos	1,20873E-5	Kg antimónio eq.
Eutrofização	0,10208	Kg PO ₄ ³⁻ eq.
Oxidação fotoquímica	0,05775	Kg C ₂ H ₄ eq.
Toxicidade humana	13,81492	Kg 1,4-diclorobenzeno eq.

Tabela 4.4.2 - Análise de impactes BRC10

Categoria de impacte	Resultados	Unidade de referência
Acidificação	0,72829	Kg SO ₂ eq.
Aquecimento global	283,90926	Kg CO ₂ eq.
Destruição da camada de ozono	1,58144E-5	Kg CFC-11 eq.
Ecotoxicidade	0,33057	Kg 1,4-diclorobenzeno eq.
Esgotamento de recursos abióticos	1,19659E-5	Kg antimónio eq.
Eutrofização	0,09767	Kg PO ₄ ³⁻ eq.
Oxidação fotoquímica	0,05690	Kg C ₂ H ₄ eq.
Toxicidade humana	13,00316	Kg 1,4-diclorobenzeno eq.

Tabela 4.4.3 - Análise de impactes BRC20

Categoria de impacte	Resultados	Unidade de referência
Acidificação	0,71206	Kg SO ₂ eq.
Aquecimento global	281,77063	Kg CO ₂ eq.
Destruição da camada de ozono	1,53777E-5	Kg CFC-11 eq.
Ecotoxicidade	0,32836	Kg 1,4-diclorobenzeno eq.
Esgotamento de recursos abióticos	1,18445E-5	Kg antimónio eq.
Eutrofização	0,09326	Kg PO ₄ ³⁻ eq.
Oxidação fotoquímica	0,05605	Kg C ₂ H ₄ eq.
Toxicidade humana	12,19139	Kg 1,4-diclorobenzeno eq.

Tabela 4.4.4- Análise de impactes BRC30

Categoria de impacte	Resultados	Unidade de referência
Acidificação	0,69582	Kg SO ₂ eq.
Aquecimento global	279,63187	Kg CO ₂ eq.
Destruição da camada de ozono	1,49410E-5	Kg CFC-11 eq.
Ecotoxicidade	0,32615	Kg 1,4-diclorobenzeno eq.
Esgotamento de recursos abióticos	1,17230E-5	Kg antimónio eq.
Eutrofização	0,08885	Kg PO ₄ ³⁻ eq.
Oxidação fotoquímica	0,05520	Kg C ₂ H ₄ eq.
Toxicidade humana	11,37958	Kg 1,4-diclorobenzeno eq.

Tabela 4.4.5 - Análise de impactes BRC40

Categoria de impacte	Resultados	Unidade de referência
Acidificação	0,67958	Kg SO ₂ eq.
Aquecimento global	277,49338	Kg CO ₂ eq.
Destruição da camada de ozono	1,45043E-5	Kg CFC-11 eq.
Ecotoxicidade	0,32393	Kg 1,4-diclorobenzeno eq.
Esgotamento de recursos abióticos	1,16016E-5	Kg antimónio eq.
Eutrofização	0,08445	Kg PO ₄ ³⁻ eq.
Oxidação fotoquímica	0,05435	Kg C ₂ H ₄ eq.
Toxicidade humana	10,56787	Kg 1,4-diclorobenzeno eq.

4.4.2 Contribuição dos processos para os impactes ambientais

Com a aplicação da metodologia CML é possível verificar a percentagem de contribuição de cada processo envolvido na produção dos diferentes betões em estudo.

O processo que mais contribui para aumentar as categorias de impacte é a produção do cimento Portland, à exceção do esgotamento de recursos abióticos das reservas de recursos em que o processo de água é o maior contributo.

Como foi visto no capítulo 2, a produção de cimento tem como base a extração de minerais, o que nos levaria a concluir que o seu impacte na disponibilidade de recursos abióticos seria o mais elevado, no entanto a água apresenta impactes maiores. Isto deve-se ao facto de o método aplicado não incluir os efeitos da exploração de minerais para o esgotamento de recursos abióticos. [41]

Com a adição de agregados reciclados a contribuição da brita para os impactes ambientais torna-se menos relevante, uma vez que os impactes ambientais associados aos agregados reciclados entram como um benefício e evitam a extração desta.

Nas tabelas 4.4.6, 4.4.7, 4.4.8, 4.4.9 e 4.4.10 são apresentadas respetivamente, as contribuições dos processos dos diferentes cenários em estudo.

Tabela 4.4.6 - Contribuição dos processos de BRF para os impactes ambientais (em %)

Categorias de impacte	Cimento Portland	Filer calcário	Água	Areia	Brita
Acidificação	84,73	1,65	0,40	1,87	11,35
Aquecimento global	89,97	5,16	0,36	0,62	3,89
Destruição da camada de ozono	77,10	6,56	0,67	1,72	13,95
Ecotoxicidade	88,64	6,44	0,29	0,57	4,06
Esgotamento de recursos abióticos	33,65	3,99	56,18	0,86	5,32
Eutrofização	72,21	3,22	0,69	1,51	8,74
Oxidação fotoquímica	81,69	8,96	0,30	1,36	7,69
Toxicidade humana	52,80	15,51	0,30	0,85	30,54

Tabela 4.4.7 - Contribuição dos processos de BRC10 para os impactes ambientais (em %)

Categorias de impacte	Cimento Portland	Filer calcário	Água	Areia	Brita	Agregados reciclados
Acidificação	86,62	1,68	0,40	1,91	10,46	-1,07
Aquecimento global	90,64	5,20	0,36	0,62	3,54	-0,36
Destruição da camada de ozono	79,23	6,74	0,68	1,77	12,91	-1,33
Ecotoxicidade	89,24	6,48	0,29	0,58	3,67	-0,26
Esgotamento de recursos abióticos	33,99	4,03	56,75	0,87	4,84	-0,48
Eutrofização	75,47	3,37	0,66	1,56	21,11	-2,17
Oxidação fotoquímica	82,91	9,10	0,30	1,38	7,02	-0,71
Toxicidade humana	56,09	16,47	0,32	0,91	29,21	-3,00

Tabela 4.4.8 - Contribuição dos processos de BRC20 para os impactes ambientais (em %)

Categorias de impacte	Cimento Portland	Fíler calcário	Água	Areia	Brita	Agregados reciclados
Acidificação	88,59	1,72	0,41	1,95	9,51	-2,18
Aquecimento global	91,33	5,24	0,37	0,63	3,16	-0,73
Destruição da camada de ozono	81,48	6,93	0,70	1,82	11,80	-2,73
Ecotoxicidade	89,84	6,53	0,29	0,58	3,29	-0,53
Esgotamento de recursos abióticos	34,34	4,07	57,33	0,88	4,35	-0,97
Eutrofização	79,04	3,53	0,69	1,63	19,65	-4,54
Oxidação fotoquímica	84,17	9,24	0,31	1,40	6,33	-1,45
Toxicidade humana	59,83	17,57	0,34	0,97	27,69	-6,40

Tabela 4.4.9 - Contribuição dos processos de BRC30 para os impactes ambientais (em %)

Categorias de impacte	Cimento Portland	Fíler calcário	Água	Areia	Brita	Agregados reciclados
Acidificação	90,66	1,76	0,42	2,00	8,51	-3,35
Aquecimento global	92,03	5,28	0,37	0,63	2,79	-1,10
Destruição da camada de ozono	83,86	7,14	0,72	1,87	10,63	-4,22
Ecotoxicidade	90,45	6,57	0,29	0,58	2,91	-0,80
Esgotamento de recursos abióticos	34,70	4,11	57,92	0,89	3,84	-1,46
Eutrofização	82,96	3,70	0,73	1,71	18,05	-7,15
Oxidação fotoquímica	85,46	9,38	0,31	1,43	5,36	-2,21
Toxicidade humana	64,10	18,83	0,36	1,04	25,95	-10,28

