

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO
ESCOLA DE CIÊNCIAS DA VIDA E DO AMBIENTE

**SUSTENTABILIDADE DE PAREDES COM RECURSO À ANÁLISE DO CICLO DE
VIDA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM
ENGENHARIA DO AMBIENTE

JORGE RAFAEL ALVES CUNHA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Afonso de Moura Teixeira

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Isabel Maria da Assunção de Marta Oliveira Bentes



UTAD

Vila Real, 2016

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO
ESCOLA DE CIÊNCIAS DA VIDA E DO AMBIENTE

**SUSTENTABILIDADE DE PAREDES COM RECURSO À ANÁLISE DO CICLO DE
VIDA**

JORGE RAFAEL ALVES CUNHA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Afonso de Moura Teixeira

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Isabel Maria da Assunção de Marta Oliveira Bentes

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

Para obtenção do grau de

MESTRE

em Engenharia do Ambiente, de acordo com o disposto no
DR – I série – A, Decreto-Lei n.º 74/2006 de 24 de Março com as alterações introduzidas pelos
Decretos-Leis n.º 107/2008, de 25 de Junho, e 230/2009, de 14 de Setembro, e demais
legislação aplicável e no Regulamento de Ciclo de Estudos Conducente ao Grau de Mestre da
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
DR, 2.ª série – n.º 149/2011 de 4 de Agosto

UTAD

Vila Real, 2016

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO
ESCOLA DE CIÊNCIAS DA VIDA E DO AMBIENTE

**SUSTENTABILIDADE DE PAREDES COM RECURSO À ANÁLISE DO CICLO DE
VIDA**

JORGE RAFAEL ALVES CUNHA

Orientador: Prof. Dr. Carlos Afonso de Moura Teixeira

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Isabel Maria da Assunção de Marta Oliveira Bentes

Composição do Júri

“Nada se consegue sem esforço,
persistência, teimosia e gosto. A começar por este.”
- *Pedro Marques*

Agradecimentos

A concretização deste trabalho não seria possível sem a preciosa colaboração por parte dos meus orientadores: Professor Doutor Carlos Afonso, e Professora Doutora Isabel Bentes.

A ambos agradeço o apoio e a crítica em todas as fases do trabalho, assim como pela orientação ao longo de todo o processo.

Agradeço aos meus colegas e professores do Mestrado em Engenharia do Ambiente da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, que me proporcionaram dois interessantes anos de troca de conhecimentos e experiências.

Por fim, agradeço à minha família, especialmente aos meus pais, irmão e à Susana, sem os quais nada seria possível.

E a outros que mereciam ser aqui lembrados,

A todos, o meu muito obrigado!

Resumo

A Sustentabilidade é um assunto premente na nossa sociedade, tendo um foco relevante na indústria da construção civil. O principal objetivo deste trabalho pretende explorar o contributo da Análise do Ciclo de Vida (ACV) para aumentar o conhecimento de sustentabilidade ambiental associado à construção de diferentes tipos de soluções construtivas (paredes interiores): i) parede de tabique; ii) parede de alvenaria de tijolo cerâmico; iii) parede de alvenaria de blocos de betão; iv) parede de gesso cartonado (Pladur).

Para atingir este objetivo foi considerado o ciclo de vida *cradle to the gate* para cada solução construtiva, que inclui aquisição de matérias-primas, fabricação de elementos, o transporte para o local de construção, e a edificação das paredes. Foi ainda utilizada a unidade funcional de 1 m² de parede para a elaboração do perfil ambiental. Com base nestes dados, a análise de sustentabilidade foi aplicada segundo a normalização ISO 14040-44, 2006, que prevê regras com base na ACV, utilizando o software GaBi Education 6.0, através do método CML 2011, aplicando as categorias de impacte ambiental (potencial de acidificação; potencial de eutrofização; potencial de aquecimento global; potencial de toxicidade humana; potencial de depleção de ozono estratosférico).

Os resultados mostraram que a parede de pladur é a que apresenta menor impacte ambiental. Por oposição, a parede de alvenaria de blocos de betão é a que apresenta maior impacte ambiental.

Palavras-chave: ACV, sustentabilidade, parede interior, impactes ambientais

Abstract

Sustainability is a relevant matter in our society and of particular relevance for the construction industry. The main goal of this research is to explore the contribution of the Life Cycle Analysis to increase the environmental sustainability awareness, associated with the construction of different types of constructive solutions (interior walls): i) partition wall; ii) ceramic brick masonry wall; iii) concrete block masonry wall; iv) plasterboard wall (Pladur).

To achieve this goal, it was considered the cradle-to-gate life cycle for each constructive solution, which includes the acquirement of raw materials, the production of elements, the transportation to where the construction is held and the building of walls. The functional unit of 1^m² of wall was yet used for the creation of an environmental profile. Based on these data, the sustainability analysis was performed according to ISO 14040-44:2006 norm, which provides regulations with basis on LCA, using the *GaBi 6.0 Education software*, through the CML 2011 method, applying environmental impact categories (acidification potential; eutrophication potential; global warming potential; human toxicity potential; stratospheric ozone depletion potential).

The results showed that the plasterboard wall is the one with less environmental impact. On the other hand, the concrete block masonry wall is the one with the biggest environmental impact.

Keywords: LCA, sustainability, interior walls, environmental impacts

Índice

Agradecimentos.....	IX
Resumo	XI
Abstract	XIII
Índice de Figuras.....	XVII
Índice de Tabelas	XIX
Lista de Abreviaturas	XXI
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos	4
2. Sustentabilidade de Paredes Interiores.....	5
2.1. Soluções Construtivas de Paredes Interiores.....	5
2.1.1. Exigências funcionais das paredes interiores	5
2.1.2. Paredes interiores.....	6
2.1.3. Impactes ambientais da construção de paredes interiores.....	17
2.2. Análise do ciclo de vida.....	20
2.2.1. Etapas da análise do ciclo de vida.....	22
2.2.2. Limitações da análise do ciclo de vida	24
2.2.3. Software.....	25
2.3. Aplicação de análise do ciclo de vida a paredes interiores.....	31
3. Avaliação de Impacte Ambiental de Paredes Interiores	33
3.1. Metodologia utilizada para avaliação de impacte ambiental de paredes interiores.....	33
3.2. Soluções construtivas.....	40
3.2.1. Parede de tabique.....	40
3.2.2. Parede de alvenaria de tijolo cerâmico	43
3.2.3. Parede de alvenaria de blocos de betão.....	46
3.2.4. Parede pladur.....	49
3.3. Síntese de inventário	52
4. Análise Sustentabilidade.....	55
4.1. Análise de impacte ambiental.....	55
4.2. Análise dos resultados	56
4.3. Síntese.....	65

5. Conclusões e Trabalhos Futuros.....	67
5.1. Conclusões	67
5.2. Trabalhos futuros.....	67
6. Referências Bibliográficas	69
Anexos	77

Índice de Figuras

Figura 1 – Evolução das preocupações no sector da construção civil.....	2
Figura 2 – Parede de tabique.	7
Figura 3 – Parede de alvenaria de tijolo cerâmico.....	12
Figura 4 – Parede de alvenaria de blocos de betão.....	14
Figura 5 – Parede de gesso cartonado (Pladur).	15
Figura 6 – Impacte ambiental do uso de elementos construtivos numa casa típica.	18
Figura 7 – Ciclo de vida de um produto.	22
Figura 8 – Fases da Análise do Ciclo de Vida.....	23
Figura 9 – Elementos da AIACV.	24
Figura 10 – Limite do sistema de produto.	38
Figura 11 – Fluxo de ACV das paredes interiores.	39
Figura 12 – Árvore de processo da parede de tabique.....	41
Figura 13 – Fronteira do sistema parede de tabique.	42
Figura 14 – Árvore de processo da parede de alvenaria de tijolo cerâmico.	44
Figura 15 – Fronteira do sistema parede de alvenaria de tijolo cerâmico.	45
Figura 16 – Árvore de processo da parede de alvenaria de blocos de betão.	47
Figura 17 – Fronteira do sistema parede de alvenaria de blocos de betão.	48
Figura 18 – Árvore de processo da parede pladur.	50
Figura 19 – Fronteira do sistema parede de pladur.	51
Figura 20 – Indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede de tabique.	57
Figura 21 – Indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede de alvenaria de tijolo cerâmico (espessura do elemento tijolo 0,07 m).	58
Figura 22 – Indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede de alvenaria de tijolo cerâmico (espessura do elemento tijolo 0,11 m).	60
Figura 23 – Indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede de alvenaria de blocos de betão.	61
Figura 24 – Indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede Pladur.	64

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Traço volumétrico de argamassa de assentamento.....	8
Tabela 2 – Traço da argamassa de revestimento.....	8
Tabela 3 – Caraterização dos materiais.....	9
Tabela 4 – Caraterísticas da parede de alvenaria de tijolo cerâmico.....	12
Tabela 5 – Caraterização da categoria de impacte depleção abiótica de recursos.....	26
Tabela 6 – Caraterização da categoria de impacte aquecimento global.....	27
Tabela 7 – Caraterização da categoria de impacte depleção de ozono estratosférico.....	27
Tabela 8 – Caraterização da categoria de impacte toxicidade humana.....	28
Tabela 9 – Caraterização da categoria de impacte ecotoxicidade.....	28
Tabela 10 – Caraterização da categoria de impacte oxidação fotoquímica.....	28
Tabela 11 – Caraterização da categoria de impacte acidificação.....	29
Tabela 12 – Caraterização da categoria de impacte eutrofização.....	29
Tabela 13 – Caraterização <i>cradle to the gate</i> de impacte ambiental associado a paredes interiores.....	32
Tabela 14 – Fontes de informação utilizadas.....	34
Tabela 15 – Alocação e ajustamentos considerados no inventário da ACV.....	34
Tabela 16 – Matéria-prima e processos que estão incluídos no sistema, indicando a sua fonte, e o país a que se referem.....	36
Tabela 17 – Categorias de impacte ambiental.....	40
Tabela 18 – Medidas e quantitativos da parede de tabique.....	41
Tabela 19 – Traço e composição mineralógica do solo argiloso para a argamassa terrosa.....	42
Tabela 20 – Caraterísticas dos tijolos cerâmicos de 7 e de 11.....	44
Tabela 21 – Materiais e composição das argamassas.....	44
Tabela 22 – Alocação de componentes na alvenaria de blocos de betão referente à alvenaria de tijolo cerâmico.....	47
Tabela 23 – Caraterísticas do bloco e da parede de alvenaria de blocos de betão.....	48
Tabela 24 – Caraterísticas da placa e da parede de pladur.....	50
Tabela 25 – Entradas de dados quantitativos das quatro paredes de interior, estipuladas para a UF.....	52
Tabela 26 – Saídas de dados quantitativos das quatro paredes de construção de interior, que têm como destino final o meio ambiente.....	53
Tabela 27 – Perfil ambiental com o ciclo <i>cradle to the gate</i> associado às quatro paredes interiores estudadas.....	55

Lista de Abreviaturas

ACV – Análise do Ciclo de Vida

AIACV – Avaliação de Impacte Ambiental do Ciclo de Vida

AP – Categoria de Impacte Acidificação

CML – Método de avaliação de impacte ambiental

EP – Categoria de Impacte Eutrofização

GWP – Categoria de Impacte Aquecimento Global

HTP – Categoria de Impacte Toxicidade Humana

ICV – Inventário Ciclo de Vida

ISO 14040 – Gestão ambiental “Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura”

ISO 14044 – Gestão ambiental “Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações”

ODP – Categoria de Impacte Depleção de Ozono Estratosférico

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

UF – Unidade Funcional

UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro



Introdução

Esta Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, da Escola de Ciências da Vida e do Ambiente (ECVA), da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), incide sobre a análise da sustentabilidade ambiental de paredes interiores com recurso à Análise do Ciclo de Vida (ACV).

É notória a crescente preocupação da sociedade civil com as questões ambientais, evidenciando-se no projeto Eurobarómetro realizado pela União Europeia (UE) que tem como objetivo mostrar a opinião dos cidadãos europeus face aos aspetos ambientais de cada país, pertencente à zona europeia, sendo apresentados os resultados sob a forma de estatística. Posto isto, salienta-se que segundo European Commission (2014a) a nível geral, dos 28 estados membros da UE, “95% dos cidadãos interrogados consideram que proteger o meio ambiente é importante para eles pessoalmente”; “mais de três quartos dos europeus concordam que os problemas ambientais têm um efeito direto sobre suas vidas diárias (77%)”; “85% dos europeus acreditam que podem desempenhar um papel na proteção do Ambiente”; “a grande maioria dos europeus estão dispostos a pagar mais por produtos ecologicamente corretos (75%)”.

Quando foram inquiridos os cidadãos europeus sobre que ações devem ser tomadas na utilização eficiente dos recursos, 50% referem a redução e reciclagem de resíduos na indústria e na construção European Commission (2014b). Indo de encontro à opinião dos cidadãos, segundo Pargana *et al.* (2014) os quatro setores de atividade que mais contribuem para o consumo de recursos energéticos são os sectores da construção (residencial/comercial), da indústria, dos transportes e da agricultura.

A nível nacional, os cidadãos portugueses estão a aumentar a suas preocupações pelo ambiente, que segundo European Commission (2014c) 54% dos portugueses inquiridos referem que a proteção do ambiente é muito importante (+3% do que na anterior avaliação 2011) e 43% dos portugueses referem que a proteção do ambiente é importante, fazendo um total de 97% dos inquiridos cidadãos portugueses preocupados com esta temática.

Está provado que os cidadãos europeus e portugueses estão preocupados com as questões intrínsecas do meio ambiente e Silva e Gabriel (2007) salientam mesmo que os

cidadãos requerem maior e melhor informação sobre o meio ambiente, e sobretudo informação adaptada à sua realidade. Como tal, importa conhecer os impactos que resultam da atividade de construção de paredes interiores para os cidadãos poderem ser informados das consequências ambientais.

A sustentabilidade de sistemas de construção depende das matérias-primas, do consumo de energia, e do conseqüente impacto ambiental (Rincón *et al.*, 2013). Segundo Guerra (2013), a construção sustentável expõe novas noções e novos métodos de equacionar a conceção, construção, operação e demolição de um projeto. Tradicionalmente, as preocupações focavam-se na qualidade do produto, no tempo e custos associados, como demonstra a Figura 1, enquanto na construção sustentável, consideram-se preocupações ambientais relacionadas com o consumo de recursos, emissões de poluentes e impacto na biodiversidade, o que constitui um novo paradigma cujo desafio principal é contribuir para a qualidade ambiental, para o desenvolvimento económico e para a equidade social.

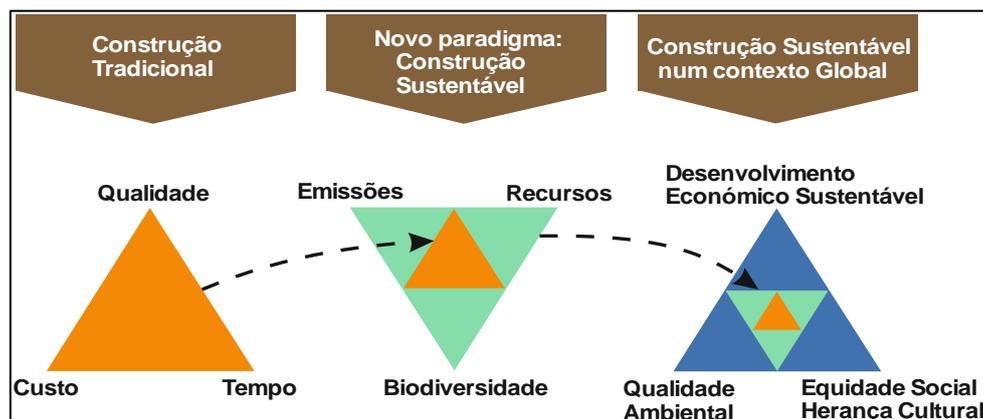


Figura 1 – Evolução das preocupações no sector da construção civil, (adaptado de Pinheiro (2006)).

Com a crescente consciencialização dos problemas globais, tais como a degradação da camada do ozono, as chuvas ácidas, o aquecimento global, entre outras, as questões ambientais passaram a ser percecionadas não só a nível da sua repercussão como ao nível do processo produtivo (Vasconcelos, 2014). Compreendeu-se portanto a necessidade de compatibilizar tais processos com o conceito de desenvolvimento sustentável (Pinheiro, 2006).

A Sustentabilidade é agora um foco relevante na indústria da construção civil e, em particular, as preocupações ambientais relacionadas com a construção de edifícios têm sofrido um crescimento entre os potenciais compradores e os engenheiros civis

(Anastaselos *et al.*, 2009). As organizações também procuram saber como tornar as suas orientações para a sustentabilidade mensuráveis, como inserir a sustentabilidade nas suas operações diárias e como tornar as suas iniciativas para a sustentabilidade numa vantagem competitiva, e a ACV é globalmente reconhecida como o método líder no cálculo da sustentabilidade de produtos, uma vez que pode-se quantificar uma vasta gama de aspetos ambientais promovendo uma compreensão profunda dos impactes associados ao ciclo de vida (Brasil, 2015).

A maioria dos estudos que aplicam ACV para analisar o impacte ambiental no sector da construção, estão focados, principalmente, em analisar o desempenho energético (Iribarren *et al.*, 2015), mas também a maioria são realizados em "edifícios exemplares", isto é, edifícios que tenham sido concebidos e construídos como edifícios de baixo consumo energético. No entanto, existe um número reduzido de estudos sobre "edifícios tradicionais", ou seja, os edifícios que mais frequentemente se encontram nas nossas cidades e freguesias (Cabeza *et al.*, 2014), e como tal, surge então a oportunidade de divulgar os resultados provenientes deste trabalho.

A análise aos desempenhos ambientais das paredes interiores resultam de diferentes fases, nomeadamente da fase de extração de matérias-primas, mas também das restantes fases do ciclo de vida (fase da produção e fase de utilização).

Devido ao facto de o software GaBi LCA admitir uma percentagem de Matéria Orgânica (MO) para o aterro, contribuiu para a escolha do ciclo de vida *cradle to the gate*, isto porque, os resíduos provenientes da demolição de paredes não contêm MO, logo a não inclusão da fase destino final (o que corresponderia ao ciclo de vida *cradle to the grave*).

Para se avaliar a sustentabilidade de paredes interiores, recorre-se à análise do ciclo de vida que é uma ferramenta reconhecida, internacionalmente, através da anexação da International Organization for Standardization para avaliar o desempenho ambiental de produtos e processos. Apesar de ter algumas limitações, a ACV ainda é uma poderosa ferramenta de base científica para avaliar os impactes ambientais no sector da construção (Buyle *et al.*, 2013).

Havendo um conhecimento científico mais aprofundado sobre a sustentabilidade das paredes interiores, haverá certamente maior sensibilização dos cidadãos para perceber o impacte que tem a sua escolha relativamente á construção de determinada parede interior,

e para além disso, a inovação tecnológica que poderá advir do conhecimento desta temática. Todos estes factos aliados à existência de poucos trabalhos científicos neste contexto e, em particular, que incidam em paredes interiores, são motivos que justificam a realização deste trabalho de investigação.

1.1. Objetivos

Face ao exposto, desenvolveu-se um trabalho de investigação com os seguintes objetivos:

- Avaliar a sustentabilidade ambiental de quatro diferentes soluções construtivas com recurso à ACV, considerando o ciclo de vida *cradle to the gate*.
- Estudar no ciclo de vida, o contributo dos diferentes processos para cada solução construtiva: parede de tabique (estrutura de madeira, argamassa terrosa, caiado, transporte); parede de alvenaria de tijolo cerâmico com diferentes espessuras do elemento tijolo (tijolo 7, tijolo 11, argamassa, transporte); parede de alvenaria de blocos de betão (bloco, argamassa, transporte) e parede de gesso cartonado (placa de pladur, perfil metálico e acabamento).



Sustentabilidade de Paredes Interiores

Neste capítulo, em formato de revisão bibliográfica, abordam-se conceitos técnicos e teóricos sobre as soluções construtivas de paredes interiores usualmente utilizadas em Portugal, bem como os impactos ambientais a elas associados. Para além disso realizou-se uma abordagem ao conceito de Análise do Ciclo de Vida (ACV).

2.1. Soluções Construtivas de Paredes Interiores

As soluções construtivas mais utilizadas na construção de paredes interiores de edifícios em Portugal estão, sobretudo, baseadas em alvenarias de tijolos cerâmicos furados ou de blocos de betão corrente, onde estes elementos são sobrepostos, solidarizados por meio de um ligante (argamassa), podendo ainda integrar elementos de reforço (varões metálicos, ligadores, entre outros) (Vasconcelos et al., 2012). Embora também se recorra às soluções construtivas como a parede de tabique e a parede de gesso cartonado (pladur) em minoria em relação às anteriores (Dias *et al.*, 2012), e cada uma delas construída consoante as designações particulares de cada uma (Lourenço, 1999).

2.1.1. Exigências funcionais das paredes interiores

O estabelecimento das exigências funcionais para os edifícios corresponde à necessidade de responderem à satisfação das privações dos seus utilizadores (Sousa e Silva, 2000).

As funções das paredes são as seguintes: estabilidade física; segurança ao fogo; segurança na utilização; estanquidade; conforto higrotérmico; ambiente atmosférico; conforto acústico; conforto visual; conforto tátil; higiene; adaptação à utilização; durabilidade; compartimentação dos espaços; isolamento acústico e condicionar as canalizações.

Hoje exige-se dos materiais a aplicar nas paredes, um comportamento adequado para o isolamento térmico e acústico, e a possibilidade de se comportarem como elementos resistentes da estrutura da habitação (Sousa e Silva, 2000).

A construção das paredes interiores segundo Mascarenhas (2003), revela-se mais simples, tendo como funções primordiais: a compartimentação dos espaços de um edifício sendo que, em muitos casos devem assegurar isolamento acústico e condicionar as canalizações.

2.1.2. Paredes interiores

Existem três tipos de soluções de alvenaria mais usuais que se designam por simples, armada e confinada. A alvenaria confinada é caracterizada como um sistema de paredes executadas rigidamente entre vigas e pilares, ou cintas e montantes construtivos de pequena dimensão e ligeiramente armados nos quatro lados (sem a intenção de se comportarem como uma estrutura rígida e a alvenaria armada, constitui os principais alinhamentos de definição estrutural, destinadas a resistir a esforços verticais e horizontais (Gouveia *et al.*, 2007).

Sendo que, a utilizada neste trabalho é a alvenaria simples, que se caracteriza por um conjunto de unidades de alvenaria dispostas de forma definida e ligadas por argamassa, sem recurso a outros tipos de elementos resistentes.

Os quatro tipos de parede interiores utilizados neste trabalho são:

a) **Parede de tabique**

O tabique faz parte integrante de um estilo de construção marcante no panorama do património construído português que imperou até inícios do século XX (Pinto *et al.*, 2011).

É um tipo de construção em terra crua, sendo que as três principais técnicas construtivas tradicionais portuguesas que a usam como material de construção para além do tabique são a taipa e o adobe (Lourenço, 2002).

A parede tabique diferencia-se do adobe e da taipa dado que recorre a uma estrutura de madeira (maciça ou reticulada) formada por tábuas verticais e por fasquios, que, por

sua vez, são preenchidos e revestidos por argamassa terrosa (solo argiloso simples com adição de água) (Pinto *et al.*, 2011). Ainda o mesmo autor salienta que a argamassa terrosa desempenha uma função importante, porque para além de proteger a estrutura de madeira em relação ao ataque dos agentes biológicos também permite interligar os elementos de madeira (tábua vertical e fasquio).

A estrutura de madeira utiliza o pinheiro (*Pinus pinaster*), o castanheiro (*Castanea sativa*), o choupo (*Populus sp*) ou então a tília (*Tília cordata*), contudo a espécie de madeira varia consoante a sua abundância nas redondezas da construção (Pinto *et al.*, 2011). Os elementos de madeira são ligados por pregagem e o enchimento é feito em argamassa terrosa também local. Deve-se aplicar um caiado que constitui a camada de revestimento, para consolidar e proteger a argamassa terrosa (reboco de assentamento). Todas estas características da parede de tabique estão representadas na Figura 2.

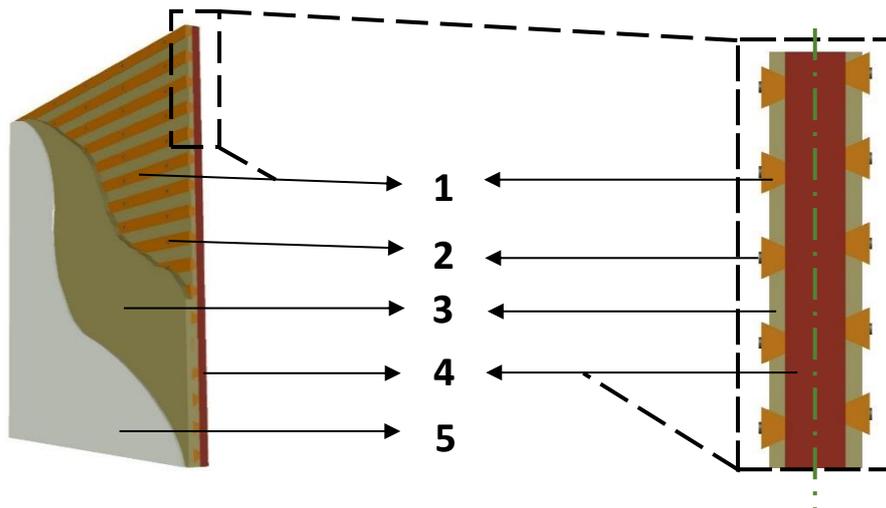


Figura 2 – Parede de tabique. 1- Fasquio; 2- Prego; 3- Argamassa de Assentamento Terrosa; 4- Madeira Vertical; 5- Caiado.

Este sistema construtivo pode ser visto como uma estrutura mista, em que a capacidade resistente é essencialmente conferida pela estrutura de madeira, e a argamassa é considerada como um elemento secundário, de enchimento (Carvalho, 2009).

