



Avaliação do Ciclo de Vida de uma Unidade Industrial: uma avaliação da pegada de carbono e da intensidade energética da obra

VINICIUS DE MATOS RODRIGUES

Outubro de 2017

Avaliação do Ciclo de Vida de uma Unidade Industrial: uma Avaliação da Pegada de Carbono e da Intensidade Energética da Obra

Vinicius de Matos Rodrigues

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em
Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

29 de novembro de 2017

Relatório da Unidade Curricular de Dissertação / Projecto / Estágio do 2º ano do Mestrado
em Energias Sustentáveis

Candidato: Vinicius Rodrigues, N° 1130008, 1130008@isep.ipp.pt

Empresa: SOPSEC S. A.

Orientação Científica: Nídia Caetano

Coorientação Científica: Teresa Mata

Supervisão: Ana Quintas

Mestrado em Energias Sustentáveis
Departamento de Engenharia Mecânica



29 de novembro de 2017

Agradecimentos

Aos meus amigos e colegas, que são parte de todo o meu aprendizado como pessoa e como profissional.

A todos que, por ventura, não tenha expressado nestas linhas, o meu sincero agradecimento.

Ao meu irmão Bruno de Matos Rodrigues, que vivenciou comigo os momentos de lutas e vitórias conquistados com esforço e dedicação.

A minha orientadora Eng^a Nídia Caetano e minhas Coorientadora Teresa Mata e Supervisora Ana Quintas, pelo apoio, pelo exemplo de profissional, pelo conhecimento repassado e por ter acreditado em meu potencial.

Aos meus amados pais, João Ernesto Rodrigues Júnior e Claudia Regina de Matos Rodrigues, que fizeram dos meus sonhos os seus e de meus objetivos sua própria luta.

A minha esposa Samyra Mouzinho Matni Rodrigues, que esteve ao meu lado em todos os momentos e não poupou esforços para que o sorriso que hoje trago no rosto fosse possível.

Agradeço a Deus, por desde o início de minha caminhada estar comigo. Louvo ao Senhor pela vida, por abençoar mais um dia em minha história.

Resumo

Com a problemática do aquecimento global decorrente de vários fatores ambientais que ocorrem nos dias atuais, se torna cada vez mais urgente a tomada de medidas efetivas para mitigar, ou ao menos controlar, os fatores agravantes dos problemas ambientais no planeta.

Vários estudos apontam que dentro dos grandes setores da indústria, um dos que mais agrava os problemas ambientais de hoje em dia é o setor da construção civil. Os altos níveis de emissões de dióxido de carbono, o alto consumo de matérias-primas e energia elétrica, a elevada geração de resíduos, antes e depois da vida útil da construção, são os principais causadores deste agravamento. Com isso, as empresas de engenharia de construção têm pela frente grandes desafios voltados para a sustentabilidade das obras em execução, visto que nem todas as alternativas construtivas disponíveis são consideradas eco-eficientes do ponto de vista do seu ciclo de vida.

De acordo com este enquadramento, o trabalho presente propõe a realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da construção de uma Unidade Industrial com uma área construída de 6.733,0 m², onde a SOPSEC S.A. atuou como empresa fiscalizadora da obra. A ACV é proposta como uma metodologia para quantificar a eficiência da obra a nível ambiental (usando como indicador o nível de kgCO₂eq/m² construído) e energético (usando como indicador, a quantidade de energia consumida, em MJ/m² construído). Foram consideradas como fronteiras do âmbito de estudo da avaliação a fase de construção, o que significa que todas as entradas e saídas de materiais/consumíveis após o término da construção não foram consideradas na análise de dados. Através da realização da definição do objetivo e âmbito de estudo determinou-se que este teria a finalidade de auxiliar a empresa promotora do estudo (SOPSEC S.A.) na qualificação e análise de futuros projetos da empresa. Aliado a isso, foi realizado um Inventário de Ciclo de Vida (ICV), onde foram considerados os materiais envolvidos nas secções de obra denominadas de Arquitetura e Estabilidade, que envolvem materiais como betão simples e armados; estruturas metálicas; pavimentos; alvenarias; coberturas; acabamentos de paredes, de pavimentos e de tetos. Com base no ICV criado, adotou-se os valores de referência propostos pela base de dados ICE – *Inventory of Carbon and Energy* (versão 2.0), desenvolvida pelo Departamento de Mecânica da Universidade de Bath (UK). Além da análise de dados secundários de alguns dos

materiais envolvidos na obra, foi monitorado o consumo direto de energia elétrica, junto dos consumos de combustíveis líquidos (óleo diesel) e água. Os resultados obtidos mostram elevados valores para os materiais a base de cimento, metais e plásticos, chegando a valores da ordem de 31×10^6 MJ e 3×10^6 kgCO₂eq incorporados no ciclo de vida dos materiais analisados. Esses valores adicionados aos consumos do estaleiro de obra alcançam um total de 33×10^6 MJ e $3,4 \times 10^6$ kgCO₂eq para o total do ciclo de vida.

As tradicionais formas de produção de materiais para construção são identificadas como maiores contribuidores desse agravamento, onde investimentos em matérias-primas alternativas e de baixos impactos proporcionariam grandes margens de redução dos impactos causados pelo ciclo de vida dos materiais. A energia incorporada nos materiais construtivos e as emissões de gases causadores do efeito estufa são dois dos principais problemas ambientais a serem reduzidos pela indústria da construção.

Palavras-Chave

Avaliação de Ciclo de Vida, Desempenho Ambiental, Eficiência Energética.

Abstract

With the problem of global warming due to various environmental factors that occur in the present day, it is becoming increasingly urgent to take effective measures to mitigate, or at least control, the aggravating factors of environmental problems on the planet.

Several studies indicate that within the major sectors of industry, one of the most aggravated environmental problems of today is the construction sector. The high levels of carbon dioxide emissions, the high consumption of raw materials and electricity, high waste generation before and after the end of life of the construction are the main cause of this increase. Therefore, construction engineering companies have major challenges to analyse sustainability oriented running works since not all constructive alternatives available are considered eco-efficient from the point of view of their life cycle.

According to this framework, the present work proposes a life cycle assessment (LCA) the construction of an Industrial unit with a built area of 6,733.0 m², where the company SOPSEC S.A. acted as inspection company. The LCA is proposed as a methodology to quantify the efficiency of environmental work (using as an indicator the level of kgCO₂eq/m²) and energy (using as an indicator, the amount of energy consumed in MJ/m²). It was considered as the scope of the evaluation study the construction phase, which means that all the entrances and exits of consumable materials after the end of the construction were not considered in the analysis of data. Through the definition of the purpose and scope of study it was determined that this would help the company director of the study (SOPSEC S.A.) in qualifying and analysis of future projects of the company. Allied to this was created a life-cycle Inventory (LCI), which were considered the materials involved in sections of work called architecture and stability, involving materials such as simple concrete and armed; metal structures; decks; masonry; toppings; finishes of walls, floors and ceilings. Based on the ICV created adopted the benchmarks proposed by the ICE database – Inventory of Carbon and Energy, a database in Excel format (version 2.0) and developed by the Department of Mechanics at the University of Bath (UK). In addition to secondary data analysis of some of the materials involved in the work was monitored the direct consumption of electric power, with the consumption of liquid fuels (diesel oil) and water. The results show high values for the cement-based materials, metals and plastics, reaching values of the

order of 31×10^6 kgCO₂eq and 3×10^6 MJ incorporated in the life cycle of the materials analysed. These values added to the shipyard labour consumption reaches a total of 33×10^6 kgCO₂eq and 3.4×10^6 MJ to the total life cycle.

Traditional forms of production of construction materials are identified as a major contributor to this increase, where investments in raw materials and low-impact alternatives would provide large margins of reduction of impacts caused by life cycle of the materials. The embodied energy of construction materials and emissions of greenhouse gases are two of the main environmental problems to be reduced by the construction industry.

Keywords

Energy efficiency, Environmental performance, Life cycle analysis.

Declaração

Vinicius de Matos Rodrigues declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas, com identificação da fonte.

31 de outubro de 2017

Assinatura

Índice

RESUMO	IV
ABSTRACT.....	VI
NOMENCLATURA.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	3
1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	6
1.5. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA REALIZADORA DO ESTÁGIO	6
2. ESTADO DA ARTE	9
2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO MUNDO	9
2.2. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO.....	12
2.3. A ENERGIA E O CARBONO INCORPORADO NAS CONSTRUÇÕES.....	16
2.3.1. ENERGIA INCORPORADA AOS MATERIAIS	17
2.3.2. CARBONO INCORPORADO AOS MATERIAIS	18
2.4. ESTUDO DE CASO DE ENERGIA E CARBONO INCORPORADO AOS MATERIAIS.....	19
3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	29
3.1. DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ÂMBITO DO ESTUDO.....	30
3.1.1. UNIDADE FUNCIONAL	30
3.1.2. COBERTURA TEMPORAL DO ESTUDO	30
3.1.3. FRONTEIRAS DO ESTUDO DA ANÁLISE DO CICLO DE VIDA	30
3.2. ANÁLISE DE INVENTÁRIO	31
3.2.1. DADOS PRIMÁRIOS: ÁGUA, ELECTRICIDADE E COMBUSTÍVEL.....	32
3.2.2. DADOS SECUNDÁRIOS: ENERGIA INCORPORADA AOS MATERIAIS	33
3.2.3. DADOS SECUNDÁRIOS: EMISSÕES DE CARBONO INCORPORADO	35
3.3. RESULTADOS DO ESTUDO E DISCURSSÃO	37
4. CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS.....	43
ANEXOS.....	49

Nomenclatura

MJ	–	Megajoule
GJ	–	Gigajoule
CO ₂ eq.	–	Dióxido de carbono equivalente
UI	–	Unidade Industrial
ACV	–	Avaliação de Ciclo de Vida
LCA	–	Life Cycle Analysis
LER	–	Lista Europeia de Resíduos
PGR	–	Plano de Gestão de Resíduos
PGA	–	Plano de Gestão Ambiental
GEF	–	Global Environmental Facility
WEF	–	World Economic Forum
SETAC	–	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
EPD	–	Environmental Product Declarations
ISO	–	International Organization for Standardization
GEE	–	Gases do Efeito de Estufa
CTG	–	Cradle-to-Gate
CTGr	–	Cradle-to-Grave
CTGr	–	Cradle-to-Cradle

Índice de Figuras

Figura 1 – Fotos da Unidade Industrial durante a fase de construção.....	5
Figura 2 - Diagrama de Venn da sustentabilidade [2].....	10
Figura 3 – Estimativas de contribuição de Dióxido de Carbono total no Reino Unido durante as fases amplas do ciclo de vida de um edifício [28].	19
Figura 4 - Pegada energética (PE) de acordo com a construção de referência básica em função da área [38].	20
Figura 5 - Pegada de carbono (PC) de acordo com a construção de referência básica em função da área [38].	20
Figura 6 – PC do modelo básico de referência (azul) versus o modelo com alto nível de isolamento (vermelho) [38].	21
Figura 7 – PE do modelo básico de referência (azul) versus o modelo com alto nível de isolamento (vermelho) [38].	22
Figura 8 – Energia de ciclo de vida de três tipos de construções sobre os 50 anos de vida estimado [40].	23
Figura 9 – Emissões de gases de efeito estufa do ciclo de vida dos três tipos de construção em 50 anos [40].....	24
Figura 10 – Emissões incorporadas de gases de efeito estufa dos três tipos de construção, por elemento [40].	25
Figura 11 - Diagrama sistemático do ciclo de vida da Unidade Industrial	31
Figura 12 - Percentagem de EI por matéria-prima dos materiais envolvidos nas atividades de A) Estabilidade B) Arquitetura.....	34
Figura 13 - Percentagem de Energia Embebida total dos materiais	35
Figura 14 - Emissões de carbono por matéria-prima dos materiais envolvidos nas atividades de A) Estabilidade e B) Arquitetura.....	36
Figura 15 - Emissões totais de carbono equivalente dos materiais.	36
Figura 16 – Gráfico comparativo de casos de estudos realizados	39

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Informações básicas de projeto.	4
Tabela 2 - Programas de ACV relacionados com o setor das construções [18], [23], [24].....	15
Tabela 3 - PE e PC para o tipo básico de construção de referência entre áreas contruídas [38].	21
Tabela 4 – Utilização de energia durante o ciclo de vida das três habitações avaliadas [39].	23
Tabela 5 – Energia incorporada aos materiais de acordo com os elementos construtivos do estudo de caso [40].	25
Tabela 6 – Energia incorporada a dois designs de estrutura em portal (Aço e Madeira laminada colada) [41].	26
Tabela 7 – Resumo dos resultados de energia incorporada dos estudos analisados neste trabalho.	26
Tabela 8 – Dados de consumos da UI.	32
Tabela 9 – Carbono equivalente incorporada a fase de construção.....	32
Tabela 10 – Energia incorporada a fase de construção.	32
Tabela 11 - Análise comparativa dos indicadores de carbono e energia incorporada a fase de dados primários.	37
Tabela 12 - Intensidade das Pegadas de Carbono e Energéticas incorporadas aos dados secundários	37
Tabela 13 - Valores totais de emissões de CO ₂ eq e energia incorporada.....	37
Tabela 14 - Resultados de uso intensivo da energia e emissões de CO ₂ eq para atmosfera.....	38

1. Introdução

1.1 Contextualização

O foco na redução dos impactos ambientais e maior eficiência do consumo de recursos naturais é algo primordial para alcançar o desenvolvimento sustentável. Neste sentido, líderes de várias nações reúnem forças para criar novas leis, reajustando aquelas já existentes, para redirecionar o desenvolvimento de suas nações a um futuro com compromissos sustentáveis e de respeito às gerações futuras e com o meio ambiente [1].

Estudos recentes mostram a importância de se mensurar os impactos das atividades humanas no meio ambiente, e a importância da minimização destes para o alcance dos objetivos sustentáveis. *Jones* [2], especialista em sustentabilidade ambiental, destaca em sua página na internet sobre “Ecologia Circular” que, para o alcance da sustentabilidade ambiental é necessário, acima de tudo, assegurar-se que o consumo de recursos naturais, como matérias-primas, água, solo, etc, sejam feitos de forma sustentável. Ou seja, respeitar primordialmente o tempo de regeneração de tais recursos naturais ou de depuração de contaminantes despejados no ar ou em corpos de água. Assim, ao longo do tempo se evidenciou a necessidade crescente de avaliar de forma minuciosa cada atividade humana que apresentasse dano significativo ao meio ambiente e reavaliar opções alternativas que pudessem satisfazer, diminuir ou reverter tais danos, e não somente avaliar os recursos naturais existentes.

As construções também representam um papel importante quando se trata de consumos de matérias-primas e energia em todo o mundo. O setor da construção civil tem influenciado diretamente não só o consumo de matérias-primas e energia, mais também na emissão de gases do efeito estufa, seja durante sua fase de construção, fase da utilização do edifício até a sua demolição. A necessidade de energia e a emissão de gases do efeito estufa são evidenciadas de forma direta, durante as fases de construção, renovação, operação e demolição, e de forma indireta, quando a energia é consumida e gases nocivos são expelidos na fase de produção de cada material que compõe o edifício [3], [4].

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que permite avaliar sistematicamente o desempenho ambiental de qualquer produto ou processo, analisando todo o ciclo de vida envolvido. Inclui processos de extração de matéria-prima, manufatura, uso e o processo de fim-de-vida, como por exemplo a reciclagem ou a deposição final. O uso dessa ferramenta se encaixa perfeitamente na análise e avaliação de impactos ambientais causados em processos de construção [5].