Tabela 4.4.10 - Contribuição dos processos de BRC40 para os impactes ambientais (em %)

Categorias de impacte	Cimento Portland	Filer calcário	Água	Areia	Brita	Agregados reciclados
Acidificação	92,83	1,80	0,43	2,04	7,48	-4,58
Aquecimento global	92,74	5,32	0,37	0,64	2,41	-1,48
Destruição da camada de ozono	86,39	7,35	0,75	1,93	9,37	-5,79
Ecotoxicidade	91,07	6,62	0,30	0,59	2,49	-1,07
Esgotamento de recursos abióticos	35,06	4,16	58,53	0,90	3,32	-1,97
Eutrofização	87,29	3,89	0,77	1,80	16,27	-10,02
Oxidação fotoquímica	86,80	9,53	0,32	1,42	4,85	-2,92
Toxicidade humana	69,02	20,27	0,39	1,12	23,96	-14,76

4.4.3 Comparação entre os diferentes betões

Na tabela 4.4.11 são apresentados os resultados das categorias de impacte discriminadas por tipo de betão considerados nos diferentes cenários em estudo.

Tabela 4.4.11 - Análise de impactes, síntese dos betões

Categoria de impacte	Resultados				
	BRF	BRC10	BRC20	BRC30	BRC40
Acidificação	0,74453	0,72829	0,71206	0,69582	0,67958
Aquecimento global	286,04788	283,90926	281,77063	279,63187	277,49338
Destruição da camada de ozono	1,62511E-5	1,58144E-5	1,5377E-5	1,49410E-5	1,45043E-5
Ecotoxicidade	0,33279	0,33057	0,32836	0,32615	0,32393
Esgotamento de recursos abióticos	1,20873E-5	1,19656E-5	1,1844E-5	1,17230E-5	1,16016E-5
Eutrofização	0,10208	0,09767	0,09326	0,08885	0,08445
Oxidação fotoquímica	0,05775	0,05690	0,05605	0,05520	0,05435
Toxicidade humana	13,81492	13,00316	12,19139	11,379558	10,56787

A comparação dos impactes ambientais associados aos diversos betões em estudo permitiu observar que a incrementação de agregados reciclados em diferentes percentagens, reduz os impactes ambientais.

Os resultados obtidos demonstram que o BRF apresenta maior potencial de acidificação em relação aos outros betões em estudo. Como a produção do BRF exige um maior consumo de recursos de materiais, os níveis de emissão de SO_2 também se apresentam mais altos.

Para o aquecimento global, a emissão de CO_2 é o fator que mais contribui e os resultados entre os diferentes betões são mais equilibrados, isto porque a produção de cimento liberta bastantes quantidades de CO_2 , e como vimos anteriormente a quantidade de cimento não varia nos diferentes betões.

A destruição da camada de ozono apresenta valores baixos de impactes ambientais. Isto deve-se ao facto de a produção das matérias-primas necessárias para a produção do betão não contribuírem com a emissão de CFCs, que são os principais responsáveis para a destruição da camada de ozono.

A ecotoxicidade é influenciada pela emissão de metais pesados. Podemos verificar que os valores associados a este impacte ambiental, entre os diferentes betões, não sofrem grandes variações.

No esgotamento dos recursos abióticos, ao contrário do que seria de esperar encontram-se valores de impactes ambientais muito baixos, este facto ocorre porque o método CML considera os recursos naturais inesgotáveis, tal como foi explicado anteriormente.

A eutrofização está relacionada com as emissões de NO_x , este poluente apresenta níveis baixos para todos os betões em estudo.

O potencial de oxidação fotoquímica deve-se à emissão de CO , SO_2 e NO_x , este apresenta valores baixos devido ao processamento das matérias-primas não apresentarem emissões significativas destes poluentes.

Na toxicidade humana, os metais pesados são o fluxo ambiental com maior expressividade. Este impacte ambiental é de extrema importância uma vez que têm implicações na saúde humana. Verifica-se que com a utilização de agregados reciclados o potencial de toxicidade humana diminui.

A figura seguinte mostra os resultados globais dos indicadores de impacto relativos aos diferentes betões em estudo. Para cada indicador o resultado máximo (BRF) é fixado em 100 % e o resultado dos outros betões é exibido em relação a este resultado. Aqui é evidente que a utilização de agregados reciclados na produção de betão é benéfica para diminuir os impactos ambientais (Figura 4.4.1).

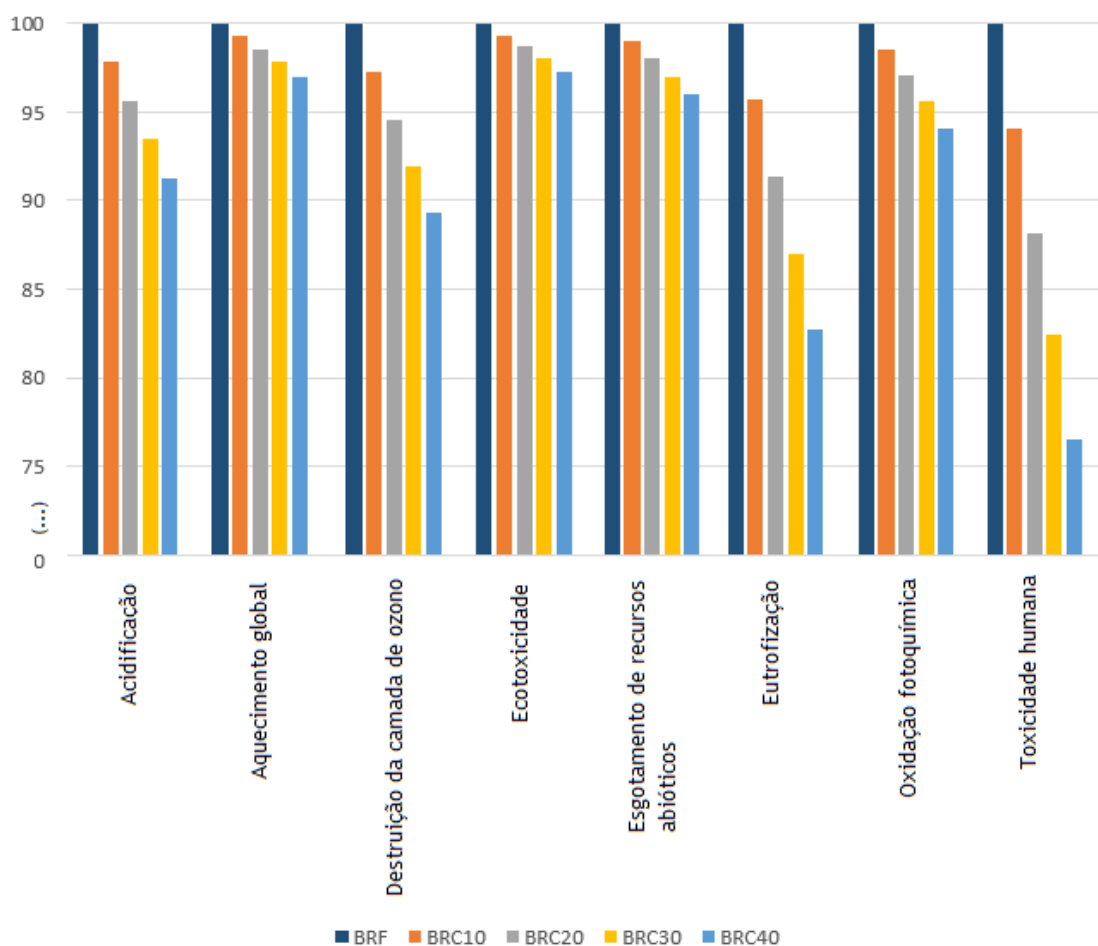


Figura 4.4.1 - Comparação dos impactos ambientais dos diferentes betões

4.5 Interpretação

Esta etapa resulta da interpretação e combinação do ICV e AICV, com objetivo de obter conclusões e recomendações. Esta, inclui a identificação dos impactos ambientais e também as conclusões e recomendações de melhorias com finalidade de reduzir os impactos ambientais significativos.