Os edifícios existentes com paredes de tabique comprovam que estes elementos construtivos podem oferecer uma durabilidade de acordo com a exigida pelos padrões de qualidade atuais, e as dimensões globais destas paredes (largura, altura, espessura) são muito variáveis de edifício para edifício (Pinto *et al.*, 2011).

b) Paredes de alvenaria

As alvenarias são um elemento construtivo composto por elementos tais como o tijolo cerâmico ou o bloco de betão, pela argamassa de assentamento, e rebocada com argamassa de revestimento (Sousa e Silva, 2000).

As juntas de assentamento das paredes de alvenaria têm as seguintes funções principais, segundo Sousa e Silva (2000): solidificar os elementos; distribuir e uniformizar a tensão de contacto entre elementos, permitindo que estes apresentem pequenas irregularidades superficiais ou desvios geométricos, sem que daí resultem roturas localizadas; aumentar a resistência ao corte e à tração da parede e contribuir para a estanquidade da parede, impedindo o atravessamento desta por fluxos de ar ou água.

A espessura da junta de argamassa de assentamento também tem grande influência no comportamento mecânico das paredes. Sousa e Silva (2000) indicam que as juntas devem ter entre 0,8 a 1,2 cm de espessura e preencher totalmente a ligação entre os elementos, quer na vertical, quer na horizontal. Segundo (Sahlin (1971) citado por Filho, 2007), a espessura ideal das juntas de assentamento (horizontais e verticais) situa-se em torno de 1,0 cm. Mesmo (Mohamad (1998) citado por Filho, 2007) afirma que juntas com espessura inferior a 1,0 cm não tem capacidade de acomodar as fissuras na alvenaria.

Os traços volumétricos das argamassas tradicionais variam de obra para obra, sem se ter em consideração fatores muito variáveis como a extração das areias e o seu armazenamento. O traço volumétrico mais utilizado na composição da argamassa de assentamento em alvenaria proposto por (CEN, 2005) é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Traço volumétrico de argamassa de assentamento.

Cimento	Cal hidratada	Areia
1	$1/2 - 3/4$	5 – 6

Segundo Branco (1993) o traço que deve ser aplicado na composição da argamassa de revestimento em alvenaria é o apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Traço da argamassa de revestimento.

Aglomerados				Inerte	
Cal hidratada		Cimento Portland		Areia	
Partes	kg	Partes	kg	Partes	m ³
4	250	2	200	12	1,2

O cimento Portland, a cal hidratada (aérea), e algumas características destes ligantes são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização dos materiais, (adaptado de (Sousa e Silva, 2000)), (Camões et al., 2010) e (Ferreira e Farinha, 1977).

Caraterísticas	Cimento Portland	Cal Hidratada	Areia
Baridade (kg/m ³)	1200	700	1600
Massa volúmica absoluta (kg/m ³)	3150	2300	2620
Água unitária de amassadura (L/kg)	0,26	0,15	0,144

Relativamente à análise da composição das argamassas de assentamento e revestimento para a alvenaria de tijolo cerâmico e alvenaria de blocos de betão, a análise foi baseada no manual de alvenaria de tijolo (Sousa e Silva, 2000).

$$M = V \times \rho \quad [1]$$

Onde, (M) é a massa, que se poderá calcular pelo produto entre o volume aparente (V) e a massa volúmica aparente (ρ).

Numa mistura, somaremos os volumes:

$$ci + ar + a + 0,01 \times v \times X = X$$

$$ci = \frac{Ci}{\mu_{ci}} \quad [2]$$

Onde, (ci) é o volume absoluto de cimento, que se poderá calcular pelo quociente entre a sua massa (Ci) e a massa volúmica absoluta (μ_{ci}).

$$ar = \frac{Ar}{\mu_{ar}} \quad [3]$$

Onde, (ar) é o volume absoluto de areia, que se poderá calcular pelo quociente entre a sua massa (Ar) e a massa volúmica absoluta (μ_{ar}).

Para a escolha da areia adequada, com o apoio de normas existentes, podemos conhecer as massas volúmicas absolutas e aparentes, assim como a sua granulometria, depois aproveitando a análise granulométrica, poder-se-á conhecer a água unitária de amassadura (litro de água / kg de areia) (Sousa e Silva, 2000).

$$a = \frac{a_{ci} \times Ci + a_{ar} \times Ar}{\rho} \quad [4]$$

Onde, (a) é o volume de água de amassadura constituída pelo produto entre a água unitária de amassadura do cimento (a_{ci}) e a sua massa (Ci) somado com o produto entre a água unitária de amassadura da areia (a_{ar}) e a sua massa (Ar).

Relativo á massa volúmica da água (ρ), considera-se igual a 1 kg/dm³.

A determinação da água unitária de amassadura da areia é baseado na Formula de Bolomey [5], sendo r_{ij} a percentagem de areia retida; d_i a dimensão mínima das malhas dos peneiros; d_j a dimensão máxima das malhas dos peneiros, em que se serviu de um exemplo guia de uma extração de areia efetuada no rio Tejo, de onde se obtém o valor da água unitária de amassadura 0,144 (Sousa e Silva, 2000).

$$a_{ar} = N \times \sum \frac{(r_{ij}/100)}{\sqrt[3]{d_i \times d_j}} + 0,22 \times \left(\frac{r_{\leq 0,2}}{100} \right) \quad [5]$$

Nesta fase de cálculo faz-se uma previsão de vazios na argamassa, por padrão considera-se 5% do volume da argamassa (Sousa e Silva, 2000). Onde (v) é a percentagem de vazios na argamassa e (X) é o volume aparente da argamassa obtida.

Por fim pode-se obter a dosagem de cimento por (m³ de argamassa); volume aparente de areia por (m³ de argamassa) e volume de água amassadura por (m³ de argamassa) através do volume aparente de argamassa obtida.

Mas estes cálculos seriam assim, se as areias não tivessem qualquer humidade, contudo se tal não fosse dever-se-ia corrigir as quantidades na amassadura com a percentagem de humidade existente na areia.

b1) Parede de alvenaria de tijolo cerâmico

Os tijolos cerâmicos são dos elementos de construção mais antigos, logo a seguir à pedra e à madeira (Sousa e Silva, 2000). Como produto industrializado para construção, o tijolo cerâmico de furação horizontal surge no séc. XIX com o início da revolução industrial, onde em Portugal, representa a alvenaria com mais significado na construção de paredes (Sousa e Silva, 2000).

Oliveira (2012) refere que todos os produtos fabricados a partir de qualquer argila e endurecidos pelo processo de cozedura, são designados por cerâmicos, e a pasta cerâmica

surge da mistura de várias matérias-primas, onde inicialmente, os silicatos naturais (minerais de argila) eram a principal matéria-prima, sendo introduzidos mais tarde, numerosos óxidos puros (MgO , Al_2O_3 , ZrO_2 , etc.), carbonetos, buretos, nitretos, sulfuretos, etc.

Como elemento de construção que é, o tijolo cerâmico tem como enquadramento regulamentar, o Regulamento (UE) n.º 305/2011 Produtos de Construção (European Commission, 2011a) e as normas e especificações adequadas da série EN 771 e 772 (European Commission, 2011b; European Commission, 2011c).

Segundo Teixeira (2012), o processo de fabrico de tijolo cerâmico inclui várias etapas, começando com a extração da argila em minas escavadas na crosta terrestre a céu aberto sendo depois transportada para a fábrica, onde nos meses mais secos fica depositada ao ar livre. A argila é depois apanhada e preparada em laminadores (máquinas que fazem passar a argila por dois cilindros metálicos em rotação), formando pequenas lâminas de pasta. Após esta pré-preparação, a pasta é armazenada no interior da fábrica protegida das condições atmosféricas. A fase de preparação consiste normalmente numa segunda laminagem da pasta, seguida de amassadura com água, garantindo condições homogéneas e de plasticidade. Segue-se a fase de conformação em fieiras (máquinas que forçam a passagem da pasta através de moldes) com a forma negativa do tijolo, onde a pasta poderá ser sujeita a vácuo, de modo a retirar o ar que se encontra no seu interior e a conferir-lhe melhores propriedades. Ainda nesta fase surge a extrusão (corte do material) de acordo com a dimensão pretendida e colocado em estantes. Após a conformação, o tijolo é seco em câmaras com temperaturas que oscilam normalmente entre 30 e 70 graus Celcius ($^{\circ}C$). Esta operação é bastante delicada devendo ser controlada de modo a minimizar as fissuras que possam ocorrer. O tempo de secagem é variável e poderá oscilar em torno de 16 horas (h) de funcionamento. Após a secagem, o tijolo é cozido em fornos contínuos a temperaturas que oscilam normalmente entre 800 e 1000 $^{\circ}C$. O ciclo de cozedura é variável e poderá oscilar em torno de 24 h de funcionamento. O controlo das condições de cozedura é fundamental para a obtenção de um produto de qualidade. Após a cozedura, o tijolo está concluído e pronto a ser embalado por citagem com fita de polipropileno e colocados sobre paletes de madeira, por meio de um equipamento automático de descarga. As paletes são retiradas do tapete de descarga e depositadas no parque de armazenamento e expedição, pronto para a comercialização.

A representação esquemática da parede de alvenaria de tijolo está presente na Figura 3.

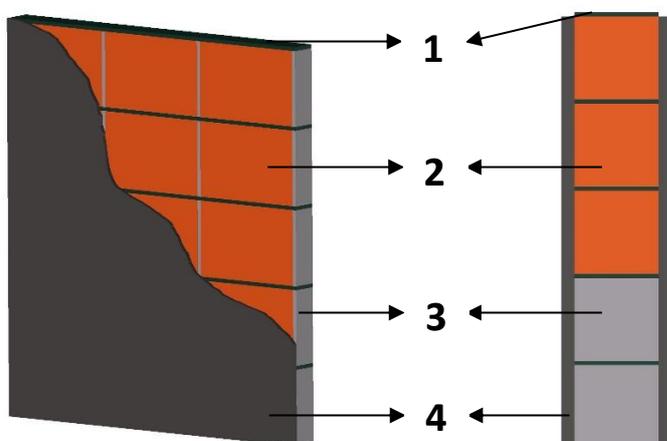


Figura 3 – Parede de alvenaria de tijolo cerâmico. 1- Argamassa de assentamento horizontal; 2- tijolo; 3- Argamassa de assentamento vertical; 4- Argamassa de revestimento.

Trata-se de uma parede de alvenaria de tijolo com furação horizontal sem função estrutural privilegiada.

Segundo Sousa e Silva (2000) as paredes interiores de tijolo cerâmico com furação horizontal atualmente construídas em Portugal, abrangem espessuras, em geral, inferiores a 0,15 m.

Os mesmos autores, referem o peso médio das paredes de tijolo de 7 e de 11 e a quantidade de tijolo/m² bem como o consumo de argamassa para paredes de tijolo cerâmico de furação horizontal com dimensões normalizadas e não rebocadas como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Características da parede de alvenaria de tijolo cerâmico.

Tijolo Cerâmico	Formato (m)	Massa (kg)	Peso da parede (kg/m ²)	Consumo de tijolo (unid./m ²)	Consumo de argamassa (litros/m ²)
TC7	0,30x0,20x0,07	[3 – 5]	63,3	16,9	3,5
TC11	0,30x0,20x0,11	[4 – 6]	96,3	16,9	5,5

O fornecimento da areia utilizada principalmente para a argamassa (assentamento e revestimento), entre outros, segundo Sousa e Silva (2000) é precedida de uma pesquisa no local da obra, podendo este material ter as mais diversas origens (siliciosas, sílico-calcárias, ou calcárias), e características (roladas ou britadas).

Relativamente aos ligantes, estes têm a função de ligar os grãos de areia entre si com os blocos ou tijolos. Existe uma variedade de ligantes que, Sousa e Silva (2000) dizem

ser cimentos compostos tipo II (cimento Portland), cimentos brancos, cimentos refratários, cimentos aéreas hidratadas e cimentos hidráulicas. Mas todos têm em comum, um processamento de cozimento que lhes dão as características de produzirem, com água, uma pasta que irá endurecendo progressivamente.

b2) Parede de alvenaria de blocos de betão

A utilização de blocos de betão na alvenaria teve início logo após o surgimento do cimento Portland, quando se começou a produzir grandes e maciças quantidades de cimento (Filho, 2007).

A NP EN 206-1:2007 (CEN, 2007a), norma que sucede à NP ENV 206, que se encontrava em vigor desde 1993, define alguns materiais utilizados no fabrico de blocos de betão nomeadamente:

- *Betão - material formado pela mistura de cimento, agregados grossos e finos e água, com ou sem a incorporação de adjuvantes e adições, que desenvolve as suas propriedades por hidratação do cimento.*
- *Agregado de massa volúmica normal (agregado normal) - agregado com massa volúmica, após secagem em estufa, maior que 2000 kg/m³ e menor que 3000 kg/m³, quando determinada de acordo com a EN 1097-6.*
- *Cimento (ligante hidráulico) - material inorgânico finamente moído que, quando misturado com água, forma uma pasta que fica presa e endurece por meio de reações e processos de hidratação que, depois de endurecer, mantém a sua resistência e estabilidade mesmo debaixo de água.*

Os aspetos relacionados com a colocação, compactação e cura foram remetidos para uma outra norma a: NP ENV 13670-1:2007 – “Execução de estruturas de betão – Parte 1: Regras gerais” (CEN, 2007b).

Segundo Alves (2011) os blocos com diferentes furações, apresentam uma resistência que varia entre 5 MPa a 30 MPa (dependendo de cada fabricante), sendo o aumento dado pela percentagem de cimento, carga de compactação e baixo valor da relação água/cimento.

A produção dos blocos é feita com betão seco e não com betão plástico, que normalmente é utilizado nas estruturas de betão armado.

Os blocos de betão são constituídos por uma mistura homogénea e proporcionada, de cimento Portland, agregados (areia média, areia grossa e brita), cal viva e pó de alumínio (Mascarenhas, 2003).

O Processo de fabrico passa por várias etapas: trituração dos agregados; dosagem dos restantes constituintes; amassadura com água até ficar homogénea; moldagem em molde metálico; expansão volumétrica (reação com pó de alumínio); endurecimento, e por fim, extrusão dos blocos horizontalmente e/ou verticalmente.

A representação esquemática da parede de alvenaria de blocos de betão segue-se na Figura 4.

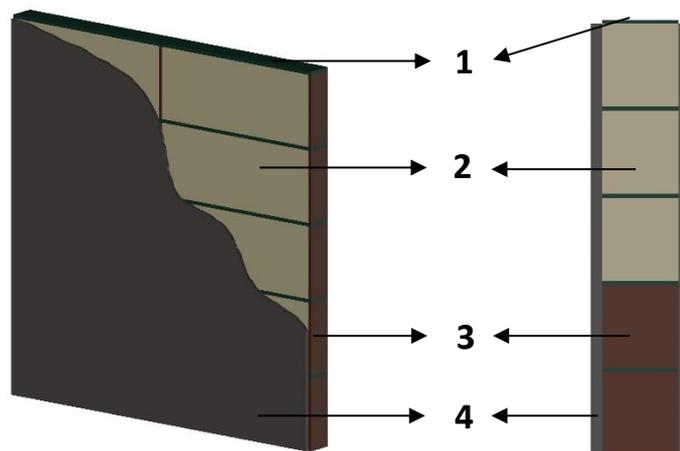


Figura 4 – Parede de alvenaria de blocos de betão. 1- Argamassa de assentamento horizontal; 2- Bloco; 3- Argamassa de assentamento vertical; 4- Argamassa de revestimento.

c) Parede de pladur

Segundo Fangueiro *et al.* (2011) a parede de pladur é composta essencialmente por uma estrutura de suporte interior composta de perfis metálicos em chapa de aço galvanizado enformada a frio, à qual são fixos os painéis de revestimento exteriores constituídos por gesso cartonado.

Geralmente é constituída por perfis colocados na vertical e fixos a duas travessas horizontais presas ao pavimento e ao teto. As placas de gesso cartonado são fixas a estes perfis com parafusos próprios em ambas as faces, formando a parede interior e, pelo interior da estrutura apoiados nos perfis verticais, passam todas as tubagens necessárias.

Relativamente à caracterização dos materiais de acabamento, no que se refere às juntas, estas são a parte integrante e determinante da obra e podem ser transversais e longitudinais. O perfeito acabamento das juntas, faz-se, à custa de fitas de junta e massas de junta, que são concebidas para garantir no tempo de permanência dos cuidados da obra, a continuidade do aspeto da superfície.

A Figura 5 que se segue apresenta esquematicamente a parede de pladur.

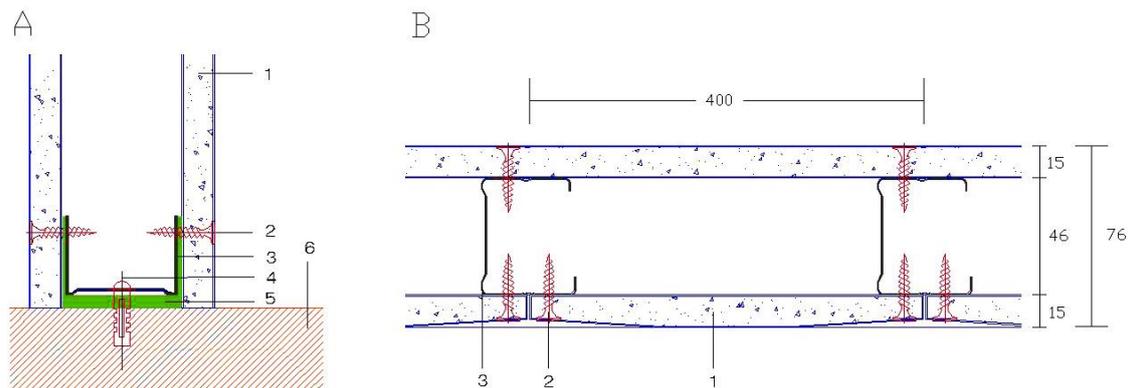


Figura 5 – Parede de gesso cartonado (Pladur). 1- Placa pladur tipo N 15; 2- Parafuso PM 3,5 x 25; 3- Montante; 4- Parafuso MM 9,5; 5- Canal; 6- Superfície. (A) vista de lado (eixo vertical). (B) vista de cima.

As placas de pladur consistem num material com mais de 120 anos, com origem em 1890 nos EUA (Mata, 2011).

O gesso é um material muito utilizado na construção devido: às suas propriedades de aderência; por possuir uma baixa condutibilidade térmica; um bom desempenho acústico; é inócuo e extremamente fácil de trabalhar (Fontes, 2011).

O sector da construção consome aproximadamente 95% da produção total de gesso e calcula-se que aproximadamente 80 a 90% de todos os acabamentos interiores e divisórias nos edifícios europeus são feitos a partir de produtos do gesso, tais como o gesso cartonado (Eires *et al.*, 2007).

Segundo Fangueiro *et al.* (2011) as paredes interiores produzidas com placas de gesso cartonado, têm como principal inconveniente a falta de resistência na presença de água ainda que, atualmente, este especto seja melhorado mediante a incorporação de aditivos à base de silicones, polímeros, e até mesmo com a incorporação de fibra de vidro. No entanto, os materiais de gesso existentes apesar de poderem ser utilizados em zonas húmidas, ainda não possibilitam a sua utilização no exterior devido à carência de resistência ao contacto direto com a água (Eires *et al.*, 2007).

As placas de gesso cartonado segundo Fontes (2011) são um produto composto por um núcleo envolto de gesso, intimamente ligado a duas películas de origem celulósica que se obtém através de um processo contínuo de laminação. Apresentam comprimentos, larguras e espessuras standard, sendo que a mais usual tem 1,20 m de largura e 3,00 m de comprimento.

O processo de fabrico da placa de gesso cartonado é constituído pelas seguintes etapas (Fontes, 2011):

1. Trituração do gesso

A matéria-prima é extraída de jazidas selecionadas que garantem o grau de pureza mínima adequada ao padrão de qualidade. Após a extração da pedra do gesso, a matéria-prima é introduzida em tremonhas, e triturada mecanicamente, atingindo dimensões máximas de 35 mm de espessura. A trituração do gesso é realizada à custa de moinhos de impacto e de mandíbulas. Em seguida é armazenado em silos, que permitem também a homogeneização das variações da qualidade do gesso.

2. Prensagem;

Na zona de prensagem, o gesso é submetido a uma compressão entre cilindros e um prato de prensagem, que reduz o seu tamanho progressivamente até uns 200 microns, tamanho indicado para a calcinação (remoção das moléculas de água através de calor).

As instalações de trituração e prensagem trabalham em vácuo, pelo que não existe saída de pó para o exterior. O pó existente é arrastado por uma corrente que passa através de filtros que o retém, deixando passar apenas o ar limpo para o exterior.

3. Calcinação;

O processo de calcinação consiste no aquecimento do gesso a uma temperatura de 160 °C durante cerca de 30 minutos. Aí adquire as propriedades hidráulicas, ou seja, amassado com água torna-se rígido passado alguns minutos. É esta propriedade que permite a fabricação do gesso em placas.

4. Produção das placas;

Depois de calcinado, é acrescentado água e aditivos ao gesso em pó formando uma pasta que solidifica ao fim de poucos minutos. Esta pasta é introduzida de forma automática, num processo contínuo entre duas lâminas de cartão de celulose, através de maquinaria da linha de produção.

Uma vez formado e rígido, o tapete de gesso cartonado é cortado em placas nos comprimentos programados e seco num secador de doze estágios, responsável pela eliminação da água excedente existente nas placas e onde se conclui também o processo de aderência do cartão ao gesso.

5. Armazenamento, carregamento e logística;

Após terminado o processo de fabrico, as placas são transferidas para o acabamento, onde são identificadas e paletizadas para a comercialização.

2.1.3. Impactes ambientais da construção de paredes interiores

Com o crescer das atividades de construção, a necessidade de materiais, energia e maquinaria também aumenta, sendo que o meio ambiente é que padece ficando completamente transformado e em alguns casos de forma irreversível.

O regime jurídico de avaliação de impacte ambiental encontra-se instituído pelo Decreto-Lei n.º 151-B/2013 de 31 de outubro (República, 2013), estando em vigor até ao momento deste trabalho, e define como impacte ambiental o “conjunto das alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas no ambiente, sobre determinados fatores, num determinado período de tempo e numa determinada área, resultantes da realização de um projeto, comparadas com a situação que ocorreria, nesse período de tempo e nessa área, se esse projeto não viesse a ter lugar”.

Os impactes ambientais da construção passam principalmente pela poluição ambiental, sob a forma de emissões para a atmosfera, pela água consumida e poluída, e pela elevada produção de resíduos, associada tanto à construção de edifícios, quanto à respetiva demolição (poluição dos solos e de águas). Feng e Hewage (2014) reconhecem que as práticas de construção civil são um dos principais contribuintes da poluição ambiental. A par desta questão da poluição surge o problema do consumo desmedido de recursos na construção civil utilizados como materiais de construção, mas também de combustíveis fósseis, devido às elevadas necessidades energéticas da indústria da construção (Tavares, 2013).

Segundo Addis e Schouten (2004) as paredes interiores quando comparadas com outros elementos construtivos não estruturais, têm maior contribuição para o impacto total ao longo do ciclo de vida, como apresentado na Figura 6.

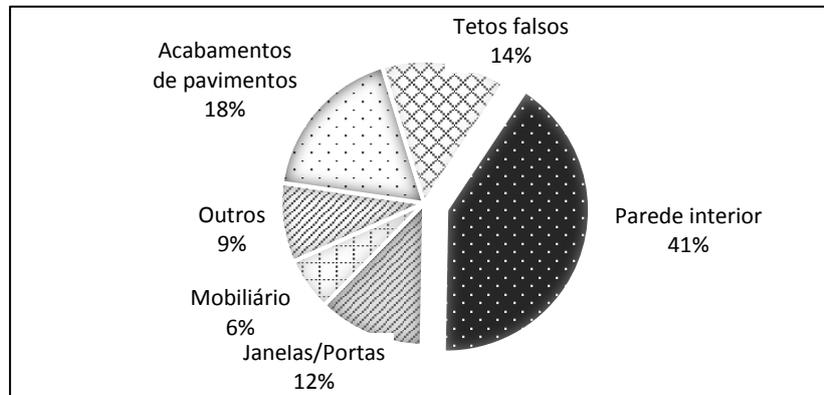


Figura 6 – Impacte ambiental do uso de elementos construtivos numa casa típica (adaptado de Addis e Schouten (2004)).

Atualmente, o setor da construção civil é responsável pela produção de 50% dos resíduos acumulados em aterros sanitários, pela produção de 30% das emissões de CO₂ para a atmosfera e por 40% do consumo de energia total anual (Vasconcelos *et al.*, 2012). Tem-se consciência de que, a indústria de produção de materiais para uso na construção, é um dos sectores com maior peso a nível do consumo de combustíveis na economia (Gama, 2010).

O recurso a matérias-primas naturais abundantes é uma das respostas possíveis para a sustentabilidade da construção. Neste sentido, a parede de tabique com recurso ao solo argiloso oferece-se como uma possibilidade com várias vantagens: é uma matéria-prima abundante; a sua utilização não carece de processos de transformação dispendiosos em termos energéticos; apresenta um bom comportamento térmico; é reciclável e reutilizável; é incombustível; não é tóxica; a terra escavada para a execução das fundações poderá ser utilizada para a execução dos blocos, de argamassas e dos rebocos; pode ser utilizada como superfície final de acabamento desde que esteja garantida a sua proteção relativamente a situações graves de erosão e exposição à água; por fim a utilização do solo argiloso para a construção não retira recursos ao solo em termos agrícolas, já que são os terrenos menos férteis que convêm à construção (Lourenço *et al.*, 2002). Segundo Pinto *et al.* (2011) as paredes de tabique são económicas e sustentáveis, onde se recorre à aplicação de materiais naturais localmente disponíveis, e não recorre a processos

industriais nem a equipamentos específicos que consumam elevadas quantidades de energia ou emitam teores expressivos de gases poluentes para a atmosfera.