A metodologia de ACV tem sido utilizada por muito tempo para avaliação do desempenho ambiental no processo de desenvolvimento de vários tipos de materiais e recentemente tem sido usada para o setor de construção civil. Devido ao acompanhamento sistemático e minucioso de todas as etapas dos processos para a avaliação ambiental, o interesse na incorporação da metodologia de ACV tem crescido ao longo dos anos para otimizar as decisões de escolha dos materiais e produtos para a obra, assim como, para avaliação e melhoramento dos processos de construção [5], [6].

O presente trabalho surge da realização de um estágio curricular na empresa de engenharia SOPSEC S.A., situada na cidade do Porto. Foi proposto o acompanhamento da fase de construção de uma Unidade Industrial (UI) localizada no conselho de Arcos de Valdevez. Nesta fase, foram planeadas as etapas de construção em oito grandes grupos, onde contemplavam: Trabalhos preparatórios; Estabilidade; Arquitetura; Redes hidráulicas; Sistemas de proteção contra incêndio; Instalações mecânicas; Instalações elétricas, telefônicas e segurança; e Arranjos exteriores.

Nas visitas com intervalos mensais, foi possível monitorar em tempo real indicadores de sustentabilidade fundamentais para a base de dados do trabalho, onde foram coletados dados de consumos de energia elétrica, água e gastos em combustíveis líquidos. A análise e cálculo

de uso de energia incorporada e emissões de CO₂ equivalentes diretas na obra, foram realizadas através dos dados obtidos somente nas fases de Estabilidade e Arquitetura da construção. Posteriormente foi implementado a metodologia de ACV para análise do desempenho ambiental (utilizando como medida comparativa o MJ/m² e kgCO₂equivalente) de alguns materiais utilizados (Anexo 1 – Inventário de Ciclo de Vida dos Materiais; Anexo 2 – Inventário de Materiais por Especialidades da Obra) nas fases de construção anteriormente mencionadas. Estes materiais estão incluídos nos elementos estruturais, elementos da cobertura e acabamentos de pisos e paredes, sendo estes internos e externos. Os dados dos materiais foram obtidos através das peças de projeto de especialidades e arquitetura, incluindo peças escritas e memórias descritivas, Mapas de Trabalhos e Quantidades (MTQ) e peças desenhadas.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho são avaliar a intensidade energética através dos consumos energéticos diretos durante o período de execução da obra da UI, assim como quantificar as emissões diretas de CO₂ equivalente, realizar a análise do ciclo de vida de alguns dos elementos construtivos utilizados na obra (elementos da etapa de Arquitetura e Estruturas) e realizar a análise de *benchmarking* com referência aos resultados obtidos através do ACV dos materiais e consumíveis de obra.

1.3 Apresentação do caso de estudo

Este trabalho se desenvolveu na oportunidade de analisar uma empreitada de uma construção de uma unidade industrial localizada dentro do perímetro da zona industrial de Arcos de Valdevez, Portugal.

De acordo com os documentos de Projeto de Arquitetura e o Mapa de Trabalhos e Quantidades, a Unidade Industrial (UI), com expectativa de vida de 50 anos, conta com um terreno de cerca de 21.400 m² e área de implantação de 5.847,15 m². O projeto conta com dois pisos funcionais, no térreo (5.847,15 m²) encontram-se as áreas de maquinário e estoques de materiais e no primeiro piso (885 m²) os escritórios, refeitórios, balneários e uma área de lazer. O projeto da UI também contempla a execução de uma galeria subterrânea onde serão instalados cabos e tubulações necessárias para o correto funcionamento da UI, totalizando uma área de construção efetiva de 6.733 m² e uma altura de 13,60 m configurando ao projeto uma volumetria do edifício de 68.107 m³ (Tabela 1).

Tabela 1 - Informações básicas de projeto.

Local:	Parque industrial - Arcos de Valdevez
Superfície do terreno (m ²)	21400
Área de implantação do empreendimento (m ²)	5847,15
Volumetria (m ³)	68107,98
Cércea máxima do edifício (m)	13,6
Número de pisos acima e abaixo da cota de soleira	2
Área de construção (m ²)	6733
Área de piso térreo (m ²)	5847,15
Área de 1º piso (m ²)	885,82
Lugares de estacionamento	42

O respetivo Plano de Gestão de Resíduos (PGR) da obra, contemplava a identificação dos resíduos gerados no estaleiro, condições de armazenamento dos resíduos, identificação dos operadores de licenciados para recolha e tratamento dos mesmos. Os resíduos gerados eram todos devidamente identificados de acordo com a legislação em vigor, onde foram separados de acordo com os Códigos LER – Lista Europeia de Resíduos. Como previsto no PGR, o estaleiro dispunha de contentores, *Big Bags*, entre outras formas de acondicionamento dos resíduos gerados, com o intuito de maximizar o aproveitamento e reuso desses resíduos, aumentar a eficiência ambiental da obra e diminuir os impactes gerados pela mesma.

O estaleiro também dispunha de um PGA – Plano de Gestão Ambiental, onde assegurou o cumprimento da legislação ambiental aplicável e a implementação de metodologias de Gestão Ambiental, visando a maximização da eficiência ambiental e prevenção de eventuais impactes ambientais.

Foi percebido que em nenhum dos dois documentos oficiais de obra contemplava qualquer informação sobre os impactes incorporados ao ciclo de vida dos materiais escolhidos e utilizados na construção. Sendo assim, este trabalho pode servir de base para futuros documentos e planos de gestão ambiental respetivos a obras obtendo melhores resultados a níveis de desempenho ambiental.

Na Figura 1 são apresentadas algumas fotos registradas em fases distintas de construção, podendo ser percebida a utilização de alguns dos materiais analisados no ciclo de vida deste

trabalho, como por exemplo: aço, concreto, plástico (revestimento de paredes) e isolamentos termo acústicos (na cobertura e paredes).

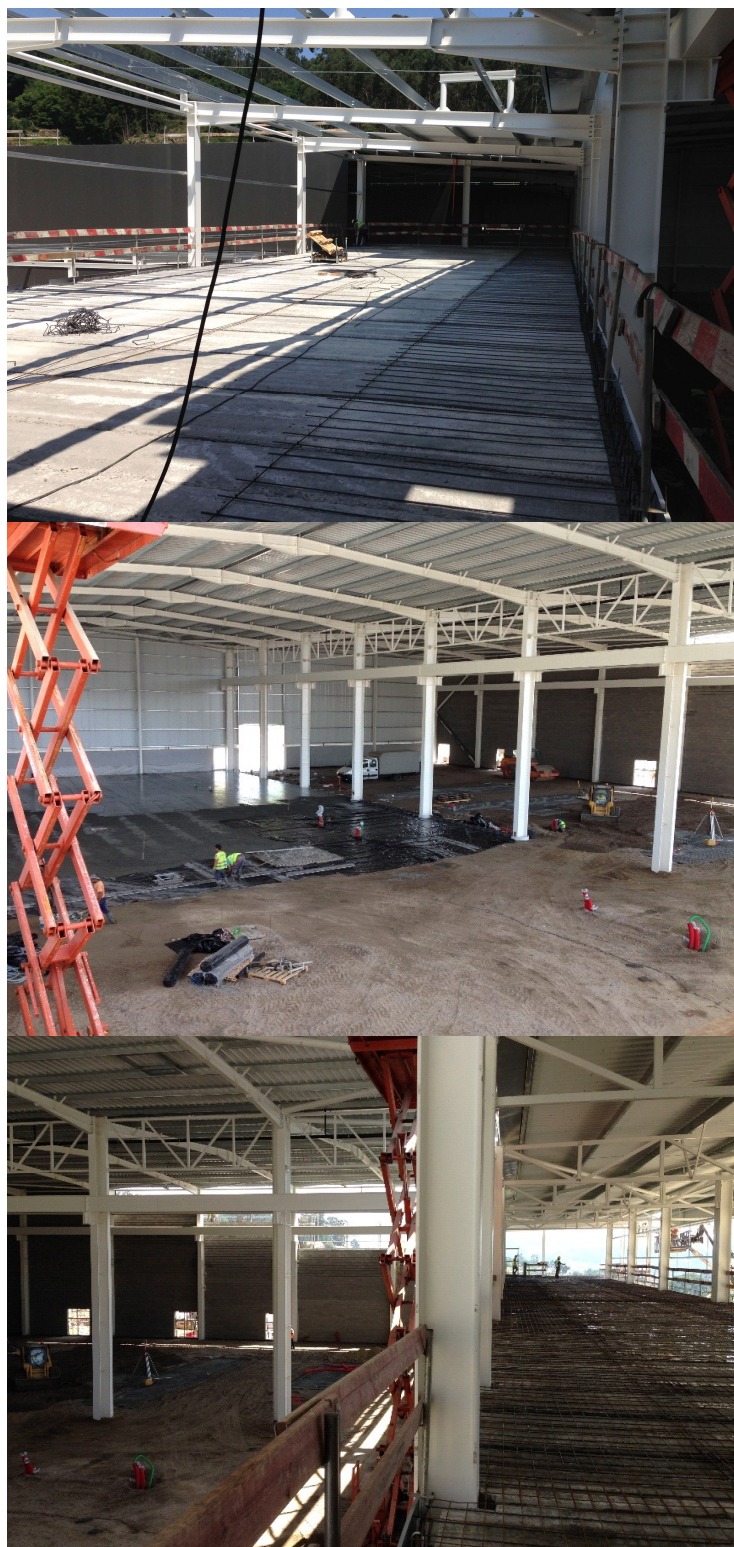


Figura 1 – Fotos da Unidade Industrial durante a fase de construção

1.4 Organização da dissertação

No capítulo 1 desta dissertação foi feita uma breve introdução, contextualizando e apresentando o objetivo do trabalho.

No capítulo 2 deste trabalho apresenta-se o estado da arte em que se encontra o tema da sustentabilidade das construções, dando um panorama da situação global. Além disso, aborda-se a importância do conhecimento e aplicação dos conceitos de sustentabilidade nas atividades e processos da construção civil, juntamente com a certificação de sustentabilidade ambiental existentes. Para concluir o capítulo, fez-se uma análise geral do tema da análise do ciclo de vida na indústria da construção, reforçando o conceito da aplicação da metodologia para o estudo e projeto de construções sustentáveis.

No capítulo 3 apresenta-se o objeto de estudo, fazendo-se uma caracterização geral da unidade industrial. No mesmo capítulo inclui-se informações de dados que foram necessários a aplicação da metodologia de ACV, relacionando com documentos relativos a obra, tais como o Plano de Gestão de Resíduos e o Plano de Gestão Ambiental. Juntamente ao final do capítulo 3 apresenta-se o estudo realizado e seus resultados, comentando-os e avaliando-os de forma comparativa com outros estudos já realizados. Analisam-se os parâmetros diretos e indiretos da obra relevantes para o estudo e aplicação da metodologia de ACV, explicando-os com mais detalhes no capítulo.

No capítulo 4 apresenta-se a conclusão dos resultados obtidos neste estudo.

1.5 Apresentação da empresa realizadora do estágio

A SOPSEC, Sociedade de Prestação de Serviços de Engenharia Civil, S.A. fundada por José Amorim Faria, Hipólito de Sousa e Rui Calejo, em 1988. Desde então a sociedade tem por objeto a prestação de serviços no domínio da consultoria, elaboração de projectos e gestão de obras. Embora alicerçada numa estrutura tradicional, a empresa tem conseguido ao longo da sua existência adaptar-se às evoluções ocorridas nas actividades relacionadas com o seu objecto, mas também às de carácter mais geral. A SOPSEC, está atenta e acompanha as evoluções do nosso tempo, participando das interrogações das sociedades contemporâneas. Por isso, nos seus projectos, pondera a especialização de aspectos de natureza ambiental e económica, num quadro de diálogo permanente e concretizador com os seus clientes, visando obter ganhos em qualidade de vida.

A SOPSEC tem experiência nas áreas tradicionais de projectos de Engenharia, em Edifícios e Obras de Engenharia Civil, designadamente fundações e obras geotécnicas, estruturas, hidráulica, segurança contra incêndios e vias de comunicação. Uma empresa com renome e atuação internacional, a SOPSEC incorpora preocupações ambientais, a eficiência energética, a reutilização da água, a segurança e a análise de ciclo de vida em suas práticas interiorizadas. A experiência da SOPSEC é relevante em obra nova, bem como em reabilitação de edifícios, monumentos e espaços urbanos [7].

2. Estado de Arte

2.1 Desenvolvimento sustentável no mundo

As cidades crescem rapidamente e áreas que antes não eram consideradas urbanas, atualmente dão lugar a estradas e construções, para satisfazer as necessidades de cada indivíduo de forma coletiva. As construções de novos espaços urbanos condicionam a forma como nós interagimos em nosso dia-a-dia. O desenvolvimento das nossas cidades apresenta um impacto direto na forma como consumimos os nossos recursos naturais ainda disponíveis, planejando e gerenciando o crescimento de forma a não comprometer a disponibilidade de tais recursos [8].

Para tentar solucionar esta demanda, as Nações Unidas formularam em setembro de 2015 um dos mais importantes atos de compromisso onde formalmente cerca 190 líderes se comprometeram a atingir 17 objetivos, através dos quais de uma forma geral garantiriam o alcance do desenvolvimento sustentável a nível global [9]. O diretor da GEF (*Global Environmental Facility*), *Naoko Ishii*, comentou numa entrevista ao site WEF (*World Economic Forum*) que “Num mundo em rápida urbanização, como projetamos e construímos as cidades do futuro irá desempenhar um papel crítico na proteção dos bens comuns globais, recursos ambientais finitos do planeta que forneceram para as condições estáveis, apreciada pela humanidade há milhares de anos” [8].

A definição do termo *desenvolvimento sustentável* foi formalmente posta a público no Relatório Brundtland em 1987, um relatório elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criado pela Assembleia das Nações Unidas; “O desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades”. A humanidade tem a responsabilidade de assegurar o desenvolvimento da geração atual de acordo com suas necessidades presentes sem que esta comprometa o desenvolvimento das gerações futuras e assim em diante [10].

O conceito do termo pode assumir várias interpretações, mas é largamente aceite que para o alcance da sustentabilidade é necessário o equilíbrio harmónico de três fatores (pilares) importantes, como é ilustrado no diagrama de *Venn* na Figura 2, a saber: Ambiente, Economia e Social [2].

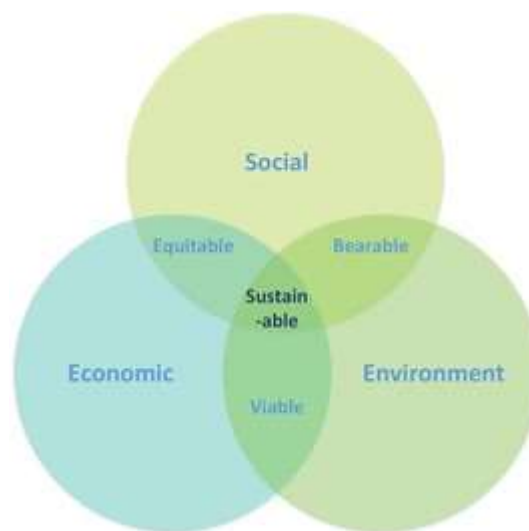


Figura 2 - Diagrama de Venn da sustentabilidade [2].

Compreender o desenvolvimento sustentável tem sido palco de grandes debates por líderes, governantes de Estados e pesquisadores de grande nome. O diagrama de *Venn* (Figura 2) ilustra uma interação entre três dimensões, consideradas essenciais para se atingir os objetivos comuns da sustentabilidade, sendo, portanto, a zona correspondente à verdadeira sustentabilidade, uma pequeníssima parcela do universo de estudo [2], [10].