Para desenvolver a ACV do betão, foi fundamental identificar os fluxos de entrada e saída relacionados ao fabrico de cada tipo de betão em estudo e selecionar a informação que

possibilitasse efetuar a caracterização mais completa possível deste. Posto isto, foi possível verificar o desempenho ambiental dos cinco betões em estudo.

Para a elaboração dos inventários, os dados referentes aos betões resultam de um estudo realizado na UBI em 2010 por Mauro Rangel, intitulado de “Propriedades do betão auto-compactável com incorporação de agregados grossos reciclados”. Para a introdução dos agregados reciclados foram considerados dados relativos ao estudo “*Life Cycle Inventory analysis of a precast reinforced concrete shed for goods storage*”, uma vez que desta forma é possível simular de maneira mais realista a introdução de agregados reciclados na produção de betão.

Os processos utilizados na transformação dos dados tiveram como principal propósito manter a representatividade dos fluxos estimados na componente do inventário. O ICV não contribui com resultados específicos ao impacte ambiental do processo de produção, no entanto possibilita prever este processo tendo em conta os consumos e emissões que lhe estão associados.

A AICV tem como base os resultados do ICV e foi elaborada com a implementação do *software* OpenLCA em conjunto com a base de dados a ELCD e o método de impacte CML. Após introdução dos processos correspondente aos dados recolhidos já não houve intervenção na construção da AICV.

A atribuição dos fluxos às categorias de impacte, bem como a definição dos fatores de caracterização, foi adquirida automaticamente por intermédio da aplicação do método CML. Na AICV foram avaliadas oito categorias de impacte ambientais da produção do betão e torna-se pertinente interpretar estes impactes.

No que respeita à comparação efetuada, apresentada no ponto 4.4.3 deste capítulo, pode-se considerar que os resultados obtidos foram satisfatórios. As categorias que manifestam maior notabilidade no impacte global da produção de betão são o aquecimento global e a toxicidade humana. Os valores de aquecimento global apresentam valores bastante elevados pelo facto de o método de cálculo considerar o horizonte temporal de 100 anos.

A diferença entre os diversos cenários em estudo reside na quantidade de agregados reciclados utilizada para a mistura de betão. Desta forma, é possível verificar que as diferenças entre os impactes ambientais produzidos pelos diversos sistemas estão relacionadas aos processos respeitantes aos agregados reciclados.

5. Conclusões

5.1 Principais Conclusões

5.2 Limitações

5.3 Desenvolvimentos Futuros

5.1 Principais Conclusões

Com a produção crescente e elevado consumo de matérias-primas, a ACV no sistema produtivo é essencial para tornar a indústria da construção mais sustentável. Apesar da complexidade da aplicação de ACV no sector da construção civil, é uma opção bastante positiva para o acompanhamento das questões ambientais relacionadas aos produtos de construção civil podendo desta forma contribuir para o desenvolvimento sustentável.

A fim de investigar os impactes ambientais associados à utilização de agregados grossos reciclados na produção de betões, procedeu-se à ACV para comparar os impactes relativos a um betão sem agregados reciclados. Os dados das misturas para 1 m³ de betão foram disponibilizados pelo orientador e provêm de uma tese orientada pelo mesmo, realizada na UBI em 2010 que incide no estudo de betões auto-compactáveis. Com a ajuda do *software* OpenLCA, embora que com algumas limitações relativamente à base de dados, procedeu-se á ACV de diferentes betões para aplicação estrutural.

Através do OpenLCA e da base de dados ELCD, foi possível obter dados e sistemas de processos para a aplicação de AICV, possibilitando aplicar a metodologia CML para calcular os diversos impactes associados à produção de betão. Na ótica do utilizador, o *software* OpenLCA, apesar de todas as limitações, revelou-se intuitivo e entendível para a elaboração do modelo de ciclo de vida do betão.

Perante a análise efetuada no presente trabalho, percebe-se que a reciclagem de RCD e o seu uso como agregados reciclados na produção de betão, apresenta vantagens ambientais em relação à utilização de agregados naturais. Outro facto constatado foi que a maioria das categorias de impacte do processo de produção de betão são dominadas pelo processo de fabrico de cimento, tal como já tinha sido observado em estudos efetuados anteriormente [26].

A partir do levantamento bibliográfico notou-se que a metodologia de ACV tem sido utilizada em investigações do mesmo género para analisar os impactes da utilização de agregados reciclados na produção de betão, embora na maior parte dos estudos alterem as quantidades e tipos de cimento.

Como conclusão final do estudo, é possível afirmar que o aumento de percentagem de agregados reciclados na mistura de betão apresenta um desempenho ambiental mais favorável, isto é, quanto mais agregados naturais são substituídos melhor são os resultados dos impactes ambientais, no entanto é necessário ter em conta que estes têm de respeitar os requisitos técnicos das especificações de utilização.

5.2 Limitações

As limitações que um estudo como este tem que encarar ao longo do seu desenvolvimento são diversas, no entanto as dificuldades relacionadas com a obtenção de dados é a mais relevante.

Constatou-se que a ferramenta de ACV necessita de conhecimento prévio de uma grande quantidade de dados necessários para efetuar a avaliação. Foi inconcebível fazer a recolha da informação necessária, para aplicação do software, de cada um dos processos envolvidos, o que levou à opção de adaptar processos encontrados na base de dados ELCD.

Os fluxos que existem na base de dados limitam bastante a aplicação do programa, isto porque não é possível adaptar todos os resultados do inventário devido à inexistência dos mesmos e à pouca gama de escolha para os diversos tipos de fluxos. Além do referido, os dados disponíveis nas bases de dados são principalmente de inventários europeus, o que não traduz por completo a representatividade a nível nacional.

Foi notório que seria proveitoso um período de tempo mais prolongado do que o disponível, para poder ser capaz de estudar cada um dos processos envolvidos na produção de betão com a profundidade científica necessária, de forma a construir um sistema com a maior exatidão possível.

Diante do que foi exposto, mesmo com as limitações encontradas para o que foi proposto no estudo, os dados e ferramentas disponíveis foram adaptados para a conclusão do objetivo.

5.3 Desenvolvimentos Futuros

Com a redação da presente dissertação, torna-se pertinente verificar possíveis sugestões para desenvolvimentos futuros tendo em conta o conteúdo presente neste trabalho. Desta forma, sugerem-se os seguintes desenvolvimentos futuros:

- Divulgar e incentivar o uso da ACV nas diversas áreas associadas ao ramo da engenharia civil.
- Criar uma base de dados de materiais de construção para aplicar em Portugal.
- Realizar uma ACV para onde se considere o processo desde a extração de matérias-primas até ao fim de vida.

- Construir processos nas bases de dados que reproduzam os processos de fabrico de betão em Portugal para ser possível obter resultados e conclusões mais aproximados da realidade nacional.
- Recorrer a outros softwares de ACV poderia ser benéfico para o estudo do ACV do betão. Existem softwares mais direcionados para o sector da construção civil que poderiam contribuir de forma positiva para o estudo de ACV.