Segundo Teixeira (2012) a indústria da construção civil, onde se inclui a produção de materiais de construção como o tijolo cerâmico, é responsável por grande parte dos impactes sobre o meio ambiente. Mesmo Koomey *et al.* (1998) referem ser necessárias grandes quantidades de recursos para as entradas de inventário o que causa vários efeitos negativos no ambiente. Apesar de beneficiarmos de uma situação geológica favorável do ponto de vista da disponibilidade de argilas em Portugal, relativamente aos impactes ambientais provocados por esta indústria, relacionam-se: com o consumo de recursos não renováveis; com o consumo de energia; com emissões de gases poluentes e ainda originam resíduos (Ferreira *et al.*, 2010).

Os impactes ambientais associados à emissão de gases poluentes resultam: de processos térmicos de cozedura; da secagem; do consumo de recursos como a energia (elétrica e/ou através de combustíveis); de descargas de efluentes líquidos industriais e da produção de resíduos (APICER, 2009). Estas emissões de gases poluentes são constituídas por partículas, dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO), fluoreto de hidrogénio (HF) e dióxido de carbono (CO₂) (Ferreira *et al.*, 2010). Segundo Rocha (2013) devido a exigências legais, as empresas cerâmicas têm feito assinaláveis progressos no domínio do consumo de energia e na redução das emissões de CO₂, através de medidas de eficiência energética e substituição de combustíveis. No entanto os restantes gases continuam a ser emitidos estando relacionados com a queima de combustíveis fósseis (tipicamente de gás natural).

No que diz respeito à alvenaria bloco de betão, segundo Ferreira *et al.* (2010) os impactes ambientais são na sua maioria devidos à produção de Cimento Portland Ordinário (CPO). A causa do impacte deve-se ao facto de o betão ser produzido usando CPO como um ligante, uma vez que é um produto que consome muita energia emitindo CO₂ (Habert *et al.*, 2011). Yusoff *et al.* (2013) reforçam essa mesma ideia da indústria do cimento ser responsável e (Anuar *et al.*, 2011) dizem que uma tonelada de cimento Portland emite cerca de uma tonelada de CO₂ para a atmosfera.

No que diz respeito à parede de pladur, hoje em dia, o gesso cartonado é aplicado em diversas situações e em larga escala, sejam obras de restauro ou obras novas.

O gesso é um material ecológico em todas as suas fases, desde a extração da matéria-prima até à aplicação final nos sistemas de construção (Fontes, 2011). Ainda o mesmo autor refere que a construção é mais limpa, reduzindo drasticamente o resíduo gerado. No entanto, recentemente foi levantada a questão da emissão de sulfureto de hidrogénio (H_2S) pelas placas de gesso cartonado, na sequência de uma série de reclamações apresentadas nos Estados Unidos da América, pela utilização de placas de gesso provenientes da China, onde a origem das emissões de H_2S estaria relacionada com a utilização de gesso sintético no fabrico das placas de gesso (Mata, 2011).

Também se verificou a existência de H_2S em níveis de concentração elevados nos aterros que aceitam os resíduos de materiais de construção e demolição, onde se verificou que a principal fonte eram as placas de gesso cartonado (Xu *et al.*, 2011).

Aliado a toda esta informação, a importância de conhecer os impactes ambientais sobre o meio ambiente advindos de um produto ou processo leva a uma melhor consciencialização da sociedade e a possíveis melhorias ambientais. Torna-se então imprescindível aplicar ACV como uma das técnicas que avalia os impactes resultantes das atividades produtivas.

2.2. Análise do ciclo de vida

A crescente relevância dos temas ambientais tem afetado a forma com os diferentes agentes económicos e sociais encaram as estratégias de desenvolvimento das organizações, destacando os sistemas de gestão ambiental. Segundo Ferrão (1998), na indústria a técnica de análise ambiental mais utilizada é ACV.

A gestão ambiental só é possível com um grande esforço de normalização e com a criação de bases de dados fiáveis que caracterizam produtos e processos. Assumindo particular importância, o trabalho da Organização Internacional de Normalização, nomeadamente através da série de Normas ISO 14000 “Gestão Ambiental” (Ferrão, 1998), na qual se destaca a ISO 14040 “Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e enquadramento” e ISO 14044 “Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida

- Requisitos e orientações” (European Commission, 2006a; European Commission, 2006b).

A ACV é uma ferramenta de avaliação de impacto ambiental associado a produtos ou processos durante o ciclo de vida. Esta ferramenta baseia-se na análise de sistemas e trata o produto/processo como fazendo parte de uma cadeia de subsistemas que trocam entradas e saídas entre si.

A Norma ISO 14040:2006 define os principais conceitos utilizados pela presente Norma associados á ACV, tais como:

- *Ciclo de Vida - estados consecutivos e interligados de um sistema de produto, desde a aquisição de matéria-prima ou transformação de recursos naturais até à eliminação final.*
- *Análise do Ciclo de Vida - recolha e avaliação das entradas e saídas dos potenciais impactes ambientais de um sistema de produto ao longo do ciclo de vida.*
- *Análise de Inventário do Ciclo de Vida - estado de avaliação do ciclo de vida que envolve a compilação e quantificação das entradas e saídas de um produto durante o ciclo de vida.*
- *Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida - estado de avaliação do ciclo de vida com o objetivo de quantificar os potenciais impactes ambientais para o sistema de produto, ao longo do ciclo de vida do produto.*
- *Interpretação do Ciclo de Vida - estado de avaliação do ciclo de vida em que os resultados de qualquer análise de inventário ou avaliação de impacte, ou ambos, são avaliados em relação ao objetivo e âmbito definido, a fim de chegar a conclusões e recomendações.*

À ACV está associado o ciclo de vida de um produto ou processo, esse ciclo de vida pode ser como a Figura 7 ilustra, iniciando-se quando todos os recursos requeridos para o fabrico de determinado produto são extraídos da natureza e finalizando-se após o cumprimento da função pelo produto, retornando ao meio ambiente.

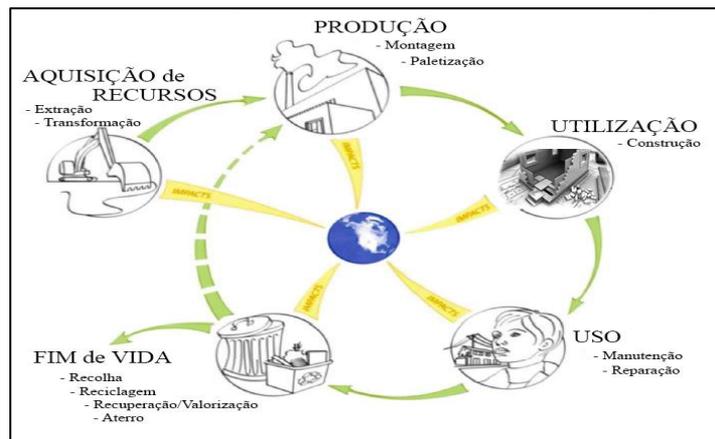


Figura 7 – Ciclo de vida de um produto (adaptado de CIRAIG (2016)).

No entanto, tal situação não é obrigatória, podendo existir outro ciclo de vida dependendo da fronteira do sistema escolhido, sendo as mais comuns (International, 2015):

Cradle to the Gate – estudo realizado desde a obtenção de matérias-primas até à utilização final do produto no local de construção;

Gate to the Gate – estudo que engloba só a fase de produto final desde a comercialização até à sua utilização final no local de construção;

Gate to the Grave – estudo que engloba desde a fase de Uso até ao Destino Final do produto;

Cradle to the Grave – estudo completo de todas as etapas, desde da obtenção de matérias-primas até ao destino final do produto.

2.2.1. Etapas da análise do ciclo de vida

Uma ACV deve incluir, de acordo com a Norma ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, as seguintes etapas: definição de objetivos e âmbito; inventário do ciclo de vida; análise de impacto ambiental e interpretação de resultados, Figura 8.

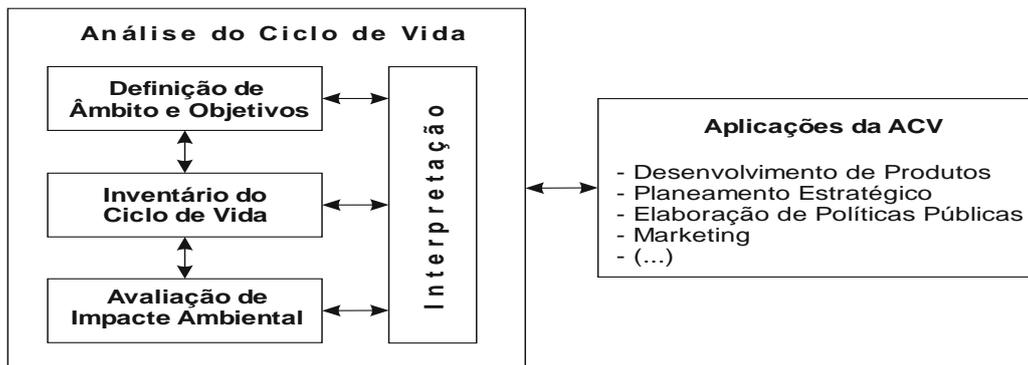


Figura 8 – Fases da Análise do Ciclo de Vida (adaptado de ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006).

Após o objetivo e âmbito do trabalho estarem claramente definidos, a etapa seguinte da ACV, é o inventário do ciclo de vida que consiste na contabilização de todos os aspetos ambientais relacionados com a produção de determinado produto ou processo, identificando e quantificando os fluxos de entrada e de saída de dados que dizem respeito ao sistema a ser estudado e que envolvem a recolha de dados necessários para cumprir os objetivos e o âmbito definidos no plano inicial. Segundo Ferreira (1999), devem ser recolhidos os dados qualitativos e quantitativos para cada processo unitário que esteja incluído dentro dos limites do sistema de produto.

As Normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 definem por processo, “o conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas que transforma entradas em saídas” e por sistema de produto, “o conjunto de processos com fluxos elementares, realizando uma ou mais funções definidas, que modelam o ciclo de vida de um produto”.

Segundo Cellura *et al.* (2011) a etapa mais importante em qualquer trabalho ACV é a elaboração do ICV, que inclui todos os materiais e processos que compõem o ciclo de vida do sistema a ser analisado, uma vez que a qualidade e a credibilidade dos resultados do trabalho dependerá em grande medida da qualidade dos dados adquiridos como ponto de partida.

Ainda segundo a Norma, a etapa seguinte é a Avaliação de Impacte Ambiental do Ciclo de Vida (AIACV) e deve ser cuidadosamente planeada para alcançar o âmbito e objetivo do trabalho, devendo ser coordenada com as outras etapas da ACV para ter em conta as possíveis omissões e fontes de incerteza.

A AIACV tem por objetivo quantificar os potenciais impactes ambientais, que utilizam os dados de inventário com as categorias de impacto ambientais específicas.

A AIACV inclui a recolha dos indicadores (representação quantitativa de uma categoria de impacto) para as diferentes categorias de impacto que resultam no perfil ambiental para o sistema de produto Figura 9, fornecendo depois informações para a fase de interpretação do ciclo de vida.

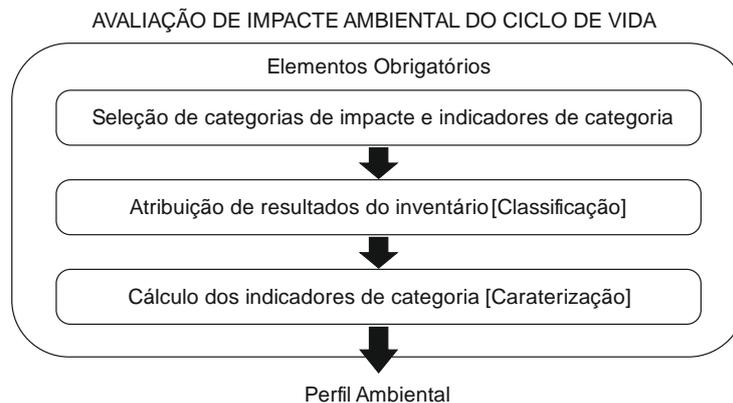


Figura 9 – Elementos da AIACV (adaptado de ISO 14040:2006).

A interpretação do ciclo de vida é a última etapa formal no procedimento da ACV, que segundo Ferreira (2004) tem como objetivo principal aumentar a confiança e significado do trabalho executado. Salienta ainda que a etapa de interpretação proposta na norma ISO, substitui a fase de melhoramento, proposta no Code of Practice⁽¹⁾.

Deve salientar-se que a ACV pode também incluir avaliações económicas e análise de risco (Wang *et al.*, 2010).

2.2.2. Limitações da análise do ciclo de vida

Os trabalhos de ACV são muito importantes para que os produtores industriais e os decisores políticos cientes das suas atividades possam regular e criar políticas a nível industrial que auxiliem a preservação do ambiente.

A elaboração de um trabalho ACV necessita, normalmente, de muitos recursos e arrasta-se por muito tempo, e deste modo, os recursos financeiros deverão ser balanceados com os benefícios previsíveis do trabalho (Ferreira, 2004).

⁽¹⁾ “Workshop Code of Practice” – documento que pode ser visto como o mais alto denominador comum entre as posições Americana e Europeia na metodologia (Gabathuler, 1997 citado por, Ferreira, 2004). Planeado e conduzido em 1993 pelas organizações Europeia e Norte Americana da SETAC em Sesimbra-Portugal.

Dependendo do rigor que se pretende para o trabalho, a recolha de dados pode tornar-se mais ou menos problemática. A indisponibilidade de alguns dados pode pesar na fiabilidade dos resultados finais, sendo muitas vezes efetuado um teste para avaliar a eficácia da ferramenta de ACV e o impacto do resultado sobre os tomadores de decisão na prática (Wang *et al.*, 2010).

Outra limitação relaciona-se com o nível de cooperação que é necessário estabelecer com os fornecedores e vendedores de materiais e/ou produtos. Os acordos de confidencialidade que se estabelecem entre a empresa, fornecedores e vendedores podem representar obstáculos ao acesso de dados específicos.

Aquando da realização deste tipo de trabalhos surge ainda outra limitação na fase de avaliação de impactes, que se prende com a complexidade dos sistemas ambientais que levou ao desenvolvimento de vários métodos de avaliação de impactes, não existindo consenso para a utilização de apenas um tipo de método (Alcobia, 2009).

2.2.3. Software

Existem vários softwares que permitem modelar os sistemas de produtos nomeadamente o ifu Umberto, o SimaPro, o OpenLCA e o GaBi LCA Software, que apareceu pela primeira vez no mercado em 1992 e foi desenvolvido e distribuído mundialmente pela PE International (International, 2015) uma empresa alemã que inclui com o software uma interface de utilizador para modelar o sistema de produto, uma base de dados de unidades de processo de ciclo de vida, uma base de dados de avaliação de impacto com dados de apoio a diversas metodologias de avaliação de impacto e uma calculadora (Herrmann e Moltesen, 2015).

Existem dois tipos de métodos de avaliação de ciclo de vida: os finais (*endpoints*) e os intermédios (*midpoints*). Como exemplo de métodos finais, referem-se a título de exemplo o Eco-Indicator 99, o EPS 2000 e o EDIP 2003. Em relação aos métodos intermédios existem, entre outros: o Cumulative Energy Demand, o TRACI, e em 2001 um grupo de cientistas sob a liderança do CML - *Center of Environmental Science of Leiden University*, propôs um conjunto de categorias de impacto de caracterização para a

etapa de avaliação de impacto designadas por CML-2001, que é um dos métodos possíveis de fazer avaliações de impacto ambiental (EarthShift, 2016).

No que diz respeito às categorias de impacto, classificam-se em duas formas: finais (*endpoints*) que refletem questões de preocupação ambiental como a saúde humana, a extinção de espécies, entre outros; ou intermédias (*midpoints*) proporcionando informação sobre o seu efeito no meio ambiente, tendo uma abordagem direcionada para o problema.

As categorias de impacto associadas ao método CML 2001 segundo Herrmann e Moltesen (2015) são: depleção abiótica de recursos; aquecimento global; depleção da camada de ozono estratosférico; toxicidade humana; ecotoxicidade aquática de água doce; ecotoxicidade aquática marinha; ecotoxicidade terrestre; oxidação fotoquímica; acidificação; e eutrofização.

A categoria de impacto Depleção Abiótica de Recursos traduz a preocupação com a saúde humana e com a integridade de ecossistemas. O fator de depleção abiótica (ADF) é determinado por cada extração de recursos, baseado na concentração de reservas e na taxa de acumulação. A Tabela 5 mostra as características desta categoria de impacto.

Tabela 5 – Caracterização da categoria de impacto depleção abiótica de recursos.

Categoria de impacto	Depleção abiótica de recursos
Definição	Diminuição da disponibilidade de recursos naturais e não naturais como resultado da sua utilização insustentável
Indicador de impacto	Diminuição dos recursos
Considerações	Distinções entre recursos renováveis e não renováveis
Danos	Danos nos recursos naturais e nos ecossistemas
Unidade	Dependendo do modelo: - Matéria-prima (kg) - Combustível fóssil (MJ) - Consumo de água (m ³)

A categoria de impacto Aquecimento Global (GWP) traduz o aumento da temperatura do planeta Terra por efeito de certas substâncias gasosas, provenientes da atividade antropogénica na absorção de radiação solar, originando consequências adversas nos ecossistemas, saúde pública, entre outras. A Tabela 6 faz referência às características desta categoria de impacto.

Tabela 6 – Caracterização da categoria de impacto aquecimento global.

Categoria de impacto	Aquecimento Global
Definição	Alteração da temperatura do planeta causada pelos gases de efeito de estufa
Indicador de impacto	Alteração da temperatura do planeta e fenómenos climáticos
Considerações	Gases de efeito estufa e o seu potencial de aquecimento global (GWP)
Danos	Agricultura, florestas, recifes de corais, alterações da temperatura, anormalidade de fenómenos climáticos, entre outros
Unidade	kg CO ₂ equivalente

A categoria de impacto Depleção de Ozono Estratosférico (ODP) traduz a diminuição da camada de ozono, por reação deste, com determinados gases provenientes da troposfera. Dessa depleção resulta uma maior quantidade de radiação ultravioleta que chega à superfície terrestre, afetando de forma adversa a saúde humana, os ecossistemas aquático e terrestre e os ciclos bioquímicos. As emissões dos clorofluorcarbonetos (CFC) foram associadas à redução da camada do ozono, devido a produtos químicos produzidos pelo Homem que contêm elementos de cloro e bromo e que são os grandes responsáveis pela destruição da camada do ozono (Kane, 2008). A Tabela 7 mostra as características desta categoria de impacto.

Tabela 7 – Caracterização da categoria de impacto depleção de ozono estratosférico.

Categoria de impacto	Depleção de Ozono Estratosférico
Definição	Diminuição da camada de ozono da estratosfera devido às emissões antropogénicas de substâncias que destroem o ozono
Indicador de impacto	Aumento da radiação ultravioleta e o número de casos de doenças de pele
Considerações	Tempo de permanência na atmosfera de substâncias que destroem o ozono
Danos	Saúde humana e a qualidade de ecossistemas
Unidade	kg CFC 11 equivalente

A categoria de impacto Toxicidade Humana (HTP) traduz a libertação e difusão de determinadas substâncias tóxicas no ambiente, com consequências adversas na saúde humana. Segundo Estanqueiro (2012) a toxicidade humana é consequência da poluição do ar, sendo as principais fontes de toxicidade, a persistência no ambiente do cádmio, do chumbo e do mercúrio, entre outras substâncias associadas à queima de combustíveis, instalações industriais e de geradores de calor. A Tabela 8 mostra as características desta categoria de impacto.

Tabela 8 – Caracterização da categoria de impacto toxicidade humana.

Categoria de impacto	Toxicidade Humana
Definição	Efeitos tóxicos de substâncias químicas nos seres humanos
Indicador de impacto	Câncer, doenças respiratórias, outros efeitos não-cancerígenos e efeitos da radiação ionizante
Considerações	Respostas toxicológicas no corpo humano
Danos	Saúde humana
Unidade	kg 1,4 DB equivalente

A toxicidade ambiental produz um impacto sobre os ecossistemas, resultando das emissões de substâncias tóxicas para o ar, água e solo. O potencial de ecotoxicidade descreve o destino, a exposição e os efeitos das substâncias tóxicas medidas em 1,4-dichlorobenzene equivalente. Esta definição diz respeito a três categorias distintas, sendo elas a categoria de impacto Ecotoxicidade Aquática de Água Doce, a categoria de impacto Ecotoxicidade Aquática Marinha e a categoria de impacto Ecotoxicidade Terrestre. A Tabela 9 faz referência às características desta categoria de impacto.

Tabela 9 – Caracterização da categoria de impacto ecotoxicidade.

Categoria de impacto	Ecotoxicidade
Definição	Efeitos tóxicos de produtos químicos no ecossistema
Indicador de impacto	A perda de biodiversidade e/ou extinção de espécies
Considerações	Respostas toxicológicas diferentes para cada espécie
Danos	Na qualidade dos ecossistemas e extinção de espécies
Unidade	kg 1,4 DB equivalente

A categoria de impacto Oxidação Fotoquímica traduz a formação de substâncias reativas, que são prejudiciais para a saúde humana e para os ecossistemas. Em atmosferas contendo óxidos de azoto (NO_x , um poluente comum) e compostos orgânicos voláteis (COV), o ozônio pode ser criado na presença de luz solar. O potencial de criação de ozônio fotoquímico (smog fotoquímico) é calculada pela Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa (UNECE) com o modelo de trajetória (BRE, 2016). A Tabela 10 mostra as características desta categoria de impacto.

Tabela 10 – Caracterização da categoria de impacto oxidação fotoquímica.

Categoria de impacto	Oxidação Fotoquímica
Definição	Ozônio criado a partir do efeito da luz solar, COV e NO_x
Indicador de impacto	Aumento do smog fotoquímico
Considerações	A meteorologia, a composição química da atmosfera e as emissões de outros poluentes
Danos	Saúde Humana e a qualidade de ecossistemas
Unidade	kg eteno (C_2H_4) equivalente

A categoria de impacto Acidificação (AP) traduz o efeito do lançamento e dispersão de gases acidificantes no ambiente, e segundo Estanqueiro (2012) a acidificação é a conversão da poluição do ar (dióxido de enxofre (SO₂), amónia (NH₃), e óxidos de azoto (NO_x)) em substâncias ácidas, que transportadas pelo vento, causam sérios danos na biodiversidade e no ser humano.

O dióxido de enxofre e os óxidos de azoto presentes na atmosfera dissolvem-se na água da chuva tornando-a ácida, um fenómeno bem conhecido e designado por chuva ácida. A sua causalidade são os dióxidos de enxofre que são formados pela queima de combustíveis fósseis produzidos por várias atividades industriais, e nos gases de escape dos carros (Elvingson e Agren, 2004). A Tabela 11 mostra as características desta categoria de impacto.

Tabela 11 – Caracterização da categoria de impacto acidificação.

Categoria de impacto	Acidificação
Definição	A redução do pH devido aos efeitos acidificantes de emissões antropogénicas
Indicador de impacto	Aumento de acidez na água e do solo
Considerações	Potencial acidificante de óxidos de azoto e de enxofre
Danos	Na qualidade de ecossistemas, na diminuição da biodiversidade, na saúde pública e nos materiais.
Unidade	kg SO ₂ equivalente

A categoria de impacto Eutrofização (EP) é um fenómeno que influencia tanto os ecossistemas aquáticos como os terrestres, resultando da dispersão de macronutrientes no ambiente. Os nutrientes mais importantes são o azoto e o fósforo. Estes, quando atingem níveis muito elevados na água (rios, lagos) levam à sua eutrofização podendo causar o crescimento das algas e, conseqüentemente, um maior consumo de oxigénio na água devido ao aumento da respiração das algas e a perda da diversidade biológica. A tabela 12 faz referência às características desta categoria de impacto.

Tabela 12 – Caracterização da categoria de impacto eutrofização.

Categoria de impacto	Eutrofização
Definição	Acumulação de nutrientes em sistemas aquáticos
Indicador de impacto	Aumento na concentração de azoto e fósforo A formação de biomassa (por exemplo, algas)
Considerações	Transporte de nutrientes (ar, água, percolação no solo)
Danos	Qualidade de ecossistemas
Unidade	Kg PO ₄ equivalente

Uma emissão identificada no ICV (em massa ou volume de um produto ou processo em $\text{kg}_{\text{sub. } i}$ ou $\text{m}^3_{\text{sub. } i}$) é convertida numa contribuição para o efeito de um problema ambiental, multiplicando-a por um fator equivalente ($\text{kg}_{\text{ref.eq.}} \cdot \text{kg}_{\text{sub. } i}^{-1}$ ou $\text{m}^3_{\text{ref.eq.}} \cdot \text{kg}_{\text{sub. } i}^{-1}$) como mostra a equação [6] (Guinée et al., 2002 citado por Teixeira, 2013). A atribuição de fatores de caracterização, permite somar as contribuições de todas as intervenções numa dada categoria de impacto, sendo depois o resultado obtido expresso num indicador dessa categoria, por fim, o conjunto de todos os indicadores de todas as categorias traduz o perfil ambiental do produto ou processo estudado.

$$\text{Categoria de impacto}_A = \sum_i [m_i \times (\text{Factor de caracterização}_A)] \quad [6]$$

A ACV pode ser utilizada para uma tomada de decisão, sendo que reconhece que todas as fases da vida de um produto ou processo têm um impacto sobre o ambiente e que esse impacto pode ser quantificado e comparado (Srinivas, 2015).

A necessidade de avaliar os impactos no ciclo de vida é uma forma de quantificar e identificar os aspetos ambientais críticos para suportar o desenvolvimento de soluções de menor impacto.

Segundo Mateus *et al.* (2013) a ACV é muito importante para comparar várias soluções alternativas possíveis, que podem ter o mesmo desempenho técnico ou funcional.