No que respeita à sustentabilidade ambiental, pretende-se assegurar o uso dos recursos naturais presentes (água, solo, matérias-primas, etc) a um nível de consumo autossustentável, ou seja, que não leve a escassez dos próprios recursos. A sustentabilidade social visa

essencialmente a procura do bem-estar social, enquanto que a sustentabilidade económica requer que companhias, negócios e países usem seus recursos eficientemente do ponto de vista financeiro. O equilíbrio de apenas duas das dimensões do diagrama não suportaria a sustentabilidade em si. Se só tivéssemos a sustentabilidade económica e social alcançaríamos uma situação “equitativa”, ao alcançar a sustentabilidade ambiental e social teríamos uma situação “suportável”, e em uma sustentabilidade ambiental e económica teríamos uma situação “viável”. Logo da harmonia dessas situações se alcançaria a verdadeira sustentabilidade [2], [11].

Os economistas do Banco Mundial desenvolveram um modelo de desenvolvimento sustentável que envolve os chamados “cinco capitais”, representando todos os recursos disponíveis para as sociedades – Capital natural; capital humano; capital social; capital manufaturado e capital financeiro. Sendo assim, sustentabilidade é o processo em que, ao longo do tempo, nós aprendemos a gerenciar os diferentes fluxos de capitais disponíveis na nossa economia fundada em uma base sustentável. Nos princípios científicos que embasam a sustentabilidade, nota-se que há apenas duas formas reais de recursos, aquelas que provém de riquezas oriundas do planeta Terra, os recursos naturais, e aqueles recursos que provém de nossas próprias mãos, o capital humano. Os demais derivam diretamente dessas duas fontes primárias. Se formos um pouco mais longe, podemos concluir que o Homem também deriva dos mesmos elementos básicos presentes na natureza, logo assumimos que a raça humana é então uma subcategoria do capital natural, deixando claro a importância da sustentabilidade ambiental para a perpetuação das gerações presentes e futuras [12].

Na Conferencia das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Cúpula da Terra ou Eco-92), realizada no Rio de Janeiro no ano de 1992, líderes de várias nações desenvolveram e estudaram a aplicabilidade de tais conceitos em cada país, de acordo com suas necessidades e modo de vida de suas populações. O resultado da conferência culminou em alguns dos acordos mais importantes a nível do meio ambiente e da sustentabilidade juntamente com a Agenda 21, programa de desenvolvimento ambiental racional a ser seguido por vários países. Acordos relativos a desmatamento, desertificação e alterações climáticas (entre outros) foram fechados por países que antes eram regidos por políticas pouco expressivas nesses temas e que após a conferência tiveram de mudar e adaptar grande parte de suas bases produtivas e económicas para alcançar tais objetivos [13].

Nessa mesma conferência foi discutida pela primeira vez a importância do setor da construção para o alcance dos objetivos do desenvolvimento sustentável. Visando a criação de mais oportunidades para futuras gerações, foi desenvolvida uma nova estratégia ambiental voltada e focada na produção de construções com uma melhor adaptação ao meio ambiente e ao mesmo tempo capaz de cumprir com as exigências de conforto de seus ocupantes. *Charles Kibert* propôs pela primeira vez o termo “construção sustentável”, passando a responsabilidade da incorporação do conceito e dos objetivos da sustentabilidade para as indústrias do setor da construção, afirmando que a utilização eficiente dos recursos naturais e princípios ecológicos tem como consequência a criação de construções sustentáveis [14].

Em 2010, a Comissão Europeia se prontificou em reunir forças para cumprir com os objetivos gerais de sustentabilidade e, visando revitalizar e reestruturar a economia da União Europeia para que cresça de forma inteligente, sustentável e inclusiva, foi definida a Estratégia Europa 2020, definindo três cenários possíveis frente a crise vivida pelos países membros: recuperação sustentável, recuperação lenta e década perdida. No que se referente ao ambiente e energia, dentre os objetivos a serem concretizados até 2020 está a denominada estratégia 20/20/20, onde pretende-se a redução dos gases do efeito estufa em 20% comparada aos níveis de 1990, ou a 30% se as condições o permitirem, o aumento do uso de energias renováveis em 20%, assim como 20% de incremento em eficiência energética [15].

A decisão nº 406/2009/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009, esclarece os esforços a serem realizados pelos Estados-Membros para redução das emissões de gases do efeito de estufa (GEE), com o objetivo de respeitar os compromissos firmados pelos mesmos na redução destes gases emitidos pelos membros da União Europeia até 2020. Esta decisão fixa objetivos vinculativos de redução de emissões de CO₂ para os quais a eficiência energética no setor dos edifícios será essencial [16].

2.2 Análise do ciclo de vida na indústria das construções

É erróneo pensar que as construções causam impactos negativos ao ambiente somente nas fases de construção, utilização e demolição. Este conceito já foi ultrapassado há muitos anos, após a percepção de que cada quilograma de material incorporado a obra, cada metro cúbico de água (no estaleiro da construção ou produção dos materiais), cada fonte de matéria-prima necessária para produção dos materiais, cada quilometro feito pelos meios de transporte que

alimentam o estaleiro (seja de mão-de-obra ou materiais), trazem consigo um impacto negativo ao ambiente.

A avaliação do ciclo de vida (*LCA - Life-Cycle Assessment*) é uma metodologia científica para medir a pegada ambiental de materiais, produtos e serviços ao longo de toda a vida. A ACV é muitas vezes referida como análise de berço-à-porta (*cradle-to-gate*), berço-à-cova (*cradle-to-grave*) ou berço-ao-berço (*cradle-to-cradle*). É essencial para tomada de decisões ecológicas, tanto para a fabricação de produtos, novos ou já existentes, ou no projeto de construção. A análise do edifício pelo método de ACV avalia os encargos a montante e a jusante durante todo o ciclo de vida, com foco em impactos ambientais incorporados. Os impactos incorporados tornam-se mais críticos, pois o consumo operacional como energia e água, é reduzido através da otimização do projeto e gerenciamento de edifícios [17].

O processo metodológico de ACV é regido pela série ISO 14000, a série de padrões internacionais de gestão ambiental. De acordo com o Padrão Internacional ISO 14040, a ACV é uma "compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais de um produto em todo o seu ciclo de vida" [18]. O Código de Prática da SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) descreve a ACV como um processo para avaliar os encargos ambientais de produtos, processos ou atividades através da identificação e quantificação da energia e materiais usados, além de resíduos liberados no ambiente natural, para avaliar o impacto da energia e dos materiais usados e liberados ao ambiente e identificar e avaliar oportunidades para implementar melhorias ambientais [19].

Dentro desse contexto, a análise considerada de berço-à-porta, é a base para declarações de produtos ambientais (*EPDs - Environmental Product Declarations*). Usado para as construções, esse tipo de análise inclui apenas até a fase de fabricação dos materiais e, talvez, dependendo de como a ACV for realizado, o estágio de construção também pode ser considerado. Para a construção de ferramentas de ACV com base em obras de construção, o ponto de partida para a avaliação geralmente pode ser iniciado pela coleção de ACVs de berço-à-porta dos materiais inventariados, como por exemplo, materiais de sistemas de cobertura, quadros de carga, dentre outros, que são posteriormente agrupados em uma avaliação completa do berço-à-cova de todo o edifício [20].

Dependendo da finalidade da ACV, dois dos principais meios para conduzir o estudo podem ser considerados: ACV baseada em processo e ACV económica baseada em entrada e saída.

Dentro de cada variante, existe uma série de opções a serem consideradas. Em um estudo de ACV baseado em processo, detalham-se as entradas (materiais e recursos de energia) e as saídas (emissões e resíduos para o meio ambiente) para cada etapa necessária para produzir um produto. O método de ACV baseado em processos mostra-se o mais coerente para implementar no setor de construção de edifícios [18].

Ao contrário das metodologias de ACV baseadas em processos, as metodologias de ACV baseadas em “entrada e saída” consideram todo um setor económico. Embora essa análise ofereça uma visão mais holística do impacto de um processo ou produto, ele depende de médias de nível setorial que possam ou não representar adequadamente um subconjunto do setor relevante para um produto específico. Em vez disso, a metodologia de ACV económica é a mais adequada para rastrear o impacto geral de um determinado aspeto, por exemplo, o uso de cinzas volantes no concreto na indústria da construção como um todo [18].

Devido à subjetividade e complexidade das diferentes necessidades dos usuários, existem ferramentas baseadas em métodos de ACV desenvolvidas para simplificar o processo de avaliação do desempenho ambiental de materiais de construção. No mercado há várias ferramentas informáticas que utilizam a metodologia de ACV para avaliação de impactos gerados pela indústria das construções [18]. Na Tabela 2 apresentam-se algumas das opções mais populares deste tipo de ferramenta.

Bayer *et al.* [18] e Pacheco *et al.* [21] afirmam que essas ferramentas podem ser definidas como software de modelagem ambiental que desenvolve e apresenta um inventário do ciclo de vida. A avaliação de impacto resulta de um laborioso processo analítico. Essas ferramentas geralmente seguem os padrões ISO e outras diretrizes de ACV aceitas. Essas ferramentas incorporam dados de entradas na forma de amostras de material, convertem-nas em massa e atribuem esse valor aos dados de Inventário de Ciclo de Vida (*LCI - Life-Cycle Inventory*) disponíveis a partir de um banco de dados.

Anastaselos *et al.* [22], Ortiz *et al.* [23] e Bayer *et al.* [18], classificaram as ferramentas informáticas de ACV em três categorias. A categoria 1 refere-se às ferramentas que estão na forma de avaliação do desempenho ambiental a um nível material, visando identificar características ambientais dos materiais de construção. Podem ser usadas como ferramentas de comparação e são amplamente utilizadas para seleção de materiais.

Tabela 2 - Programas de ACV relacionados com o setor das construções [18], [23], [24].

Aplicação	Programas / Ferramentas		Desenvolvedores
	Denominação	Origem	
Aplicação Geral de estudos de ACV	SimaPro	Holanda	The Netherlands and Tool for Environmental Analysis (TEAM); Universidade de Stuttgart; Ecobilan;
	GaBi	Alemanha	
	TEAM	França	
Seleção de Materiais	BEES	EUA	U.S. National Institute of Standards and Technology (NIST); -
	LCAiT	Suécia	
Conceção de Edifícios	ATHENA	Canadá	ATHENA Sustainable Material Institute; IVAM; Building Research Establishment (BRE); http://www.lisa.au.com/ ;
	EcoQuantum	Holanda	
	EnVest 2	U.K.	
Sistemas Completos de Edifícios	LISA	Austrália	https://new.usgbc.org/leed/ ; Building Research Establishment (BRE); http://www.iisbe.org/sbmethod/ ; Norwegian Building Research Institute (NBI); CTSB e a Universidade de Savoie; Royal Institute of Technology (KTH); - http://new.gbca.org.au/green-star/ ;
	LEED	EUA	
	BREEM	U.K.	
	GBTool	Canadá	
	Ecoprofile	Noruega	
	Escale	França	
	Ecoeffect	Suécia	
	SEDA	Austrália	
GreenStar	Austrália		

A categoria 2 está relacionada com ferramentas de tomada de decisão de design de construção integral, em uma abordagem sobre o ciclo de vida. São pacotes de *software* utilizados para avaliar os impactos ambientais em uma abordagem de construção integral que adquire dados em termos de geometria e conjuntos de construção, isto é, referente as diferentes fases do ciclo de vida ou à contribuição do edifício para um impacto particular. Geralmente são capazes de comparar várias opções de design para um projeto de construção e são úteis durante o projeto inicial. Alguns exemplos de ferramentas incluem LISA da

Austrália, Ecoquantum da Holanda, EnVest 2 do Reino Unido e ATHENA do Canadá [18], [23], [22].

A categoria 3 é muitas vezes considerada como o quadro de avaliação ambiental da construção, que avalia o desempenho de um edifício em um conjunto de critérios pré-determinados. A estrutura de avaliação ambiental da construção tem sido amplamente utilizada para promover projetos, construção de edifícios verdes e estruturas populares de certificação ambiental como *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) nos EUA, o *Building Research Establishment's Environmental Assessment Method* (BREEAM) no Reino Unido, o *GreenStar* na Austrália e o internacionalmente desenvolvido *Green Building Challenge* (GBC) [18], [25].

2.3 A Energia e o Carbono incorporados nas construções

Atualmente, aproximadamente 30% do total da emissão global de GEE são provenientes de várias fases do ciclo de vida das construções e edifícios existentes. Os esforços para redução dos GEE provenientes desta área reduziram consideravelmente os efeitos de um eminente aquecimento global junto das necessidades energéticas associadas a eles [26], [27].

Difícilmente pode haver um momento na história em que a importância estratégica da indústria da construção foi maior não apenas para renovar o estoque de construção do país, mas para fazê-lo de forma a atender às necessidades de uma nova economia de baixo carbono. Este papel central criou a oportunidade para a indústria da construção assumir uma posição de liderança [28].

Juntamente com as emissões de GEE, o consumo de energia é frequentemente usado para medir o desempenho ambiental dos edifícios. Estudos recentes destacaram a importância da energia incorporada e do uso operacional de energia atribuída aos edifícios ao longo da vida. A energia incorporada é a energia consumida pelos processos associados à produção total de um edifício, desde a aquisição de recursos naturais de processos, incluindo mineração e fabricação, através de transporte e outras funções e, finalmente, a energia operacional, envolvendo a energia utilizada pelo prédio em suas operações e uso (arrefecimento, aquecimento e iluminação, equipamentos de escritório e de cozinha) [27].

2.3.1 Energia incorporada nos materiais

Até o momento, a maior parte do foco na redução de emissões de carbono do ambiente construído tem sido gerenciar e reduzir o consumo de energia a partir de iluminação, aquecimento, ventilação e arrefecimento de edifícios, através de um melhor projeto e gerenciamento em uso. O carbono incorporado é resultante das emissões de todas as atividades envolvidas na criação e demolição de um edifício [29].

A energia total do ciclo de vida de um edifício inclui energia incorporada e energia operacional [5], [30], [31]

- Energia Incorporada - EI (*EE, Embodied Energy*): A soma de toda a energia necessária para fabricação dos materiais. Pode ou não incluir a energia da matéria-prima utilizada na fabricação dos materiais de construção. Geralmente é expressa em termos de energia primária.
- Energia Operacional - EO (*OE, Operational Energy*): Energia utilizada em edifícios durante a fase operacional, ou seja, a energia envolvida nos processos de aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação e outros aparelhos elétricos.

Até recentemente, apenas a energia operacional era considerada em estudos de ACV devido à sua maior participação na energia total do ciclo de vida. No entanto, devido ao advento de equipamentos e eletrodomésticos cada vez mais eficientes, juntamente com materiais de isolamento mais avançados e efetivos, o potencial para reduzir a energia operacional aumentou e, como resultado, a ênfase atual mudou para incluir também a energia incorporada dos materiais de construção [32].

De qualquer forma é necessária energia para fabricar materiais de construção e componentes construtivos. Seria muito útil e forneceria dados significativos se cada fabricante catalogasse a energia usada associada ao seu produto específico. Essas informações assegurariam que dados de exigência de energia mais específicos para cada tipo de material de construção estariam disponíveis. Ao mesmo tempo, as informações também poderiam ser enviadas de volta para o ciclo de avaliação para monitorar e ajustar o desenvolvimento do design do produto. Tecnologias de fabricação aprimoradas de materiais podem reduzir o consumo de energia [33], [34].

Transportar materiais é um fator importante no custo e energia de um edifício. A distância de transporte pode variar de acordo com a localização das atividades de construção e entre projetos [33]. É necessária energia quando materiais de construção e componentes devem ser movidos de um local para outro em diferentes estágios do processo, incluindo o transporte de matérias-primas do local de extração para o local de fabricação do componente. Mais energia é consumida na entrega dos componentes fabricados no local [35], [36].

Pesquisas anteriores sobre energia associada ao transporte mostram que tais dados geralmente podem ser avaliados usando pressupostos generalizados [33]. No entanto, Miller [35] afirma que a energia de transporte está em torno de 0,8 MJ/t/km e equivale aproximadamente a 6% da energia incorporada total de materiais e outros componentes usados. Deve-se ressaltar que a energia incorporada correspondente ao transporte de matérias-primas e materiais semi-fabricados às fabricas está incluído na categoria de energia de fabricação.

É difícil comparar os resultados de pesquisas uma vez que o modo de transporte e a distância percorrida são cruciais para o cálculo, permanecendo amplamente desconhecidos. É necessário estabelecer um limite de estudos para o consumo de energia do transporte. Quanto mais matérias-primas importadas necessárias para fabricar materiais de construção e componentes do exterior, maior o consumo de energia incorporado [25]. De acordo com Ding (2004), 75% do total da energia incorporada as construções vem da fabricação de componentes fora do local da obra e conclui que esta parcela está aumentando gradualmente devido a intensificação do uso de materiais de alta energia incorporada [33].

2.3.2 Carbono incorporado aos materiais

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), existem três áreas a serem focadas na redução das emissões associadas aos edifícios: redução do consumo de energia, incluindo energia incorporada na construção, mudança para energias renováveis e controle de GEE que não contenham CO₂ [37].

A pesquisa de literatura realizada por Lenive *et al.* (2007) envolvendo cerca de 80 estudos, indica que existe um potencial global para reduzir aproximadamente 29% das emissões da linha de base projetadas até 2020 (11,1 Gt de emissões de CO₂) de forma econômica nos setores residencial e comercial. Uma parcela significativa dessas poupanças pode ser alcançada de alguma forma reduzindo os custos em seu ciclo de vida, proporcionando assim

reduções efetivas nas emissões de CO₂ tendo um benefício líquido do mesmo e não somente no custo operacional. No entanto, devido à longa vida útil dos edifícios e seus equipamentos, bem como as fortes e numerosas barreiras de mercado que prevalecem neste setor, muitos edifícios não aplicam tais tecnologias básicas ao nível do ciclo de vida que garantiriam a minimização de custos [37].

Para demonstrar a importância do contributo dos processos da construção nas emissões de CO₂, neste caso em um estudo realizado no Reino Unido de acordo com o BIS – *Bank for International Settlements*, como pode ser observado na Figura 3 os processos de construção que antecedem a fase de uso representam cerca de 50% de todo o ciclo de vida. No entanto, as escolhas feitas durante o processo de construção têm também uma influência significativa no desempenho dos edifícios e, portanto, vale a pena analisar em que medida a indústria pode influenciar o consumo de energia e as emissões associadas durante todo o ciclo de vida [28].

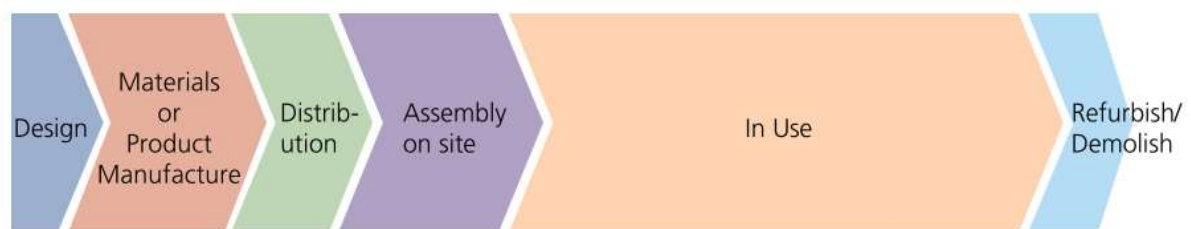


Figura 3 – Estimativas de contribuição de Dióxido de Carbono total no Reino Unido durante as fases amplas do ciclo de vida de um edifício [28].

2.4 Estudos de caso de energia e carbono incorporado aos materiais

Bonamente *et al.* (2014) [38], avalia duas categorias de impactos representativas, associadas a todo o ciclo de vida (*cradle-to-grave*) de prédios pré-fabricados. Esse estudo foi realizado utilizando dados específicos secundários e do local de obra fornecidos por uma grande empresa italiana que abrange quase todo o território nacional com quatro principais locais de construção e montagem. As duas categorias de impacto (pegada de carbono – PC e pegada energética – PE) foram avaliadas com base em uma abordagem de LCA. Para cada categoria, o impacto foi dividido de acordo com cinco fases principais do ciclo de vida das construções: pré-fabricação das peças, montagem no local da obra, transporte, utilização e fim de vida. Quatro alternativas de construções pré-fabricadas de diferentes tamanhos (áreas de 1.000 – 20.000 m²) foram selecionadas e analisadas em detalhes para ter uma cobertura representativa.

Na Figura 4 e Figura 5 é apresentada a comparação dos resultados de pegada energética entre diferentes áreas de construções. Os resultados mostram que o impacto principal decorre da fase de uso, com incidência relativa a aproximadamente 67% do total da pegada energética. Neste caso, a fase de uso é calculada considerando uma vida útil de 20 anos e inclui apenas a necessidade mínima de energia para o aquecimento (edifício da classe A localizado em Perugia, Itália) e iluminação (300 lux com lâmpadas de halogenetos metálicos). Pode-se observar que a contribuição do transporte nos cinco tipos é praticamente irrelevante em comparação com o total acumulado no fim do ciclo de vida.

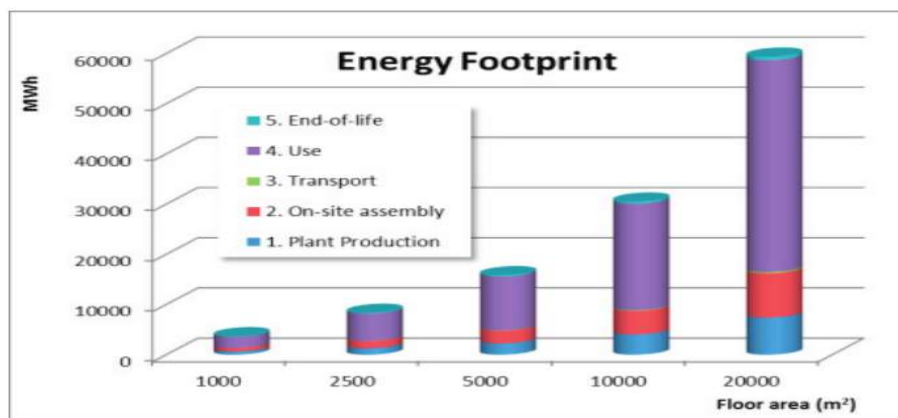


Figura 4 - Pegada energética (PE) de acordo com a construção de referência básica em função da área [38].

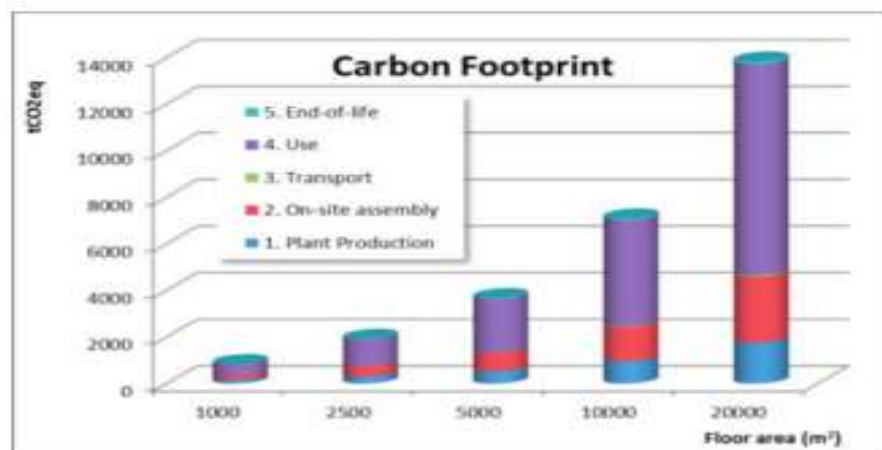


Figura 5 - Pegada de carbono (PC) de acordo com a construção de referência básica em função da área [38].

A Tabela 3 apresenta os resultados totais das fases de construção referentes a Figura 4 e Figura 5 sendo possível observar que no sentido que a área construída aumenta, a intensidade energética diminui, assim como a pegada de carbono [38].

Tabela 3 - PE e PC para o tipo básico de construção de referência entre áreas contruídas [38].

Área (m ²)	Pegada energética		Pegada de carbono	
	MWh (Totais)	kWh/m ²	tCO ₂ eq	kgCO ₂ eq/m ²
1.000	3.900	3.900	895	895
2.500	8.900	3.560	2.050	821
5.000	16.900	3.390	3.920	783
10.000	30.500	3.270	7.570	757
20.000	63.700	3.180	14.800	738

Na análise da pegada de carbono, apresentado na Figura 7, o edifício básico (5000 m² e 10 m de altura) com baixo isolamento (classe B) obteve resultados da ordem de 790 kgCO₂eq/m², enquanto o mesmo edifício com alto isolamento (classe A+) obteve 700 kgCO₂eq/m². Isso reforça a importância dos materiais escolhidos na fase de design e projeto para redução dos índices de pegada energética e pegada de carbono [38].

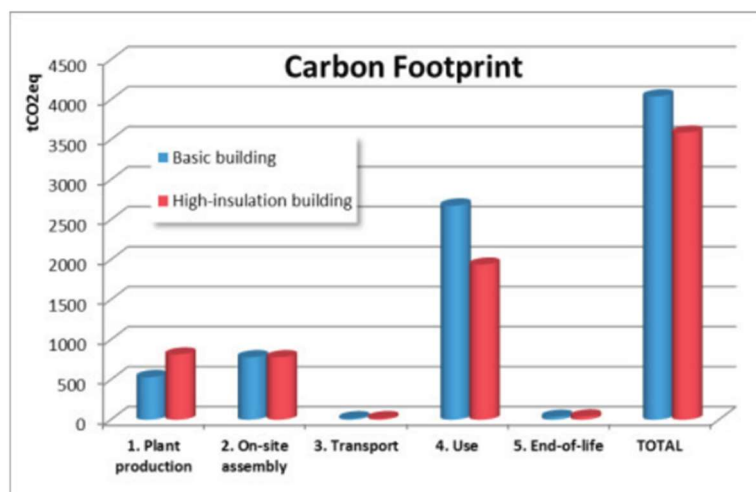


Figura 6 – PC do modelo básico de referência (azul) versus o modelo com alto nível de isolamento (vermelho) [38].

Na Figura 7, observa-se uma comparação de pegada energética entre o modelo de baixo (classe B - azul) e de alto isolamento (classe A+ - vermelho). Neste caso, na fase de produção das peças de instalação a PE aumenta em 80% se comparado o modelo classe B com classe A+, enquanto que na fase de uso essa diferença diminui em 28%. A fase de transporte e de fim de vida da construção representam contribuições inferiores a 1% [38].

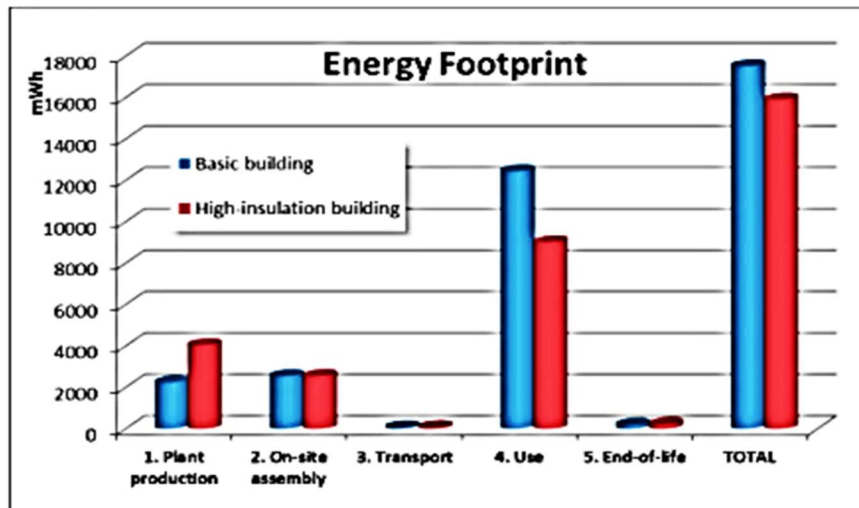


Figura 7 – PE do modelo básico de referência (azul) versus o modelo com alto nível de isolamento (vermelho) [38].

De acordo com a Figura 7, a energia de transporte incorporada aos materiais representou aproximadamente 5-10% da energia de fabricação para cada material. É importante ressaltar que, a energia corresponde ao transporte dos materiais nas fases de montagem e demolição compreende aproximadamente 1% da demanda de energia total incorporada aos materiais [38].

Para Adalberth *et al.* (1997) [39] em seu estudo de caso, onde avaliou do uso total de energia para três unidades de habitação unifamiliar pré-fabricadas na Suécia, com área útil de 129-138 m² e vida útil de 50 anos, encontrou resultados semelhantes para fase de transporte do ciclo de vida. De acordo com a Tabela 4, onde apresenta o uso total de energia das três habitações ao longo dos 50 anos de vida útil, pode-se observar que a energia de transporte e processamento durante a fase de construção, de fim de vida e da demolição das habitações agregam o equivalente a 1% da energia total requerida. Adalberth *et al.* (1997) inda reforça que por mais que as habitações estudadas e avaliadas sejam pré-fabricadas, adicionando assim uma percentagem a mais da quantia dos transportes diferentemente de habitações construídas no local da obra, isso não representa algo significativo no uso total de energia durante o ciclo de vida da habitação. Além disso, o consumo anual de energia para o aquecimento de espaços úteis, água quente e eletricidade é de 141, 148 e 128 kWh / (m² de superfície utilizável por ano), respetivamente, para as três habitações. Isso significa que cerca de 85% do consumo total de energia é necessário durante a fase de uso e ocupação da habitação.

Tabela 4 – Utilização de energia durante o ciclo de vida das três habitações avaliadas [39].

Phases	House 1 (kWh/m ² · 50 yr)	%	House 2 (kWh/m ² · 50 yr)	%	House 3 (kWh/m ² · 50 yr)	%
Production						
Manufacturing	900	11	870	100	730	10
Transportation	40	0	40	0	30	0
Erection	80	1	70	1	50	1
Management						
Occupation	7100	83	7400	85	6400	85
Renovation: manufacturing	390	5	370	4	330	4
Renovation: transportation	< 10	0	< 10	0	< 10	0
Destruction						
Demolition	10	0	< 10	0	< 10	0
Removal: transportation	30	0	20	0	20	0
Total energy (kWh/m² · 50 yr)	8500	100	8800	100	7600	100

A Figura 8 demonstra a energia incorporada e a energia operacional do ciclo de vida de três abordagens de soluções construtivas variadas para edifícios multiresidenciais em Melbourne, Canadá, analisadas por Aye *et al.* [40], numa construção de 8 andares e 3943 m²: construção de concreto convencional, aço pré-fabricado modular e madeira modular pré-fabricada [5], [40]. Os requisitos de energia incorporada no ciclo de vida da construção mostram maiores resultados para o cenário de aço pré-fabricado a 36 GJ/m², em comparação com 30 GJ/m² para o cenário de concreto.

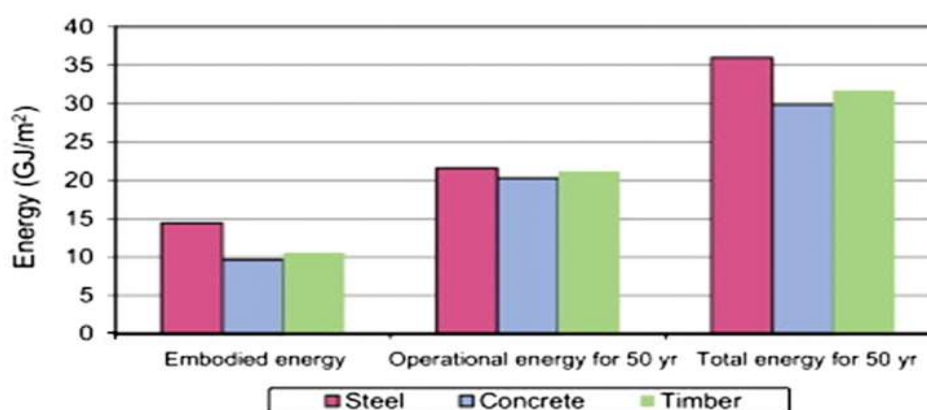


Figura 8 – Energia de ciclo de vida de três tipos de construções sobre os 50 anos de vida estimado [40].

Ao analisar apenas a energia incorporada aos materiais nos estudos, o cenário para aço pré-fabricados ainda demonstra um maior requisito de energia incorporada, com aproximadamente 15 GJ/m² (cerca de 5 GJ/m² a mais comparado com os cenários de concreto e madeira), segundo a Figura 8 [40].

A Figura 9 indica que a estrutura de concreto resulta em emissões de GEE do ciclo de vida de 13% menos do que as construções de aço pré-fabricadas. As emissões de GEE incorporadas contribuem entre 21 e 27% das emissões totais do ciclo de vida. Incluindo as

emissões de GEE associadas à manutenção e substituição de materiais e componentes durante este período, a Figura 9 demonstra ainda a importância e o significado desse componente incorporado de emissões de gases de efeito estufa [40].

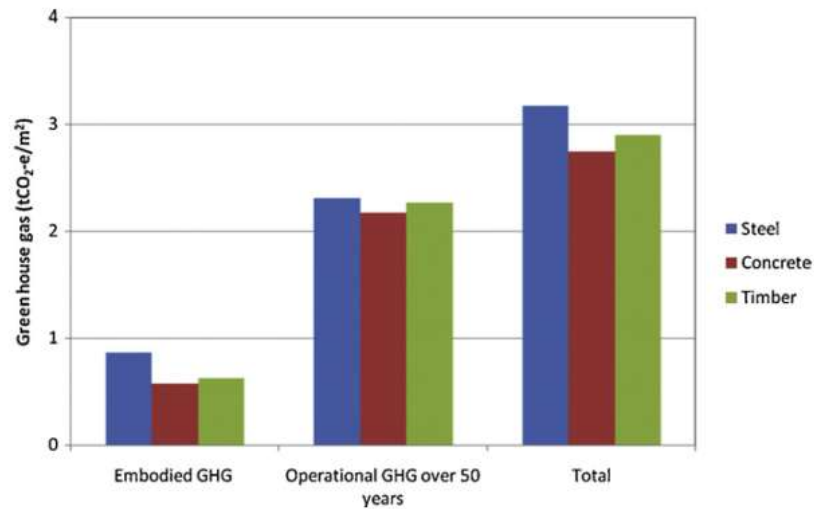


Figura 9 – Emissões de gases de efeito estufa do ciclo de vida dos três tipos de construção em 50 anos [40].

Observa-se com mais detalhe na Tabela 5 a energia incorporada aos elementos construtivos entre as três abordagens. Embora a massa total do edifício em concreto seja quatro vezes superior à do edifício em aço pré-fabricado, a energia total incorporada no edifício de aço é cerca de 50% maior que a do edifício de concreto. Isto é predominantemente devido aos processos mais intensivos em energia envolvidos na fabricação do aço em comparação com a produção de concreto para uma unidade funcional equivalente (neste caso, a estrutura de um edifício). Para a construção de madeira com colunas e vigas de aço, a energia incorporada total é cerca de 10% maior do que a construção de concreto.

Tabela 5 – Energia incorporada aos materiais de acordo com os elementos construtivos do estudo de caso [40].

Elemento construtivo	Energia incorporada (GJ)		
	Aço	Concreto	Madeira
Colunas e vigas	13402	2106	13948
Paredes externas	12457	7792	7445
Painéis de chão	9802	9226	2775
Revestimento externo	4378	4378	4378
Teto	8179	9564	4103
Paredes internas	2799	1016	2799
Cobertura	1307	853	1470
Portas e janelas	3799	2733	3799
Pavimento	280	280	280
Escadaria	186	60	186
Primeiro andar	189	-	189
Total	56778	38008	41372
Total / m²	14,4	9,64	10,49

As emissões de GEE associadas à energia incorporada no edifício foram de 3407, 2482 e 2281 tCO₂eq para: aço pré-fabricado, madeira pré-fabricada e concreto, respetivamente. A desagregação das emissões de GEE incorporadas para todos os sistemas de construção encontram-se na Figura 10. É evidente que o prédio em aço tem cerca de 50% de emissões de GEE incorporados em comparação com a alternativa em concreto. As emissões de GEE incorporadas por metro quadrado de área do piso são de 864, 630 e 578 kgCO₂-eq/m² para os sistemas de construção em aço, madeira e concreto, respetivamente [40].

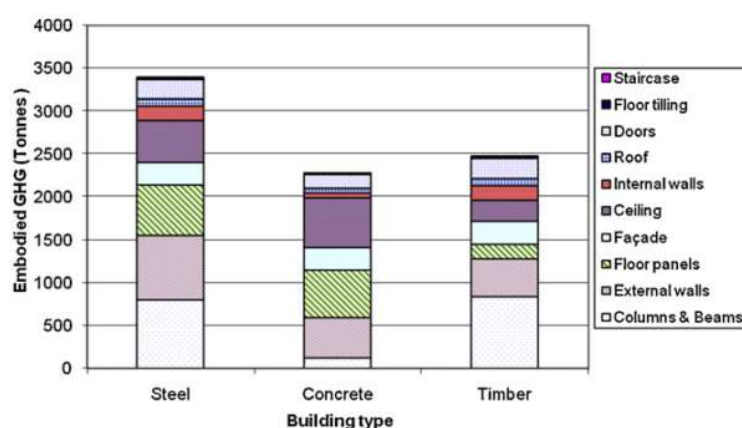


Figura 10 – Emissões incorporadas de gases de efeito estufa dos três tipos de construção, por elemento [40].

Buchanan e Honey [41] realizaram estudos detalhados sobre a energia incorporada de edifícios e as suas respetivas emissões resultantes de dióxido de carbono com estruturas de madeira, concreto e aço para fins comerciais, industriais e habitacionais na Nova Zelândia.

Na Tabela 6 podemos observar os resultados obtidos da análise de dois exemplos de edifícios localizados em Christchurch, com diferenças entre dois designs de estruturas típicas em portal (Aço e Madeira laminada colada) evidenciando que, a maior demanda de energia incorporada é para o design em aço, sendo cerca de 1,7 vezes maior do que o design em madeira laminada. A par desse exemplo, o estudo concluiu que as construções de madeira possuem menos energia incorporada do que as estruturas com design em concreto e/ou aço.

Tabela 6 – Energia incorporada a dois designs de estrutura em portal (Aço e Madeira laminada colada) [41].

Material base de construções industriais	Energia incorporada	Carbono incorporado
	(GJ/m ²)	(kgCO ₂ eq/m ²) - [emitido - armazenado]
Aço		
Estrutural	1,6	29,1
Não estrutural	1,6	35,2
Total	3,2	64,3
Madeira		
Estrutural	0,2	-4,2
Não estrutural	1,6	35
Total	1,8	30,8

Cabeza *et al.* [5] avaliaram vários estudos de caso de ACV energéticos entre construções comerciais e habitacionais, observando que apesar da energia incorporada constituir apenas 10-20% da energia total do ciclo de vida da construção, a oportunidade para sua redução não deve ser ignorada. Existe um grande potencial para reduzir os requisitos de energia incorporada através do uso de materiais na construção que requer menos energia durante a fabricação. Ao usar materiais de baixa energia incorporada, a atenção deve ser focada em suas propriedades térmicas e longevidade, por terem um impacto sensível sobre o uso da energia em outras fases do ciclo de vida do edifício.

Os valores obtidos em energia incorporada dos materiais para cada estudo analisado anteriormente são descritos na Tabela 7, sendo mais evidente a diferença de resultados entre cada autor.

Tabela 7 – Resumo dos resultados de energia incorporada dos estudos analisados neste trabalho.

Autores	Tipologia de construção	Área (m ²)	Energia incorporada (kWh/m ²)	Carbono incorporado kgCO ₂ -e /m ²
Bonamente et al (2014) [32]	Residencial	1000 - 20000	3900 - 3180	738 - 895
Adalberth et al (1997) [33]	Residencial	129 - 138	1020 - 810	-
Aye (2012) [34]	Residencial	3943	4166,6 - 2777,7	864 - 578
Buchanan et al (1994) [35]	Industrial	-	888 - 500	64,3 - 30,8
Lobo (2010) [41]	Residencial	177 563	1175	570

3. Avaliação do ciclo de vida

A avaliação de ciclo de vida da obra levou em conta duas etapas: a análise dos materiais envolvidos nas estruturas de sustentação do edifício, coberturas (paredes; isolamento; teto; etc.), materiais de acabamento e de alvenaria e levantamento dos consumos de água, combustíveis líquidos e energia elétrica do estaleiro.

Para realização da avaliação de ciclo de vida da fase de obra da Unidade Industrial – UI, foram definidas algumas fronteiras de estudo. A avaliação feita dos materiais tem um carácter de berço-à-porta (*cradle-to-gate*), logo contabiliza os valores das fases de extração da matéria-prima, transporte da matéria-prima e produção dos materiais. O transporte a partir da porta da fábrica dos materiais para o estaleiro, além da dificuldade em obtenção destes valores, e de acordo com estudos já analisados no capítulo 2 deste trabalho, não tem expressão significativa nos valores finais (valores da ordem de 0-1% de energia e carbono incorporados não foram contabilizados neste trabalho).

Outro fator de grande importância foram valores dos consumíveis da obra durante todo o tempo decorrido de construção. Os valores eram verificados e registrados todos os meses, uma vez ao mês. Entretanto, devido a alguns imprevistos na periodicidade de visitas a UI,

foi necessária a adoção de valores médios baseados nos dados já obtidos anteriormente. Valores médios foram calculados para os consumos dos últimos três meses de análise da obra da UI.

3.1 Definição do objetivo e âmbito do estudo

3.1.1 Unidade funcional

A unidade funcional adoptada neste estudo para efeito de cálculo dos impactes ambientais dos materiais e energia da fase de construção da UI é o metro quadrado (m²) de área construída. A escolha desta unidade funcional teve por base estudos publicados na literatura, uma vez que é a unidade mais consensual, também adoptada pelos outros estudos e que permite fazer um benchmarking com os resultados deste estudo.

3.1.2 Cobertura temporal do estudo

A análise de inventário e os dados calculados para o presente estudo tiveram por base o ano de construção do edifício, neste caso o ano de referência escolhido para o estudo foi o ano de 2015 (abril – setembro).

3.1.3 Fronteiras de estudo da análise do ciclo de vida

É apresentada na Figura 11 a fronteira do sistema em estudo, incluindo as etapas do ciclo de vida consideradas.

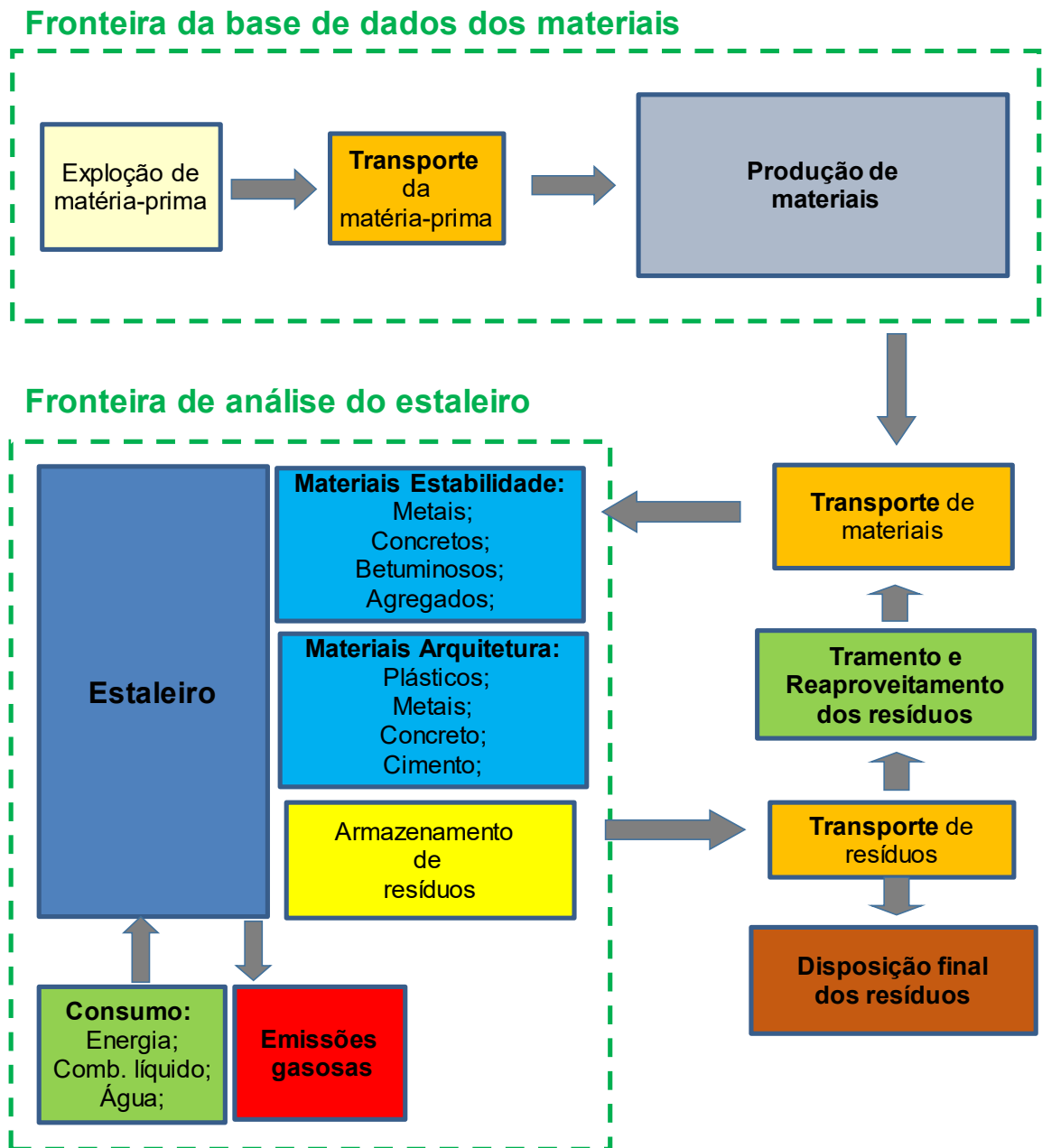


Figura 11 - Diagrama sistemático do ciclo de vida da Unidade Industrial

3.2 Análise de inventário

Para a análise de inventário foram recolhidos sempre que possível, dados primários, i.e., medidos diretamente no estaleiro de construção, e de modo a complementar os dados em falta foram utilizados dados secundários, provenientes de bases de dados ou da literatura.

3.2.1 Dados primários: água, eletricidade e combustíveis

Em uma primeira fase do estudo, onde foi realizado o acompanhamento da obra, foram obtidos os dados de consumos apresentados na Tabela 8. Podemos perceber que o estaleiro teve um consumo energético de aproximadamente de 21,2 MWh, 780 m³ de água e 29.400 litros de combustível (Diesel). A partir desses dados foram calculados o carbono equivalente incorporado e a energia incorporada nesses fatores de consumo que seguem na Tabela 9 e Tabela 10. **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

Tabela 8 – Dados de consumos da UI.

Consumos por dia até 07/jul [95dias]		Total - 160 dias
Energia Elétrica:	132,874 kWh /dia	21200 kWh Totais
Água:	4,923 m ³ /dia	780 m ³
Combustível:	184,305 L/dia	29400 Litros

Tabela 9 – Carbono equivalente incorporada a fase de construção.

Carbono equivalente Incorporado		
Cosnumo	Fator	kgCO2-eq
Eletricidade:	0,385 kg CO2 eq/kWh	8 162,00
Água:	0,78 kg CO2 eq/m ³ de água	608,40
Combustível:	0,832 kg/L	77 296,13
	3,16 g Co2/kg diesel	
Total		86 066,53

Tabela 10 – Energia incorporada a fase de construção.

Energia Incorporada		
Consumo	Fator	MJ
Eletricidade:	3,6 MJ/kWh	76 320,00
Combustível:	38,6 MJ/L	1 134 840,00
Total		1 211 160,00

Os resultados de acordo com a Tabela 9 e Tabela 10, mostram valores significativos de carbono e energia incorporados a fase de construção. Somente na primeira fase as emissões de carbono equivalentes chegaram a 86 tCO₂eq. e energia incorporada de aproximadamente 1211.16 GJ.

3.2.2 Dados secundários: energia incorporada nos materiais

A avaliação do ciclo de vida dos materiais empregados na obra implica a utilização de uma base de dados e nesse caso em específico foi escolhida uma base de dados secundária (ICE – *Inventory of Carbon and Energy*, versão 2.0), criada pelo SERT (*Sustainable Energy Research Team*) do departamento de engenharia mecânica da Universidade de Bath em 2011, com supervisão e direção dos professores Geoff Hammond e Craig Jones.

Segundo os autores e criadores da base de dados ICE, a utilização de uma base de dados secundária exige que sejam ressaltados alguns pontos importantes. As fronteiras da base de dados da ICE versão 2.0 são caracterizadas como berço-a-porta (CTG), porém é relatada a possibilidade de haver algumas variações dos dados coletados que possam afetar nas fronteiras de estudo [42].

As fronteiras aplicadas para a energia primária são igualmente atribuídas e rastreadas desde o berço, onde as energias renováveis também são incluídas, assim como a energia das matérias-primas dos produtos. Todos os dados de emissões de dióxido de carbono relacionados com combustíveis atribuídos aos produtos são contabilizados, assim como as emissões de dióxido de carbono envolvidas nos processos de produção dos materiais.

Os autores ainda ressaltam que a atual versão da base de dados ICE incluem valores tanto de emissões de dióxido de carbono, como também valores para GEE ou indicados como dióxido de carbono equivalente. Valores de transporte também foram incluídos dentro da fronteira até o portão da fábrica. O único dado não contabilizado na base de dados, dentro das fronteiras estabelecidas é o sequestro de carbono e armazenamento biogênico.

Uma lista de materiais a serem empregados na obra foi fornecida, onde foram definidas em fase de projeto todos os materiais e quantidades que foram utilizados. De acordo com a lista de materiais e quantidades, foram separados e analisados os materiais que compreendiam as atividades referentes as etapas de Estabilidade e Arquitetura.

Para cada material avaliado, de acordo com sua quantidade empregada na obra, tomando como unidade funcional a sua densidade e o peso total em quilogramas de cada material, que muitas das vezes é fornecida pela própria base de dados ICE, foram aplicados fatores de conversão para a Energia Incorporada (EI) em MJ por quilograma de material.

A EI dos materiais empregados nas atividades de Estabilidade chegou a um valor total de 16.999,05 GJ e os materiais voltados para as atividades de Arquitetura obtiveram um valor um pouco mais abaixo, totalizando 14.832,7 GJ. Apesar da diferença de valores, as atividades e os materiais utilizados para a Estabilidade têm um peso muito maior do que a grande variedade de materiais utilizados para Arquitetura. Um bom exemplo disso foi utilização da estrutura metálica e de concreto que juntos agregam cerca de 5.236.561 kg (5237 t) de material somente nas atividades de Estabilidade.

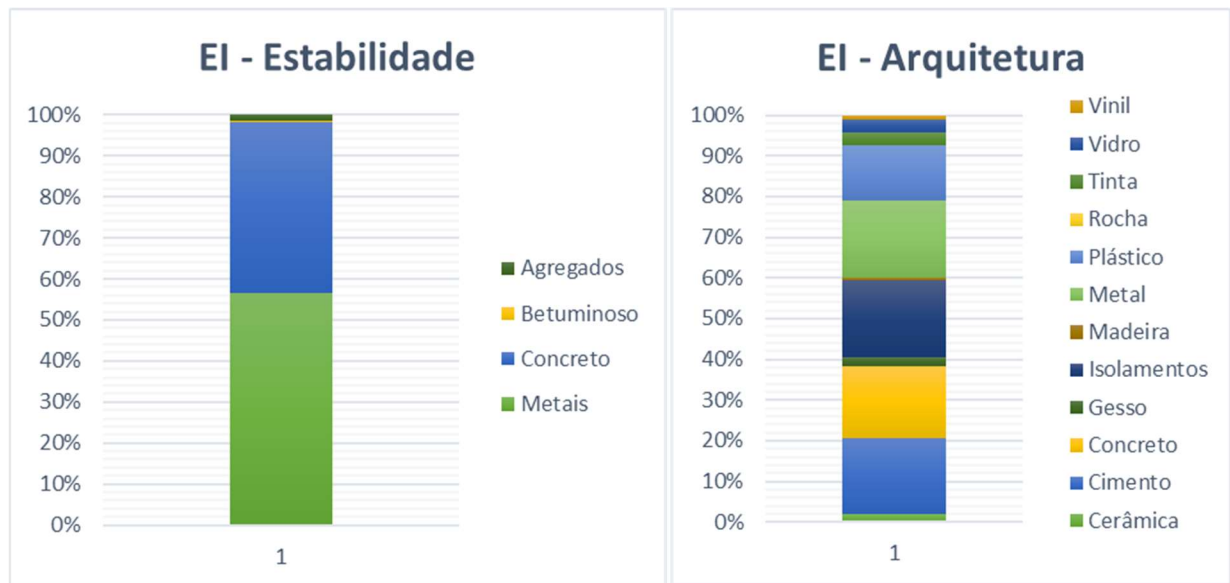


Figura 12 - Percentagem de EI por matéria-prima dos materiais envolvidos nas atividades de A) Estabilidade B) Arquitetura.

Podemos perceber através da Figura 12 a forte influência de alguns dos materiais como o metal, concreto, cimento, isolamentos e o plástico. Nas atividades de Estabilidade, os metais são utilizados com grande expressão contribuindo com 56% da energia incorporada nos materiais, seguido do concreto com 42%. Já nas atividades de Arquitetura os metais ainda representam a maior percentagem de energia incorporada aos materiais desta especialidade, mas divide os 19 pontos percentuais com os materiais isolantes.

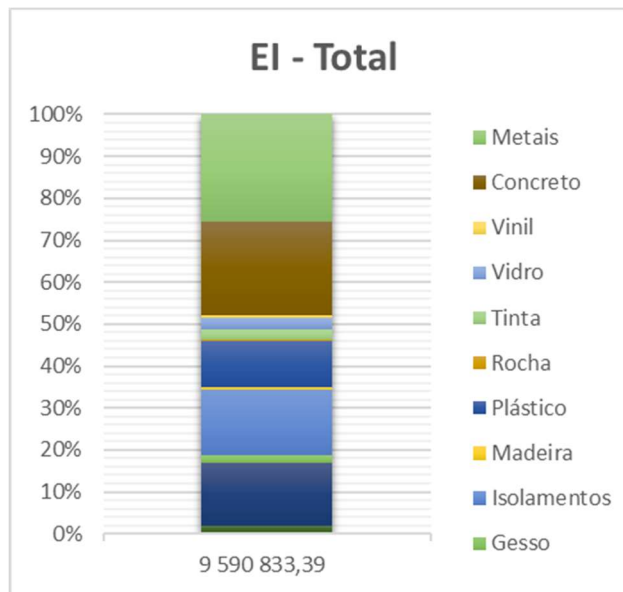


Figura 13 - Percentagem de Energia Embebida total dos materiais.

No gráfico da Figura 12 fica novamente evidente a forte expressão dos metais, ocupando 26% do total de energia embecida nos materiais utilizados. Em seguida, o concreto ocupa um total de 22% e os materiais de isolamento e cimento, juntos com 15% de contribuição energética. Ao longo de todos os materiais analisados, totalizando cerca de 100 materiais, chegou-se a um total de 31.831,8 GJ.

3.2.3 Dados secundários: emissões de carbono incorporado

A avaliação da pegada de carbono (PC) da construção procedeu da mesma maneira que a avaliação de energia embecida nos materiais, de acordo com fatores de conversão atribuídos a cada material avaliado. Fatores estes também extraídos da base de dados ICE.

A Figura 14 demonstra a contribuição de cada material para emissões de gases do efeito estufa. Os materiais que emitem mais gases poluentes de CO₂ equivalentes são: o concreto (50%) e os metais (49%) para atividades de Estabilidade, e relativamente as atividades de Arquitetura aparece novamente os metais (18%), seguidos do cimento e isolantes, ambos com 17% e o concreto a 13%.

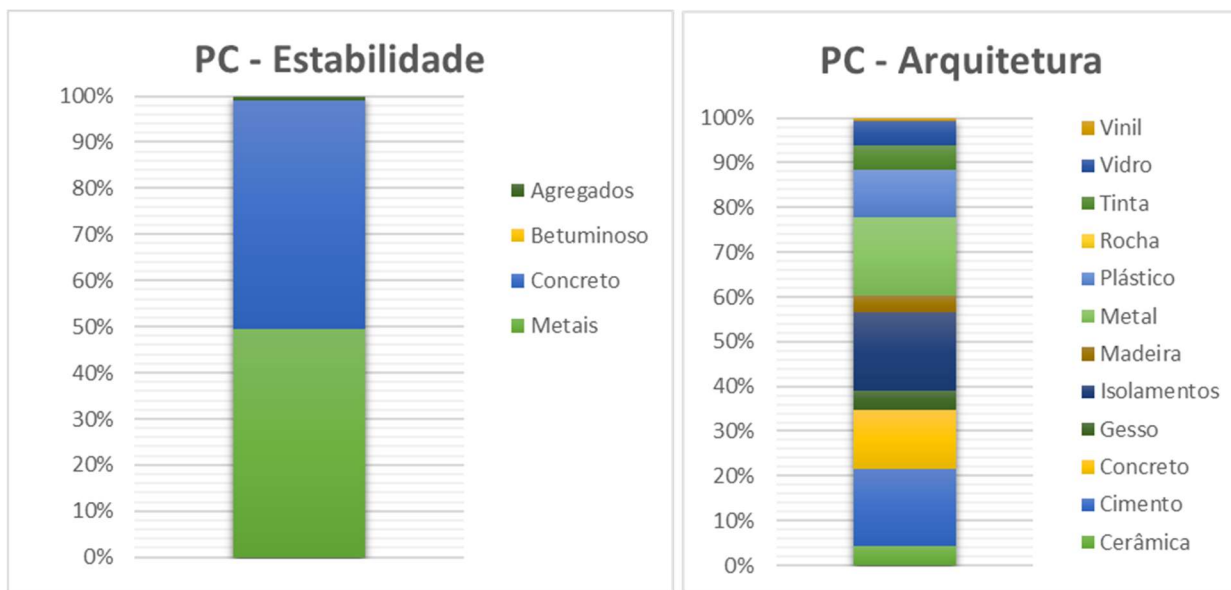


Figura 14 - Emissões de carbono por matéria-prima dos materiais envolvidos nas atividades de A) Estabilidade e B) Arquitetura.

Na Figura 15 observamos novamente o metal como maior emissor de gases CO₂ equivalentes, representando 22% do total de gases emitidos e incorporados nos materiais da construção. Respetivamente e em ordem decrescente de intensidade de utilização, prossegue-se o concreto (18%), cimento (15%), isolamentos (15%) e plásticos (9%).

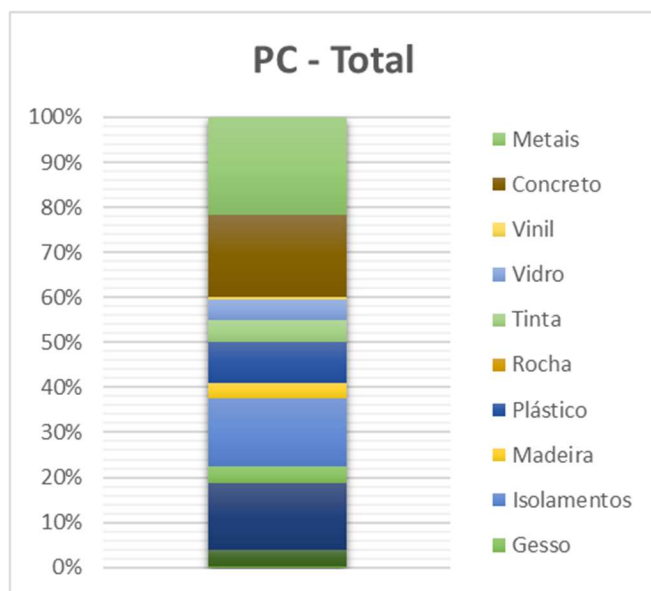


Figura 15 - Emissões totais de carbono equivalente dos materiais.

3.3 Resultados do estudo e discussão

A avaliação do ciclo de vida deste trabalho foi realizada em duas fases de estudo. A primeira fase contempla a coleção de dados primários do estaleiro de obra, como energia elétrica, água e combustível líquido (Diesel), vistos no tópico 3.2.1. Já na segunda fase, foram analisados alguns materiais de uso da obra e posteriormente conduzidos os cálculos de acordo com uma base de dados secundários, ICE, explicados no tópico 3.2.3.

Tabela 11 - Análise comparativa dos indicadores de carbono e energia incorporada a fase de dados primários.

Uso intensivo das pegadas de carbono e energética de dados primários		
Fator (m²)	6733	
Carbono eq.	12,78	kgCO ₂ eq/m ²
Energia:	179,88	MJ/m ²

Os resultados da avaliação para os dados primários podem ser vistos na Tabela 11 obtiveram um total de 12,78 kgCO₂eq./m² de pegada de carbono e 179,88 MJ/m² de pegada energética. Os resultados da avaliação dos dados secundários, dispostos na Tabela 12, mostram valor bem mais elevados para esta fase do estudo, 4727,73 MJ/m² de pegada energética e 495,79 kgCO₂eq./m² de pegada de carbono.

Tabela 12 - Intensidade das Pegadas de Carbono e Energéticas incorporadas aos dados secundários

Intensidade das Pegadas de Carbono e Energética		
Fator (m²)	6733	
Energia Embebida	4 727,73	MJ/ m ²
Dióxido de Carbono Eq.	495,79	kgCO ₂ eq/ m ²

Tabela 13 - Valores totais de emissões de CO₂eq e energia incorporada

Total do Ciclo de vida		
Energia Embebida:	33 042 978,01	MJ
Dióxido de Carbono Equivalente:	3 424 233,22	kg CO ₂ eq

Os valores da Tabela 13 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** representam o total de energia incorporada consumida (em MJ) e o total de emissões de CO₂ equivalentes (em kgCO₂eq.) emitidos pelo caso em estudo. Foram consumidos de acordo com a tabela, mais de 33 042 GJ de energia em todo o processo avaliado e cerca de 3.424 tCO₂eq.

Uma comparação mais clara pode ser feita dos valores totais a dividir pelo metro quadrado construído e percebermos a intensidade de cada fator na construção da UI em caso. O uso intensivo da energia por metro quadrado da obra foi de aproximadamente 4,9 GJ/m² e a pegada de carbono de 508,57 kgCO₂eq/m² construído, apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados de uso intensivo da energia e emissões de CO₂ eq para atmosfera.

Intensidade das Pegadas de Carbono e Energética Total do estudo			
Fator de Intensidade	6 733,00	m ²	
Energia Embebida	4 907,62	MJ/ m ²	
Dióxido de Carbono Eq.	508,57	kgCO ₂ eq/ m ²	

Em um estudo conduzido por Lobo (2010) observou-se que a energia e o carbono equivalente incorporado a fase de construção de um edifício com características tecnológicas e regionais do Brasil, obteve o total de energia incorporada de 777.403,72 MJ e as contribuições de emissões de carbono equivalentes foram de 105.293,96 kgCO₂eq. Para fins de análise comparativa com a relação de área construída, o resultado foi de 4,23 GJ/m² e 0,57 tCO₂eq/m². Quando comparado os resultados do estudo feito por Lobo com os resultados deste trabalho apresentados na Tabela 14 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, é evidente os valores de pegada energética muito parecidos de cerca de 4 GJ/m² e 550 kgCO₂eq/m² pegada de carbono [43].

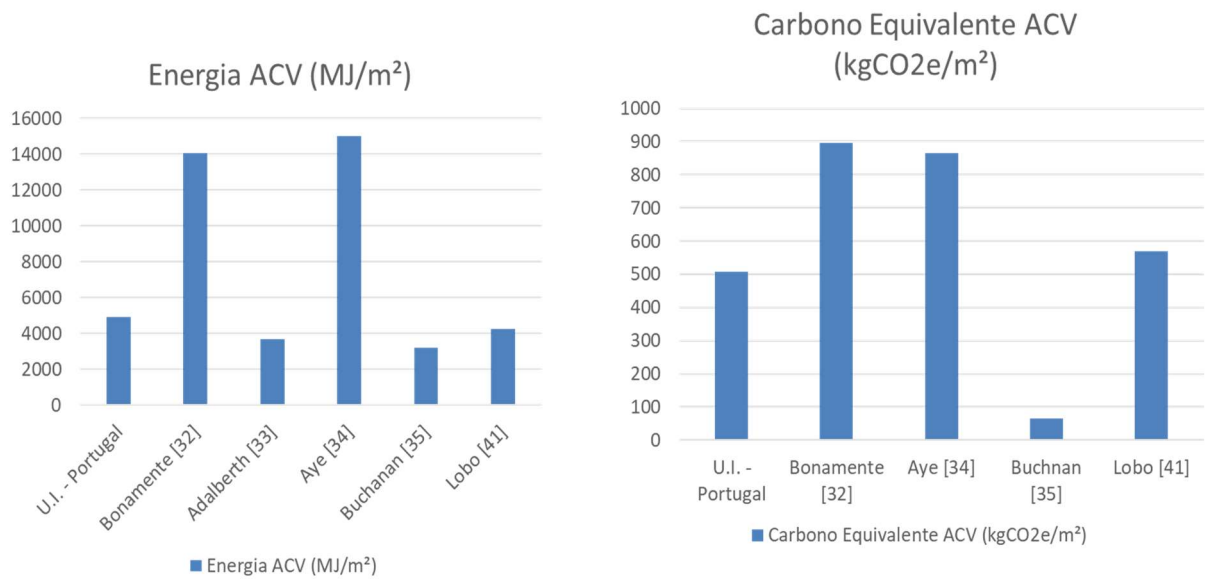


Figura 16 – Gráfico comparativo de casos de estudos realizados

Além do estudo de Lobo (2010), a Figura 16 mostra a comparação (*banchmark*) realizado entre os outros estudos avaliados neste trabalho. É importante salientar a diferença de resultados obtidos de Bonamente (2014) e Aye (2010), ambos em que os casos de estudo eram habitações multifamilires (residencial) e pré-fabricados.

4. Conclusão

A metodologia de ACV começa a se tornar parte essencial de novos projetos da área de construção civil, permitindo uma análise detalhada de vários aspetos e impactes decorrentes, não só das atividades da construção, mais também a quantificação de impactes nunca antes mensurados. A revolução do sector da construção civil é parte essencial para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável, afetando positivamente o bem-estar de seus ocupantes.

Foram avaliados os principais fatores de sustentabilidade das construções na atualidade, nomeadamente a energia incorporada nos materiais construtivos e as atividades da fase de construção, juntamente com emissões de gases causadores do efeito estufa, sendo estes os principais problemas ambientais a serem reduzidos pela indústria da construção.

Nos resultados obtidos neste estudo observou-se que, os principais emissores de gases poluentes na construção da UI estão nos equipamentos que consomem combustível líquido (Diesel) na obra, além do consumo de materiais altamente emissores de gases incorporados em seus processos antes de saírem das fábricas ou armazéns.

Durante o decorrer do trabalho evidenciou-se uma escassez de dados e informações relativos a eficiência ambiental dos materiais utilizados na UI, o que poderia possibilitar uma melhor gestão ambiental da obra. Os dados obtidos no atual trabalho colaboram para uma maior

base de informações decisivas para futuros projetos de construção com melhor desempenho ambiental.

Uma melhoria contínua e eficaz na gestão das atividades desenvolvidas no estaleiro e um projeto voltado para o baixo consumo de materiais de elevada intensidade energética que incluam metais, plásticos, concreto e cimento (que são grandes consumidores de energia incorporada e emissores de gases GEE), culminará a construções de elevada ecoeficiência. Outra alternativa a ser explorada é a incorporação de mais materiais reciclados, sem que estes comprometam os requisitos mínimos exigidos na construção.

Referências

- [1] A. Mastrucci, A. Marvuglia, U. Leopold, and E. Benetto, “Life Cycle Assessment of building stocks from urban to transnational scales: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 74, no. September 2016, pp. 316–332, 2017.
- [2] C. Jones, “Sustainability and Sustainable Development - Circular Ecology.” [Online]. Available: <http://www.circularecology.com/sustainability-and-sustainable-development.html>. [Accessed: 27-Apr-2016].
- [3] C. K. Anand and B. Amor, “Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 408–416, 2017.
- [4] N. Aden, Y. Qin, and D. Fridley, “Life Cycle Assessment of Beijing- Area Building Energy Use and Emissions : Summary Findings and Policy Applications,” *Constr. Build. Mater.*, no. September, 2010.
- [5] L. F. Cabeza, L. Rincón, V. Vilariño, G. Pérez, and A. Castell, “Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 29, pp. 394–416, 2014.
- [6] I. Zabalza Bribián, A. Valero Capilla, and A. Aranda Usón, “Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential,” *Build. Environ.*, vol. 46, no. 5, pp. 1133–1140, 2011.
- [7] S. S.A., “Apresentação SOPSEC S.A.” [Online]. Available: <http://www.sopsec.pt>. [Accessed: 30-Oct-2017].
- [8] Priya Dadlani, “How can we make cities more sustainable? | World Economic Forum.” [Online]. Available: <https://www.weforum.org/agenda/2016/03/how-can-we-make-cities-more-sustainable>. [Accessed: 26-Apr-2016].
- [9] “United Nation - Sustainable Development Knowledge Platform.” [Online].

- Available: <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>. [Accessed: 03-May-2016].
- [10] R. W. Kates, T. M. Parris, and A. a Leiserowitz, “What Is Sustainable,” *Policy*, vol. 47, no. 3, pp. 8–21, 2005.
- [11] J. Murray, “Principles of Sustainable Development.” [Online]. Available: <http://www.sustainablebuild.co.uk/SustainableDevelopmentPrinciples.html>. [Accessed: 29-Apr-2016].
- [12] S. Parkin, F. Sommer, and S. Uren, “Sustainable development: understanding the concept and practical challenge,” *Proc. ICE - Eng. Sustain.*, vol. 156, no. March, pp. 169–171, 2003.
- [13] “Saiba o que foi a Eco-92.” [Online]. Available: http://www1.folha.uol.com.br/folha/especial/2002/riomais10/o_que_e-2.shtml. [Accessed: 30-Apr-2016].
- [14] C. J. Kibert, “Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction,” *Proc. First Int. Conf. CIB TG 16 Sustain. Constr.*, no. Table I, pp. 3–12, 1994.
- [15] Comissão Europeia, “Estratégia para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo,” pp. 1–39, 2010.
- [16] C. Parlamento Europeu, “DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 19 de Maio de 2010,” *Jornal Oficial da União Europeia*. pp. 13–35, 2010.
- [17] 5618, “About LCA,” 2005. [Online]. Available: <http://www.athenasmi.org/resources/about-lca/>.
- [18] C. Bayer, M. Gamble, R. Gentry, and S. Joshi, “Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice,” *Am. Inst. Archit.*, pp. 1–193, 2010.
- [19] H. Srinivas, “Defining Life Cycle Assessment (LCA),” 2010. [Online]. Available: <http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html>. [Accessed: 20-Jul-2017].
- [20] Green Design Institute, “Approaches to Life Cycle Assessment,” 2010. [Online]. Available: <http://www.eiolca.net/Method/LCAapproaches.html>. [Accessed: 21-Jul-

- 2017].
- [21] F. Pacheco Torgal, L. F. Cebza, J. Labrincha, and A. de Magalhães, *Eco-efficient construction and building materials: Life cycle assessment (LCA), Eco-labeling and case studies*. 2014.
- [22] D. Anastaselos, E. Giama, and A. M. Papadopoulos, “An assessment tool for the energy, economic and environmental evaluation of thermal insulation solutions,” *Energy Build.*, vol. 41, no. 11, pp. 1165–1171, 2009.
- [23] O. Ortiz, F. Castells, and G. Sonnemann, “Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 1, pp. 28–39, 2009.
- [24] F. P. Torgal and S. Jalali, “Construção Sustentável . O Caso Dos Materiais Deconstrução,” *Congr. Construção 2007 - 3o. Congr. Nac.*, pp. 1–10, 2007.
- [25] G. K. C. Ding, “Sustainable construction-The role of environmental assessment tools,” *J. Environ. Manage.*, vol. 86, no. 3, pp. 451–464, 2008.
- [26] United Nations, “Buildings and Climate Change: Summary for Decision Makers,” *Build. Clim. Chang. Summ. Decis.*, pp. 1–62, 2009.
- [27] W. K. Biswas, “Carbon footprint and embodied energy consumption assessment of building construction works in Western Australia,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 19, no. 4, pp. 179–186, Dec. 2014.
- [28] P. Morrell, “Low Carbon Construction: Innovation & Growth Team,” 2010.
- [29] S. Lockie and P. Berebecki, “Methodology to calculate embodied carbon of materials,” 2012.
- [30] N. Santero and A. Horvath, “Supplemental Information. Global warming potential of pavements,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 4, no. 3, p. 34011, 2009.
- [31] N. J. Santero and A. Horvath, “Global warming potential of pavements,” *Int. J. Pavement Res. Technol.*, vol. 3, no. 5, pp. 270–279, 2010.
- [32] N. J. Santero, E. Masanet, and A. Horvath, “Life-cycle assessment of pavements. Part

- I: Critical review,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, no. 9–10. pp. 801–809, 2011.
- [33] G. K. C. Ding, “The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities,” 2004.
- [34] K. Adalberth, “Energy use during the life cycle of buildings: a method,” *Build. Environ.*, vol. 32, no. 4, pp. 317–320, 1997.
- [35] A. J. Miller, “Energy Implications of the Transportation of Building Materials,” *Mater. Technol. Sustain. Constr.*, vol. 2, pp. 803–810, 1998.
- [36] T. Y. Chen, J. Burnett, and C. K. Chau, “Analysis of embodied energy use in the residential building of Hong Kong,” *Energy*, vol. 26, no. 4, pp. 323–340, 2001.
- [37] M. Levine, D. Ürge-Vorsatz, K. Blok, L. Geng, D. Harvey, S. Lang, G. Levermore, A. M. Mehlwana, S. Mirasgedis, A. Novikova, J. Rilling, and H. Yoshino, “Residential and commercial buildings. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,” Sep. 2007.
- [38] E. Bonamente, M. C. Merico, S. Rinaldi, G. Pignatta, A. L. Pisello, F. Cotana, and A. Nicolini, “Environmental Impact of Industrial Prefabricated Buildings: Carbon and Energy Footprint Analysis Based on an LCA Approach,” *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 2841–2844, 2014.
- [39] K. Adalberth, “Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: Examples,” *Build. Environ.*, vol. 32, no. 4, pp. 321–329, 1997.
- [40] L. Aye, T. Ngo, R. H. Crawford, R. Gammampila, and P. Mendis, “Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules,” *Energy Build.*, vol. 47, pp. 159–168, 2012.
- [41] A. H. Buchanan and B. G. Honey, “Energy and carbon dioxide implications of building construction,” *Energy Build.*, vol. 20, no. 3, pp. 205–217, 1994.
- [42] G. P. Hammond and C. I. Jones, “Embodied energy and carbon in construction materials,” *Proc. Inst. Civ. Eng. - Energy*, vol. 161, no. 2, pp. 87–98, 2008.

- [43] F. H. R. LOBO, “Inventário De Emissão Equivalente De Dióxido De Carbono E Energia Embutida Na Composição De Serviços Em Obras Públicas: Estudo De Caso No Estado Do Paraná,” p. 1000, 2010.

Anexos 1 - Inventário de Ciclo de Vida dos Materiais

Lista de Materiais e Quantidades de Obr: Energia embebida total: 31 831 818,01
 Dióxido de carbono eq. Total 3 338 166,69

Materia-prima	Especialidade	Material	Quantidade	Unidã	Peso (kg)	MJ	kg CO2 eq
Metal - Aço	Estabil.	Estrutura metálica	375 163,25	kg	375 163,25	6 527 840,55	525 228,55
Metal - Aço	Estabil.	fibras metálicas	23 063,44	kg	23 063,44	216 796,34	10 839,82
Metal - Ferro	Estabil.	Tampa em ferro fundido	5,00	un	250,00	6 250,00	507,50
Metal - Aço	Estabil.	Gradil metálico	2,00	un	500,00	10 050,00	730,00
Metal - Aço	Estabil.	Aço A500NR	1 300,71	m³	162 588,75	2 829 044,25	227 624,25
Metal - Zinco	Estabil.	Parafusos	107,00	un	16,05	852,26	49,59
Concreto	Estabil.	Betão armado C25/30	6 676,87	m³	4 406 766,60	6 513 201,03	702 438,60
Concreto	Estabil.	betão armado C30/37	173,20	m³	103 920,00	176 871,84	19 547,35
Concreto	Estabil.	Betão simples C12/15	194,84	m³	350 712,00	399 811,68	43 137,58
Betuninoso	Estabil.	Emulsão betuminosa	3 962,96	m²	1 585,18	80 844,38	792,59
Agregados	Estabil.	tout-venant	1 144,51	m³	2 861 280,00	237 486,24	14 878,66
Cimento - PreFabrica	Arquit.	painéis pré-fabricados em betão	506,68	m²	-	-	-
Concreto	Arquit.	- Betão armado C25/30	81,07	m³	145 923,84	215 675,44	23 260,26
Metal - Aço	Arquit.	- Aço A500NR	506,68	m²	2 533,40	44 081,16	3 546,76
Isolamento - Poliester	Arquit.	- isolamento interior em EPS100	20,27	m³	405,34	35 913,48	1 333,58
Concreto	Arquit.	blocos de betão	2 445,37	m²	415 712,90	278 527,64	32 425,61
Cimento	Arquit.	argamassa de cimento e areia	50,77	m³	83 770,50	92 985,26	15 246,23
Tijolo - Cerâmico	Arquit.	tijolo cerâmico vazado I	479,36	m²	8 099,78	55 888,52	4 454,88
Tijolo - Cerâmico	Arquit.	tijolo cerâmico vazado II	779,59	m²	17 289,29	119 296,13	9 509,11
Metal - Aço	Arquit.	chapas de aço	5 682,37	m²	37 560,47	942 767,69	62 350,37
Isolamento - lâ de roch	Arquit.	painéis de fibras minerais de lâ-de-rocha	5 682,37	m²	51 141,33	854 060,21	61 369,60
Plastico - Vidro	Arquit.	tela polimérica Polyplas 30 - fibra de vidro	5 682,37	m²	17 047,11	2 054 176,76	155 810,59
Plastico - Poliéster	Arquit.	tela polimérica Polyxis R40 - poliéster	5 682,37	m²	22 729,48	2 738 902,34	207 747,45
Metal - Aço	Arquit.	chapa simples de aço	719,25	m²	3 596,25	90 265,88	5 969,78
Metal - Alumínio	Arquit.	caleiros simples	437,55	m²	2 625,30	59 331,78	4 042,96
Metal - Alumínio	Arquit.	rufos	1 562,90	m²	7 814,50	196 143,95	12 972,07
Isolamento - Diverso	Arquit.	painel sandwich	3 293,00	m²	-	-	-
Isolamento - Poliureta	Arquit.	- isolamento em espuma de poliuretano PIR	197,58	m³	5 927,40	601 631,10	25 250,72
Metal - Alumínio	Arquit.	- chapa exterior	1,65	m³	12 842,70	2 041 989,30	321 067,50
Metal - Alumínio	Arquit.	- chapa interior	1,32	m³	10 274,16	1 633 591,44	256 854,00
Isolamento - Diverso	Arquit.	painel sandwich	241,63	m²	-	-	-
Isolamento - Poliureta	Arquit.	- isolamento em espuma de poliuretano PIR	14,50	m³	434,93	44 145,80	1 852,82
Metal - Alumínio	Arquit.	- chapa exterior alum.	0,12	m³	942,36	149 834,76	23 558,93
Metal - Alumínio	Arquit.	- chapa interior alum.	0,01	m³	45,23	7 192,07	1 130,83
Metal - Alumínio	Arquit.	chapa perfilada simples	807,63	m²	4 038,15	81 166,82	5 895,70
Isolamento - Poliester	Arquit.	poliestireno expandido autoextinguível	1 096,54	m²	328,96	29 146,03	1 082,28
Vidro - Fibra	Arquit.	rede de fibra de vidro	1 096,54	m²	175,45	4 912,50	-
Cimento	Arquit.	argamassa hidráulica	1 096,54	m²	8 772,32	9 737,28	1 526,38
Tinta	Arquit.	tinta primário acrílico	1 096,54	m²	-	11 513,67	482,48
Tinta	Arquit.	tinta acrílica	1 096,54	m²	-	11 513,67	482,48
Gesso - Cartonado	Arquit.	placas de gesso cartonado W625	846,74	m²	12 701,10	85 732,43	4 953,43
Gesso - Cartonado	Arquit.	placas de gesso cartonado W112	182,00	m²	7 644,00	51 597,00	2 981,16
Isolamento - lâ de roch	Arquit.	painel de lâ de rocha	395,17	m²	948,41	15 933,25	1 062,22
Cerâmica	Arquit.	Acabamento cerâmico	368,86	m²	3 043,10	3 377,84	553,84
Cimento	Arquit.	Reboco projectado	1 588,14	m²	2 064,58	3 716,25	268,40
Cerâmica - Azulejo	Arquit.	azulejo 15x15cm	425,92	m²	40 462,40	485 548,80	31 560,67
Cimento	Arquit.	cimento cola Classic	425,92	m²	2 129,60	11 712,80	2 023,12
Cimento	Arquit.	cimento cola Flex M	26,83	m²	134,15	737,83	127,44
Cerâmica - tijoleira	Arquit.	tijoleira cerâmica	26,83	m²	912,22	10 946,64	711,53
Metal - Alumínio	Arquit.	painel composto de alumínio	28,22	m²	152,39	-	-
Metal - Alumínio	Arquit.	- Alumínio	28,22	m²	76,19	12 114,85	702,51
Plastico - Polietileno	Arquit.	- polietileno	28,22	m²	77,89	6 955,33	202,51
Vinil	Arquit.	vinil	2,51	m²	7,53	103,16	24,02
Metal - Alumínio	Arquit.	Chapa de alumínio	458,00	m²	618,30	98 309,70	5 700,73
Cimento	Arquit.	chapas cimentícias	73,50	m²	1 102,50	11 466,00	-
Metal - Aço	Arquit.	Chapa de aço lacada	779,70	m²	3 040,83	65 377,85	4 652,47
Madeira - MDF	Arquit.	MDF hidrofugo	275,20	m²	330,24	3 632,64	24 437,76
Tinta	Arquit.	Pintura de superfície	-	-	-	-	-
Tinta	Arquit.	- aplic. de uma demão de primário	4 834,21	m²	-	285 218,39	12 278,89
Tinta	Arquit.	- aplicação de 2 demãos de tinta	9 668,42	m²	-	203 036,82	8 411,53
Tinta	Arquit.	Tinta acrílica especial para betão	57,09	m²	-	599,45	25,12
Concreto	Arquit.	betão leve	904,01	m²	28 024,31	15 492,14	2 129,85
Cimento	Arquit.	- endurec. com argamassa	904,01	m²	34 352,38	45 688,67	7 591,88
Vinil	Arquit.	vinil	690,82	m²	2 072,46	28 392,70	6 611,15
Madeira - MDF	Arquit.	MDF	112,50	m²	4 218,75	46 406,25	312 187,50

Cerâmica - tijoleira	Arquit.	tijoleira cerâmica	67,90	m²	981,16	11 773,86	765,30
Cimento	Arquit.	- cimento cola	67,90	m²	339,50	1 867,25	322,53
Cerâmica - tijoleira	Arquit.	tijoleira cerâmica	14,44	m²	476,52	5 718,24	371,69
Cimento	Arquit.	- cimento cola	14,44	m²	72,20	397,10	68,59
Rocha - Granito	Arquit.	granito	14,29	m²	1 234,66	13 581,22	864,26
Cimento	Arquit.	- cimento cola	14,29	m²	71,45	392,98	67,88
Rocha - Granito	Arquit.	Granito	67,00	m²	5 788,80	63 676,80	4 052,16
Tinta	Arquit.	Tinta	753,60	m²	-	52 752,00	2 192,98
Tapete - Nylon	Arquit.	tapete	19,12	m²	-	7 227,36	376,66
Isolamento - lâ de rocha	Arquit.	tecto falso modular	821,42	m²	-	-	-
Isolamento - lâ de rocha	Arquit.	- tecto falso modular Artic	590,11	m²	1 180,22	19 827,70	1 321,85
Isolamento - lâ de rocha	Arquit.	- tecto falso modular Logic	231,31	m²	462,62	7 772,02	518,13
Gesso - Cartonado	Arquit.	teto falso em gesso cartonado	105,82	m²	52,91	878,31	67,72
Isolamento - lâ de rocha	Arquit.	- isolamento em lâ-de-rocha	105,82	m²	253,97	4 266,66	284,44
Gesso - Cartonado	Arquit.	teto falso em gesso cartonado	14,29	m²	7,15	118,61	9,15
Isolamento - lâ de rocha	Arquit.	- isolamento em lâ-de-rocha	14,29	m²	34,30	576,17	38,41
Gesso - Cartonado	Arquit.	teto falso em gesso cartonado	17,82	m²	8,91	147,91	11,40
Isolamento - lâ de rocha	Arquit.	- isolamento em lâ-de-rocha	17,82	m²	42,77	718,50	47,90
Isolamento - Diverso	Arquit.	painel sandwich	-	-	-	-	-
Isolamento - Poliuretano	Arquit.	- isolamento em espuma de poliuretano PIR	632,38	m²	113,83	11 553,58	484,91
Metal - Alumínio	Arquit.	- chapa exterior de 0,5mm	632,38	m²	2 466,28	392 138,84	61 657,05
Metal - Alumínio	Arquit.	- chapa interior de 0,4mm	632,38	m²	1 973,03	313 711,07	49 325,64
Isolamento - Poliestireno	Arquit.	poliestireno expandido autoextinguível	110,58	m²	132,70	11 756,87	436,57
Vidro - Fibra	Arquit.	- fibra de vidro	110,58	m²	17,69	495,40	-
Cimento	Arquit.	- argamassa hidráulica e primário acrílico	110,58	m²	442,32	490,98	76,96
Tinta	Arquit.	- primário	110,58	m²	-	1 161,09	48,66
Tinta	Arquit.	- tinta acrílica	110,58	m²	-	1 161,09	48,66
Tinta	Arquit.	Tinta - tetos int em seral e/ou gesso normal	-	-	-	-	-
Tinta	Arquit.	- primário	123,64	m²	-	7 294,76	314,05
Tinta	Arquit.	- tinta plástica de acabamento 2x	123,64	m²	-	2 596,44	107,57
Tinta	Arquit.	Tinta - tetos int em seral e/ou gesso hidrof.	-	-	-	-	-
Tinta	Arquit.	- primário	14,29	m²	-	843,11	36,30
Tinta	Arquit.	- tinta plástica de acabamento	14,29	m²	-	1 386,13	53,73
TOTAL						31 831 818,01	3 338 166,69

Anexos 2 - Inventário de Materiais por Especialidades da Obra

Atividade	Quantidade	Densidade	Peso (kg)	Entrada de Materiais (inputs)		Dióxido de Carbono Equiv. kg CO2 eq/kg	Comentários
				Energia Incorporada (MJ/kg)	MJ		
Betão Simples e Armado							
Aço A500NR	1 300,71 m ³	125,00 kg/m ³	162 588,75	17,40	2 829 044,250	1,400	227 624,250 Tipo: A500NR.
Betão armado C25/30	1 300,71 m ³	1 900,00 kg/m ³	2 471 349,00	1,48	3 652 653,822	0,159	betão C25/30 - XC2 (P) - C10 A0 - Dmáx22 - S3
Betão simples C12/15	194,84 m ³	1 800,00 kg/m ³	350 712,00	1,14	399 811,680	0,123	betão C12/15 - X0 (P) - C1 1,00 - Dmáx22 - S2.
Tampa em ferro fundido	5,00 un	50,00 kg/unid	250,00	25,00	6 250,000	2,080	50 kg/unid - Ø60cm D400 - A=5,65 m ²
Gradil metálico	2,00 un	10,00 kg/m ²	500,00	20,10	10 050,000	1,460	5x2,50m - A=2,5 m ²
Total			2 985 399,75		6 897 809,75		665 932,36
Estrutura metálica							
Parafusos	107,00 un	0,15 kg/und	16,05	53,10	852,255	3,090	Classe 8.8 zincados -
Estrutura metálica	375 163,25 kg		375 163,25	17,40	6 527 840,550	1,400	S275 JR
Total			375 179,30		6 528 692,81		525 278,14
Impermeabilização de elem. enterrados							
Emulsão betuminosa	3 962,96 m ²	1 000,00 kg/m ³	1 585,18	51,00	80 844,384	0,500	tipo Inertol F. - duas demãos - rend. = 5 m ² /L
Total			1 585,18		80 844,38		792,59
Pavimento térreo							
tout-venant	1 144,51 m ³	2 500,00 kg/m ³	2 861 280,00	0,08	237 486,240	0,005	14 878,656
betão armado C30/37	173,20 m ²	2 000,00 kg/m ³	103 920,00	1,70	176 871,840	0,188	C30/37 S3 com 30cm - 2000 kg/m ³
betão armado C25/30	5 376,16 m ²	1 800,00 kg/m ³	1 935 417,60	1,48	2 860 547,213	0,159	C25/30 S3 com 20cm - 1800 kg/m ³
fibras metálicas	23 063,44 kg		23 063,44	9,40	216 796,336	0,470	com 20kg/m ³ , 30kg/m ³
Total			4 923 681,04		3 491 701,63		353 771,39

Atividade	Quantidade	Densidade	Peso (kg)	Entrada de Materiais (inputs)		Dióxido de Carbono Equiv. kgCO2 eq./kg	Comentários
				Energia Incorporada			
				Fator (MJ/kg)	MJ		
Alvenarias							
painéis pré-fabricados em betão	506,68	m ²					2,40m x 0,20m de espessura - 101,34 m ³
- Betão armado C25/30	81,07	m ³	145.923,94	kg	1,48	215.675,44	betão C25/30 - XC2 (P) - Ø 0,40 - Dmáx22 - S3
- Aço A500NR	506,68	m ²	2.533,40	kg	17,40	44.081,16	Tipo: A500NR.
- isolamento interior em EPS100	20,27	m ³	405,34	kg	88,60	35.913,48	0,04m de esp
bloco de betão	2445,37	m ²	415.712,90	kg	0,67	278.527,64	50x20x20cm - A=0,1m ² - 489,07 m ³
argamassa de cimento e areia	50,77	m ³	83.770,50	kg	1,11	92.985,26	ao traço 1:4 - 7 kg arg / 10m ²
tijolo cerâmico vazado I	479,36	m ²	8.100	unid	6,90	55.888,52	30x22x20cm - A= 0,066m ²
tijolo cerâmico vazado II	779,59	m ²	17.289	unid	6,90	119.296,13	30x20x15cm - A= 0,06m ²
Total			648.345,98			842.367,62	89.776,43
Coberturas							
chapas de aço	5.682,37	m ²	37.560,47	kg	25,10	942.767,69	tipo Anai
painéis de fibras minerais de lã-de-rocha	5.682,37	m ²	51.141,33	kg	16,70	854.060,21	tipo Coberlan 850 da Termolan - 60mm de esp.
tela polimérica Polyplas 30 - fibra de vidro	5.682,37	m ²	17.047,11	kg	120,50	2.054.176,76	Polyplas 30 com fibra de vidro de 3kg/m ²
tela polimérica Polyplas R40 - poliéster	5.682,37	m ²	22.729,48	kg	120,50	2.738.902,34	Polyplas R40 com poliéster e acabamento mineral de 4kg/m ²
chapa simples de aço	719,25	m ²	3.596,25	kg	25,10	90.265,88	pré-lacada, com 0,5mm de espessura
caldeiros simples	437,55	m ²	2.625,30	kg	22,60	59.331,78	em chapas de aço galvanizadas, 1,5mm de esp.
rufos	1.562,90	m ²	7.814,50	kg	25,10	196.143,95	em chapa lacada, com 0,5mm de esp.
Total			142.514,44			6.935.648,60	510.262,81