Referências Bibliográficas

- [1] Peixoto, J. P.; “O homem, o clima e o ambiente-III, Influência do homem no clima e no ambiente”. Coleção O Ambiente e o Homem, Gabinete de Estudos e Planeamento da Administração do Território, Secretaria de Estado do Ambiente e dos Recursos Naturais, Lisboa,1987.
- [2] Van Den Heede, P., De Belie, N.; “Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and ‘green’concretes: literature review and theoretical calculations”. Cement and Concrete Composites, 34.4 (2012), 431-442.
- [3] Imbabi, M. S., Carrigan, C., & McKenna, S.; “Trends and developments in green cement and concrete technology”. International Journal of Sustainable Built Environment 1.2 (2012): 194-216.
- [4] Blengini, G. A., Busto, M., Fantoni, M., & Fino, D.; “Eco-efficient waste glass recycling: Integrated waste management and green product development through LCA”. Waste Management 32.5 (2012): 1000-1008.
- [5] dos Santos, M. F. N., Battistelle, R. A. G., Hori, C. Y., & Julioti, P. S.; “Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil”. Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas 6.2 (2011), 57.
- [6] Fava, J. A., & Society of Environmental Toxicology and Chemistry.; “A technical framework for life cycle assessment: workshop report”; August 18-23, 1990. SETAC, 1991.
- [7] U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation. LCAccess - LCA 101. 2001.
- [8] Rebitzer, G., et al. “Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications”. Environment international 30.5 (2004): 701-720.
- [9] Bourdeau, L.; “Sustainable development and the future of construction: a comparison of visions from various countries”. Building Research & Information 27.6 (1999): 354-366.
- [10] Hunt, R. G., Franklin, W. E., & Hunt, R. G.; “LCA—How it came about”. The international journal of life cycle assessment 1.1 (1996): 4-7.

- [11] Guinée, J. B., & Heijungs, R.; “A proposal for the definition of resource equivalency factors for use in product life-cycle assessment”. *Environmental toxicology and chemistry* 14.5 (1995): 917-925.
- [12] Guidance notes on tools for pollution management, Life cycle assessment. Disponível em <http://siteresources.worldbank.org/INTRANETENVIRONMENT/Resources/244351-1279901011064/GovLifeCycleAssessment.pdf>; Consultado em 2 de setembro de 2016.
- [13] “About ISO”. Disponível em <http://www.iso.org/iso/home/about.htm>; Consultado em 2 de setembro de 2016.
- [14] “NP EN ISO 14040. ISO 14040: 2008 Gestão Ambiental-Avaliação do Ciclo de Vida-Princípios e Enquadramento”. (2008).
- [15] “NP EN ISO 14044. ISO 14044: 2010 Gestão Ambiental-Avaliação do Ciclo de Vida-Requisitos e linhas de orientação”. (2010).
- [16] Campos, F. H. A.; “Análise do Ciclo de Vida na Construção Civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto”. Universidade Federal de Minas gerais (2012).
- [17] Joint Research Centre - European Life Cycle Database. Disponível em <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/index.xhtml?stock=default>; Consultado em 27 agosto de 2016.
- [18] Florindo, T. J., de Medeiros, G. I. B., Ruviano, C. F., & da Costa, J. S.; “Avaliação do impacto do ciclo de vida: uma discussão metodológica”. (2015).
- [19] Evangelista, L., & De Brito, J.; “Environmental life cycle assessment of concrete made with fine recycled concrete aggregates”. *Portugal Sb07-Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium, Pts 1* (2007): 789-794.
- [20] Ingrao, C., Giudice, A. L., Tricase, C., Mbohwa, C., & Rana, R.; “The use of basalt aggregates in the production of concrete for the prefabrication industry: environmental impact assessment, interpretation and improvement”. *Journal of Cleaner Production* 75 (2014): 195-204.
- [21] Coutinho, A.S.; “Fabrico e propriedades do betão”. Volume I. 2ª edição. Lisboa: LNEC, 1988.
- [22] Habert, G., Billard, C., Rossi, P., Chen, C., & Roussel, N.; “Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives”. *Cement and Concrete Research* 40.5 (2010): 820-826.

- [23] “Diagrama do processo de fabrico - cimento”. Disponível em http://www.cimpor-portugal.pt/output_efile.aspx?id_file=523; Consultado em 20 de agosto de 2016.
- [24] “NP EN 206-1. 2007, Betão, Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade”. Lisboa: IPQ (2007).
- [25] Langer, W., drew, L., & Sachs, J.; “Aggregate and the Environment/Environmental Awareness Series”. Alexandria, VA, EUA: AGI (American Geological Institute) em cooperação com US Geological Survey (2004).
- [26] Ding, T., Xiao, J., & Tam, V. W.; “A closed-loop life cycle assessment of recycled aggregate concrete utilization in China”. Waste Management (2016).
- [27] Gonçalves, R. D. C.; “Agregados reciclados de resíduos de concreto-um novo material para dosagens estruturais”; Universidade de São Paulo (2001).
- [28] “E-Civil-descomplicando a engenharia”. Disponível em <http://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-filler.html>; Consultado em 20 de Agosto de 2016.
- [29] Gonçalves, P., & Brito, J. D.; “Utilização de agregados reciclados em betão. Análise comentada da regulamentação existente”. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa (2008).
- [30] “E 484, Guia para a utilização de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição em caminhos rurais e florestais”; LNEC (2016); ISSN 0870-8592.
- [31] “Processamento e aplicação de RCD em betão”. Disponível em http://jornadas2012.lnec.pt/site_2_Cidades_e_Desenvolvimento/APRESENTACOES_POSTERS/T3_MARTINS_a118.pdf; Consultado em 10 de setembro de 2016.
- [32] de Brito, J., & Gonçalves, A. P; "Viabilidade Económica de Betão com Agregados Grossos Recicladados." (2002).
- [33] Araújo, D. D. L., Felix, L. P., Silva, L., & Santos, T. M. D.; “Influência de agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânicas do concreto”. (2016).
- [34] “E 471, Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligante hidráulicos”; LNEC (2009); ISSN 0870-8592.
- [35] Acero, A. P., Rodríguez, C., & Ciroth, A.; “LCIA methods-Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories”. GreenDelta GmbH, Berlin, Germany (2016).

- [36] Monteiro, A. J.; “Eutrofização”. Departamento de engenharia civil e arquitetura, IST (2004).
- [37] Knoeri, C., Sanyé-Mengual, E., & Althaus, H. J.; “Comparative LCA of recycled and conventional concrete for structural applications”. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18.5 (2013): 909-918.
- [38] Estanqueiro, B., Dinis Silvestre, J., de Brito, J., & Duarte Pinheiro, M.; “Environmental life cycle assessment of coarse natural and recycled aggregates for concrete”. *European Journal of Environmental and Civil Engineering* (2016): 1-21.
- [39] Rangel, M.; “Propriedades do betão auto-compactável com incorporação de agregados grossos reciclados”. Universidade da Beira Interior (2010).
- [40] Ingraio, C., Giudice, A. L., Mbohwa, C., & Clasadonte, M. T.; “Life Cycle Inventory analysis of a precast reinforced concrete shed for goods storage”. *Journal of Cleaner Production* 79 (2014): 152-167.
- [41] Guinée, J. B.; “Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards”. *The international journal of life cycle assessment* 7.5 (2002): 311-313.

ANEXOS

ANEXO A - Fichas técnicas

ANEXO B - Dados dos Betões

Anexo A

Fichas Técnicas

CEM I 42,5R

Cimento Portland



Locais de Produção

Fábrica Secil-Outão
Fábrica Maceira-Liz

Embalagem

Granel
Sacos de 40kg

Certificação

Cimento certificado segundo a NP EN 197-1.
Certificados de Conformidade 0856-CPD-0118 e 0856-CPD-0124.

Composição do Produto (Núcleo Cimento)

95% a 100% Clínquer Portland
0% a 5% Outros Constituintes

Principais Aplicações

O Cimento Portland CEM I 42,5R é um produto de elevada qualidade e performance muito utilizado em obras de engenharia civil e na fabricação de betões de elevada a muito elevada resistência. É também particularmente adaptado aos trabalhos onde se exige uma resistência muito elevada aos primeiros dias após aplicação.