A eficiência e confiança depositada na ACV pode ser comprovada pela sua rápida expansão por vários setores industriais, envolvendo uma grande diversidade de aplicações, tais como decisões de investimento, planeamento estratégico, eco design, marketing, etc (Galdino, 2006). A ACV tem sido amplamente utilizada em muitas áreas, tais como: produção de painéis de energia solar fotovoltaica, tendo como Unidade Funcional (UF) 1 painel (Sherwani *et al.*, 2010); sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos, tendo com UF tonelada (t) de RSU tratado por ano (Cleary, 2009); comparação de materiais de revestimento para pavimentos de construção (linoleum, vinil, madeira sólida) na Suécia, onde utilizaram como UF 1 m^2 de área (Jönsson *et al.*, 1997), entre outros.

Sobre paredes de alvenaria existem alguns trabalhos feitos em edifícios experimentais, dos quais se destacam: avaliação de impacto ambiental de alvenarias de

paredes exteriores de tijolo convencional, tijolo convencional com isolamento de poliuretano, tijolo convencional com isolamento de poliuretano e PCM (materiais a fim de obter melhores resultados de consumo de energia), tijolo alveolar, tijolo alveolar com PCM (Rincón *et al.*, 2013); residências (diferença entre bairro residencial ou casa standard, onde utilizaram como UF m² de área (Reza *et al.*, 2014); construção de casas com baixo consumo energético, onde utilizaram como UF m² de área (Fouquet *et al.*, 2015); produção de tijolos, contabilizando as matérias-primas e energia utilizados em cada fase de produção, onde foram utilizadas como UF 1 t de tijolos (Koroneos e Dompros, 2007); produção de betão tradicional e do atual betão “verde”, onde a UF foi o peso e volume (Van den Heede e De Belie, 2012); avaliação do desempenho ambiental de materiais de isolamento térmico (lã de pedra e poliestireno extrudido) e seu impacte sobre o edifício (Papadopoulos e Giama, 2007); avaliação energética, económica e ambiental de soluções de isolamento térmico (poliestireno extrudido; poliestireno expandido; lã mineral e espuma rígida de poliuretano), tendo usado com UF kg de emissão por kg material de construção ou por MJ de energia (Anastaselos *et al.*, 2009); avaliação de paredes exteriores de tijolo com vegetação vertical incorporada, tendo como UF 1 m² de parede (Ottelé *et al.*, 2011); avaliação de impacte da construção de um edifício de 3 andares com parede interior e exterior incluída, tendo uma UF 1 m² de parede horizontal (Ortiz *et al.*, 2010); análise de eco-eficiência de todo o ciclo de vida das soluções alternativas que podem ser utilizadas para paredes interiores (parede de gesso cartonado, parede de tijolo, parede de betão, parede de betão autoclavado e parede de bloco de gesso), tendo como UF 1 m² de parede (Ferrández-García *et al.*, 2015).

2.3. Aplicação de análise do ciclo de vida a paredes interiores

Muitos estudos já analisaram o desempenho energético e económico de materiais de construção e de construção de paredes de habitação quer exteriores, quer interiores. As principais características de alguns estudos de ACV de paredes interiores realizados em todo o mundo, são apresentados a seguir e todos eles assemelham-se às paredes estudadas neste trabalho. Uma análise sumarizada dos resultados destes estudos são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 – Caracterização *cradle to the gate* de impacto ambiental associado a paredes interiores.

Categoria de Impacte Ambiental	Unidade	Timber Stud Frame	Alvenaria Tijolo		Alvenaria Bloco	Pladur
		[A]	[A]	[B]	[A]	[B]
Potencial de Acidificação (AP)	kg SO ₂ -eq.	1,07E-01	6,41E-01	1,12E-01	3,08E-01	7,06E-02
Potencial de Eutrofização (EP)	kg PO ₄ -eq.			3,19E-02		2,89E-02
Potencial de Aquecimento Global (GWP)	kg CO ₂ -eq.	3,24E+00	2,66E+01	4,43E+01	1,09E+01	1,70E+01
Potencial de Toxicidade Humana (HTP)	kg 1.4 DB-eq.					
Depleção de Ozono Estratosférico (ODP)	kg CFC 11-eq.			3,21E-06		1,58E-06

([A] - (Broun e Menzies, 2011); [B] - (Mateus *et al.*, 2013)).

A tabela faz referência a estudos com a fronteira do sistema *cradle to the gate* e para a UF 1 m² de parede:

- A construção de uma parede “Timber Stud Frame” frequente no Reino Unido, sendo a sua infraestrutura constituída por uma estrutura de madeira (madeira horizontal e vertical pregada com pregos) com fixação de uma placa de pladur em ambos os lados e aplicação de pintura como acabamento final (Broun e Menzies, 2011).
- A construção de uma alvenaria de tijolo cerâmico, com dimensão 0,215x0,103x0,065 m do elemento tijolo, com 0,01 m de espessura da argamassa de revestimento e que aplicaram pintura como acabamento final (Broun e Menzies, 2011).
- A construção de uma alvenaria de tijolo cerâmico, com dimensão 0,30x0,20x0,11 m do elemento tijolo e com aplicação de argamassa de revestimento com espessura de 0,02 m em ambos os lados (Mateus *et al.*, 2013).
- A construção de uma alvenaria de bloco de betão, com dimensão 0,40x0,20x0,20 m do elemento bloco, com 9-10% de cimento incorporado no bloco, e reforçada com uma barra de aço a cada 3 blocos, aplicaram ainda pintura como acabamento final (Broun e Menzies, 2011).
- A construção de uma parede de pladur, com largura de montante 0,50 m, espessura de placa 0,15 m, largura total da parede 0,80 m e incorporaram lã de rocha no interior (Mateus *et al.*, 2013).



Avaliação de Impacte Ambiental de Paredes Interiores

Neste capítulo, fez-se uma abordagem à metodologia utilizada para aferir a avaliação de impacte ambiental de paredes interiores. Depois foram caracterizadas as soluções construtivas, tendo por base a informação disponível nos domínios técnico e científico. Por fim elabora-se um quadro síntese do inventário de ciclo de vida.

Neste capítulo e nos seguintes, a palavra doravante designada por “produto” referir-se-á às paredes interiores deste trabalho.

3.1. Metodologia utilizada para avaliação de impacte ambiental de paredes interiores

A metodologia de avaliação de impacte ambiental integra uma definição de objetivos, uma análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV), uma Avaliação de Impacte Ambiental do Ciclo de Vida (AIACV) e uma interpretação ou conclusão final do ciclo de vida.

A definição de objetivos já foi definida no capítulo 1, restando apenas acrescentar o que as Normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 recomendam os requisitos necessários para aferir qualidade nos dados, tais como: unidade funcional; fronteira temporal; fronteira geográfica; fronteira tecnológica; fontes de informação; processos e alocação de dados e o limite de sistema.

Neste contexto, procurou-se referir e detalhar as variáveis acima referenciadas:

I. Unidade Funcional

A unidade funcional considerada corresponde a um metro quadrado (1 m^2) de parede.

II. Fronteira geográfica e temporal

Neste trabalho, assumiu-se um período de construção de um ano, com início em 2015. A cobertura geográfica incide na área limitante da cidade de Vila Real,

nomeadamente no campus da UTAD, tendo em consideração as regiões geográficas associada ao transporte dos materiais até ao local de obra.

III. Fronteira tecnológica

No que respeita à fronteira tecnológica, utilizou-se o software GaBi Education 6.0, e o método CML 2011 – Abril/2013, o que significa que a última atualização foi efetuada em Abril de 2013.

IV. Fonte de informação

De seguida na Tabela 14, estão representadas as fontes de informação utilizadas neste trabalho de investigação.

Tabela 14 – Fontes de informação utilizadas.

Fontes de informação	Observações
Artigo científico	Utilização pontual
Enciclopédicas técnicas	Revisões bibliográficas
Informação fornecida por empresas	Diversos contactos com empresas
Outros estudos de ACV	Revisão bibliográfica
Base de dados	Fonte de informação crucial no trabalho
Manuais de construção de alvenaria	Inventários das matérias-primas afetados à UF

V. Processos e alocações de dados

No objetivo e âmbito do trabalho deve-se sempre decidir quais os processos que precisam / não precisam, ser incluídos nos limites do sistema (Assis, 1992; Tibor 1996 citado por Ferreira, 1999). Segundo a Norma ISO 14044:2006, aplicando-se um ajustamento quantitativo de massa, energia e de relevância ambiental, esta tem que ser bem definida e esclarecida. Portanto, na Tabela 15 foram tidos em conta os ajustamentos considerados no inventário da Análise do Ciclo de Vida (ACV).

Tabela 15 – Alocação e ajustamentos considerados no inventário da ACV.

Aspetos a considerar numa ACV	Observações
Fluxos de massa e de energia	Na fase de Utilização desprezou-se a água visto que no software utilizado não foi possível adicionar o seu fluxo, estando contudo referenciada nos inventários. As matérias-primas para as quais se utilizou a base de dados do software, estas incorporam a fase de extração.

Aspetos a considerar numa ACV	Observações
Distribuição e transporte	<p>Foram considerados os transportes das matérias-primas de indústrias fabris e estabelecimentos de comércio. As matérias-primas que se utilizam pela base de dados do software, incluem os transportes nos seus ciclos de vida.</p> <p>Os transportes usados são todos de classe Euro 3 a Diesel, com uma capacidade máxima de carga até 7,5 t peso bruto e uma capacidade de carga útil de 3,3 t.</p>
Diesel	<p>O combustível utilizado é composto por: petróleo bruto e bio componentes com uma composição de 10 ppm de enxofre e 6,59% em peso de bio componentes.</p>
Eletricidade	<p>A eletricidade utilizada tem como UF 3,6 MJ de energia que estão repartidos da seguinte forma: 0,31% Biogás; 0,4% Energia Geotérmica; 0,53% Energia Fotovoltaica; 1,18% Resíduos; 4,70% Energia da Biomassa; 5,12% Fuelóleo; 17,46% Energia Eólica; 18,77% Carvão Mineral; 23,10 Energia Hidroelétrica; 28,44% Gás Natural</p>
Argila	<p>Na alvenaria de tijolo cerâmico 7, alocou-se (-10 %) dos quantitativos do tijolo 11, à exceção da água e argila. Isto porque o processo construtivo é igual, só altera a espessura do tijolo.</p>
Ciclo de vida dos materiais	<p>É considerado pelos processos internos da base de dados do software.</p>
Utilização de produtos semelhantes	<p>São considerados e aproximados da realidade alguns produtos na qual não existia informação na base de dados, tais como, argila (substituída pelo processo areia na base de dados), prego e parafuso.</p>
Equipamento, infraestruturas, manutenção da maquinaria e Manufatura de materiais auxiliares ao processo de produção	<p>Não são considerados estes aspetos, uma vez que o tempo de vida dos equipamentos usados na obra é muito superior ao tempo durante o qual este foi utilizado. Segundo (Vigo et al., 1992; Friachknetht, 1996 citado por Ferreira, 1999), os bens de equipamento, emissões pessoais (utilização de energia, ar condicionado, sanitários) geralmente não são incluídos nos limites do sistema, porque conclui-se terem um efeito muito reduzido nos resultados.</p>
Operações de manutenção	<p>Não Consideradas</p>

Todas as matérias-primas e processos utilizados no software para a construção das quatro paredes interiores, estão representados na Tabela 16, em que, A- parede de tabique; B- parede de tijolo cerâmico 7 e 11; C- parede de blocos de betão e D- parede de pladur.

AVALIAÇÃO DE IMPACTE AMBIENTAL DE PAREDES INTERIORES

Tabela 16 – Matéria-prima e processos que estão incluídos no sistema, indicando a sua fonte, e o país a que se referem (Portugal - PT; Europa – EU/RER; Estados Unidos da América - US; Alemanha - DE; América do Norte - RNA; Global – GLO).

Solução Construtiva	Matéria-prima; processo escolhido (ano)	Caraterísticas	Base dados
A; B	Argila; Sand 0/2, production mix, at plant/kg/EU-27 (2013)	Quantitativos	PE International; [6]; [7]
B; C	Areia; Sand 0/2, production mix, at plant/kg/EU-27 (2013)		PE International
C	Areia siliciosa; Silica sand, production mix, at plant/kg/DE (2013)	Quantitativos	PE International; [8]
C	Pó de alumínio; Aluminum, primary, ingot, production mix, at plant/kg/RNA (1998)	Quantitativos	PE International; [8]
A; B; C	Cal; Lime (CaO; finelime) (EN15804 A1-A3), production mix, at plant/kg/DE (2012)	Especificações de consumo e de amassadura	PE International; [4]; [8]
B	Gás Natural; production mix, at consumer/kg/PT (2011)		PE International
B; C	Cimento; Portland cement (CEM I), production mix, at plant/kg/RER (2006)		PE International
A	Madeira; Particle board, production mix, at plant/kg/EU-27 (2013)	Quantitativos, Peso específico (kg/m ³);	PE International; [3]; [6]
B; C; D	Eletricidade; Electricity (electric power), production mix, at power plant/MJ/PT (2013)		PE International
A	Prego - Steel billet, production mix, at plant/kg/DE (2013) - Eletricidade; Electricity (electric power), production mix, at power plant/MJ/PT (2013)	Peso (kg); especificações máquina	PE International; [1]; [2]
D	Parafuso - Steel billet, production mix, at plant/kg/DE (2013) - Electricity (electric power), production mix, at power plant/MJ/PT (2013)	Peso (kg); especificações máquina; quantidade	[1]; [9]; [12]

Solução Construtiva	Matéria-prima; processo escolhido (ano)	Caraterísticas	Base dados
B; C	Embalagem Pallet - Particle board, production mix, at plant/kg/EU-27 (2013) - Pregos - Steel billet, production mix, at plant/kg/DE (2013) - Eletricidade; Electricity (electric power), production mix, at power plant/MJ/PT (2013) - Polypropylene film (PP), production mix, at producer/kg/RER (2005)	Peso (kg); especificações máquina	PE International; [1]; [2]; [5]
D	Placa Pladur; Gypsum plasterboard, production mix at plant/kg.m ² /EU-27 (2008)	Quantitativos	PE International; [12]
D	Perfil Metálico; Steel Electrogalvanized, production mix, at plant/kg/GLO (2008)	Quantitativos	PE International; [12]
D	Pasta de junta - Gypsum stone, production mix, at plant/kg/DE (2013) - Calcium silicate, production mix, at plant/kg/EU-27 (2013) - High density polyethylene resin, production mix, at plant/kg/RNA (2003)	Composição	[10]; [12]
D	Fita de junta; Fiberglass Duct Wrap, production mix, at producer/kg/US (2007)	Características do produto; quantidade	PE International; [11]; [12]
A; B; C; D	Transporte - Diesel; Diesel, production mix, at refinery/kg/EU-27 (2011) - Truck, consumption mix/kg/GLO (2013)		PE International

([1] - Ferreira e Farinha (1977); [2] - Casillas (1987); [3] - Hebei Greens Machinery Manufacturing Co. (2015); [4] - Weber (2015); [5] - Rouge (2015); [6] - Soares (2012); [7] - Gama (2010); [8] - Silva e Veloso (2015) [9] - Merlin (2015); [10] - Majodir (2015); [11] - Tesa (2015); [12] - (Pladur, 2015)).

VI. Limite de sistema

Neste trabalho foi feito um ciclo de vida *cradle to the gate*, utilizando diversas fases cumprindo com as exigências da Norma de ACV, Figura 10. Entende-se por extração a fase de extrair toda a matéria-prima necessária (do meio ambiente) para a produção de material necessário à construção das paredes; entende-se por produção todas as ações industriais necessárias para o processamento do material; e por utilização a construção das paredes desde a chegada do material ao local de construção até à aplicação da última camada de revestimento.

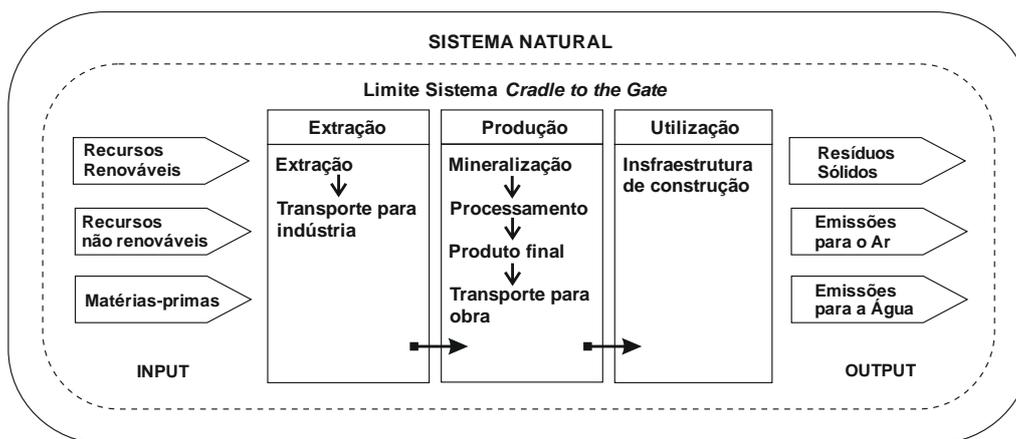


Figura 10 – Limite do sistema de produto.

Na definição dos limites do sistema de produto com o ambiente, a questão mais importante reside em determinar quais os processos que fazem parte do sistema ambiente, e quais fazem parte do sistema de produto.

Considera-se o ambiente como o limite da fronteira do sistema, ou seja, tudo que esteja em contacto com o ambiente e seja contemplado na análise ACV do sistema de produto. Assim sendo, as fronteiras do sistema das Figuras 13; 15; 17 e 19 representadas no próximo subcapítulo, esquematizam os principais processos e fluxos para a construção de cada parede, o que vai ao encontro das exigências das Normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006.

Na ACV deve-se contemplar todos os fluxos (matérias-primas e energia), associados ao sistema de produto, com base em dados recolhidos, especificamente, para o caso de estudo ou dados publicados e referenciados relativos a estudos análogos.

O fluxo da ACV das paredes interiores está representado na Figura 11, onde se mostra, a nível geral, os intervenientes em cada fase do produto em questão. O fluxo inicia-se com a fase de extração, onde intervém maioritariamente a energia necessária para a extração das matérias-primas para a fase de produção da estrutura de madeira do tabique, para a produção do tijolo cerâmico, para a produção do bloco de betão, para a produção da placa de pladur, e os restantes materiais que são usados na fase de utilização. Nesta última fase intervém várias aplicações, tais como, o caiado e a argamassa terrosa para a parede de tabique; a argamassa de assentamento e argamassa de revestimento tanto para a alvenaria de tijolo cerâmico como para a alvenaria de blocos de betão e a pasta de junta para a parede de pladur; entre outras aplicações.

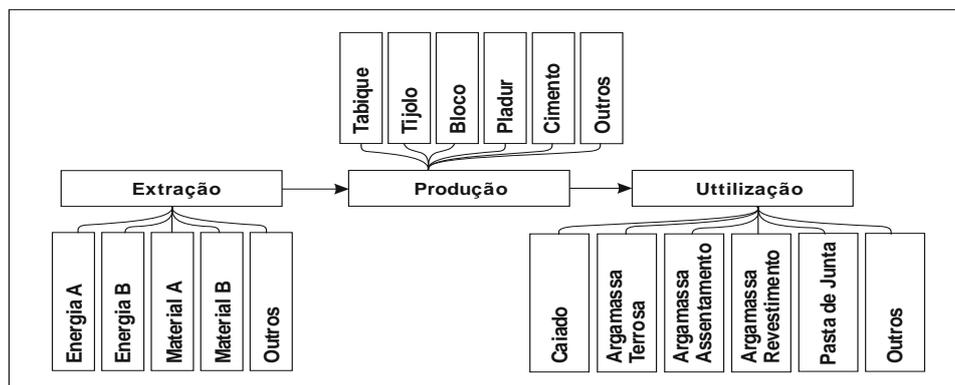


Figura 11 – Fluxo de ACV das paredes interiores.

A melhor forma de representar os fluxos de um sistema de produto é, de acordo com o Code of Practice, desenvolvendo-se um fluxograma ou árvore de processo que represente as interligações entre os processos (Ferreira, 1999). As Figuras 12; 14; 16 e 18 representadas no próximo subcapítulo esquematizam as árvores de processo ao longo do ciclo de vida, desde a entrada até à saída do material.

A análise do ICV é caracterizada no subcapítulo 3.3. Síntese de inventário, onde constam os consumos de matérias-primas e energia das entradas e saídas.

A AIACV segundo Teixeira (2013), compreende uma série de elementos obrigatórios e de elementos opcionais. De acordo com a Norma ISO 14040:2006 esses elementos obrigatórios são: a seleção das categorias de impacto, a classificação de impactos, a caracterização de impactos e a elaboração de um perfil ambiental (que se encontra no capítulo 4. Análise Sustentabilidade).

O método CML-2001 utilizado neste trabalho, segundo Teixeira (2013) é orientado para as categorias de impacto ambiental intermédias “*midpoints*”, que abordam os efeitos primários provocados por uma intervenção ambiental, e que, segundo Russell (2005) é o método mais aplicado entre os restantes estudos deste género.

O método CML-2001 é metodologicamente concordante com a Norma ISO 14040:2006, uma vez que considera os elementos obrigatórios da fase de AIACV (Hauschild et al., 2007, 2008a e 2008b citado por Teixeira, 2013). A unidade deste método é a unidade de substância equivalente em kg para cada indicador chave descrita na Tabela 17.

Tabela 17 – Categorias de impacte ambiental.

Categoria de Impacte Ambiental	Unidade	Método
Potencial de Acidificação (AP)	[kg SO ₂ -eq.]	CML 2001
Potencial de Eutrofização (EP)	[kg PO ₄ -eq.]	CML 2001
Potencial de Aquecimento Global (GWP)	[kg CO ₂ -eq.]	CML 2001
Potencial de Toxicidade Humana (HTP)	[kg 1.4 DB-eq.]	CML 2001
Depleção de Ozono Estratosférico (ODP)	[kg CFC 11-eq.]	CML 2001

Segundo exigências das Normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 fez-se uma verificação de consistência e reprodutividade dos métodos utilizados ao longo da ACV.

A interpretação ou conclusão final do ciclo de vida é caracterizada no capítulo 5. Conclusões e Trabalhos Futuros, onde constam as conclusões dos resultados obtidos neste trabalho.

3.2. Soluções construtivas

Neste subcapítulo caracteriza-se a execução da parede de tabique, da parede de alvenaria de tijolo cerâmico, da parede de alvenaria de blocos de betão e da parede de pladur.

3.2.1. Parede de tabique

A árvore de processo da parede de tabique, Figura 12, inicia-se com a fase de extração de duas principais matérias-primas: a madeira e o solo. A extração da madeira admite maquinaria de corte e transporte para a serração, sendo utilizado para isso combustível. A extração de solo argiloso admite maquinaria de terraplanagem e transporte para o local de construção, não necessitando de outros processamentos.

A fase de produção diz respeito ao processamento da madeira, em tábuas com dimensões standard, utilizando para isso energia e água; ao processamento do prego necessário para pregar as tábuas de madeira, onde utiliza ferro e energia para o seu fabrico, e ao processamento da cal hidráulica. Estes materiais são depois encaminhados para o local de construção, consumindo combustível no transporte.

A fase de utilização inicia-se com a chegada dos materiais à obra, seguindo-se a construção da estrutura de madeira e depois a aplicação da argamassa terrosa. Posteriormente, aplica-se o caiado (cal hidráulica) para a finalização da parede.

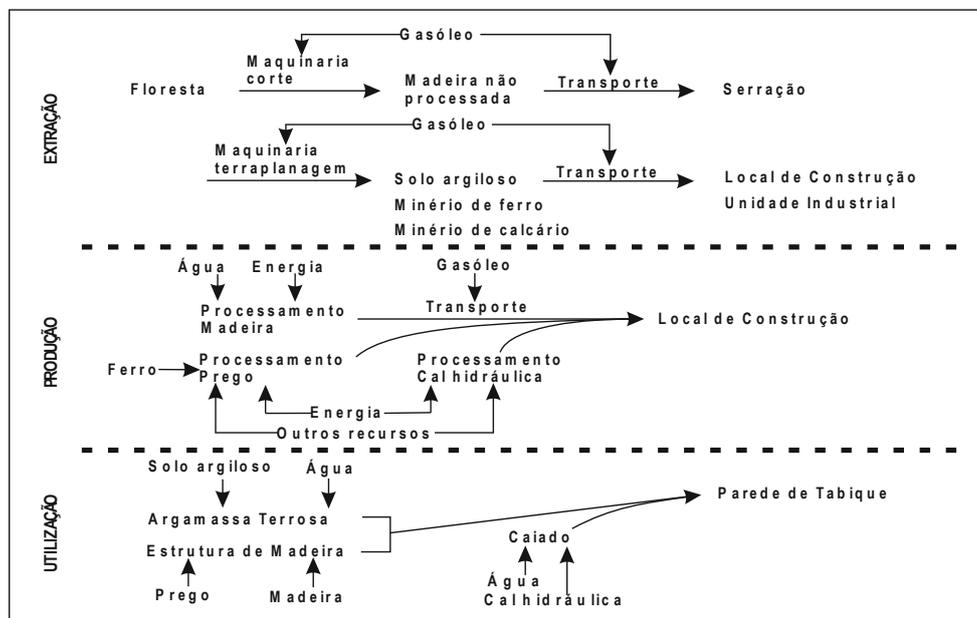


Figura 12 – Árvore de processo da parede de tabique.

Para determinar as quantidades dos diversos materiais que constituem uma parede de tabique, recorreu-se a medições utilizadas em outros estudos (Soares, 2012; Cepeda, 2009; Pinto *et al.*, 2011) e à medição dos diferentes elementos de uma parede de tabique, que se encontrava no laboratório de materiais de engenharia civil e que tinha sido obtida na demolição de uma habitação. As medidas da parede de tabique usadas neste trabalho estão apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 – Medidas e quantitativos da parede de tabique.

Componentes	Quantidade	Unidade
Fasquio	1x0,017x0,03	m
Madeira vertical	0,18x0,021x1	m
Espessura parede	0,075	m
Volume de argamassa	0,03876	m ³
Solo argiloso	69,2835	kg
Água	0,0138567	m ³
Caiado	14	kg
Água para caiado	0,00252	m ³

Soares (2012) determinou a composição mineral e o traço da argamassa terrosa de uma parede de tabique que se apresenta na Tabela 19.

Tabela 19 – Traço e composição mineralógica do solo argiloso para a argamassa terrosa.

Composição mineralógica do solo argiloso		Traço	
Biotite (Bt)	Clorite (Cl)	Solo	Água
Feldspato potássico (Fk)	Moscovite (Msc)	6000 g	1200 ml
Quartzo (qtz)	Anortite (An)		
Albite (Alb)			

A fronteira do sistema da parede de tabique está representada na Figura 13, onde do sistema ambiente consta o solo argiloso e a água como fluxo, a madeira, o prego e a cal hidráulica como processo, pois as matérias-primas para além de serem extraídas do ambiente sofrem vários processos de transformação. Do sistema de produto, só fazem parte a estrutura de madeira, a argamassa e o caiado pois são estes processos que estão associados à construção propriamente dita, não interferindo diretamente com o ambiente.

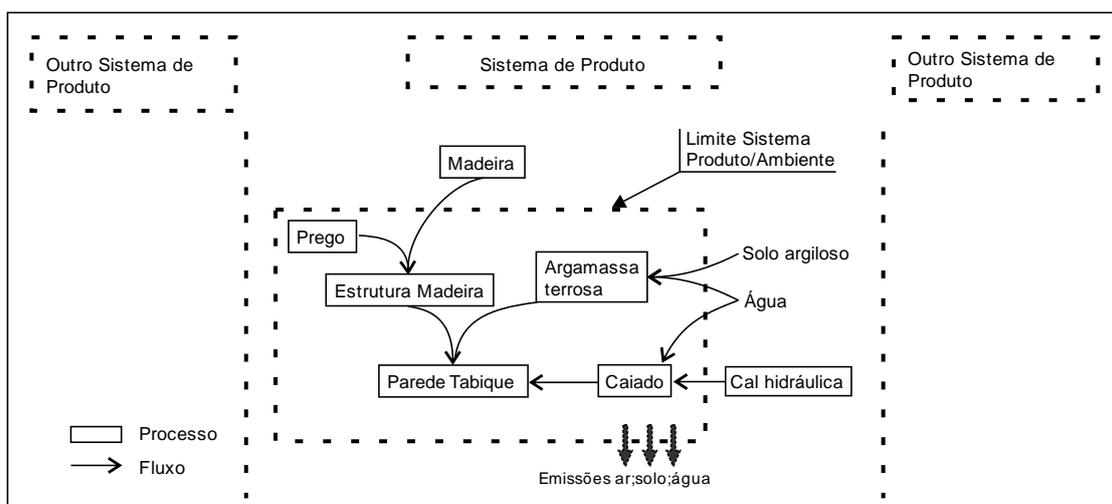


Figura 13 – Fronteira do sistema parede de tabique.

O processo estrutura de madeira diz respeito a fabricação da madeira preparada (ripa/tábua), fazendo parte também a fabricação dos pregos que vão ser utilizados para pregar a madeira.

O processo argamassa terrosa diz respeito a obtenção do solo argiloso para a incorporação na estrutura de madeira.

O processo caiado diz respeito a fabricação da cal hidráulica necessária para a caição como acabamento final na parede.

O transporte foi considerado nos processos da estrutura de madeira, da argamassa terrosa e do caiado, transporte esse que diz respeito ao utilizado desde a obtenção da matéria-prima até à unidade industrial, e de lá até uma indústria comercial e/ou local de obra. Considerou-se que a extração do solo argiloso é feita perto do local de obra, no concelho de Vila Real, tendo-se adotado uma distância de transporte até ao local de obra de 15 km. Considerou-se que a estrutura de madeira e os restantes materiais provieram de uma indústria de comércio, tendo-se adotado uma distância de transporte até ao local de obra de 16 km. Os restantes processos tais como: a madeira e a cal hidratada que existem na base de dados do software, já incorporam os transportes no produto final.

Toda esta informação é considerada na análise e representada no **Anexo I**.

3.2.2. Parede de alvenaria de tijolo cerâmico

A árvore de processo da parede de alvenaria de tijolo cerâmico, está esquematizada na Figura 14, de onde consta a fase de extração que envolve a extração de 4 principais matérias-primas: a argila necessária para a fabricação dos tijolos cerâmicos; a areia, a cal e o cimento necessário para as argamassas utilizando para isso maquinaria de terraplanagem, transporte para a sua extração e transporte para as unidades transformadoras sendo que essas máquinas consomem energia.

A fase de produção refere-se à crivagem da areia, ao processamento da cal e do cimento pelas unidades industriais. A fabricação dos tijolos cerâmicos consome energia, água, gás natural, biomassa e gásóleo. Tanto os tijolos como a areia, a cal e o cimento são depois enviados das unidades industriais para o local de construção consumindo combustível no transporte.

A fase de utilização inicia-se com a chegada de todo o material à obra e com a construção da parede: assentamento dos tijolos cerâmicos com argamassa e posterior aplicação da argamassa de revestimento para finalização da parede.

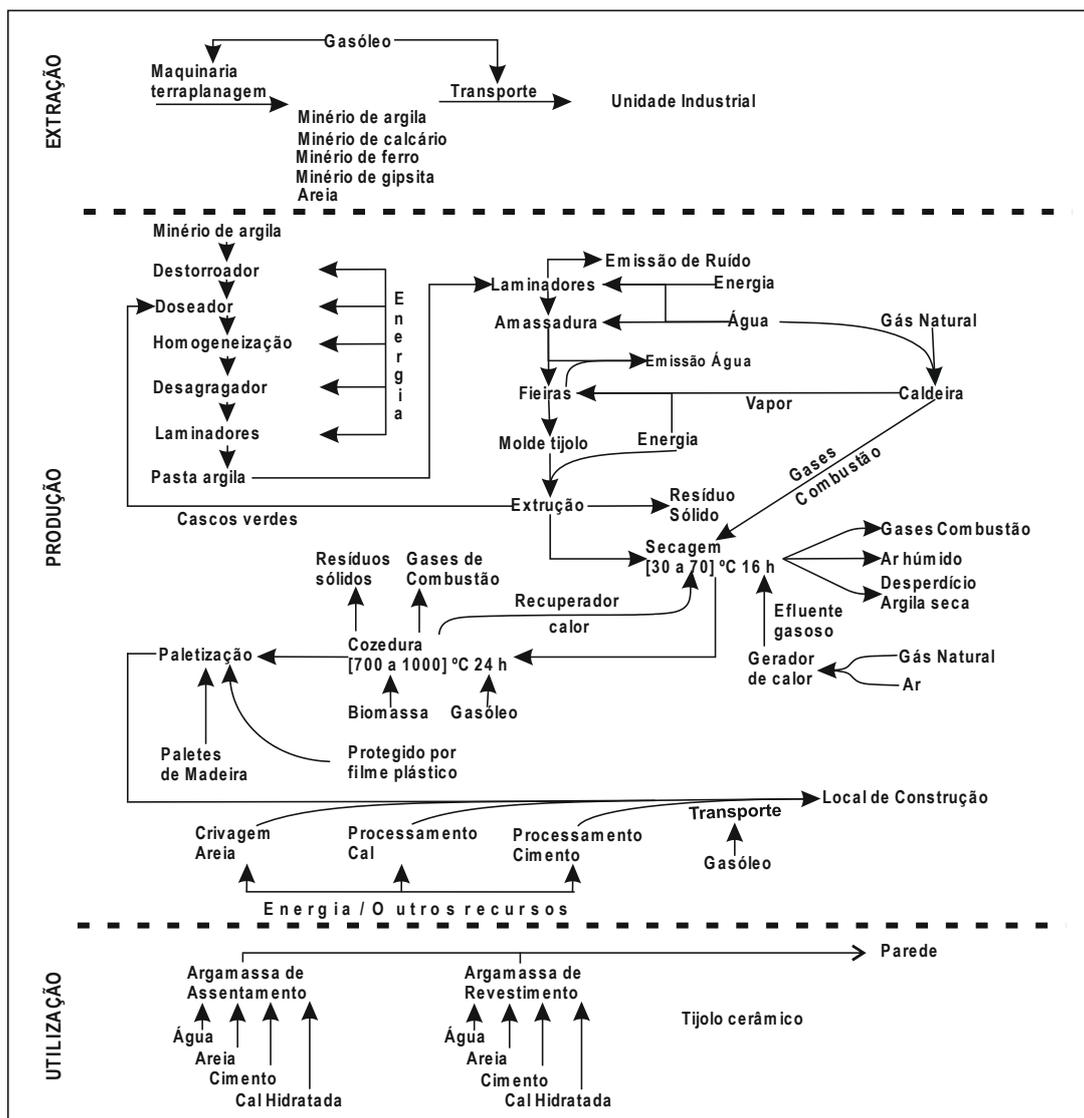


Figura 14 – Árvore de processo da parede de alvenaria de tijolo cerâmico.

Os dois modelos de tijolo aplicados neste trabalho estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Características dos tijolos cerâmicos de 7 e de 11.

Modelo	Formato (m)	Massa (kg)
Alvenaria Tijolo 7	0,30x0,20x0,07	[3 – 5]
Alvenaria Tijolo 11	0,30x0,20x0,11	[4 – 6]

A Tabela 21 identifica os materiais que fazem parte da constituição da alvenaria de tijolo.

Tabela 21 – Materiais e composição das argamassas.

Material ou acessório	Materiais
Argamassa de assentamento	Cimento : Cal Hidratada : Areia : Água
Argamassa de revestimento	Cimento : Cal Hidratada : Areia : Água

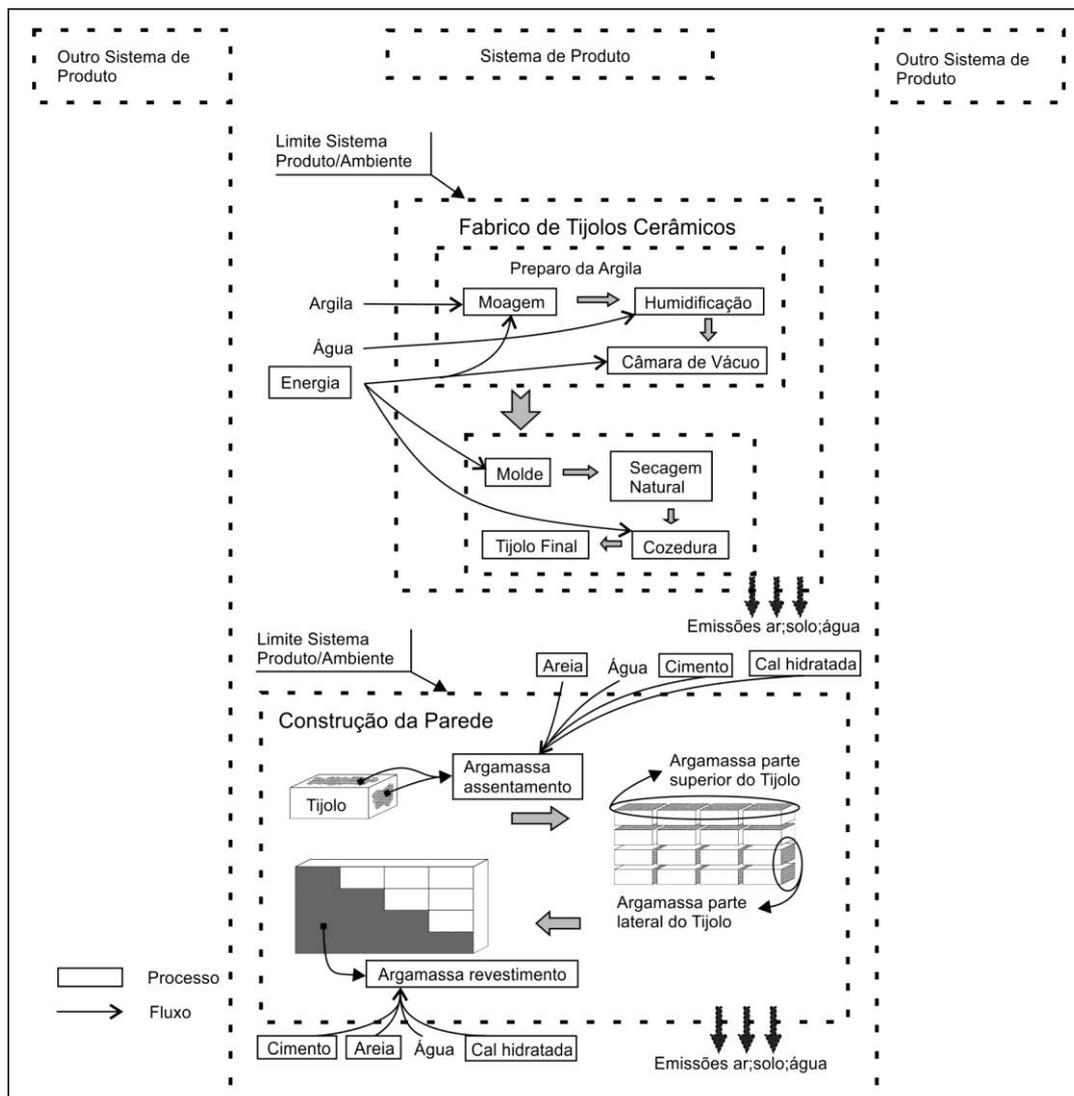


Figura 15 – Fronteira do sistema parede de alvenaria de tijolo cerâmico.

As dimensões da parede de alvenaria construída têm uma espessura final de 9 ou de 13 cm respetivamente se é tijolo de 7 ou de 11 cm.

A aplicação da argamassa de revestimento é constituída por 3 etapas: o chapisco, o emboço e o reboco, no entanto, considerou-se como uma só etapa designada por argamassa de revestimento.

No que se refere à fronteira do sistema da parede de alvenaria de tijolo cerâmico, Figura 15, esta foi dividida em dois sistemas: o sistema do fabrico de tijolos cerâmicos cuja atividade industrial utiliza fluxos como a argila e água do ambiente e a energia como processo; o sistema construção da parede cuja infraestrutura utiliza do sistema ambiente a água como fluxo, a areia, o cimento e a cal hidratada como processo.

O sistema fabrico de tijolos cerâmicos, diz respeito a todos os processos utilizados para obter o tijolo final, tais como o da argila (extração da argila), depois o de preparo da argila bem como o de fornecimento de energia. Faz parte ainda a paletização do tijolo na unidade industrial.

O sistema construção da parede diz respeito á chegada do tijolo e a incorporação da argamassa de assentamento e de revestimento para a fixação dos tijolos, concluindo a parede. Dos processos argamassa de assentamento e argamassa de revestimento dizem respeito a fabricação da cal hidratada, a fabricação do cimento e da preparação da areia, necessários para a fixação dos tijolos e para acabamento final na parede.

O transporte foi considerado nos sistemas: fabrico de tijolos cerâmicos e construção da parede, transporte esse que diz respeito ao utilizado desde a obtenção da matéria-prima até à unidade industrial, e de lá até uma indústria comercial. Considerou-se que a fábrica que fornece os tijolos encontra-se aproximadamente a 130 km da obra, sendo a mais próxima de Vila Real; a areia e restantes materiais necessários para as argamassas provêm de uma empresa de comércio de materiais de construção situada em Vila Real aproximadamente a 6 km do local da obra. Os restantes processos tais como: argila, cimento e cal hidratada que existem na base de dados do software, já incorporam os transportes no produto final.

Toda esta informação é considerada na análise e representada no **Anexo II e III**.

3.2.3. Parede de alvenaria de blocos de betão

A árvore de processo da parede de alvenaria de blocos de betão, esquematizado na Figura 16, inicia-se com a fase de extração que envolve a extração de 3 principais matérias-primas: a areia siliciosa, a cal e o cimento necessários para a fabricação do bloco de betão e das argamassas. Utiliza-se para isso maquinaria de terraplanagem e transporte até as unidades industriais, consumindo combustível nestas operações.

A fase de produção refere-se ao processamento da cal e do cimento e à fabricação do bloco de betão, onde se utiliza água, energia, areia, cal, cimento e pó de alumínio. Tanto os blocos como a areia, a cal e o cimento são depois enviados das unidades industriais para o local de construção, consumindo combustível.

A fase de utilização inicia-se com a chegada de todo o material à obra onde são aplicados os blocos de betão, a argamassa de assentamento e rebocados com argamassa de revestimento para finalização da parede.

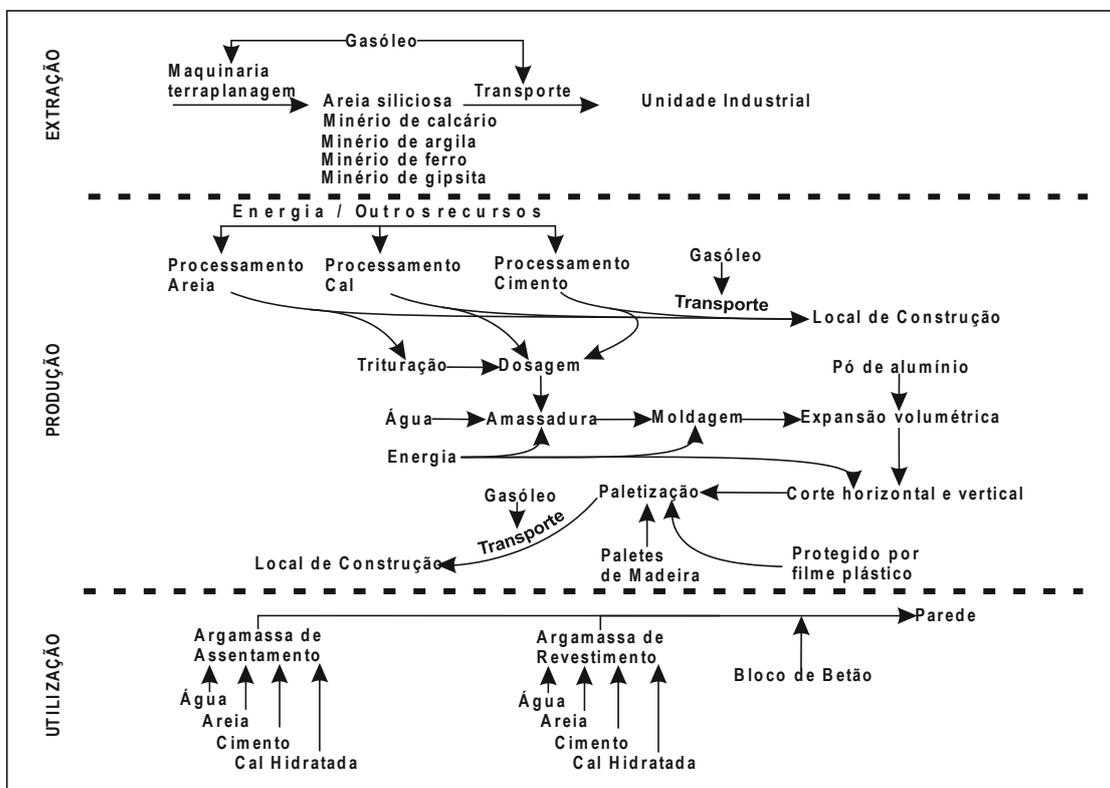


Figura 16 – Árvore de processo da parede de alvenaria de blocos de betão.

Como vários aspetos foram já explicados no subcapítulo 3.2.2, fez-se uma tabela resumo de alocação de componentes, como mostra a Tabela 22.

Tabela 22 – Alocação de componentes na alvenaria de blocos de betão referente à alvenaria de tijolo cerâmico.

Componentes	Alocação
Espessura de junta vertical e horizontal	Mesma espessura
Argamassa de assentamento	Mesma composição e traço volumétrico
Argamassa de revestimento	Mesma composição e traço volumétrico
Caraterísticas dos ligantes e areia	Mesma caraterísticas físicas
Transporte utilizado	Mesma quilometragem

O bloco de betão é furado com furação vertical e o seu formato e peso entre outras caraterísticas estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Características do bloco e da parede de alvenaria de blocos de betão.

Tipo de bloco	Betão	
Formato bloco	0,50x0,20x0,15	(m)
Peso bloco	15	(kg)
Espessura da parede no tosco	0,15	(m)
Peso da parede	150	(kg/m ²)
Consumo de bloco	10	(unid./m ²)
Consumo de argamassa assentamento	10,5	(litros/m ²)
Consumo de argamassa revestimento	10	(litros/m ²)

No que se refere à fronteira do sistema da parede de alvenaria de blocos de betão, Figura 17, esta foi dividida em dois sistemas: o sistema do fabrico de blocos de betão cuja atividade industrial utiliza fluxos como a água do ambiente, e os processos com a energia, o pó de alumínio, o cimento e os agregados (areia média, areia grossa, brita); o sistema construção da parede cuja infraestrutura utiliza do sistema ambiente a água como fluxo, a areia, o cimento e a cal hidratada como processo.

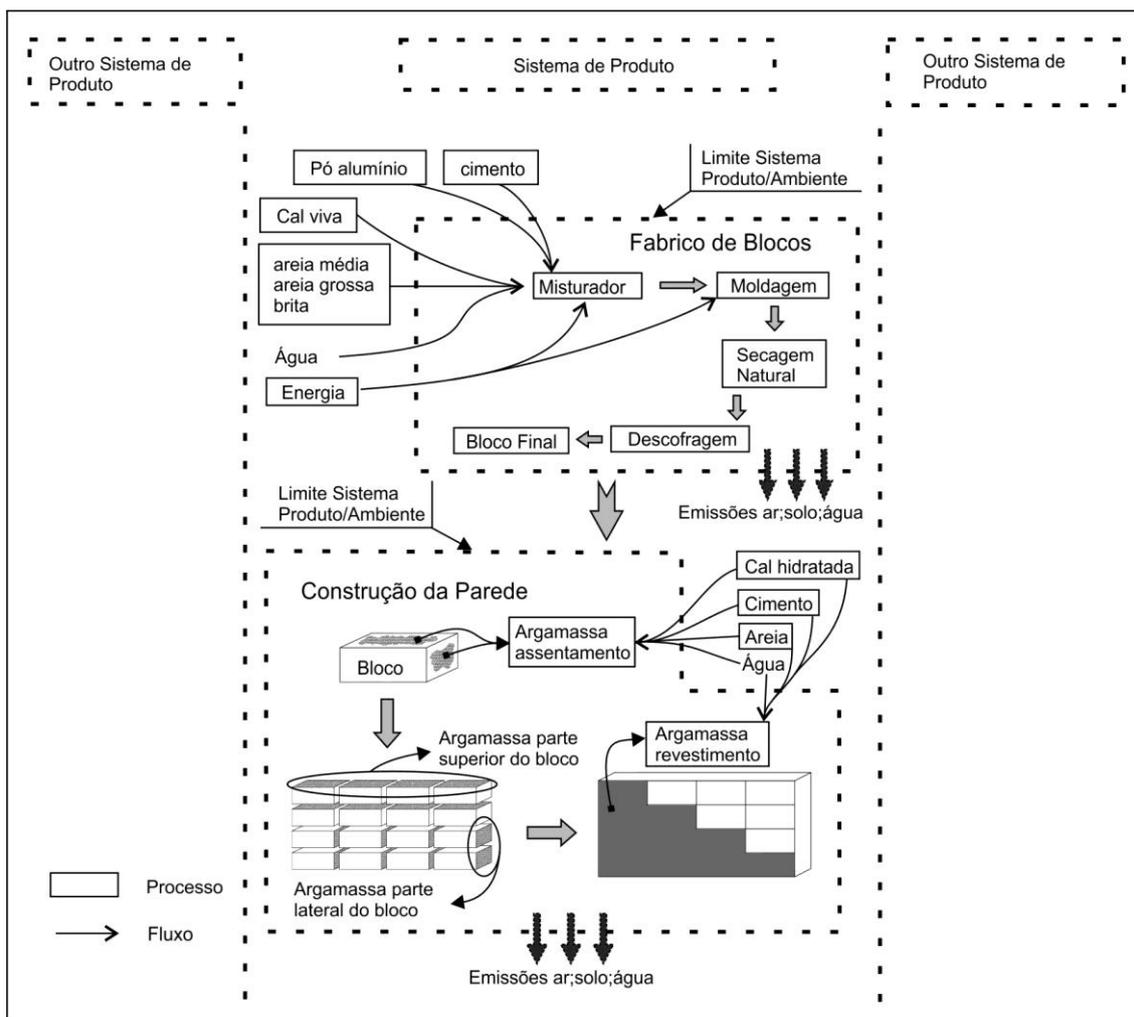


Figura 17 – Fronteira do sistema parede de alvenaria de blocos de betão.

O sistema fabrico de blocos diz respeito todos os processos utilizados para obter o bloco final, tais como os agregados (areia média, areia grossa e brita), a cal viva, o pó de alumínio, o cimento e o fornecimento de energia. Depois faz parte ainda a paletização do bloco na unidade industrial.

O sistema construção da parede diz respeito á chegada do bloco e a incorporação da argamassa de assentamento e de revestimento para a fixação dos blocos, concluindo a parede. Dos processos argamassa de assentamento e argamassa de revestimento dizem respeito a fabricação da cal hidratada, a fabricação do cimento e da preparação da areia, necessários para a fixação dos tijolos e para acabamento final na parede.

O transporte foi considerado nos sistemas: fabrico de blocos e construção da parede. Transporte esse que diz respeito ao utilizado desde a obtenção da matéria-prima até à unidade industrial, e de lá até uma indústria comercial. Os restantes processos tais como: cal viva, pó de alumínio, cimento e cal hidratada que existem na base de dados do software, já incorporam os transportes no produto final.