As principais aplicações deste cimento são:

- betão pronto ou fabricado em obra de elevada e muito elevada resistência inicial ou final;
- betões leves de elevada resistência;
- betão com aplicação de pré-esforço a idades jovens;
- betão aplicado em tempo frio;
- prefabricação ligeira preesforçada e pesada com alta rotatividade de moldes e pistas;
- caldas de selagem e injeção.

Principais Características

Cimento de cor cinzenta, com elevado calor de hidratação.

Desenvolvimento rápido de resistências (resistência inicial elevada).

Resistências finais dentro dos valores da classe indicada (resistências aos 28 dias).

Advertências Específicas

O correcto desenvolvimento de resistências é muito sensível ao processo de cura.

- devem tomar-se cuidados para evitar a dissecação de todas as peças betonadas;
- devem evitar-se betonagens em tempo muito quente.

Este cimento permite a fabricação de betões de elevado desempenho mecânico, recomendando-se o estudo prévio de composições para obter a melhor performance.

A utilização deste cimento é compatível com a introdução de adições de hidraulicidade latente e é usual a utilização de adjuvantes para melhoria da trabalhabilidade com eventual redução da relação água/cimento.

Informação de Segurança

O manuseamento do cimento em pó pode causar irritação dos olhos e vias respiratórias. Quando misturado com água pode ainda causar sensibilização da pele. Aconselha-se o uso de máscara anti-poeiras para protecção respiratória, luvas de protecção das mãos, óculos de protecção dos olhos e fato de trabalho para protecção da pele.

Para informação detalhada consulte a Ficha de Dados de Segurança deste produto.

Última actualização

Setembro 2004 - Versão 3

pag. 1 | 2

Características Químicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado (1)
Perda ao Fogo	NP EN 196-2	≤ 5,0%
Resíduo Insolúvel	NP EN 196-2	≤ 5,0%
Teor de Sulfatos (em SO ₃)	NP EN 196-2	≤ 4,0%
Teor de Cloretos	NP EN 196-21	≤ 0,10%

(1) As percentagens são referidas à massa de cimento.

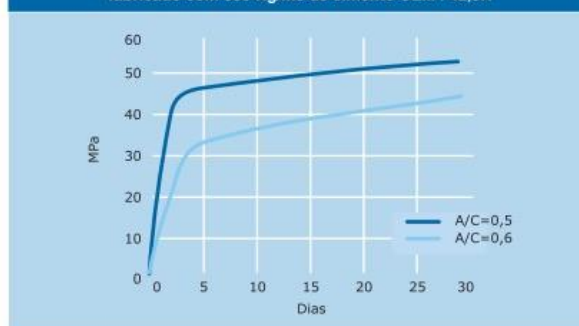
Características Mecânicas

Resistência à Compressão (MPa)			NP EN 196-1
Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência	
2 dias	7 dias	28 dias	
≥ 20	-	≥ 42,5 e ≤ 62,5	

Características Físicas

Propriedades	Método de Ensaio	Valor Especificado
Princípio de Presa	NP EN 196-3	≥ 60 min
Expansibilidade	NP EN 196-3	≤ 10 mm

Valores médios indicativos da resistência à compressão de betão fabricado com 350 Kg/m³ de cimento CEM I 42,5R



Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.

Direção Comercial
Av. das Forças Armadas, 125 6º
1600-079 LISBOA
Tel. 217 927 100 . Fax. 217 936 200

Vendas Norte
Tel. 226 078 410 . Fax. 226 078 411

Vendas Centro
Tel. 244 779 500 . Fax. 244 777 455

Vendas Sul
Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229

Cimento Branco
Tel. 244 587 700 . Fax. 244 589 652

Departamento Técnico-Comercial
Tel. 212 198 280 . Fax. 212 198 229


E-mail - comercial@secil.pt
Site - www.secil.pt

Autoestrada A2,
Ponte de Alcácer do Sal.



Construction


Ficha de Produto
 Edição de Dezembro 2009
 Nº de identificação: 1.28
 Versão nº 5
 Sika® ViscoCrete® 3005



Sika® ViscoCrete® 3005

Superplastificante de alto desempenho

Descrição do produto	Sika® ViscoCrete® 3005 é um superplastificante da terceira geração para betão e argamassa. Cumpre os requisitos da norma NP EN 934-2: T 3.1/3.2, como superplastificante ou forte redutor de água para betão.
Utilizações	<p>Sika® ViscoCrete® 3005 permite obter uma muito forte plastificação e uma boa manutenção de consistência, aliadas a um desenvolvimento rápido das resistências mecânicas.</p> <p>Sika® ViscoCrete® 3005 é especialmente adequado para os seguintes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Betões de Classe igual ou superior a C 30/37, com qualquer consistência, nos quais se pretenda obter uma economia grande de cimento. ■ Betões plásticos com descofagem rápida ou solicitados numa idade curta. ■ Betão muito plástico, fluido ou mesmo autocompactável (BAC) com resistências iniciais melhoradas e com menor custo. ■ Betonagens mais rápidas em época fria. ■ Préfabricação de betão estrutural, em fábrica ou in-situ.
Características / Vantagens	<p>Sika® ViscoCrete® 3005 actua sobre as partículas do ligante por dois mecanismos principais: adsorção superficial e efeito espacial. Ambos concorrem para um efeito dispersante muito intenso, permitindo uma elevada redução da água de amassadura ou um aumento marcado da trabalhabilidade. A combinação de vários polímeros permite atingir uma eficácia elevada com qualquer tipo de cimento.</p> <p>Consegue-se assim:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Um nível de redução de água muito elevado, podendo atingir 20% a 30% conforme a dosagem e a composição; daqui resultam betões com forte aumento de resistências mecânicas, de compacidade elevada e de permeabilidade muito baixa. ■ Um efeito plastificante intenso, permitindo obter, mesmo com forte redução de água, consistências favoráveis para uma colocação fácil. ■ Uma boa manutenção de consistência, que pode atingir as 2 horas a 20°C, dependendo do tipo de cimento, da consistência inicial e da dosagem de adjuvante. ■ Composições adequadas para betão autocompactável (BAC) em obra ou em préfabricação, com bom desenvolvimento de resistências. ■ Um comportamento mais favorável quanto à retracção e quanto à fluência. <p>Sika® ViscoCrete® 3005 é isento de cloretos ou quaisquer outros ingredientes corrosivos para as armaduras, podendo ser usado sem restrições em betão armado e betão pré-esforçado.</p>
Certificados / Boletins de ensaio	Conforme as especificações da norma NP EN 934-2:T3.1/3.2.
Dados do produto	
Aspecto / Cor	Líquido castanho claro, levemente turvo; são possíveis pequenas diferenças de tom, sem influência sobre o desempenho do adjuvante.
Fornecimento	210 kg (200 litros); 1.050 kg (1 m ³); granel



Sika® ViscoCrete® 3005 1/3

Armazenagem e conservação	O produto deve estar armazenado nas embalagens de origem não encetadas e não deterioradas, ao abrigo da radiação do sol e da geada, a temperaturas entre +5 °C e +35 °C. Conserva-se 1 ano após a data de fabrico.
Dados técnicos	
Base química	Combinação de policarboxilatos modificados, em solução aquosa.
Massa volúmica (23 ± 2°C)	1,05 ± 0,02 kg/dm ³ .
pH (23 ± 2°C)	4,0 ± 1,0.
Teor de sólidos	25,5 ± 1,2%.
Teor em iões cloreto	< 0,1%.
Informação sobre o sistema	
Pormenores de aplicação	
Consumo / Dosagem	<p>Conforme o objectivo pretendido, recomenda-se partir das seguintes dosagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Betão facilmente trabalhável, com optimização do teor em cimento: 0,4% a 0,9% do peso do cimento. ■ Betão quase sem vibração e betão autocompactável (BAC): 1,0% a 1,4% do peso do cimento. ■ Betão de consistências S4 ou S5 com os objectivos de combinar optimização do ligante e manutenção de consistência: 1,0% a 1,6% do peso do cimento. ■ Sika® ViscoCrete® 3005, em condições médias, apresenta uma excelente manutenção da consistência. Se for oportuno aumentar a trabalhabilidade, devido a qualquer dificuldade do trabalho em causa, poderá efectuar-se uma redosagem com Sika® ViscoCrete® 3005, desde que o adjuvante seja bem misturado na autobetoneira ou no misturador e desde que não se ultrapasse um total de 1,8%. ■ Dosagens de conformidade com EN 934-2: 0,6% a 0,8% do peso do cimento.
Mistura	<p>Se for possível, deverá preparar-se o betão com apenas cerca de 2/3 da água prevista e adicionar então o adjuvante misturando energicamente cerca de 1 minuto/m³; só então será adicionada mais alguma água até à consistência desejada. Este processo conduz ao aproveitamento máximo do adjuvante e permite controlar convenientemente a razão água/ligante. Se o processo não for viável, então adicionar o produto à água de amassadura previamente determinada e misturar o betão até obter uma mistura homogénea.</p> <p>É importante garantir um tempo mínimo de 1,5 a 2 minutos de amassadura, para obter o efeito pleno do adjuvante.</p> <p>Nunca adicionar o adjuvante ao cimento ou agregados, em seco (redução de eficácia).</p> <p>É possível a adição na autobetoneira desde que seja garantida a uniformidade do betão.</p> <p>No caso de redosagem em obra, deve haver o cuidado de homogeneizar bem o adjuvante na massa do betão. Para isso, recomenda-se uma muito pequena adição de água no recipiente que contém o adjuvante, apenas para reduzir a sua viscosidade e facilitar a sua boa incorporação. O betão deve ser "puxado" acima e o adjuvante deve ser adicionado lentamente, com o tambor a rodar rapidamente; se necessário, inverter o sentido de rotação para ajudar a homogeneização. Tempo de mistura mínimo: 3 minutos.</p>
Aplicação	Sika® ViscoCrete® 3005 permite o fabrico de betão de qualidade, consequentemente devem ser cumpridas as regras de boa prática para o fabrico, a colocação e a cura do betão.

Construction

Compatibilidade	<p>Sika® ViscoCrete® 3005 pode ser combinado com os seguintes produtos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Sika® FerroGard® 901. ■ Sika® Pump. ■ Sika® Rapid. ■ Sikacrete®. <p>Recomenda-se sempre a realização de ensaios prévios.</p>
Limpeza de ferramentas	Com água.
Importante	<p>Recomenda-se a realização de ensaios prévios para se encontrar a dosagem óptima do adjuvante e sempre que se altere a composição do betão. Com geada intensa o adjuvante pode gelar, porém uma vez descongelado lentamente, agitado cuidadosamente e verificada a homogeneidade, poderá voltar a empregar-se.</p> <p>Para qualquer esclarecimento, consultar o Departamento Técnico Sika.</p>
Nota	<p>Todos os dados técnicos referidos nesta Ficha de Produto são baseados em ensaios laboratoriais. Ensaios realizados noutras condições para determinação das mesmas características podem dar resultados diferentes devido a circunstâncias que estão fora do nosso controlo.</p>
Risco e segurança	
Medidas de segurança	<p>Mercadoria não perigosa para transporte.</p> <p>Este produto não está classificado de acordo com a legislação da UE.</p> <p>Para mais informações consultar a Ficha de Dados de Segurança do produto e o respectivo rótulo.</p>

"O produto está seguro na Cº Seguros XL Insurance Switzerland (Apólice nº CH00003018LI05A), a título de responsabilidade civil do fabricante".

A informação e em particular as recomendações relacionadas com aplicação e utilização final dos produtos Sika, são fornecidas em boa fé e baseadas no conhecimento e experiência dos produtos sempre que devidamente armazenados, manuseados e aplicados em condições normais, de acordo com as recomendações da Sika. Na prática, as diferenças no estado dos materiais, das superfícies, e das condições de aplicação em obra, são de tal forma imprevisíveis que nenhuma garantia a respeito da comercialização ou aptidão para um fim em particular, nem qualquer responsabilidade decorrente de qualquer relacionamento legal, poderão ser inferidas desta informação, ou de qualquer recomendação por escrito, ou de qualquer outra recomendação dada. O produto deve ser ensaiado para aferir a adequabilidade do mesmo à aplicação e fins pretendidos. Os direitos de propriedade de terceiros deverão ser observados. Todas as encomendas aceites estão sujeitas às nossas condições de venda e de entrega vigentes. Os utilizadores deverão sempre consultar a versão mais recente da nossa Ficha de Produto específica do produto a que diz respeito, que será entregue sempre que pedida.



Sika Portugal, SA
 R. de Santarém, 113
 4400-292 V. N. Gaia
 Portugal
 Tel. +351 22 377 69 00
 Fax +351 22 370 20 12
 www.sika.pt



Sika® ViscoCrete® 3005 3/3

Anexo B

Dados dos Betões

Legenda para compreensão de dados no Anexo B:

δ_i	Massa volúmica do material i
AF	Areia fina
AG	Areia grossa
a_i	Percentagem unitária do agregado fino i no volume do total dos agregados finos
B1	Brita 3/6
B2	Brita 6/15
BR1	Agregado reciclado 1
BR2	Agregado reciclado 2
BRC10	Betão auto-compactável com 10% de agregados reciclados
BRC20	Betão auto-compactável com 20% de agregados reciclados
BRC30	Betão auto-compactável com 30% de agregados reciclados
BRC40	Betão auto-compactável com 40% de agregados reciclados
BRF	Betão auto-compactável de referência com 0% de agregados reciclados
C_i	Massa do cimento i na mistura
FC	Massa do fíler de calcário na mistura
f_{ci}	Percentagem unitária do cimento i no volume absoluto do total de finos
f_{fc}	Percentagem unitária do fíler calcário no volume absoluto do total de finos
G_i	Massa agregado grosso na mistura
S_i	Massa agregado fino na mistura
Sp	Superplastificante na mistura
Sp/p%	Razão percentual em massa entre as quantidades totais de superplastificante e de materiais finos na mistura
Vg	Volume absoluto do total de agregados grossos da mistura
Vm	Volume absoluto da argamassa na mistura
Vm/Vg	Razão em volume absoluto entre as quantidades de argamassa e de agregados grossos na mistura
Vp	Volume absoluto do total de material fino

V_p/V_s	Razão em volume absoluto entre as quantidades totais de materiais finos e de agregados finos na mistura
V_s	Volume absoluto do total de agregados finos
V_{si}	Volume do agregado fino i na mistura
V_{sp}	Volume de superplastificante da mistura
V_{sp}/V_p	Razão em volume absoluto entre as quantidades de superplastificante e de materiais finos da mistura
V_v	Volume de vazios
V_w	Volume de água na mistura
V_w/V_p	Razão em volume absoluto entre as quantidades totais de água e de materiais finos da mistura
W	Água

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão BRF	Identificação da mistura de finos 40C1+60FC	Data 08-06-2010
--------------------------------------	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,250	0,030	0,800	0,700	0,375

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,400	0,000	0,000	0,000	0,600	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	0	0	0	2720	0

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2570	2610	2710	2700	0

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 2888,00 kg/m³
Vsp/vp= 0,010314
Vg= 0,298462 m³/m³
Vm= 0,671538 m³/m³
Vp= 0,226847 m³/m³
Vw= 0,158793 m³/m³
Vsp= 0,00234 m³/m³
Vs= 0,283559 m³/m³
Vs/Vm= 0,422252

Abertura da malha (mm)	Areia 0/1	Areia 0/5	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,83	0,17	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,85	99,97
2,380	99,94	77,95	96,20
1,190	99,51	42,81	89,87
0,590	82,79	18,22	71,81
0,297	20,53	5,29	17,94
0,149	1,24	1,41	1,27
0,074	0,16	0,37	0,20
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,960	3,545	2,229

Abertura da malha (mm)	B1	B2	-	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,57	0,43	0,00	
agem de passados				
38,100	100,00	100,00	0,00	100,00
25,400	100,00	100,00	0,00	100,00
19,100	100,00	100,00	0,00	100,00
12,700	100,00	86,90	0,00	94,37
9,520	100,00	48,48	0,00	77,85
4,760	61,61	5,10	0,00	37,31
2,380	5,20	2,58	0,00	4,07
1,190	1,13	2,10	0,00	1,54
0,590	0,49	1,62	0,00	0,97
0,297	0,30	1,05	0,00	0,62
0,149	0,20	0,60	0,00	0,38
0,074	0,12	0,26	0,00	0,18
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,311	6,385	9,000	5,772

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros	
C1= 284,92 kg	
C2= 0,00 kg	
CV= 0,00 kg	Massa total, em kg
MS= 0,00 kg	2354,6
FC= 370,21 kg	
FG= 0,00 kg	Razão água/(mat. cimentícios)
W= 158,79 litros	0,557
Sp= 2,34 litros	
S1= 604,86 kg	Razão água/cimento
S2= 125,82 kg	0,557
G1= 451,03 kg	
G2= 346,51 kg	Razão água/finos
G3= 0,00 kg	0,242

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão BRC10	Identificação da mistura de finos 40C1+60FC	Data 09-06-2010
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,250	0,030	0,800	0,700	0,375

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,400	0,000	0,000	0,000	0,600	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	0	0	0	2720	0

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³					
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3	δg4
2570	2610	2710	2700	2509	2485

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

$\delta p = 2888,00 \text{ kg/m}^3$
 $V_{sp/vp} = 0,010314$
 $V_g = 0,298462 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_m = 0,671538 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_p = 0,226847 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_w = 0,158793 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_{sp} = 0,00234 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_s = 0,283559 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_s/V_m = 0,422252$

Abertura da malha (mm)	Areia 0/1	Areia 0/5	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,83	0,17	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,85	99,97
2,380	99,94	77,95	96,20
1,190	99,51	42,81	89,87
0,590	82,79	18,22	71,81
0,297	20,53	5,29	17,94
0,149	1,24	1,41	1,27
0,074	0,16	0,37	0,20
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,960	3,545	2,229

Abertura da malha (mm)	B1	B2	BR1	BR2	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	g4	
	0,513	0,387	0,095	0,005	
Percentagem de passados					
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
19,100	100,00	100,00	100,00	99,42	100,00
12,700	100,00	86,90	100,00	46,17	94,66
9,520	100,00	48,48	99,20	14,13	79,56
4,760	61,61	5,10	21,25	0,43	35,60
2,380	5,20	2,58	5,74	0,27	4,21
1,190	1,13	2,10	0,74	0,23	1,46
0,590	0,49	1,62	0,44	0,22	0,92
0,297	0,30	1,05	0,25	0,21	0,59
0,149	0,20	0,60	0,06	0,20	0,35
0,074	0,12	0,26	0,05	0,18	0,17
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
Módulos de finura					
	5,311	6,385	5,723	6,849	5,773

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros	
C1= 284,92 kg	
C2= 0,00 kg	
CV= 0,00 kg	
MS= 0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>
FC= 370,21 kg	2345,0
FG= 0,00 kg	
W= 158,79 litros	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>
Sp= 2,34 litros	0,557
S1= 604,86 kg	
S2= 125,82 kg	<u>Razão água/cimento</u>
G1= 414,93 kg	0,557
G2= 311,86 kg	
G3= 71,14 kg	<u>Razão água/finos</u>
G4= 3,71 kg	0,242

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão BRC20	Identificação da mistura de finos 40C1+60FC	Data 10-06-2010
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,250	0,030	0,800	0,700	0,375

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,400	0,000	0,000	0,000	0,600	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	0	0	0	2720	0

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³					
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3	δg4
2570	2610	2710	2700	2509	2485

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³					
δsp1	---	---	---	---	---
1050	---	---	---	---	---

$\delta p = 2888,00 \text{ kg/m}^3$
 $V_{sp}/v_p = 0,010314$
 $V_g = 0,298462 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_m = 0,671538 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_p = 0,226847 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_w = 0,158793 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_{sp} = 0,00234 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_s = 0,283559 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_s/V_m = 0,422252$

Abertura da malha (mm)	Areia 0/1	Areia 0/5	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,83	0,17	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,85	99,97
2,380	99,94	77,95	96,20
1,190	99,51	42,81	89,87
0,590	82,79	18,22	71,81
0,297	20,53	5,29	17,94
0,149	1,24	1,41	1,27
0,074	0,16	0,37	0,20
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,960	3,545	2,229

Abertura da malha (mm)	B1	B2	BR1	BR2	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	g4	
	0,456	0,344	0,190	0,010	
Percentagem de passados					
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
19,100	100,00	100,00	100,00	99,42	99,99
12,700	100,00	86,90	100,00	46,17	94,95
9,520	100,00	48,48	99,20	14,13	81,27
4,760	61,61	5,10	21,25	0,43	33,89
2,380	5,20	2,58	5,74	0,27	4,35
1,190	1,13	2,10	0,74	0,23	1,38
0,590	0,49	1,62	0,44	0,22	0,87
0,297	0,30	1,05	0,25	0,21	0,55
0,149	0,20	0,60	0,06	0,20	0,31
0,074	0,12	0,26	0,05	0,18	0,16
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
Módulos de finura					
	5,311	6,385	5,723	6,849	5,774

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros	
C1= 284,92 kg	
C2= 0,00 kg	
CV= 0,00 kg	<u>Massa total em kg</u>
MS= 0,00 kg	2335,4
FC= 370,21 kg	
FG= 0,00 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>
W= 158,79 litros	0,557
Sp= 2,34 litros	
S1= 604,86 kg	<u>Razão água/cimento</u>
S2= 125,82 kg	0,557
G1= 368,83 kg	
G2= 277,21 kg	<u>Razão água/finos</u>
G3= 142,28 kg	0,242
G4= 7,42 kg	

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão BRC30	Identificação da mistura de finos 40C1+60FC	Data 11-06-2010
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,250	0,030	0,800	0,700	0,375

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,400	0,000	0,000	0,000	0,600	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	0	0	0	2720	0

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³					
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3	δg4
2570	2610	2710	2700	2509	2485

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 2888,00 kg/m³
Vsp/vp= 0,010314
Vg= 0,298462 m³/m³
Vm= 0,671538 m³/m³
Vp= 0,226847 m³/m³
Vw= 0,158793 m³/m³
Vsp= 0,00234 m³/m³
Vs= 0,283559 m³/m³
Vs/Vm= 0,422252

Abertura da malha (mm)	Areia 0/1	Areia 0/5	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,83	0,17	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,85	99,97
2,380	99,94	77,95	96,20
1,190	99,51	42,81	89,87
0,590	82,79	18,22	71,81
0,297	20,53	5,29	17,94
0,149	1,24	1,41	1,27
0,074	0,16	0,37	0,20
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,960	3,545	2,229

Abertura da malha (mm)	B1	B2	BR1	BR2	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	g4	
	0,399	0,301	0,285	0,015	
Percentagem de passados					
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
19,100	100,00	100,00	100,00	99,42	99,99
12,700	100,00	86,90	100,00	46,17	95,25
9,520	100,00	48,48	99,20	14,13	82,98
4,760	61,61	5,10	21,25	0,43	32,18
2,380	5,20	2,58	5,74	0,27	4,49
1,190	1,13	2,10	0,74	0,23	1,29
0,590	0,49	1,62	0,44	0,22	0,81
0,297	0,30	1,05	0,25	0,21	0,51
0,149	0,20	0,60	0,06	0,20	0,28
0,074	0,12	0,26	0,05	0,18	0,14
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
Módulos de finura					
	5,311	6,385	5,723	6,849	5,775

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros	
C1= 284,92 kg	
C2= 0,00 kg	
CV= 0,00 kg	
MS= 0,00 kg	<u>Massa total em kg</u>
FC= 370,21 kg	2325,8
FG= 0,00 kg	
W= 158,79 litros	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>
Sp= 2,34 litros	0,557
S1= 604,86 kg	
S2= 125,82 kg	<u>Razão água/cimento</u>
G1= 322,72 kg	0,557
G2= 242,56 kg	
G3= 213,42 kg	<u>Razão água/finos</u>
G4= 11,13 kg	0,242

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS																																																																																																																				
Identificação do betão			Identificação da mistura de finos				Data																																																																																																													
BRC40			40C1+60FC				14-06-2010																																																																																																													
Parâmetros da composição					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia 0/1</th> <th>Areia 0/5</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,83</td> <td>0,17</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,85</td> <td>99,97</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,94</td> <td>77,95</td> <td>96,20</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,51</td> <td>42,81</td> <td>89,87</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>82,79</td> <td>18,22</td> <td>71,81</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>20,53</td> <td>5,29</td> <td>17,94</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>1,24</td> <td>1,41</td> <td>1,27</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>0,16</td> <td>0,37</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,960</td> <td>3,545</td> <td>2,229</td> </tr> </tbody> </table>					Abertura da malha (mm)	Areia 0/1	Areia 0/5	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,83	0,17		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,85	99,97	2,380	99,94	77,95	96,20	1,190	99,51	42,81	89,87	0,590	82,79	18,22	71,81	0,297	20,53	5,29	17,94	0,149	1,24	1,41	1,27	0,074	0,16	0,37	0,20	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,960	3,545	2,229																																																	
Abertura da malha (mm)	Areia 0/1	Areia 0/5	Mistura (Curva Real)																																																																																																																	
	a1	a2																																																																																																																		
	0,83	0,17																																																																																																																		
Percentagem de passados																																																																																																																				
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																	
4,760	100,00	99,85	99,97																																																																																																																	
2,380	99,94	77,95	96,20																																																																																																																	
1,190	99,51	42,81	89,87																																																																																																																	
0,590	82,79	18,22	71,81																																																																																																																	
0,297	20,53	5,29	17,94																																																																																																																	
0,149	1,24	1,41	1,27																																																																																																																	
0,074	0,16	0,37	0,20																																																																																																																	
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																	
Módulos de finura																																																																																																																				
	1,960	3,545	2,229																																																																																																																	
Vm/Vg	Vv (m³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																
2,250	0,030	0,800	0,700	0,375																																																																																																																
Composição da mistura de finos																																																																																																																				
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																															
0,400	0,000	0,000	0,000	0,600	0,000																																																																																																															
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																																																																				
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																															
3140	0	0	0	2720	0																																																																																																															
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																																																																				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3	δg4																																																																																																															
2570	2610	2710	2700	2509	2485																																																																																																															
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																																																																				
δsp1	---	---	---	---	---																																																																																																															
1050	---	---	---	---	---																																																																																																															
<p>δp= 2888,00 kg/m³ Vsp/vp= 0,010314</p> <p>Vg= 0,298462 m³/m³ Vm= 0,671538 m³/m³ Vp= 0,226847 m³/m³ Vw= 0,158793 m³/m³ Vsp= 0,00234 m³/m³ Vs= 0,283559 m³/m³ Vs/Vm= 0,422252</p>																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>B1</th> <th>B2</th> <th>BR1</th> <th>BR2</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>g1</th> <th>g2</th> <th>g3</th> <th>g4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,342</td> <td>0,258</td> <td>0,380</td> <td>0,020</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>38,100</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>25,400</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>19,100</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>99,42</td> <td>99,99</td> </tr> <tr> <td>12,700</td> <td>100,00</td> <td>86,90</td> <td>100,00</td> <td>46,17</td> <td>95,54</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>48,48</td> <td>99,20</td> <td>14,13</td> <td>84,69</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>61,61</td> <td>5,10</td> <td>21,25</td> <td>0,43</td> <td>30,47</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>5,20</td> <td>2,58</td> <td>5,74</td> <td>0,27</td> <td>4,63</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>1,13</td> <td>2,10</td> <td>0,74</td> <td>0,23</td> <td>1,21</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>0,49</td> <td>1,62</td> <td>0,44</td> <td>0,22</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>0,30</td> <td>1,05</td> <td>0,25</td> <td>0,21</td> <td>0,47</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>0,20</td> <td>0,60</td> <td>0,06</td> <td>0,20</td> <td>0,25</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>0,12</td> <td>0,26</td> <td>0,05</td> <td>0,18</td> <td>0,13</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,15</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5,311</td> <td>6,385</td> <td>5,723</td> <td>6,849</td> <td>5,775</td> </tr> </tbody> </table>					Abertura da malha (mm)	B1	B2	BR1	BR2	Mistura (Curva Real)	g1	g2	g3	g4		0,342	0,258	0,380	0,020		Percentagem de passados						38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	19,100	100,00	100,00	100,00	99,42	99,99	12,700	100,00	86,90	100,00	46,17	95,54	9,520	100,00	48,48	99,20	14,13	84,69	4,760	61,61	5,10	21,25	0,43	30,47	2,380	5,20	2,58	5,74	0,27	4,63	1,190	1,13	2,10	0,74	0,23	1,21	0,590	0,49	1,62	0,44	0,22	0,76	0,297	0,30	1,05	0,25	0,21	0,47	0,149	0,20	0,60	0,06	0,20	0,25	0,074	0,12	0,26	0,05	0,18	0,13	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	Módulos de finura							5,311	6,385	5,723	6,849	5,775
						Abertura da malha (mm)	B1	B2	BR1		BR2	Mistura (Curva Real)																																																																																																								
					g1		g2	g3	g4																																																																																																											
						0,342	0,258	0,380	0,020																																																																																																											
					Percentagem de passados																																																																																																															
					38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																										
					25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																										
					19,100	100,00	100,00	100,00	99,42	99,99																																																																																																										
					12,700	100,00	86,90	100,00	46,17	95,54																																																																																																										
					9,520	100,00	48,48	99,20	14,13	84,69																																																																																																										
4,760	61,61	5,10	21,25	0,43	30,47																																																																																																															
2,380	5,20	2,58	5,74	0,27	4,63																																																																																																															
1,190	1,13	2,10	0,74	0,23	1,21																																																																																																															
0,590	0,49	1,62	0,44	0,22	0,76																																																																																																															
0,297	0,30	1,05	0,25	0,21	0,47																																																																																																															
0,149	0,20	0,60	0,06	0,20	0,25																																																																																																															
0,074	0,12	0,26	0,05	0,18	0,13																																																																																																															
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00																																																																																																															
Módulos de finura																																																																																																																				
	5,311	6,385	5,723	6,849	5,775																																																																																																															

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros	
C1= 284,92 kg	
C2= 0,00 kg	
CV= 0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>
MS= 0,00 kg	2316,1
FC= 370,21 kg	
FG= 0,00 kg	<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>
W= 158,79 litros	0,557
Sp= 2,34 litros	
S1= 604,86 kg	<u>Razão água/cimento</u>
S2= 125,82 kg	0,557
G1= 276,62 kg	
G2= 207,91 kg	<u>Razão água/finos</u>
G3= 284,56 kg	0,242
G4= 14,83 kg	