Toda esta informação é considerada na análise e representada no **Anexo IV**.

3.2.4. Parede pladur

A árvore de processo da parede de pladur, esquematizada na Figura 18, inicia-se com a fase de extração de gipsita, matéria-prima original para a obtenção do gesso, onde utiliza maquinaria de terraplanagem, e posterior transporte para a unidade industrial, consumindo combustível.

A fase de Produção refere-se aos processos: placa de pladur, utilizando essencialmente energia, água, aditivos e cartão celulose; ligas metálicas; parafusos; fita de junta e pasta de junta.

A fase de Utilização inicia-se com a chegada de todo o material à obra, onde são aplicadas as ligas metálicas (montante, canal, junta), o aparafusamento da placa de pladur e rebocada com a pasta de junta e da fita de junta para finalização da parede.

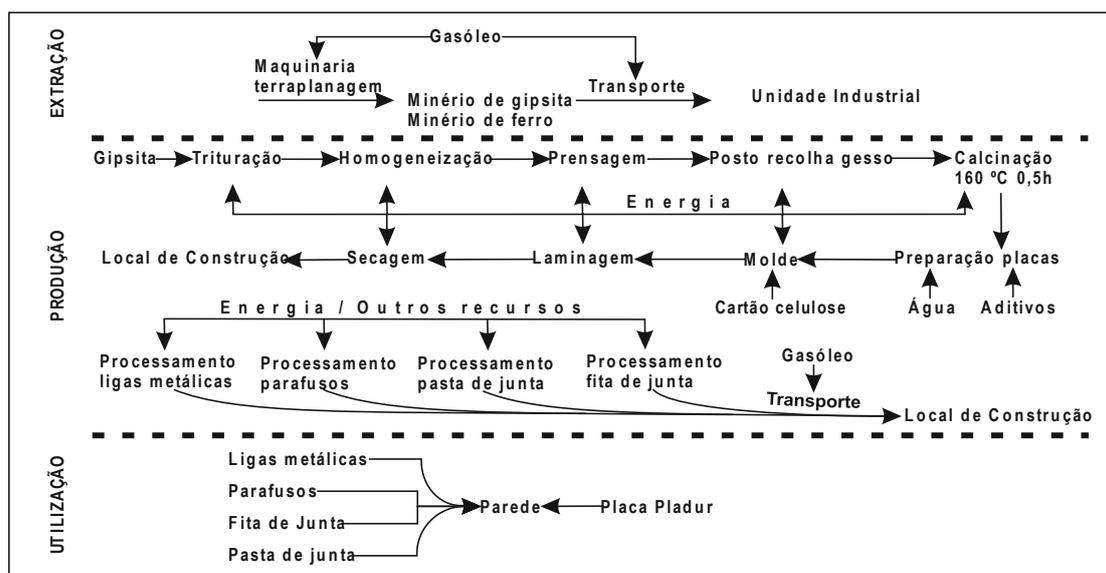


Figura 18 – Árvore de processo da parede pladur.

No que diz respeito à parede pladur utilizada, ela é definida como uma parede simples 76/400 (46), cujos valores significam: 76 mm de espessura final da parede; com posicionamento entre cada montante de 400 em 400 mm, num plano vertical e com uma espessura de montante de 46 mm. É uma placa pladur tipo normal (N) de 15 mm de espessura, entre outras características expressas na Tabela 24.

Tabela 24 – Características da placa e da parede de pladur.

Placa	Tipo de placa pladur	N 15	
	Formato placa	3x1,20x0,015	(m)
	Peso placa	≈ 10	(kg)
Parede	Espessura da parede	0,076	(m)
	Consumo de placa	1	(unid./m ²)
	Consumo de pasta de junta	≈ 0,42	(kg/m ²)
	Consumo de fita de junta	1,5	(m/m ²)
	Consumo de canal	≈ 0,45	(m/m ²)
	Consumo de montante	≈ 1,66	(m/m ²)
	Consumo de junta estanque	≈ 0,81	(m/m ²)
	Parafuso PM 3,5x2,5 mm	31	(unid)
Parafuso MM 9,5 mm	3	(unid)	

No que se refere à fronteira do sistema da parede de pladur, Figura 19, onde do sistema ambiente consta a água e gipsita como fluxo e a energia como processo, que vão ser utilizados para a fabricação da placa.

Do sistema de produto, consta a placa, as ligas metálicas, os parafusos, e o acabamento (pasta de junta e a fita de junta) pois são estes processos que estão associados à construção propriamente dita, não interferindo, diretamente, com o ambiente.

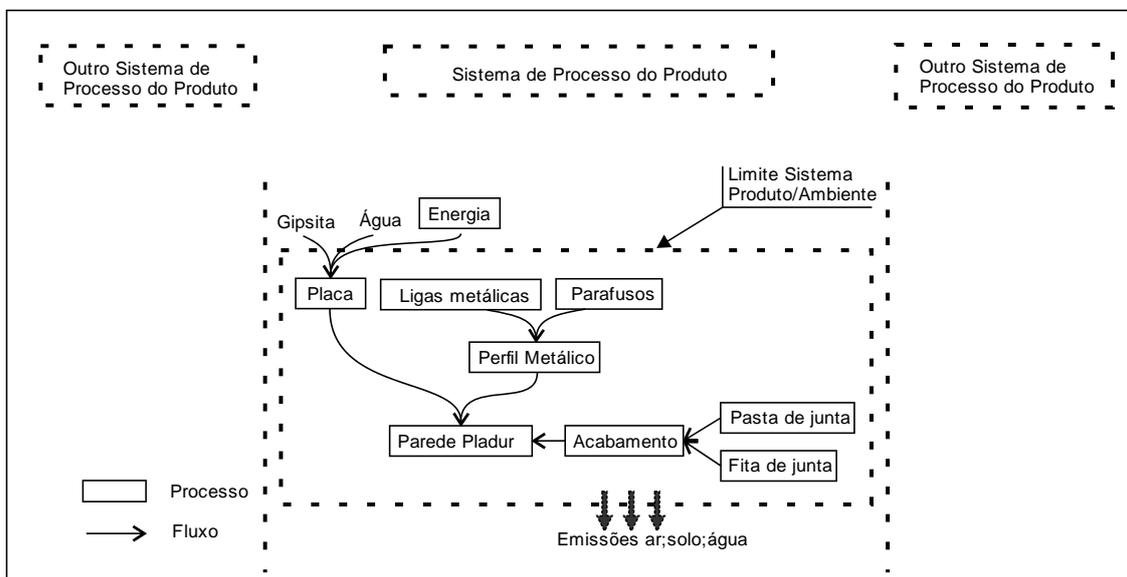


Figura 19 – Fronteira do sistema parede de pladur.

O sistema de produto diz respeito todos os processos utilizados para obter a parede de pladur, tais como a placa de pladur, as ligas metálicas que são o suporte para a placa, os parafusos que vão aparafusar as ligas metálicas à placa e o acabamento final da parede que é constituído pela aplicação da pasta de junta e da fita de junta.

O transporte foi considerado no sistema de produto, na qual, diz respeito ao utilizado desde a obtenção da matéria-prima até à unidade industrial, e de lá até uma indústria comercial. Considerou-se que a fábrica que fabrica as placas encontra-se aproximadamente a 130 km de Vila Real, sendo a mais próxima; e ainda que os materiais tais como a placa de pladur, o perfil metálico e o acabamento, provêm de uma empresa de comércio de materiais de construção situada em Vila Real (a mesma empresa que forneceu às restantes paredes de construção) aproximadamente a 6 km do local da obra. Os restantes processos tais como: placa de pladur, ligas metálicas e fita de junta que existem na base de dados do software, já incorporam os transportes no produto final.

Toda esta informação é considerada na análise e representada no **Anexo V**.

3.3. Síntese de inventário

O inventário é uma fase fundamental, onde se obtêm e sistematizam os principais consumos de matérias-primas e energia, para posterior análise do impacte ambiental (perfil ambiental).

No que diz respeito às entradas, o inventário está sistematizado na Tabela 25 e diz respeito às quantidades necessárias para realizar a construção de 1 m² de parede interior que é a UF considerada neste trabalho. O Sistema Internacional de unidades SI foi usado para exprimir todas as entradas e saídas: as matérias-primas e restantes recursos são expressos em quilogramas (kg), a água em metros cúbicos (m³); a energia é expressa em quilowatt-hora (kWh); carga dos materiais no transporte em quilogramas (kg) e a distância de transporte em quilómetros percorridos (km).

Tabela 25 – Entradas de dados quantitativos das quatro paredes de interior, estipuladas para a UF.

Material	Tabique	Alvenaria Tijolo 7	Alvenaria Tijolo 11	Alvenaria Bloco	Pladur	Unidade
Água	1,64E-02	1,11E-02	1,32E-02	1,45E-02	2,02E-04	m ³
Aço	5,89E-01	1,57E-02	1,75E-02	2,65E-02	3,70E-01	kg
Eletricidade	4,53E-02	1,99E+00	2,21E+00	1,36E-01	8,75E-02	kWh
Carga	1,05E+02	1,54E+02	1,94E+02	3,53E+02	1,09E+01	kg
Quilometragem	3,10E+01	4,61E+02	4,61E+02	2,86E+02	1,10E+02	km
Cal	1,40E+01	4,82E+00	5,02E+00	4,12E+01		kg
Madeira	2,22E+01	9,89E-01	1,10E+00	1,67E+00		kg
Argila	6,93E+01	5,26E+01	6,96E+01			kg
Cimento		5,01E+00	5,68E+00	2,42E+01		kg
Areia		3,85E+01	4,30E+01	1,21E+02		kg
Polipropileno				6,90E-01		kg
Pó de alumínio				1,50E+01		kg
Diesel				3,47E-02		kg
Pasta de junta					4,29E-01	kg
Fita de junta					1,00E-01	kg
Gesso cartonado					1,00E+01	kg

A Tabela 26 apresenta os quantitativos referentes às saídas dos materiais para o meio ambiente. Essas saídas representam 3 % de resíduos, cujo destino final é o meio ambiente, sem ter valorização ambiental, quer energética, quer material. Esta previsão foi feita considerando o que se passa em média numa obra onde há sempre produção de uma

pequena percentagem de resíduos provenientes da construção, que fica no estaleiro da obra. Este valor é uma previsão estimada em relação ao total de resíduos gerados na fase de demolição de qualquer um dos tipos de paredes.

Tabela 26 – Saídas de dados quantitativos das quatro paredes de construção de interior, que têm como destino final o meio ambiente.

Material	Tabique	Alvenaria Tijolo 7	Alvenaria Tijolo 11	Alvenaria Bloco	Pladur	Unidade
Aço	1,77E-02	4,72E-04	5,24E-04	7,96E-04	1,11E-02	kg
Cal	4,20E-01	1,45E-01	1,51E-01	1,23E+00		kg
Madeira	6,65E-01	2,97E-02	3,30E-02	5,00E-02		kg
Argila	2,08E+00	1,57E+00	2,08E+00			kg
Cimento		1,50E-01	1,71E-01	7,26E-01		kg
Areia		1,16E+00	1,29E+00	3,64E+00		kg
Polipropileno		4,41E-04	4,90E-04	2,07E-02		kg
Pó de alumínio				4,50E-01		kg
Pasta de junta					1,29E-02	kg
Fita de junta					3,00E-03	kg
Gesso cartonado					3,00E-01	kg

Segundo exigências das Normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 fez-se no software utilizado uma verificação de consistência dos entradas/saídas, integridade e representabilidade dos dados.



Análise Sustentabilidade

Neste capítulo fez-se uma análise de impacte ambiental do ciclo de vida *cradle to the gate* das soluções construtivas. Depois fez-se a interpretação dos processos na construção de cada solução construtiva para avaliar quais os que têm mais significado.

4.1. Análise de impacte ambiental

A análise de impacte ambiental (perfil ambiental) do ciclo de vida *cradle to the gate* das soluções construtivas consideradas neste trabalho está representada na Tabela 27.

Tabela 27 – Perfil ambiental com o ciclo *cradle to the gate* associado às quatro paredes interiores estudadas.

Categoria de Impacte Ambiental	Unidade	Tabique	Alvenaria		Alvenaria Bloco	Pladur
			Tijolo 7	Tijolo 11		
Potencial de Acidificação (AP)	kg SO ₂ -eq.	3,99E-02	3,09E-02	3,67E-02	9,98E-02	9,21E-03
Potencial de Eutrofização (EP)	kg PO ₄ -eq.	6,11E-03	4,99E-03	6,12E-03	1,33E-02	1,15E-03
Potencial de Aquecimento Global (GWP)	kg CO ₂ -eq.	3,47E+01	1,44E+01	1,62E+01	6,57E+01	3,27E+00
Potencial de Toxicidade Humana (HTP)	kg 1.4 DB-eq.	9,62E-01	9,43E-01	1,08E+00	4,32E+00	4,26E-01
Depleção de Ozono Estratosférico (ODP)	kg CFC 11-eq.	1,38E-09	2,21E-07	2,50E-07	1,06E-06	2,00E-07

O perfil ambiental para cada sistema de produto em análise, possui diferentes categorias de impacte (*midpoint*), contudo, quantificou-se as mesmas cinco categorias de impacte para as quatro paredes interiores, observando-se que:

- Ao nível do indicador AP, registou-se que a parede pladur é a que tem menor impacte, seguindo-se a parede de alvenaria de tijolo 7, parede de alvenaria de tijolo 11, parede de tabique e em última, a parede de alvenaria de bloco.
- Ao nível do indicador EP, registou-se que a parede pladur é a que tem menor impacte, seguindo-se a parede de alvenaria de tijolo 7, parede de tabique, parede de alvenaria de tijolo 11 e em última, a parede de alvenaria de bloco.

- Ao nível do indicador GWP, registou-se que a parede pladur é a que tem menor impacte, seguindo-se a parede de alvenaria de tijolo 7, parede de alvenaria de tijolo 11, parede de tabique e em última, a parede de alvenaria de bloco.
- Ao nível do indicador HTP, registou-se que a parede pladur é a que tem menor impacte, seguindo-se a parede de alvenaria de tijolo 7, parede de tabique, parede de alvenaria de tijolo 11 e em última, a parede de alvenaria de bloco.
- Ao nível do indicador ODP, registou-se que a parede tabique é a que tem menor impacte, seguindo-se a parede de pladur, parede de alvenaria de tijolo 7, parede de alvenaria de tijolo 11 e em última, a parede de alvenaria de bloco.

4.2. Análise dos resultados

Neste subcapítulo, fez-se a análise dos processos na construção da parede de tabique, parede de alvenaria de tijolo cerâmico, parede de alvenaria de blocos de betão, bem com a parede de pladur, com o ciclo de vida *cradle to the gate*.

As seguintes Figuras de 20 a 24 distribuem os resultados da (Tabela 27), repartindo a cada processo a sua cota-parte de responsabilidade pelas cargas ambientais causadas e para além disso pode ser identificado o processo que tem maior contribuição para o impacte ambiental de cada categoria.

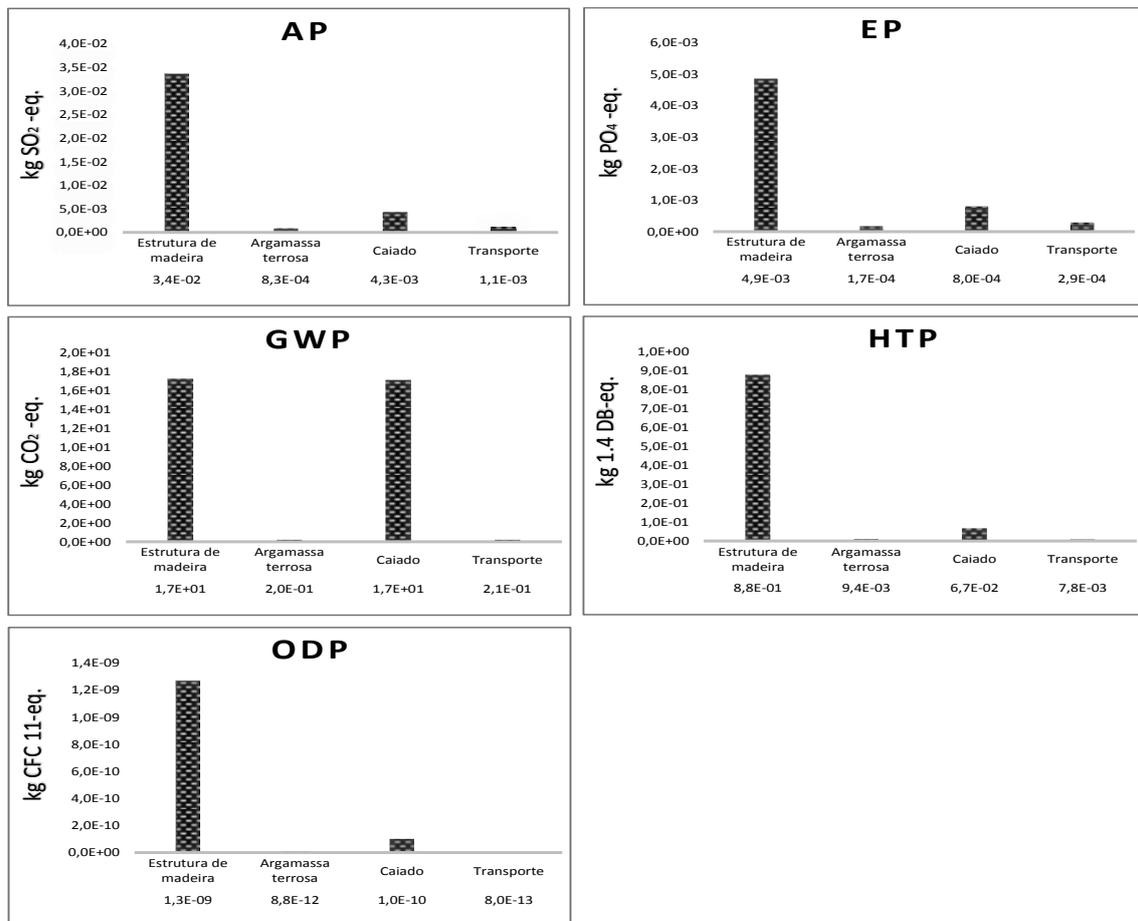


Figura 20 – Indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede de tabique.

Na Figura 20, estão representados os indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede de tabique, com o ciclo de vida *cradle to the gate*.

A análise dos valores dos indicadores permite aferir as seguintes observações:

1. Aos indicadores AP, EP, HTP e ODP evidencia-se maior impacto na estrutura de madeira, e neste processo a maior contribuição vem da fabricação da madeira, seguindo-se a fabricação do prego. O caiado evidencia o segundo maior impacto, devido unicamente à fabricação da cal hidráulica.
2. Ao nível do indicador GWP tanto a estrutura de madeira como o caiado têm a mesma contribuição de impacto, sendo que no processo da estrutura de madeira a contribuição é essencialmente da fabricação da madeira, tendo a fabricação do prego uma contribuição pequena. No processo caiado a contribuição é unicamente da fabricação da cal hidráulica.

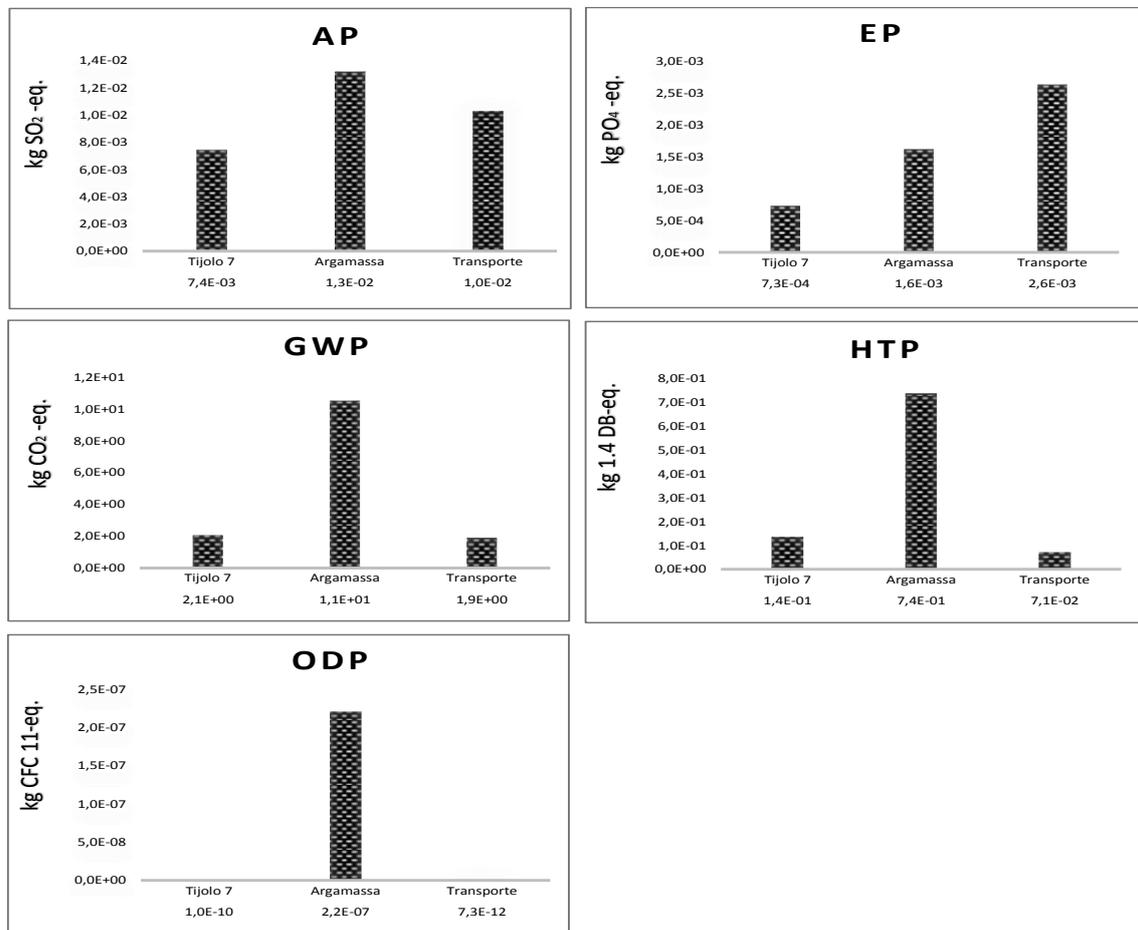


Figura 21 – Indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede de alvenaria de tijolo cerâmico (espessura do elemento tijolo 0,07 m).

Na Figura 21, estão representados os indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede de alvenaria de tijolo cerâmico (espessura do elemento tijolo 0,07 m) com o ciclo de vida *cradle to the gate*.

A análise dos valores dos indicadores permite aferir as seguintes observações:

1. O indicador AP é mais evidente nos processos argamassa e transporte, sendo superior o primeiro. Relativo ao processo tijolo este tem um menor impacto do que os anteriores. Na argamassa, a maior contribuição é a fabricação do cimento, seguindo-se a fabricação da cal hidratada e por fim a areia. No transporte, a maior contribuição diz respeito ao transporte da argila para fabricação do tijolo, seguindo-se o transporte do tijolo final para uma indústria de comércio e/ou local de obra, depois o transporte para o local de obra do material utilizado para a argamassa (areia, cimento, cal) e por fim

com reduzido valor de impacte o transporte do combustível (diesel ou gás natural) para a unidade industrial de fabricação do tijolo. No tijolo, a maior contribuição é da energia (eletricidade) utilizada, seguindo-se depois na mesma proporção a extração da argila, a utilização de gás natural e do diesel, ficando para última a contribuição da paletização do tijolo final.

2. Ao nível do indicador EP é mais evidente o impacte nos processos transporte e argamassa sendo superior o primeiro. Relativo ao processo tijolo, este tem um menor impacte do que os anteriores. Nos processos transporte e argamassa, a distribuição das contribuições do impacte são as mesmas verificadas no indicador AP. No processo tijolo, as contribuições estão igualadas entre a energia (eletricidade), a extração da argila, a utilização de gás natural e do diesel, ficando para última a contribuição da paletização do tijolo final.
3. O indicador GWP é evidente no processo argamassa, sendo de menor valor nos processos tijolo e transporte. A argamassa destaca-se dos restantes processos, devido a dois responsáveis, nomeadamente a fabricação da cal hidratada e do cimento, seguindo-se depois a areia. No tijolo, a maior contribuição deve-se à energia (eletricidade), sendo os restantes equiparáveis entre eles, ficando novamente para última a paletização do tijolo final. No transporte, a distribuição das contribuições do impacte são as mesmas verificadas no indicador AP.
4. Ao nível do indicador HTP é evidente no processo argamassa, sendo de menor valor nos processos tijolo e transporte. A argamassa destaca-se dos restantes processos, devido a dois responsáveis, nomeadamente à fabricação do cimento e da cal hidratada, sendo o primeiro o que contribui mais, seguindo-se depois a areia. No processo tijolo e transporte, a distribuição das contribuições do impacte são as mesmas verificadas no indicador GWP.
5. O indicador ODP é majorante no processo argamassa, em relação aos processos tijolo e transporte. A argamassa destaca-se dos restantes processos, devido principalmente à fabricação do cimento, seguindo-se depois com uma contribuição mais reduzida a cal hidratada e a areia. No tijolo, a contribuição é equiparável entre todos, à exceção novamente da paletização do tijolo final

que tem um impacto reduzido. No transporte a maior contribuição diz respeito aos transportes da argila para a fabricação do tijolo e do tijolo final para uma indústria de comércio e/ou local de obra, ambos equiparáveis, depois o transporte para o local de obra do material utilizado para a argamassa (areia, cimento, cal) e por fim com reduzido valor de impacto o transporte do combustível (diesel ou gás natural) para a unidade industrial de fabricação de tijolo.

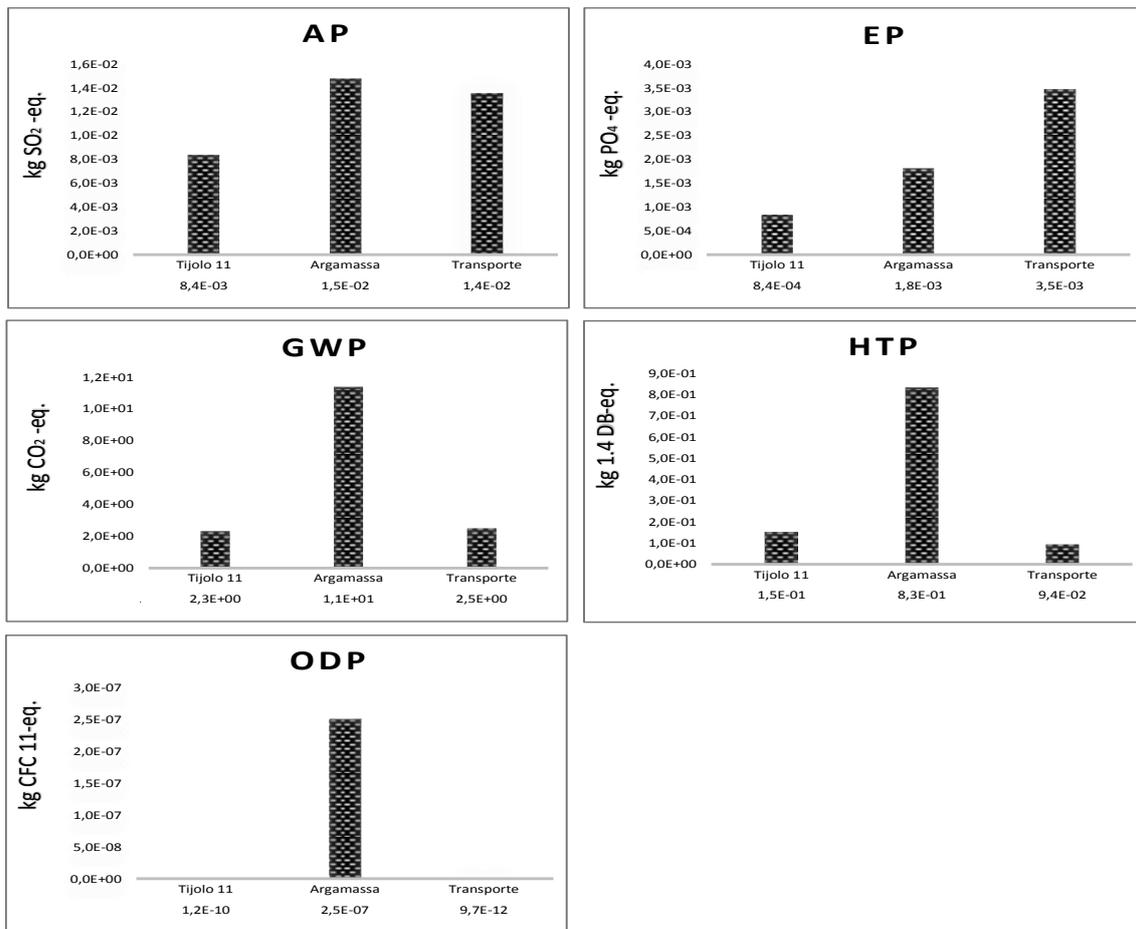


Figura 22 – Indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede de alvenaria de tijolo cerâmico (espessura do elemento tijolo 0,11 m).

Na Figura 22, estão representados os indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede de alvenaria de tijolo cerâmico (espessura do elemento tijolo 0,11 m) com o ciclo de vida *cradle to the gate*.

A análise dos valores dos indicadores permite aferir que todo o ciclo de vida é idêntico à anterior parede (Figura 21), somente interfere nos quantitativos de todos os

processos descritos e como pode constatar-se, aumentou ligeiramente o impacto ambiental em todos os indicadores, e para além disso os processos com mais significado em cada indicador são os mesmos que na anterior parede.

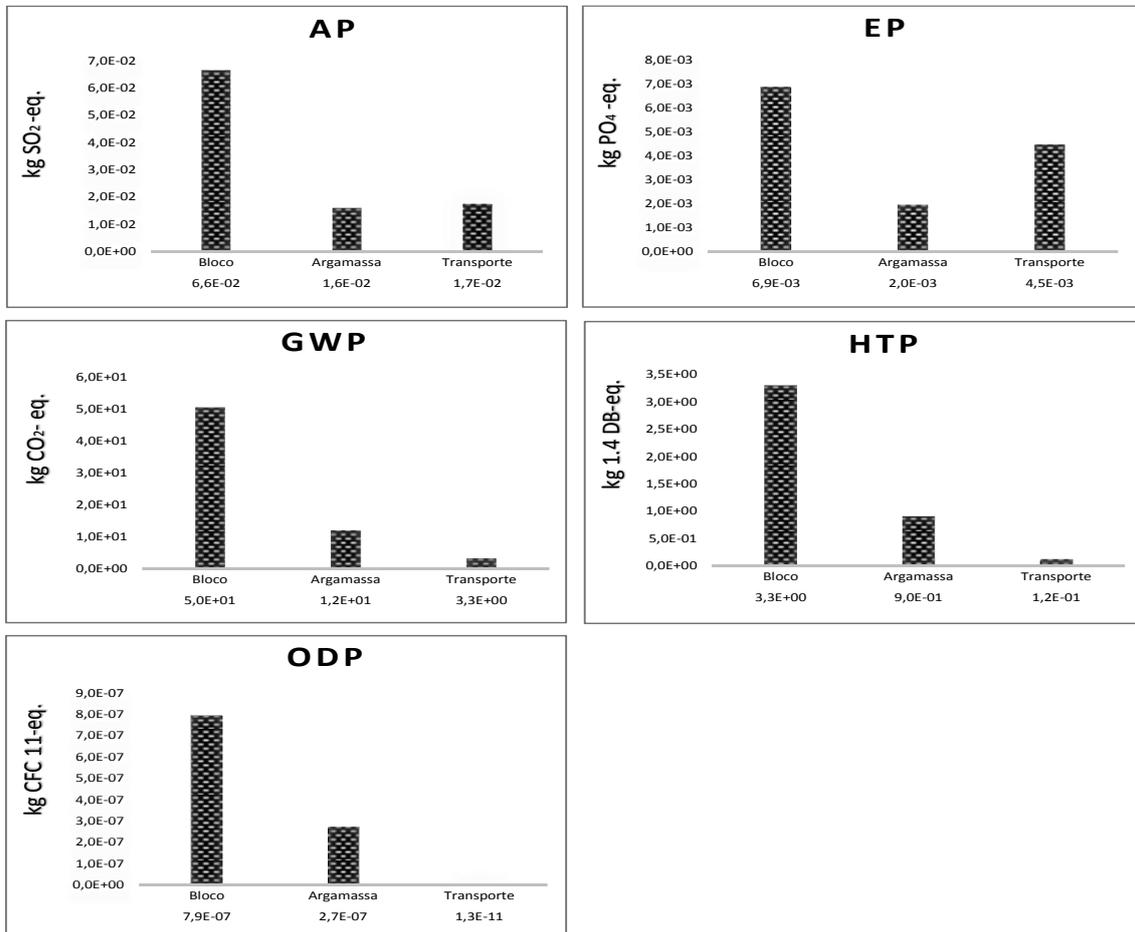


Figura 23 – Indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede de alvenaria de blocos de betão.

Na Figura 23, estão representados os indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede de alvenaria de bloco de betão com o cenário Aterro com o ciclo de vida *cradle to the gate*.

A análise dos valores dos indicadores permite aferir as seguintes observações:

1. O indicador AP é mais evidente no processo bloco, do que os restantes processos: transporte e argamassa. No bloco a maior contribuição diz respeito à fabricação de cimento, seguindo-se os agregados, depois a energia (eletricidade) e por último, ambos equiparáveis, o combustível diesel e a paletização do bloco final. No transporte a maior contribuição diz respeito ao

transporte do bloco final para uma indústria de comércio e/ou local de obra, seguindo-se ambos equiparáveis, os agregados e o cimento para a unidade industrial de fabricação do bloco e o material utilizado para a argamassa (areia, cimento, cal) para o local de obra, e por fim com reduzido valor de impacte o transporte do combustível (diesel) para a unidade industrial de fabricação do bloco. Na argamassa a maior contribuição é da fabricação do cimento, seguindo-se a fabricação da cal hidratada e por fim a areia.

2. Ao nível do indicador EP é mais evidente no processo bloco, do que os restantes processos: transporte e argamassa. No bloco a maior contribuição diz respeito à fabricação de cimento, seguindo-se os agregados, depois ambos equiparáveis a energia (eletricidade), o combustível (diesel) e a paletização do bloco final. Nos processos transporte e argamassa ambos têm a mesma interpretação do indicador AP.
3. O indicador GWP é mais evidente no processo bloco, do que os restantes processos: argamassa e transporte. No bloco, a maior contribuição faz parte dos agregados, sendo a cal viva a que tem maior contribuição, seguindo-se o cimento, depois a areia e o pó de alumínio dos agregados, e por último, ambos equiparáveis, a energia (eletricidade), o combustível (diesel) e a paletização do bloco final. Na argamassa a maior contribuição é da fabricação da cal hidratada, seguindo-se a fabricação do cimento e por fim a areia. No transporte a maior contribuição diz respeito ao transporte do bloco final para uma indústria de comércio e/ou local de obra, seguindo-se o transporte dos agregados e do cimento para a unidade industrial de fabricação do bloco, depois o material utilizado para a argamassa (areia, cimento, cal) para o local de obra, por fim com reduzido valor de impacte o transporte do combustível (diesel) para a unidade industrial de fabricação do bloco.
4. O valor do indicador HTP é mais evidente no processo bloco do que os restantes processos: argamassa e transporte. No bloco a maior contribuição diz respeito à fabricação do cimento, seguindo-se os agregados (areia sílica e pó de alumínio), depois ambos equiparáveis a energia (eletricidade), a cal viva, o combustível (diesel) e a paletização do bloco final. O processo argamassa tem a mesma interpretação do indicador AP. No transporte a maior

contribuição diz respeito ao transporte do bloco final para uma indústria de comércio e/ou local de obra, seguindo-se o transporte do cimento para a unidade industrial de fabricação do bloco, depois ambos equiparáveis o transporte dos agregados e do material utilizado para a argamassa (areia, cimento, cal) para o local de obra, por fim com reduzido valor de impacto o transporte do combustível (diesel) para a unidade industrial de fabricação do bloco.

5. O valor do indicador ODP é mais evidente no processo bloco, do que os restantes processos: argamassa e transporte. No bloco a maior contribuição diz respeito à fabricação do cimento, seguindo-se o agregado (areia sílica), depois ambos equiparáveis a energia (eletricidade), o combustível (diesel) e a paletização do bloco final. O processo argamassa tem a mesma interpretação do indicador AP. No transporte a maior contribuição diz respeito ao transporte do bloco final para uma indústria de comércio e/ou local de obra, seguindo-se o transporte do agregado (areia sílica), depois ambos equiparáveis o transporte do material utilizado na argamassa (areia, cimento, cal) para o local de obra e o transporte do cimento para a unidade industrial de fabricação do bloco, por fim com reduzido valor de impacto o transporte do combustível (diesel) para a unidade industrial de fabricação do bloco.

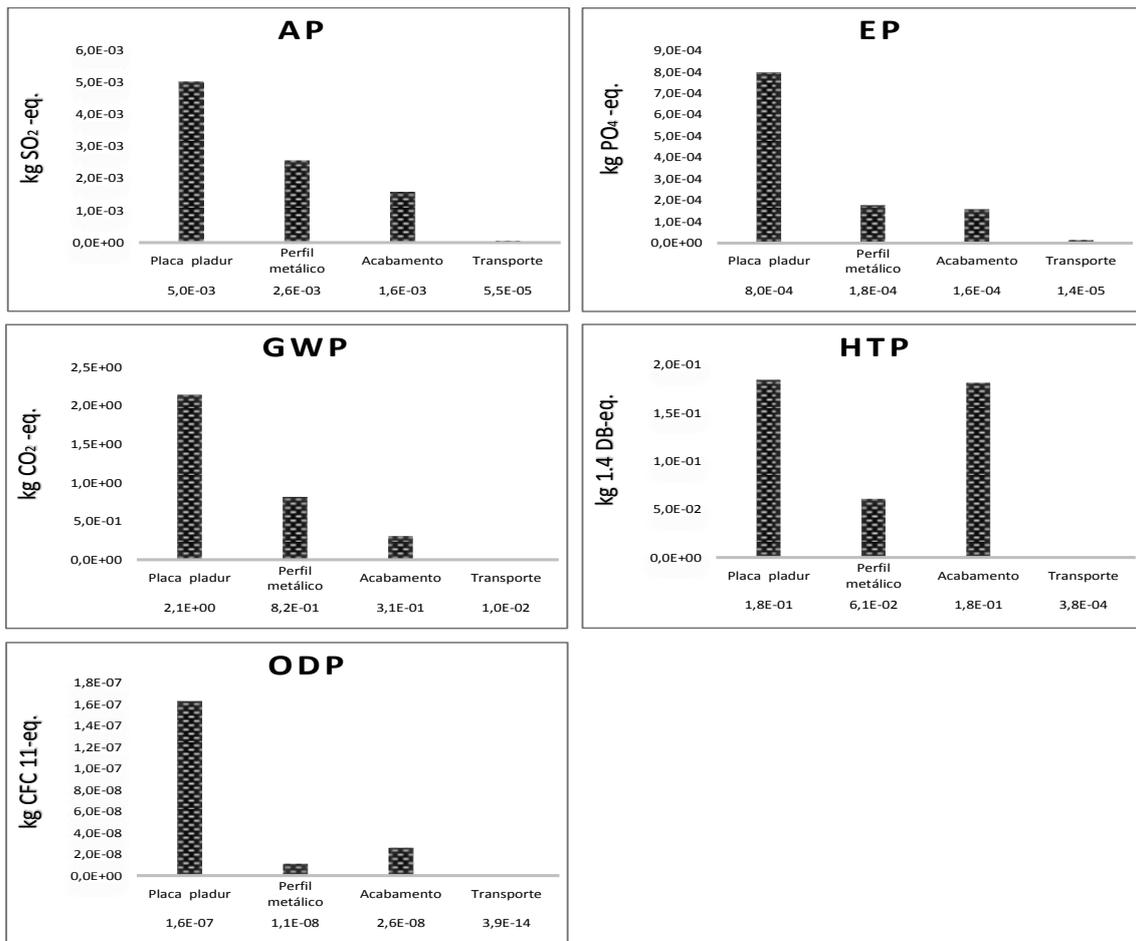


Figura 24 – Indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede Pladur.

Na Figura 24 estão representados os indicadores ambientais sobre os processos aderentes à parede Pladur com o ciclo de vida *cradle to the gate*.

A análise dos valores dos indicadores permite aferir as seguintes observações:

1. Ao nível dos indicadores AP, EP e GWP é mais evidente no processo placa de pladur, seguindo-se o processo perfil metálico, depois o processo acabamento e por último o processo transporte. Na placa de pladur diz respeito, unicamente, ao fabrico da placa. No perfil metálico o maior contribuinte diz respeito ao aço galvanizado, seguindo-se os parafusos. No acabamento o maior contribuinte é a fita de junta, sendo a pasta de junta a que tem menor valor de impacto. No transporte a contribuição é unicamente do transporte de todos os materiais para a obra.
2. O indicador HTP é mais evidente em ambos os processos placa de pladur e acabamento, seguindo-se o processo perfil metálico e por último o processo

transporte. Os processos placa de pladur, perfil metálico, acabamento e transporte têm a mesma interpretação do indicador AP.

3. O valor do indicador ODP é mais evidente no processo placa de pladur, seguindo-se o processo acabamento, depois o processo perfil metálico e por último o processo transporte. Os processos placa de pladur, perfil metálico, acabamento e transporte têm a mesma interpretação do indicador AP.

4.3. Síntese

Efetua-se aqui a comparação do perfil ambiental das paredes interiores elaboradas neste trabalho, com o perfil ambiental disponível na bibliografia (Tabela 13). No que diz respeito à análise do ciclo de vida a paredes interiores disponível na bibliografia realça-se que a análise foi conduzida considerando o mesmo limite de sistema e a mesma UF. No que diz respeito ao perfil ambiental deste trabalho, verifica-se que apresentam resultados viáveis, visto que, vão de encontro de valores obtidos no perfil ambiental dos estudos da (Tabela 13), onde se realça os seguintes aspetos:

- Na parede Timber Stud Frame (Broun e Menzies, 2011), a não utilização de caído poderá justificar-se pelo facto do indicador GWP ter um menor impacte do que na parede de tabique. O valor do indicador AP é superior, o que poderá justificar-se pelo facto de esta parede vir a ter um maior volume de estrutura de madeira utilizada, visto que, na parede de tabique o maior contribuinte para o indicador AP ter sido a estrutura de madeira;
- Na parede de alvenaria de tijolo (Mateus *et al.*, 2013), observa-se um impacte ambiental maior do que na parede de alvenaria de tijolo cerâmico 7, contudo não é muito elevado, visto não haver muitas diferenças entre ambas, ressaltando o acréscimo do processo de pintura;
- Na parede de alvenaria de tijolo (Broun e Menzies, 2011), observa-se um impacte ambiental maior do que na parede de alvenaria de tijolo cerâmico 11, o que poderá justificar-se pelo facto de ter uma espessura de argamassa maior. Contudo, aufere

um aumento, sugerindo não ser necessariamente devido só à espessura da argamassa;

- Na parede de alvenaria de bloco (Broun e Menzies, 2011), observa-se uma acentuada diminuição no indicador GWP, o que poderá justificar-se pelo facto de incorporar menos percentagem de cimento na fabricação do bloco e menos comprimento do mesmo;
- Na parede de pladur (Mateus *et al.*, 2013), observa-se um impacte ambiental maior. Este aumento poderá justificar-se pelo facto de ter uma largura de montante maior, pois o perfil metálico é um dos processos que contribui mais, e pela incorporação de lã de rocha no interior.

Para além disso, no perfil ambiental deste trabalho pode-se constatar que da parede de alvenaria de tijolo cerâmico (espessura do elemento tijolo 0,07 e 0,11 m), verifica-se que o uso do elemento tijolo 0,07 m apresenta um menor impacte ambiental em todos os indicadores.

Da comparação entre a parede de alvenaria de tijolo cerâmico com espessura do elemento tijolo 0,07 m e da parede de tabique, verifica-se que dos indicadores AP, EP, GWP e HTP, a parede de alvenaria de tijolo cerâmico teve menor impacte ambiental, no entanto, no indicador ODP observa-se o contrário.



Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste capítulo apresenta-se as conclusões dos resultados obtidos neste trabalho, e as principais melhorias associadas à elaboração de ACV na construção de paredes, uma prática ainda incipiente no setor e que abre perspetivas para trabalhos futuros.

5.1. Conclusões

Através deste trabalho de investigação conclui-se que foi possível avaliar a sustentabilidade ambiental de quatro diferentes soluções construtivas com recurso à análise do ciclo de vida. Os resultados do perfil ambiental deste trabalho de investigação mostram que estão enquadrados com outros resultados análogos, o que comprova que a avaliação de impacte ambiental foi bem executada.

Conclui-se que das soluções construtivas estudadas, a parede de pladur é a que apresenta menor impacte ambiental e a parede de alvenaria de blocos de betão é a que apresenta maior impacte ambiental.

É possível constatar-se também nas seguintes soluções construtivas, quais os processos com maior impacte ambiental: parede de tabique (estrutura de madeira e o caiado); parede de alvenaria de tijolo cerâmico (argamassa e o transporte); parede de alvenaria de blocos de betão (bloco) e na parede de pladur (placa de pladur).

5.2. Trabalhos futuros

Tendo em conta o exposto ao longo desta dissertação de mestrado, torna-se importante desenvolver trabalhos de investigação adicionais nesta área de modo a ser possível afirmar de uma forma mais consistente a sustentabilidade ao longo do ciclo de vida, recomendando-se para isso, a hipótese de incluir no ciclo de vida a fase de Fim de Vida e poder-se concluir qual das fases do ciclo de vida tem maior impacte ambiental.

Recomenda-se também a utilização de um inventário de ciclo de vida específica de produtores de materiais de construção para um maior rigor de informação.

Referências Bibliográficas

- Addis, W. e Schouten, J. (2004). *Design for Deconstruction: Principles of Design to Facilitate Reuse and Recycling* London.
- Alcobia, B. A. (2009). Desenvolvimento de um modelo conceptual para a análise do ciclo de vida (ACV) de tecnologias de tratamento e valorização de óleos usados.
- Alves, J. P. d. S. M. (2011). Desempenho sísmico de estruturas de alvenaria de blocos de betão. Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis. Escola de Engenharia. Universidade do Minho. Guimarães.
- Anastaselos, D., Giama, E. e Papadopoulos, A. M. (2009). An assessment tool for the energy, economic and environmental evaluation of thermal insulation solutions. *Energy and Buildings* 41(11): 1165-1171.
- Anuar, K. A., Ridzuan, A. R. M. e Ismail, S. (2011). Strength Characteristics of Geopolymer Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate. *International Journal of Civil & Environment Engineering IJCEE-IJENS* 11(1).
- APICER (2009). Caracterização do subsector da Indústria cerâmica estrutural em Portugal - Para uma perspectiva de futuro. (Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica). Coimbra.
- Branco, J. d. P. (1993). *Revestimentos e Protecções Horizontais e Verticais em Edifícios*. Queluz.
- Brasil, A. (2015). SimaPro. 28/08/2015. <http://network.simapro.com/acvbrasil/>
- BRE (2016). Photochemical Ozone Creation. 21/01/2016. <https://www.bre.co.uk/greenguide/page.jsp?id=2104>
- Broun, R. e Menzies, G. F. (2011). Life Cycle Energy and Environmental Analysis of Partition Wall Systems in the UK. *Procedia Engineering* 21: 864-873.
- Buyle, M., Braet, J. e Audenaert, A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26: 379-388.
- Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G. e Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29: 394-416.
- Carvalho, J. M. P. P. d. (2009). Construções em Tabique na Região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real.
- Casillas, A. L. (1987). *Máquinas - Formulário Técnico*.
- Cellura, M., Longo, S. e Mistretta, M. (2011). Sensitivity analysis to quantify uncertainty in Life Cycle Assessment: The case study of an Italian tile. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(9): 4697-4705.

- CEN (2005). Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1: General for Buildings - Rules for reinforced and unreinforced masonry. EN 1996-1: 2005 (E).
- CEN (2007a). NP EN 206 Betão - Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. (Instituto Português da Qualidade).
- CEN (2007b). NP ENV 13670-1 Execução de estruturas em Betão. Parte 1: Regras Gerais. (Instituto Português da Qualidade).
- Cepeda, A. J. B. (2009). Construções em tabique existentes na Associação de Municípios do Alto Tâmega. Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro Vila Real.
- CIRAIG (2016). LCA and Life Cycle Thinking. 10/05/2016. <http://www.ciraig.org/en/lca.php>
- Cleary, J. (2009). Life cycle assessments of municipal solid waste management systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature. *Environment International* 35(8): 1256-1266.
- Commission, E. (2006a). ISO 14040:2006 Environmental Management. Life cycle assessment. Principles and framework. (International Organization for Standard).
- Commission, E. (2006b). ISO 14044:2006 Environmental Management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines. (International Organization for Standard).
- Commission, E. (2011a). Regulation (EU) 305/2011 of the European parliament and of the council laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. (Official Journal of the European Union). Strasbourg.
- Commission, E. (2011b). EN 771 Specification for masonry units. (BSI Standards Publications).
- Commission, E. (2011c). EN 772 Methods of test for masonry units. (BSI Standards Publications).
- Commission, E. (2014a). Eurobarómetro - Attitudes of European Citizens Towards the Environment Special Eurobarometer 416 / Wave EB81.3 – TNS Opinion & Social.
- Commission, E. (2014b). Attitudes of Europeans towards Waste Management and Resource Efficiency. Flash Eurobarometer 388.
- Commission, E. (2014c). Eurobarómetro - As atitudes face ao ambiente. Eurobarómetro 81.3 - Resultados para Portugal.
- Dias, J. M., Baião, M. e Silva, M. J. F. (2012). Soluções construtivas recentes de paredes interiores e exteriores de edifícios - desempenho funcional e durabilidade. *Engenharia para a sociedade investigação e inovação - cidades e desenvolvimento* Lisboa.
- EarthShift (2016). EarthShift Sustainability Professional. 30/11/2015. <http://www.earthshift.com/software/simapro/clm2001>

- Eires, R., Jalali, S. e Camões, A. (2007). Novos materiais de construção à base de gesso e desperdícios industriais. *Congresso Construção 2007* Universidade de Coimbra.
- Elvingson, P. e Agren, C. (2004). *Air and the Environment*. (the Swedish no Secretariat on Acid Rain). Mölnlycke, Sweden.
- Estanqueiro, B. A. M. (2012). Análise de ciclo de vida da utilização de agregados reciclados no fabrico de betão. Mestrado Engenharia e Gestão Industrial. Instituto Superior Técnico. Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Fangueiro, R., Velosa, J. C. e Mendonça, P. (2011). Estudo das propriedades térmicas de materiais aplicados em paredes divisórias leves. *International Conference on Engineering*. Universidade do Minho.
- Feng, H. e Hewage, K. (2014). Lifecycle assessment of living walls: air purification and energy performance. *Journal of Cleaner Production* 69: 91-99.
- Ferrández-García, A., Ibáñez-Forés, V. e Bovea, M. D. (2015). Eco-efficiency analysis of the life cycle of interior partition walls: a comparison of alternative solutions. *Journal of Cleaner Production*.
- Ferrão, P. C. (1998). *Introdução à Gestão Ambiental: a avaliação do ciclo de vida de produtos*.
- Ferreira, J. V. R. (1999). Aplicação da Análise de Ciclo de Vida na Optimização de Investimentos Ambientais. Doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Ferreira, J. V. R. (2004). Gestão Ambiental - Análise de Ciclo de Vida dos Produtos. Instituto Politécnico de Viseu.
- Ferreira, V. e Farinha, B. (1977). *Tabelas Técnicas para Engenharia Civil*. (Instituto Superior Técnico). Lisboa.
- Ferreira, V. M., Bragança, L., Dias, A. B., Afonso, A. S. e Brito, J. d. (2010). Inovação na Construção *Congresso de Inovação na Construção Sustentável*.
- Filho, J. A. A. S. (2007). Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas. Doutoramento. Escola de Engenharia. Universidade de São Paulo. São Carlos.
- Fontes, S. M. M. F. (2011). Condições técnicas de aplicação de tectos falsos suspensos em gesso cartonado. Mestrado Engenharia Civil. Faculdade de Engenharias. Universidade do Porto. Porto.
- Fouquet, M., Levasseur, A., Margni, M., Lebert, A., Lasvaux, S., Souyri, B., Buhé, C. e Woloszyn, M. (2015). Methodological challenges and developments in LCA of low energy buildings: Application to biogenic carbon and global warming assessment. *Building and Environment* 90: 51-59.
- Galdino, G. d. P. (2006). Inventário do ciclo de vida do papel offset produzido no Brazil
- Gama, A. G. C. d. O. (2010). Análise ambiental e económica da produção de tijolos - Caso de Estudo: Fábrica Cerâmica de Pegões, SA. Mestrado. Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

- Gouveia, J. P., Lourenço, P. B. e Vasconcelos, G. (2007). Soluções construtivas em alvenaria. *Congresso Construção - 3.º Congresso Nacional*. (Universidade de Coimbra). Coimbra.
- Guerra, J. P. P. (2013). A Sustentabilidade Aplicada ao Projecto de Reabilitação de Edifícios - Um Caso de Estudo. Mestrado em Arquitectura. Universidade da Beira Interior. Covilha.
- Habert, G., d'Espinose de Lacaillerie, J. B. e Roussel, N. (2011). An environmental evaluation of geopolymer based concrete production: reviewing current research trends. *Journal of Cleaner Production* 19(11): 1229-1238.
- Hebei Greens Machinery Manufacturing Co., L. (2015). Máquinas para fabricação de pregos e parafusos. 12/05/2015. <http://portuguese.alibaba.com/p-detail/m%C3%A1quinas-para-fabrica%C3%A7%C3%A3o-de-pregos-e-parafusos-900002407368.html>
- Herrmann, I. T. e Moltesen, A. (2015). Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production* 86: 163-169.
- International, P. (2015). GaBi 6 Learning Center. 28/08/2015. <http://www.gabi-software.com/index/>
- Iribarren, D., Marvuglia, A., Hild, P., Guiton, M., Popovici, E. e Benetto, E. (2015). Life cycle assessment and data envelopment analysis approach for the selection of building components according to their environmental impact efficiency: a case study for external walls. *Journal of Cleaner Production* 87: 707-716.
- Jönsson, Å., Tillman, A. M. e Svensson, T. (1997). Life cycle assessment of flooring materials: Case study. *Building and Environment* 32(3): 245-255.
- Kane, R. P. (2008). Is ozone depletion really recovering? *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 70(11-12): 1455-1459.
- Koomey, J. G., Martin, N. C., Brown, M., Price, L. K. e Levine, M. D. (1998). Costs of reducing carbon emissions: US building sector scenarios. *Energy Policy* 26(5): 433-440.
- Koroneos, C. e Dompros, A. (2007). Environmental assessment of brick production in Greece. *Building and Environment* 42(5): 2114-2123.
- Lourenço, P. (1999). Dimensionamento de Alvenarias estruturais. *Relatório 99-DEC/E-7*. (Universidade do Minho). Guimarães.
- Lourenço, P. (2002). Arquitectura de Terra: uma visão de futuro. *Companhia de Arquitectura e Design*: 7.
- Lourenço, P., Brito, J. d. e Branco, F. (2002). Novas Tecnologias na Aplicação de Terra Crua a Construção. *Companhia de Arquitectura e Design*: 1-8.
- Majodir (2015). Massa de Junta Rapid CE 78. <http://www.majodir.com/index.php?id=00804002%23&idp=415&tbl=registos>
- Mascarenhas, J. M. d. R. D. (2003). *Sistemas de Construção*. (Livros Horizonte). Lisboa.

- Mata, S. B. d. (2011). Caracterização das emissões de sulfureto de hidrogénio (H₂S) por placas de gesso cartonado em câmaras de teste. Mestrado Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Porto.
- Mateus, R., Neiva, S., Bragança, L., Mendonça, P. e Macieira, M. (2013). Sustainability assessment of an innovative lightweight building technology for partition walls – Comparison with conventional technologies. *Building and Environment* 67: 147-159.
- Merlin, L. (2015). Aparafusadora sem fio PRACTYL PCD120 12V. <http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Ferramentas/Ferramentas-eletricas/Aparafusadoras/13145671.aspx>
- Oliveira, C. S. C. d. (2012). Controlo Estatístico - Indústria Cerâmica. Mestrado em Química. Departamento de Química. Universidade de Coimbra. Coimbra.
- Ortiz, O., Pasqualino, J. C., Díez, G. e Castells, F. (2010). The environmental impact of the construction phase: An application to composite walls from a life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling* 54(11): 832-840.
- Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M. e Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings* 43(12): 3419-3429.
- Papadopoulos, A. M. e Giama, E. (2007). Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building. *Building and Environment* 42(5): 2178-2187.
- Pargana, N., Pinheiro, M. D., Silvestre, J. D. e de Brito, J. (2014). Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings. *Energy and Buildings* 82: 466-481.
- Pinheiro, M. D. (2006). *Ambiente e Construção Sustentável*. (Instituto do Ambiente). Amadora.
- Pinto, J., Cardoso, R., Paiva, A., Cunha, S., Cruz, D., Vieira, B., Louzada, J. e Varum, H. (2011). Caracterização de Paredes Tradicionais de Tabique. Paredes divisórias: Passado, presente e futuro. 25-35.
- Pladur (2015). Guía de Instalación Pladur - Rehabilitación, reforma y obra pequeña. 9/06/2015. <https://www.pladur.com/es-es/distribuidores/documentacion/Documentos%20tcnicos/GUIARRespaolweb.pdf>
- República, A. d. (2013). Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de Outubro. I Série. (Diário da República).
- Reza, B., Sadiq, R. e Hewage, K. (2014). Emergy-based life cycle assessment (LCA) of multi-unit and single-family residential buildings in Canada. *International Journal of Sustainable Built Environment* 3(2): 207-224.
- Rincón, L., Castell, A., Pérez, G., Solé, C., Boer, D. e Cabeza, L. F. (2013). Evaluation of the environmental impact of experimental buildings with different constructive systems using Material Flow Analysis and Life Cycle Assessment. *Applied Energy* 109: 544-552.

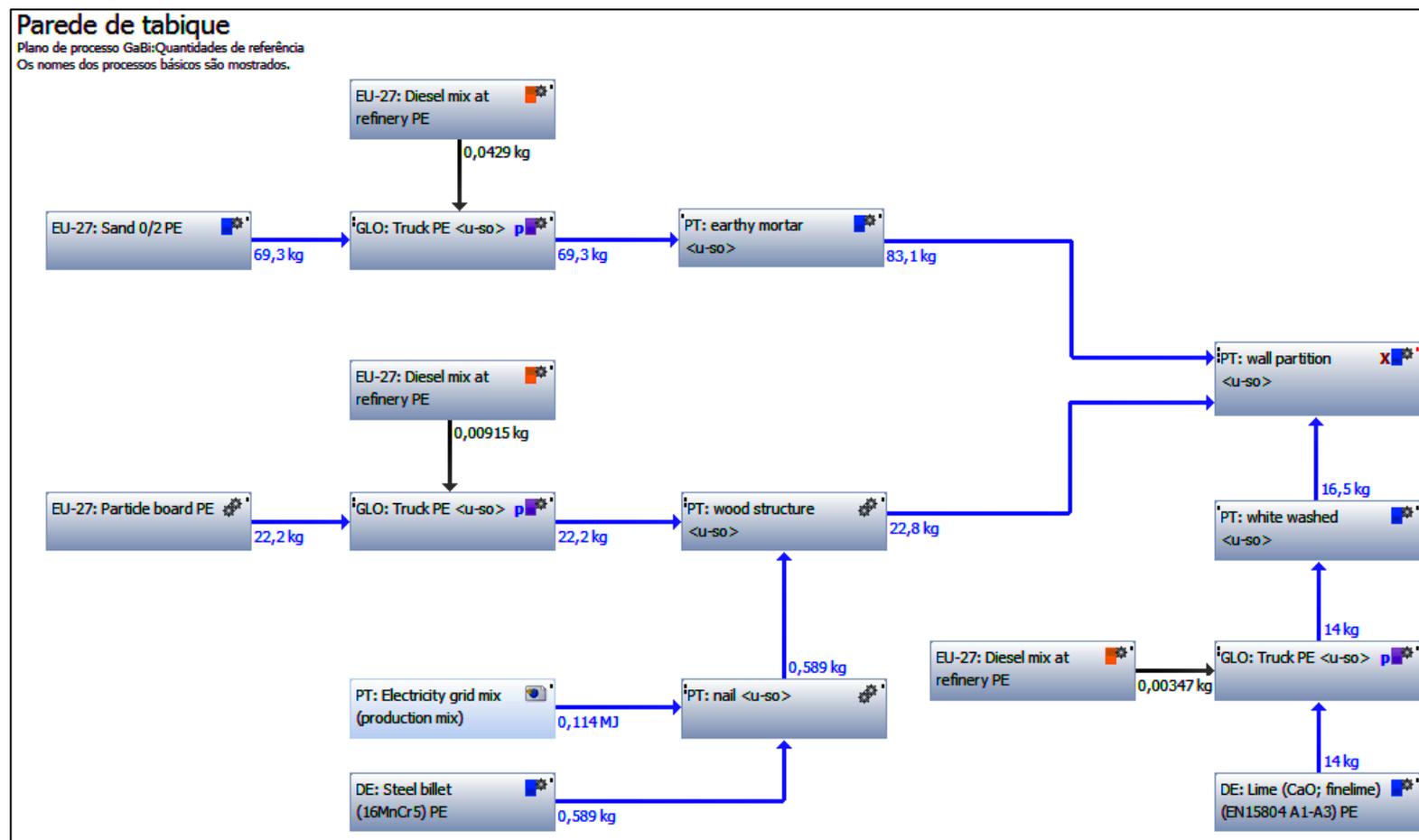
- Rocha, C. (2013). O papel do ecodesign na eficiência energética dos produtos cerâmicos
- Rouge, L. P. (2015). Palete de Madeira. http://www.lpr.eu/UploadBestanden/LPR_Folha_de_produtos_600x800-2.pdf
- Russell, A. J. (2005). Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards. *Journal of Cleaner Production* 13(13–14): 1359.
- Sherwani, A. F., Usmani, J. A. e Varun (2010). Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(1): 540-544.
- Silva, D. e Veloso, B. (2015). Ficha Técnica do Produto. Bloco de Betão Normal. A. C. d. Louro.
- Silva, E. L. D. G. S. d. e Gabriel, R. M. d. A. (2007). *As Atitudes Face ao Ambiente em Regiões Periféricas*.
- Soares, N. G. L. (2012). Soluções Construtivas Tradicionais de Revestimento de Paredes Exteriores em Tabique. Mestrado em Engenharia Civil. Escola de Ciências e Tecnologia - Departamento de Engenharias. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro Vila Real.
- Sousa, A. V. S. e. e Silva, J. A. R. M. d. (2000). *Manual de Alvenaria de Tijolo* Coimbra.
- Srinivas, H. (2015). Sustainability Concepts - Life Cycle Analysis 14/04/2015. <http://www.gdrc.org/sustdev/concepts/17-lca.html>
- Tavares, D. F. L. (2013). Identificação e caracterização de medidas de eficiência energética e de produção - utilização de energia renovável no parque habitacional português. Mestrado em Engenharia Civil. Escola de Engenharia. Universidade do Minho. Guimarães.
- Teixeira, C. A. d. M. (2013). Análise de Ciclo de Vida: princípios metodológicos. Série Didática. Ciência Aplicadas 438. (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro). Vila Real.
- Teixeira, M. J. M. (2012). Pegada Hídrica Caso de Estudo do Tijolo Cerâmico. Mestrado. Departamento de Engenharia. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro Vila Real.
- Tesa (2015). Fita para Juntas de Parede e Tecto. 9/06/2015. http://www.tesa.pt/consumer/adhesive_tapes/masking_specialities/tesa_fita_para_juntas_de_parede_e_tecto,c.html
- Van den Heede, P. e De Belie, N. (2012). Environmental impact and life cycle assessment (LCA) of traditional and ‘green’ concretes: Literature review and theoretical calculations. *Cement and Concrete Composites* 34(4): 431-442.
- Vasconcelos, G., Lourenço, P. B., Mendonça, P., Alves, P., Camões, A. e Mateus, R. (2012). Validação experimental de uma solução eco-eficiente de paredes divisórias *Congresso Construção 2012*. (Universidade de Coimbra). Coimbra.
- Vasconcelos, S. d. L. (2014). Ferramentas de análise de grau de sustentabilidade no ambiente construído. Avaliação de materiais de construção no ato do projeto de arquitetura. Doutoramento em arquitetura. Faculdade de arquitetura. Universidade de Lisboa. Lisboa.

- Wang, N., Chang, Y.-C. e Nunn, C. (2010). Lifecycle assessment for sustainable design options of a commercial building in Shanghai. *Building and Environment* 45(6): 1415-1421.
- Weber (2015). Reboco para renovação de paredes antigas em edifícios históricos. 20/05/2015. <http://www.weber.com.pt/revestimento-e-renovacao-de-fachadas/solucoes/reabilitacao-de-paredes-antigas/rebocos-de-regularizacao/webercal-classic.html>
- Xu, Q., Townsend, T. e Bitton, G. (2011). Inhibition of hydrogen sulfide generation from disposed gypsum drywall using chemical inhibitors. *Journal of Hazardous Materials* 191(1–3): 204-211.
- Yusoff, W. M. F. W., Ridzuan, A. R. M., Jasmi, N., Hasim, S., Arshad, M. F., Fauzi, M. A. M. e Anuar, K. A. (2013). The Compressive Strength of Green Polymeric Concrete. *International Journal of Civil & Environment Engineering IJCEE-IJENS* 13(6): 13-15.

Anexos

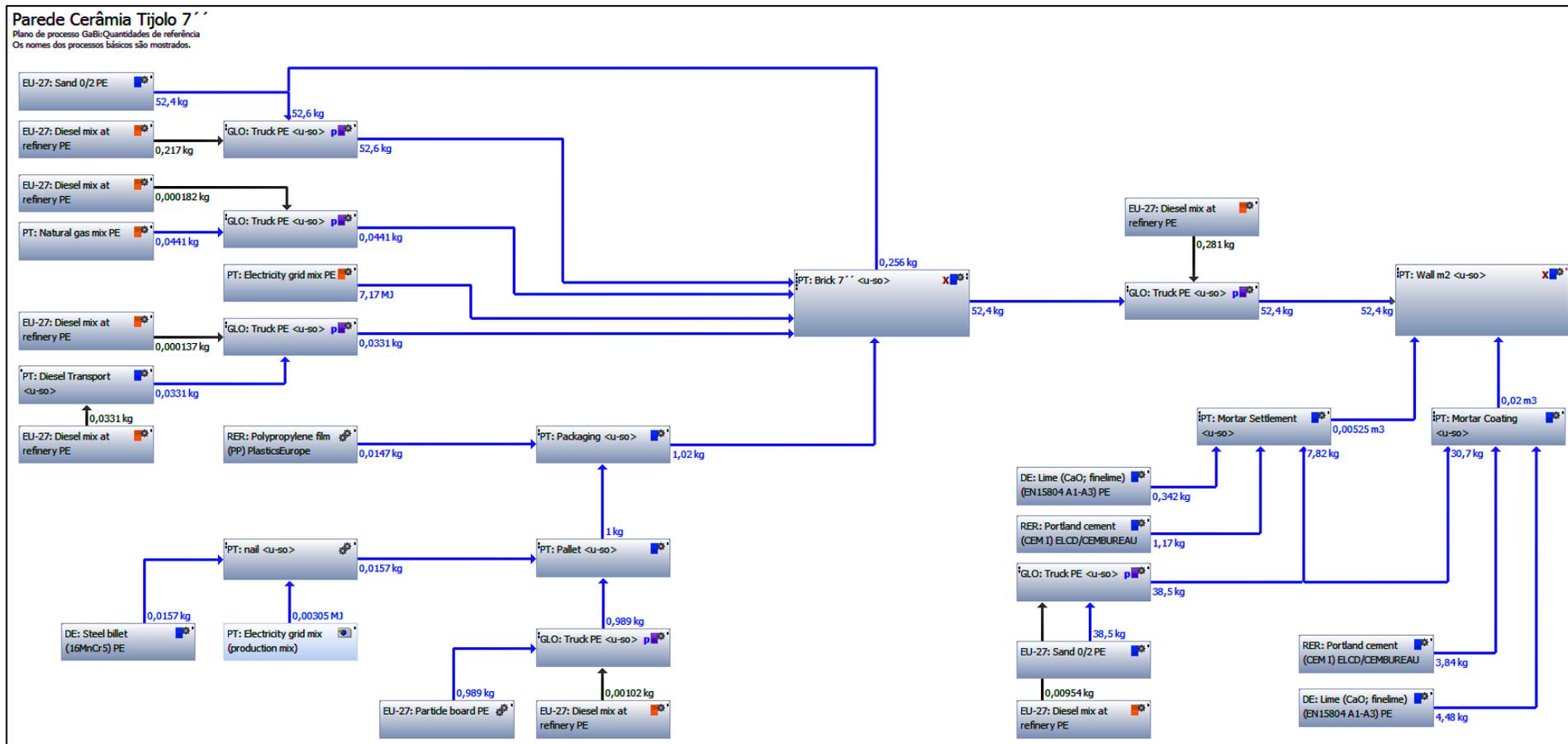
Anexo I – Parede de tabique

Fluxograma *cradle to the gate*:



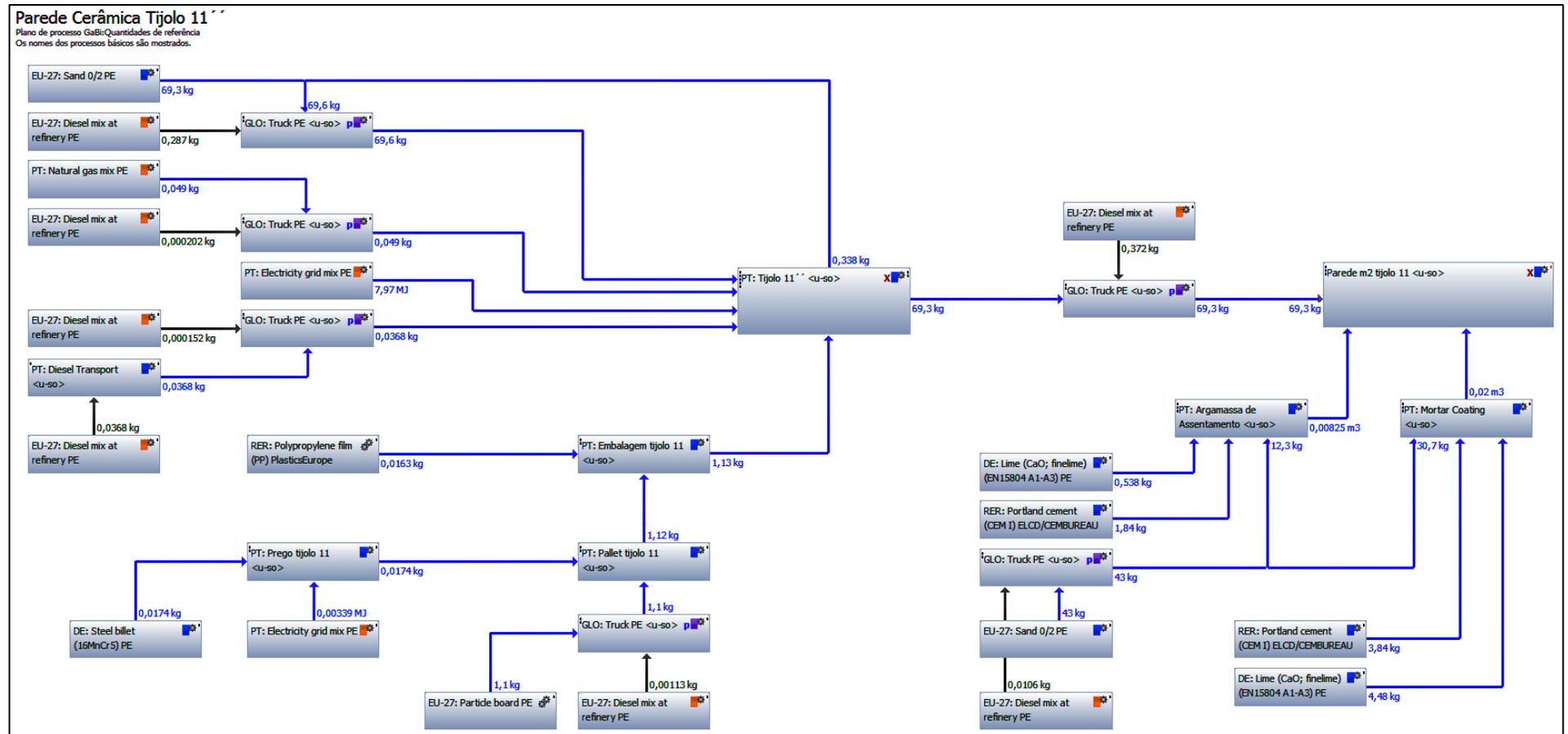
Anexo II – Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (com espessura do elemento tijolo 0,07 m)

Fluxograma *cradle to the gate*:



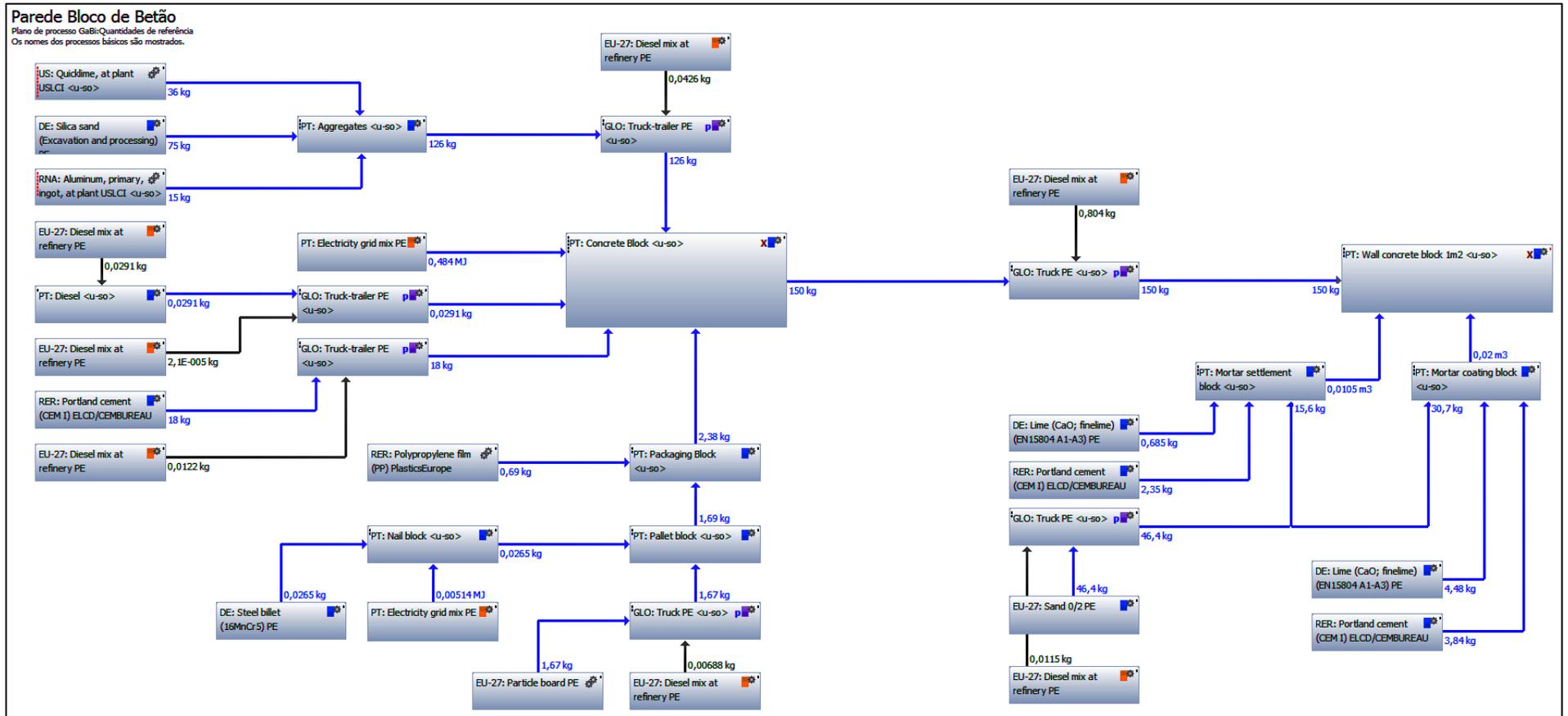
Anexo III – Parede de alvenaria de tijolo cerâmico (com espessura do elemento tijolo 0,11 m)

Fluxograma *cradle to the gate*:



Anexo IV – Parede de alvenaria de blocos de betão

Fluxograma *cradle to the gate*:



Anexo V – Parede de pladur

Fluxograma *cradle to the gate*:

