



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Carlos Bruno Couto Moreira

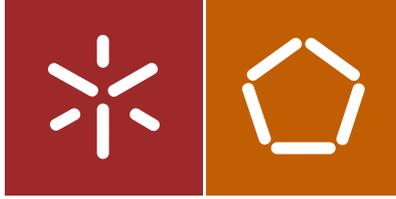
Indicadores chave de sustentabilidade para
edifícios residenciais em estrutura metálica

Indicadores chave de sustentabilidade para
edifícios residenciais em estrutura metálica

Carlos Bruno Couto Moreira

UMinho | 2015

novembro de 2015



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Carlos Bruno Couto Moreira

Indicadores chave de sustentabilidade para
edifícios residenciais em estrutura metálica

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor Luís Manuel Bragança Miranda Lopes

e coorientação da
Engenheira Joana Bonifácio Andrade

AGRADECIMENTOS

Na realização e conclusão deste trabalho foi importante a colaboração de algumas pessoas, às quais não poderia deixar agradecer, nomeadamente:

- Ao Professor Doutor Luís Bragança pela sua dedicação na orientação do tema.
- À Engenheira Joana Andrade por todo o apoio prestado, pela disponibilidade e simpatia com que sempre me recebeu e pelos conhecimentos essenciais que me transmitiu.
- A todos os meus amigos e colegas de universidade pela amizade e companheirismo ao longo dos anos.
- Aos meus pais, por tudo aquilo que me proporcionam na vida, pelo amor e pela força que me transmitem.
- Ao meu irmão Luís, pela força, companheirismo e risadas.
- Por fim, mas não em último lugar, á minha namorada Marta por toda a força, carinho, pelo amor demonstrado e pelo sorriso.

RESUMO

A indústria da construção é uma das maiores consumidoras de recursos naturais e produtoras de resíduos. Assim a necessidade de a adaptar ao conceito de sustentabilidade, torna-se deveras importante no presente e no futuro. Deste modo, ao longo dos últimos anos têm sido feitos esforços de modo a garantir a sustentabilidade dos recursos naturais, procurando desta forma novas soluções e métodos de construção.

A água enquanto recurso natural é um elemento de elevada importância no planeta Terra. Embora o Homem se encontre cada vez mais sensibilizado para a sua importância e respetiva preservação, ainda existe um longo caminho a percorrer especialmente no que diz respeito ao consumo de água pelos materiais de construção. A adaptabilidade e flexibilidade de um espaço ou edifício permite reduzir o consumo de recursos e a produção de resíduos, prolongar a vida útil do edifício, reduzindo assim os impactes ambientais associados à construção. O facto de um edifício se adaptar facilmente a novas necessidades por parte dos seus utilizadores, permite também melhorar os seus níveis de conforto e qualidade de vida pelo que esta característica tem também benefícios sociais.

A introdução do elemento aço nas construções, nomeadamente nas estruturas metálicas em pontes, pavilhões e residências, tem como objetivo reduzir os impactes da construção, principalmente devido ao seu potencial de reciclagem e à sua elevada capacidade de adaptação.

O alvo de estudo nesta dissertação, é então desenvolver dois indicadores de sustentabilidade que avaliem dois dos muitos aspetos fundamentais à sustentabilidade (i) o consumo de água resultante da produção dos elementos construtivos e a (ii) adaptabilidade/flexibilidade dos edifícios habitacionais.

Para desenvolver o indicador relativo à quantidade de água incorporada nos materiais, foi necessário determinar o consumo de água associado à sua produção. Com estes valores foi possível estabelecer uma metodologia para quantificar e hierarquizar, através

de *Benchmarks*, a quantidade de água consumida por edifício construído. Relativamente ao indicador flexibilidade definiram-se e hierarquizaram-se princípios a adotar durante as fases de projeto dos edifícios que permitem facilitar a conversão do edifício a novas necessidades. De forma a validar os indicadores desenvolvidos, estes foram aplicados dois casos de estudo, um edifício de habitação unifamiliar em estrutura metálica leve, *Light Steel Framing* (LSF) e a um em betão armado e alvenaria de tijolo.

O estudo permitiu verificar que a quantidade de água incorporada nos materiais associados à construção metálica é menor relativamente à dos materiais associados à construção tradicional em betão armado e alvenaria. Também se verificou que um bom planeamento na fase de projeto, permite que o tempo de uso da habitação seja maior, visto ser possível adaptar ou introduzir um novo espaço. A tipologia LSF também obteve melhores resultados neste indicador em relação à construção tradicional em betão armado e alvenaria.

Palavras-chave: Água, Flexibilidade, Adaptabilidade, Indicador, Estruturas Metálicas, Light Steel Framing, Sustentabilidade

ABSTRACT

The construction industry is a major consumer of natural resources and waste producer. Thus, the need to adopt the concept of sustainability to it, is crucial. Over the last few years efforts have been made to ensure the preservation of natural resources, seeking new solutions and construction methods.

Water is a vital element on Earth. Although men's aware of its importance and preservation, is increasing, there is still a long way to go especially with respect to water consumption by building materials. Adaptability and flexibility of a space or building, help reducing resources consumption and waste production and extend the building's service life, thereby reducing the construction environmental impacts. The fact that a building can be easily adapted to new users' needs , allows improving comfort and life quality and, so it induces social benefits.

The introduction of steel in buildings, especially in steel structures for bridges, pavilions and residences, aims to reduce construction environmental impacts, mainly due to its recyclability and its high adaptability.

The subject of study in this dissertation is then to develop two sustainability indicators to assess two of the many fundamental aspects of sustainability (i) the consumption of water resulting from the production of construction elements and (ii) adaptability/flexibility of single-family buildings.

To develop the indicator to quantify the amount of embodied water in the materials, it was necessary to determine the water consumption associated with their production. With these values it was possible to establish a method to quantify and rank through benchmarking, the amount of water consumed per building constructed. For the indicator to assess the building's flexibility there were defined and prioritize up principles, to adopt during the design phase of buildings, which allow easy conversion of the building to new needs. In order to validate the developed indicators, these were

applied to two case studies, one single family dwelling building in Light Steel Framing (LSF) and another in reinforced concrete and brick masonry.

The study showed that the embodied water of the materials associated with steel construction is relatively less than the one of the materials associated with traditional construction in reinforced concrete and masonry. It was also found that a good planning on the design stage in terms of adaptability, enables the building to have a longer service life, since it is possible to adjust or introduce a new space. The LSF typology also achieved better results in this indicator when compared to traditional construction in reinforced concrete and masonry.

Keywords: Water, Flexibility, Adaptability, Indicator, Structural Steel, Light Steel Framing, Sustainability

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE GERAL	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABELAS	XIX
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XXIII
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos da dissertação	1
1.2. Organização da dissertação.....	3
CAPÍTULO 2. SUSTENTABILIDADE.....	5
2.1. Desenvolvimento e construção sustentáveis.....	5
2.1.1. Desenvolvimento Sustentável.....	5
2.1.2. Construção Sustentável	6
2.2. Metodologias de avaliação.....	9
2.2.1. BREEAM	13
2.2.2. LEED	16
2.2.3. SBTool.....	19

2.2.4.	DGNB	21
2.2.5.	CASBEE.....	24
2.3.	Normas.....	28
2.3.1.	Normas ISO	29
2.3.2.	Normas CEN	33
CAPÍTULO 3. CONSTRUÇÃO METÁLICA		37
3.1.	Estruturas Metálicas.....	37
3.2.	Ligth Steel Framing	42
3.2.1.	Materiais	43
CAPÍTULO 4. DESENVOLVIMENTO DOS INDICADORES		51
4.1.	Metodologia base utilizada no desenvolvimento dos indicadores.....	52
4.2.	Água.....	55
4.2.1.	Avaliação do consumo de água dos materiais nas metodologias de avaliação de sustentabilidade de edifícios.....	57
4.2.2.	Desenvolvimento do indicador "Água incorporada nos materiais de construção"	59
4.2.3.	Definição de <i>benchmarks</i>	61
4.3.	Flexibilidade e adaptabilidade	71
4.3.1.	Avaliação da adaptabilidade e flexibilidade nas metodologias de avaliação de sustentabilidade de edifícios.....	73
4.3.2.	Desenvolvimento do indicador "Flexibilidade e adaptabilidade"	74
CAPÍTULO 5. CASO PRÁTICO		79
5.1.	Apresentação do caso prático.....	79

5.1.1. Edifício em LSF	79
5.1.2. Edifício em alvenaria de tijolo e betão armado	82
5.2. Aplicação dos indicadores ao caso de estudo	85
5.2.1. Indicador "Água incorporada no material de construção na fase de produção e aplicação em obra"	85
CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
6.1. Conclusões	95
6.2. Desenvolvimentos Futuros	96
REFERÊNCIAS	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Pilares do desenvolvimento sustentável	6
Figura 2 - Consumo e produção de petróleo em milhões de toneladas (Fonte: Podobnik (2002))	7
Figura 3 – Evolução dos objetivos da construção sustentável (Agenda 21, 1999)	9
Figura 4 - Modelo genérico de uma ferramenta de suporte à conceção de edifícios sustentáveis (Fonte: Bragança, L e Mateus, R, 2005)	11
Figura 5 - Abordagem integrada ao ciclo de vida de um edifício (Fonte: Bragança, L e Mateus, R, 2005)	12
Figura 6 - Definição de fronteira proposta pelo CASBEE (Fonte: Pinheiro 2006).....	25
Figura 7 - Normas ISO do sistema de Gestão Ambiental. Adaptado das aulas de Sustentabilidade do Mestrado de Construção Sustentável, (Gervásio et al, 2010)	30
Figura 8 - Normas 15643 desenvolvidas no âmbito do Comité Técnico CEN/TC 350, para o desenvolvimento sustentável, adaptado de Baio Dias, (Coelho, 2010).....	35
Figura 9 - Ponte de Coalbrookdale ou ponte Ironbridge de 1779 (Fonte: Ironbridge, 2015).....	38
Figura 10 - Uso de estrutura metálica na construção (Fonte: Dmoz 2015).....	38
Figura 11 - Galeria de arte de Alberta (Canadá) (Fonte: Alberta, 2015).....	39
Figura 12 - Moradia Uni-familiar em LSF (Fonte: Futureng 2013).....	45
Figura 13 - Reabilitação utilizando LSF (Fonte: Futureng 2013)	45
Figura 14 - Orientação das fibras de madeira numa placa OSB (Dias et al., 2004).	46
Figura 15 - Aplicação de revestimento OSB (Fonte: Futureng 2013).....	47

Figura 16 - Lã de rocha aplicada entre perfis de aço (Fonte: Futureng 2013)	48
Figura 17 - Aplicação de gesso cartonado no interior da habitação (Fonte: Futureng 2013).....	49
Figura 18 - Análise estatística aos consumos associados ao LSF	63
Figura 19 - Análise estatística aos consumos associados ao OSB	64
Figura 20 - Análise estatística aos consumos associados ao gesso cartonado.....	65
Figura 21 - Análise estatística aos consumos associados a lã de rocha.....	66
Figura 22 Análise estatística aos consumos associados ao LSF.....	67
Figura 23 - Modelo de Brandon (Fonte: Schmidt-et-al., 2011).....	72
Figura 24 - Planta de arquitetura. a) Planta do piso 0; b) Planta do piso 1 (Fonte:)....	80
Figura 25 - Esquema de sapata e lintel	80
Figura 26 - Esquema da parede exterior do edifício em estudo	81
Figura 27 - Esquema da parede interior do edifício em estudo	81
Figura 28 - Esquema da laje de piso rés-do-chão do edifício em estudo	81
Figura 29 - Esquema da laje de piso do edifício em estudo	81
Figura 30 - Esquema da laje de cobertura do edifício em estudo.....	81
Figura 31 - Planta de arquitetura. a) Planta do piso 0; b) Planta do piso 1	82
Figura 32 - Esquema de sapata e lintel	83
Figura 33 - Esquema da parede exterior do edifício em estudo	83
Figura 34 - Esquema da parede interior do edifício em estudo	83
Figura 35 - Esquema da laje de piso rés-do-chão do edifício em estudo	84
Figura 36- Esquema da laje de piso do edifício em estudo	84

Figura 37 - Esquema da laje de cobertura do edifício em estudo..... 84

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Versões BREEAM (Fonte: BREEAM, 2015).....	14
Tabela 2 - Tabela do Code for Sustainable Homes (Fonte: BREEAM, 2015).....	14
Tabela 3 - Versões a aplicabilidade do LEED (Fonte: LEED, 2011).....	18
Tabela 4 - Categorias do LEED com a respetiva pontuação (Fonte: LEED 2009).....	18
Tabela 5 - Indicadores e categorias analisadas pelo SBTool Internacional (Fonte: SBTool, 2011)	20
Tabela 6 - Classificação segundo o SBTool Internacional (Fonte: SBTool, 2011).....	21
Tabela 7 - Categorias de avaliação do sistema DGNB (Fonte: DGNB, 2012)	21
Tabela 8 - Categorias do DGNB com a respetiva ponderação (Fonte: DGNB, 2012)...	23
Tabela 9 - Classificação segundo o DGNB (Fonte: DGNB, 2012).....	24
Tabela 10 - Versões do sistema CASBEE (Fonte: CASBEE, 2015)	25
Tabela 11 - Critérios avaliados no CASBEE-NC (Fonte: CASBEE, 2015)	26
Tabela 12 - Normas associadas à construção sustentável (Fonte: ISO, 2015)	32
Tabela 13 - Quadro resumo das características associadas a tipologia construtiva (Fonte: REIDsteel 2015)	41
Tabela 14 - Níveis de avaliação SBTool ^{PT} -H (Fonte: SBTool).....	55
Tabela 15 - Processo de cálculo de indicador "Água incorporada nos materiais de construção"	60
Tabela 16 - Consumo de água por empresa no processo de produção de LSF	62

Tabela 17 - Melhor Prática e Prática Convencional LSF	63
Tabela 18 - Consumo de água por empresa produtora de OSB.....	63
Tabela 19 - Melhor Prática e Prática Convencional OSB	64
Tabela 20 - Consumo de água por empresa produtora de Gesso Cartonado.....	65
Tabela 21 - Melhor Prática e Prática Convencional do Gesso Cartonado	65
Tabela 22 - Consumo de água por empresa produtora de Lã de Rocha	66
Tabela 23 - Melhor Prática e Prática Convencional da lã de rocha.....	66
Tabela 24 - Prática convencional e melhor prática, relativos à quantidade de água incorporada nos materiais de construção.....	68
Tabela 25 - Prática convencional e melhor prática, relativos à quantidade de água incorporada nos materiais de construção.....	70
Tabela 26 - Processo de avaliação do indicador Flexibilidade e adaptabilidade.....	76
Tabela 27 - Resumo das soluções construtivas do edifício LSF	80
Tabela 28 - Resumo das soluções construtivas do edifício construção tradicional.....	83
Tabela 29 - Quantificação do Índice de água incorporada (PAi) para a solução de parede exterior em LSF	86
Tabela 30- Quantificação do Índice de água incorporada (PAi) para solução de parede exterior em alvenaria de tijolo.....	87
Tabela 31 - Quantificação do Índice de água incorporada PAi para solução de parede interior, solução em LSF	88
Tabela 32 - Quantificação do Índice de água incorporada PAi para solução de parede interior, construção tradicional.....	90
Tabela 33 - Quantificação do Índice de água incorporada (PAF) construção em LSF .	91

Tabela 34 - Quantificação do Índice de água incorporada (**PAF**) construção tradicional
..... 93

LISTA DE ABREVIATURAS

APA	-	Agência Portuguesa do Ambiente
AVAC	-	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
BEE	-	Building Environmental Efficiency
BREEAM	-	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology
CASBEE	-	Comprehensive Assessment System for Building Environmental
CEN	-	European Committee for Standardization
EPD	-	Declaração ambiental do produto, Environmental Product Declaration
ETICS	-	External Thermal Insulation Systems with Rendenring
GT	-	Grupo de trabalho
ICV	-	Inventário do ciclo de vida
ISO	-	International Organization for Standardization
LCA	-	Avaliação Ciclo de Vida, Lyfe Cycle Assessment
LEED	-	Leadership in Energy & Environmental Design
LSF	-	Estrutura em aço leve, Light Steel Framing
NIST	-	National Institute of Standards and Technology
SBTool	-	Sustainability Building Tool
TC350	-	Comissão técnica 350

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1. Objetivos da dissertação

A indústria da construção esteve sempre ligada a números elevados, que estão associados desde a empregabilidade do setor à elevada quantidade de resíduos produzidos pela própria. O grande desafio dos últimos anos, em termos ambientais, passa por associar esta indústria à sustentabilidade. Para tal, novos produtos e soluções construtivas têm surgido, como o aço. A necessidade de promover práticas e técnicas eco-eficientes na indústria e de tornar mais eficiente a utilização e gestão dos recursos e dos resíduos, são assim requisitos fundamentais do Desenvolvimento Sustentável, e a indústria do aço desenvolve um papel de extrema importância neste sentido (Gervásio, 2010).

Para além dos impactes associados ao ambiente, a indústria da construção possui grande impacte em termos económicos e sociais. Torna-se então, fulcral inseri-la nos desígnios do “Desenvolvimento Sustentável” (Mateus e Bragança, 2006).

Das suas inúmeras características associadas ao aço, o alto índice de reciclabilidade, conota-o como amigo do ambiente. Na construção civil, o aço tem sido utilizado na construção de pontes, pavilhões industriais e desportivos, em escolas e edifícios em geral. Nos edifícios residenciais, o sistema mais utilizado é designado de LSF, *Light Steel Framing*, permite a construção de 2 a 3 pisos no máximo (Veljkovic e Johansson, 2006).

Nesta dissertação, pretende-se mostrar através de dois indicadores chave de sustentabilidade, que não têm sido alvo de grande atenção nas metodologias existentes de avaliação de sustentabilidade do setor. Os indicadores escolhidos relacionam-se com a quantidade de água incorporada nos materiais de construção e com a flexibilidade dos edifícios, isto é, com a capacidade de se adaptarem a novas necessidades e funções.

Assim o objetivo principal desta dissertação foi desenvolver indicadores que possam ser aplicados a edifícios de habitação, não só em estrutura metálica, mas em todas as tipologias construtivas, mas que valorizem as reais características sustentáveis das soluções escolhidas. Deste modo, foram analisados materiais de construção das várias tipologias construtivas. Os indicadores desenvolvidos foram posteriormente aplicados a um caso de estudo - uma moradia unifamiliar em estrutura metálica - que permitiu comprovar os benefícios deste tipo de construção para a sustentabilidade. Os objetivos traçados para este trabalho podem então ser divididos em três pontos principais:

- (i) Contribuir e melhorar o conhecimento acerca do que tem vindo a ser feito ao nível do sector da construção e sua avaliação de sustentabilidade. Para tal recorreu-se a uma pesquisa bibliográfica, que não sendo exaustiva permitiu adquirir os conhecimentos necessários ao desenvolvimento da presente dissertação;
- (ii) Melhorar as avaliações de sustentabilidade, através do desenvolvimento de dois novos indicadores chave "Água incorporada nos materiais de construção" e "Flexibilidade e adaptabilidade".
- (iii) Avaliar o nível de sustentabilidade das soluções em estrutura metálica, cujas características têm vindo a ser largamente reconhecidas, mas a sua real utilização ainda é pouco comum.

De forma a atingir estes objetivos, o trabalho desenvolvido compreendeu as seguintes fases:

- Pesquisa bibliográfica;
- Análise das metodologias de avaliação e normas de sustentabilidade;
- Identificação dos materiais associados a construção em LSF;
- Elaboração do indicador "Água incorporada no material de construção na fase de produção e aplicação em obra";
- Elaboração do indicador "Flexibilidade e adaptabilidade";
- Análise dos valores obtidos;
- Redação da dissertação.

1.2. Organização da dissertação

A estrutura adotada para a presente dissertação é um espelho dos objetivos definidos. Assim, este documento encontra-se dividido em 6 capítulos, cujo conteúdo é, de forma sucinta, de seguida

No Capítulo 1, o presente, apresenta-se os objetivos da dissertação e a organização do documento.

O segundo capítulo, “Sustentabilidade”, apresenta-se os conceitos de desenvolvimento e construção sustentável, as metodologias abordadas e as normas, ISO e CEN associadas a sustentabilidade.

No terceiro capítulo, "Construção metálica", inicia-se com a tipologia de estruturas metálicas mais utilizadas, seguindo-se uma introdução a construção em aço leve, sistema *light steel frame*, e quais os materiais associados a esta tipologia.

No quarto capítulo, "Indicadores", apresenta-se a metodologia base seguida para a elaboração dos *benchmarks*, avalia-se a abordagem das metodologias aos novos indicadores e desenvolve-se os novos indicadores.

No quinto capítulo, "Caso prático" apresenta-se o caso prático e aplicam-se os indicadores ao mesmo.

No sexto capítulo, "Considerações finais", apresenta-se uma avaliação aos resultados obtidos e desenvolvimentos futuros.

CAPÍTULO 2. SUSTENTABILIDADE

2.1. Desenvolvimento e construção sustentáveis

Neste subcapítulo é abordado o tema relativo ao desenvolvimento sustentável e a construção sustentável. No primeiro é realizado um enquadramento histórico, terminando na definição dos pilares do desenvolvimento sustentável enquanto na construção sustentável faz-se uma análise ao crescimento mundial da população, a necessidade de construir fogos habitacionais e o consumo dos recursos naturais, fatores estes que obrigaram o Homem a construir de forma sustentável.

2.1.1. Desenvolvimento Sustentável

Durante muito tempo, o termo “desenvolvimento sustentável” teve várias interpretações, sendo que a mais aceite pela comunidade em geral, foi publicada no Relatório de Brutland como sendo “O desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades” (Brutland, 1987). Neste relatório, que foi elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, pode constatar-se a visão crítica sobre o modelo de desenvolvimento adotado pelos países industrializados e que serve de base para os países em desenvolvimento, alertando para o uso excessivo dos recursos naturais. Após o revelar do relatório, várias pessoas que se dedicam ao estudo definiram o desenvolvimento sustentável assente em três pilares, ambiental, social e económico (Mateus e Braganca, 2006, Grecea e Szitar, 2011). Para Gervásio (2010) existem mais do que três pilares no desenvolvimento sustentável, aos três já descritos é acrescentado fatores políticos, espirituais e culturais.

Associadas ao desenvolvimento sustentável estão os 3 P, Planeta, Lucro e Pessoas (do Inglês *the 3 P's – Planet, Profit and People*) (Dalsheimer, 2004). A Figura 1, mostra essa associação ao desenvolvimento sustentável.

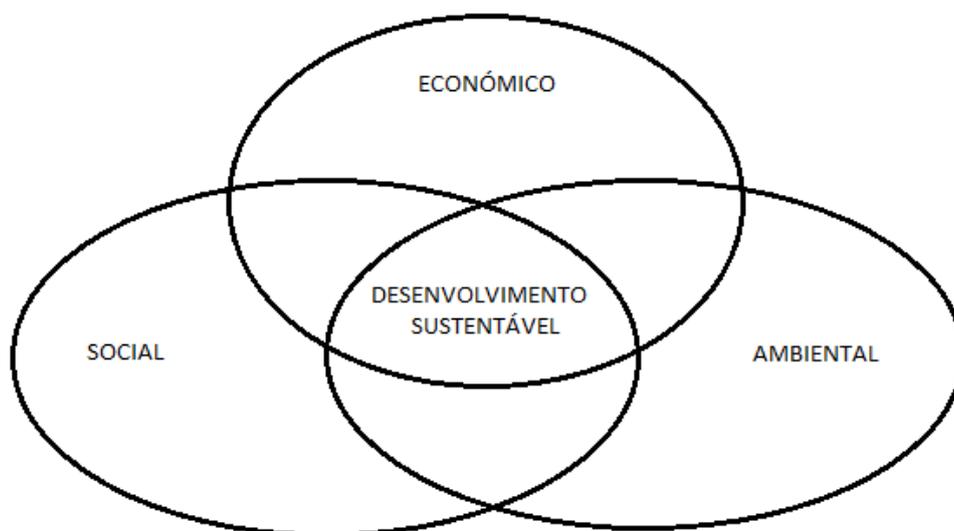


Figura 1 - Pilares do desenvolvimento sustentável

2.1.2. Construção Sustentável

O aumento da população à escala mundial durante o século XX implicou um maior consumo dos recursos disponíveis. A construção civil não passou indiferente a este aumento, pelo contrário, gerou uma grande quantidade de emprego, direto e indireto. Dados relativos ao ano de 2012 demonstram que o setor foi responsável por 6,8% do emprego em toda a Europa (FIEC, 2013). Apesar de ser parte importante na sociedade, nem tudo associado à construção tinha um sinal positivo, o facto de se construir em grandes proporções, implicou um consumo significativo dos recursos disponíveis. Com os recursos naturais a serem consumidos a uma grande escala, em especial os recursos fósseis não renováveis, houve a necessidade de consciencializar o ser humano para essa realidade. Na Figura 2, pode constatar-se o consumo e produção de petróleo nos Países desenvolvidos entre os anos de 1860 e 1990.

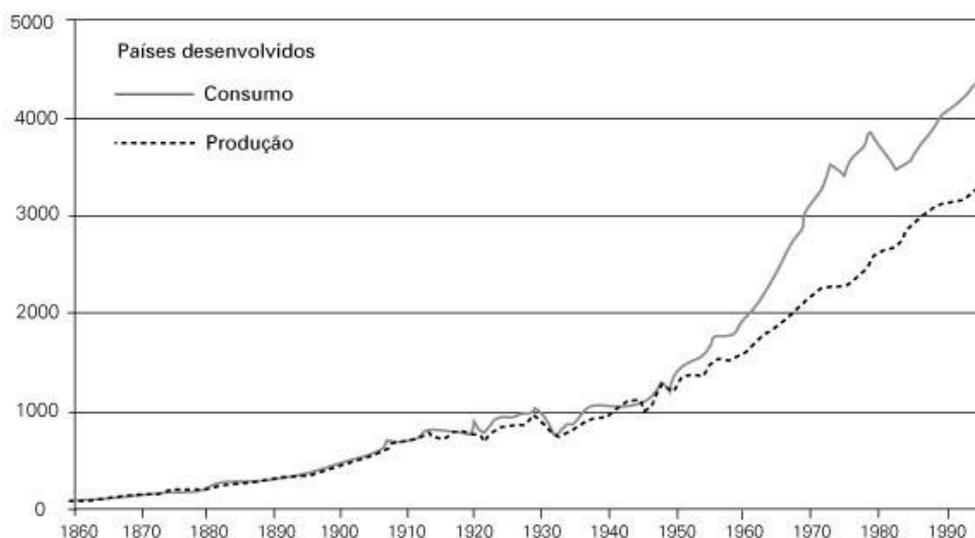


Figura 2 - Consumo e produção de petróleo em milhões de toneladas (Fonte: Podobnik (2002))

Em publicações do século XVIII, como Malthus (1798) ou Meadows et al. (1972), pode constatar-se que o crescimento da população e o consumo dos recursos existentes já eram uma preocupação. Em relação aos aspetos ambientais, o setor da construção é um dos maiores poluidores, sendo responsável por 50% das matérias-primas extraídas da terra e 25% a 40% do consumo de energia nos países da OCDE (OCDE, 2015).

No ano de 1993, com conceito de desenvolvimento sustentável a ser assimilado mundialmente, surge nos países desenvolvidos uma nova preocupação, definir e implementar o conceito de construção sustentável.

Em 1994, realiza-se em Tampa, na Florida, a primeira Conferência Internacional sobre Construção Sustentável ("*The First International Conference on Sustainable Construction*"). Após várias propostas para o conceito de construção sustentável, eis que surge uma que reúne o maior consenso nos presentes. A definição foi sugerida por Charles Kibert, definindo a construção sustentável como a "criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos" (Kibert, 1994).

A construção sustentável tem em conta todo o seu ciclo de vida e considera que os recursos da construção são os materiais, o solo, a energia e a água. A partir destes recursos, Kibert estabeleceu os cinco princípios básicos da construção sustentável:

- Reduzir o consumo de recursos;
- Reutilizar os recursos sempre que possível;
- Reciclar materiais em fim de vida do edifício e usar recursos recicláveis;
- Proteger os sistemas naturais e a sua função em todas as atividades;
- Eliminar os materiais tóxicos e os subprodutos em todas as fases do ciclo de vida.

A construção sustentável consiste no desenvolvimento de um modelo, recorrendo ou não, a materiais naturais e/ou produtos provenientes da reciclagem de resíduos, que propõem soluções aos principais problemas ambientais, tendo em atenção as necessidades de quem irá utilizar o espaço, bem como a sua finalidade, ou seja, existe uma importância, de abordar estes princípios, de uma forma como se de um todo se trata-se e coloca-los em prática numa perspectiva interdisciplinar, como forma efetiva de os concretizar. (Pinheiro, 2006)

O conceito construção sustentável, ao longo dos últimos anos tem sofrido uma evolução, devido ao assumir de perspetivas, conceitos e estratégias internacionais como a agenda Habitat II, a Agenda 21 para a construção sustentável da CIB, estudos da OCDE e as orientações da UE.

Na Figura 3, pode-se verificar a evolução dos propósitos da construção sustentável nos últimos anos. No princípio, a construção tinha como indicadores chave, o custo, o tempo e a qualidade dos edifícios. Apresentava uma definição em torno do parâmetro económico mas com a questão ambiental e social a ganharem importância, a sustentabilidade integrou outros parâmetros relativos à saúde, aos recursos materiais e à biodiversidade.



Figura 3 – Evolução dos objetivos da construção sustentável (Agenda 21, 1999)

Ao analisar a Agenda 21, pode-se identificar os desafios do setor da construção, sendo os principais desafios:

- A manutenção e organização do sector;
- Processos de construção eficientes;
- Redução do consumo de recursos.

Com o objetivo de reduzir o consumo de recursos naturais, maximizando a reciclagem e reutilizar recursos, o aço surge como elemento a ter em conta.

A necessidade de promover práticas e técnicas eco-eficientes na indústria e de tornar mais eficiente a utilização e gestão dos recursos e dos resíduos, são assim requisitos fundamentais do Desenvolvimento Sustentável, e a indústria do aço desenvolve um papel de extrema importância neste sentido. (Gervásio, 2010)

Atualmente é necessário desenvolver estratégias de forma a minimizar os impactos ambientais provocados pela indústria da construção, não colocando de parte o desenvolvimento de formas que permitam melhorar a competitividade do setor.

2.2. Metodologias de avaliação

A problemática das preocupações ambientais associadas à construção civil teve as suas preocupações iniciais a partir dos anos 70, onde a questão principal andava em torno do uso da energia. Assim, logo a partir da crise petrolífera dos anos 70, começa-se a desenvolver iniciativas de avaliação focadas nas questões energéticas (Pinheiro, 2006). Com esta crise, surgiu a necessidade de se criar metodologias com o objetivo de construir de uma forma sustentável.

No final dos anos 80, as avaliações ambientais começaram a acontecer de forma mais sistemática, de forma a identificar os impactos negativos e positivos, visando a redução dos negativos e a valorização dos positivos (Vinicius Leite, 2011).

Nos dias de hoje, ainda não existe uma metodologia que reúna consenso a nível mundial, visto a indústria da construção ser bastante multidisciplinar e, por isso, ser alvo de diferentes interpretações. O processo de produção e produto final são sempre diferentes; durabilidade é muito variável; e o desempenho dos seus produtos depende muito dos seus utilizadores (Bragança, L e Mateus, R, 2005).

Assim sendo, ao nível dos indicadores, torna-se difícil atribuir um peso aos parâmetros e indicadores, devido as diferentes metodologias de avaliação de sustentabilidade.

Desta forma, atendendo as dificuldades mencionadas, as metodologias de avaliação de sustentabilidade podem ser orientadas para diferentes escalas de análise: material de construção, produto de construção, elemento de construção, prédio e da vizinhança, ou mesmo para diferentes fases da construção do ciclo de vida. Deste modo tem-se a possibilidade de escolher os materiais com maior preponderância ambiental. Analisando as metodologias mais conhecidas e utilizadas, é possível dividi-las em três grupos principais, dependendo da sua aplicação (Bragança. L e Mateus, R, 2005):

- Sistemas de suporte à conceção de edifícios sustentáveis;
- Sistemas de análise de ciclo de vida dos produtos e materiais de construção;
- Sistemas e ferramentas de avaliação e reconhecimento da construção sustentável.

As ferramentas de suporte à conceção de edifícios sustentáveis consistem numa ferramenta que é aplicada na fase de anteprojecto e projecto do edifício, permitindo uma melhor definição do desempenho do edifício de acordo com os decisores, o dono de obra e a equipa projetista. Deste modo, o dono de obra, torna-se figura importante na definição dos requisitos pretendidos, enquanto a equipa de projetista os aplica na solução pretendida. Na Figura 4, é possível observar-se a metodologia de funcionamento deste tipo de ferramenta.

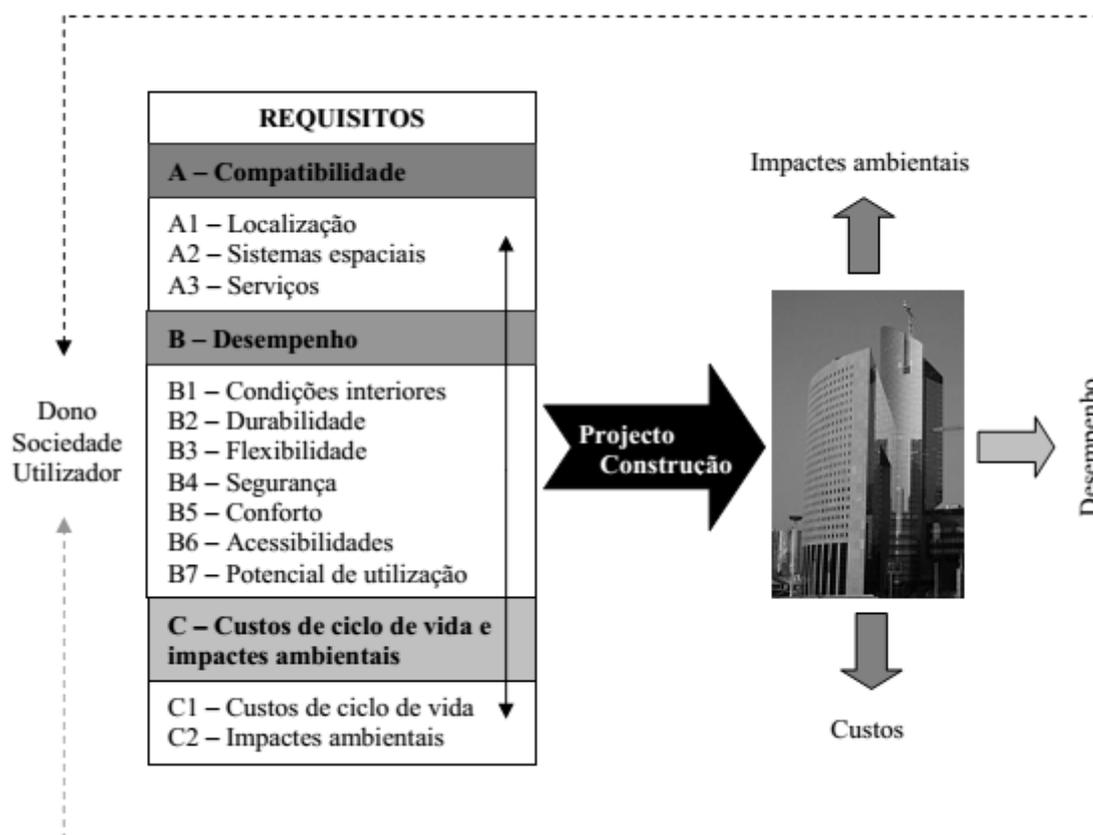


Figura 4 - Modelo genérico de uma ferramenta de suporte à concepção de edifícios sustentáveis
(Fonte: Bragança, L e Mateus, R, 2005)

A análise do ciclo de vida (ACV), surge como uma ferramenta para quantificar os impactes ambientais de produto (Giudice et al. 2005, Ljungberg 2007, Abeysundara et al. 2009, Heijungs et al. 2010), ou seja, consiste numa metodologia de avaliação do impacto causado no ambiente pelo fluxo dos materiais desde a sua extração, enquanto matéria-prima, da sua transformação, transporte, aplicabilidade, até ao seu destino final. A ACV constitui o procedimento que permite analisar formalmente, a complexa interação de um sistema – que pode ser um material, uma componente ou conjunto de componentes – com o ambiente, ao longo de todo o seu ciclo de vida, caracterizando o que se tornou conhecido como enfoque do *cradle-to-grave* (berço ao túmulo) (Pinheiro, 2006). Estas ferramentas são aplicadas tipicamente nas fases de ante projeto e projeto. Devido ao facto de avaliarem os impactes ambientais direta e indiretamente associados à totalidade do ciclo de vida dos materiais e produtos, estes sistemas fornecem dados importantes para a avaliação da sustentabilidade. Na Figura 5 é possível visualizar a abordagem de uma ACV.

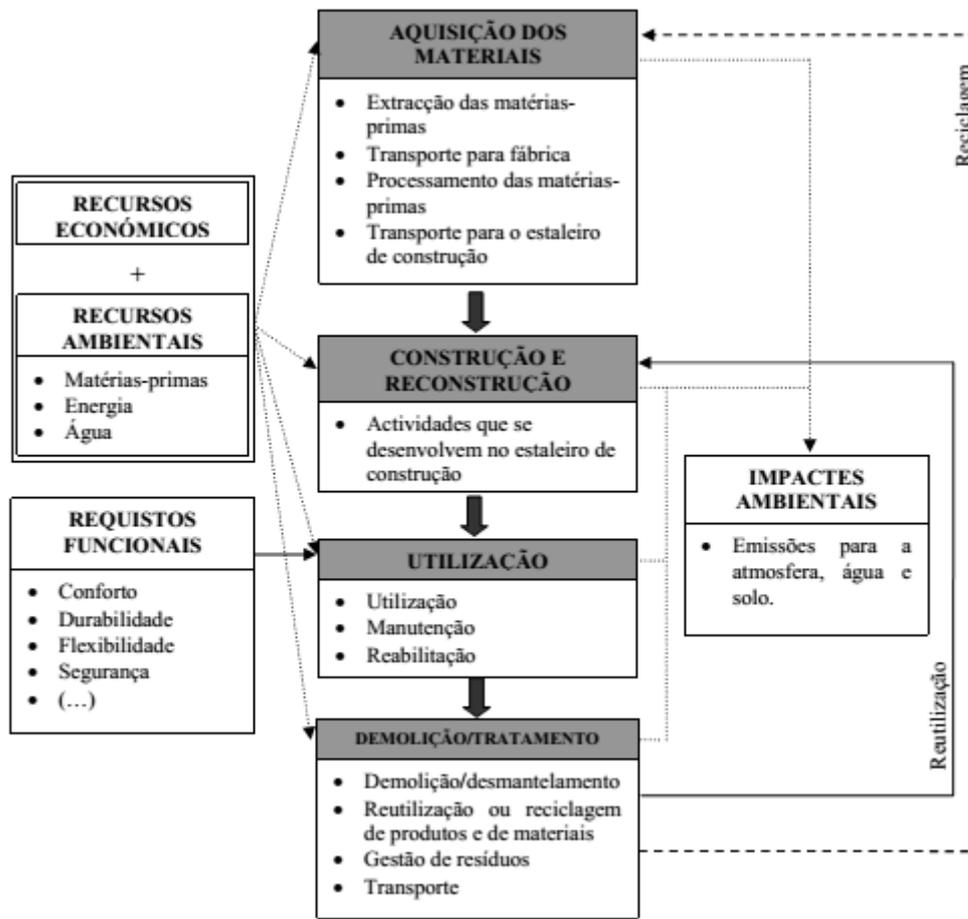


Figura 5 - Abordagem integrada ao ciclo de vida de um edifício (Fonte: Bragança, L e Mateus, R, 2005)

Os sistemas e ferramentas de avaliação e certificação da construção sustentável têm como objetivo garantir a sustentabilidade dos edifícios desde a fase de projeto até a fase de demolição, passando pelas seguintes fases: projeto, construção, operação, manutenção e demolição. Outro aspeto importante, consiste em promover uma boa integração entre os parâmetros ambientais, sociais, funcionais, económicos e outros critérios convencionais. Existem métodos específicos para cada tipologia de edifício e para cada fase do ciclo de vida do mesmo (Bragança, L e Mateus, R, 2005).

Com a necessidade de criar um programa onde variáveis associadas à sustentabilidade pudessem ser avaliadas, foram criadas várias metodologias, adaptadas à realidade de cada país.

Algumas das metodologias de avaliação existentes são: a BREEAM, *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology* (Reino Unido), o LEED, *Leadership in Energy & Environmental Design* (Estados Unidos da América), o SBTool, *Sustainable Built Tool* (Internacional), o ATHENA (Canadá) e o Lider A (Portugal), ENVEST (Reino Unido), a CASBEE, *Comprehensive Assessment System for Building Environmental* (Japão), o Eco-Quantum (Holanda), o BCA Green Market, *Building Construction Authority Green Market* (Singapura), o HQE, *Haute Qualité Environnementale* (França), o DGNB (Alemanha), o CEEQUAL (Inglaterra), LCA House (Finlândia) ou o Green Stars (Austrália) entre outras. Nesta dissertação irá ser feita uma abordagem mais detalhada a cinco metodologias: a BREEAM, o LEED, o SBTool, o DGNB e o CASBEE.

A escolha destas metodologias deve-se ao facto da sua importância para o desenvolvimento sustentável e o número de projetos que já foram avaliados por estas metodologias.

2.2.1. BREEAM

A metodologia BREEAM, *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*, foi a primeira a ser desenvolvida em 1990 no Reino Unido. Inicialmente, esta metodologia apenas fazia a avaliação ambiental de edifícios de serviços, hoje em dia já abrange todas as tipologias de edifícios e também aspetos do foro social (BREEAM, 2011).

Os objetivos deste sistema podem ser sumariamente descritos do seguinte modo, (BREEAM MANUAL, 2011):

- Proporcionar o reconhecimento no mercado dos edifícios com baixo impacto ambiental;
- Garantir que a melhor prática ambiental é incorporada na construção desde o planeamento, projeto, construção e uso;
- Definir um padrão robusto de desempenho económico;
- Desafiar o mercado a fornecer serviços inovadores, soluções eficazes que minimizem o impacto ambiental dos edifícios;

- Aumentar a consciência dos proprietários, ocupantes, projetistas e operadores dos benefícios da redução do impacto do ciclo de vida dos edifícios no ambiente;
- Permitir que as organizações comparem os objetivos evolutivos ambientais das soluções de construção apresentadas.

Atualmente o BREEAM apresenta várias adaptações às diferentes tipologias de construção, conforme se pode verificar na Tabela 1.

Tabela 1 - Versões BREEAM (Fonte: BREEAM, 2015)

Designação	Tipologia a aplicar
Code for Sustainable Homes (CSH)	Edifícios de habitação novos ou remodelados
Multi-Residential	Edifícios multifamiliares
Offices	Edifícios de escritórios novos ou existentes
Industrial	Unidades Industriais
Retail	Edifícios de comércio
Courts	Tribunais
Healthcare	Hospitais
Education	Instituições de ensino
Prisons	Edifícios prisionais

O *Code for Sustainable Homes*, é a versão do BREEAM que se aplica à avaliação e certificação de novos edifícios habitacionais (UK Department for Communities and Local Government, 2010), é baseada na versão anterior do BREEAM Ecohomes, o CSH define 9 categorias, que se subdividem em 34 critérios, para os quais se disponibiliza um número máximo de créditos a atribuir em função de dados limiares, conforme se pode verificar na Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela do Code for Sustainable Homes (Fonte: BREEAM, 2015)

Categoria	Créditos
Gestão Adjudicação	8

Categoria	Créditos
Impacte da obra	5
Manual do utilizador	2
Participação do dono	4
Planificação e custo de vida	3
Saúde e Bem-Estar	
Conforto visual	3 a 5
Conforto térmico dos ocupantes	2
Conforto acústico	2 a 4
Qualidade do ar interior	3 a 6
Qualidade da água	1
Energia	
Redução das emissões de CO ₂	15
Tecnologias de carbono zero ou reduzido	5
Medição de energia	2
Eficiência energética na iluminação externa	1
Eficiência energética nos sistemas de arrefecimento	3
Eficiência energética nos sistemas de transporte	2
Eficiência energética nos sistemas de laboratório	5
Eficiência energética nos equipamentos	2
Secagem do espaço (Aplicável em edifícios multi-familiares)	1
Transportes	
Acessibilidade às redes de transportes públicos	2 a 5
Caminhos pedestres e ciclo-vias	1 a 2
Acessibilidade a amenidades	1 a 2
Planos de viagem e informações	1
Capacidade máxima no parque de estacionamento de veículos	0 a 2
Água	
Consumo de água	5
Monotorização da água	1
Deteção de fugas	2
Reutilização e reciclagem de água	1
Materiais	
Impacto de ciclo de vida incorporado nos materiais	2 a 6
Isolamento	2
Fornecimento responsável	3
Robustez	1
Resíduos	
Resíduos da construção	4
Agregados reciclados	1
Instalações para reciclagem	1
Acabamentos	4
Utilização do solo e Ecologia	
Seleção do local	2
Preservação das características ecológicas	1
Mitigação / valorização do valor ecológico	2
Melhoria ecológica do local	3
Impacte a longo termo da biodiversidade	2
Poluição	
Uso e derrame de refrigerantes	3
Riscos de inundação	5
Emissões de NO _x	3
Poluição sonora	1
Redução da poluição luminosa à noite	1

Posteriormente, em cada categoria, calcula-se a percentagem de créditos obtidos face aos créditos totais possíveis, sendo depois essa percentagem multiplicada pelo seu fator de ponderação (UK Department for Communities and Local Government, 2010, Forbes et al., 2008).

Depois de somados os valores, o edifício poderá atingir os diferentes níveis dentro do BREEAM (André Valverde,2011):

- Certificado (Pass), se atinge 36% dos créditos,
- Bom (Good), se atinge 48% do créditos,
- Muito Bom (Very Good), se atinge 60% dos créditos,
- Excelente (Excellent), se atinge 70% dos créditos.

2.2.2. LEED

O LEED que foi desenvolvido nos Estados Unidos, em 1998 pela US Green Building Council (USGBC), organização que tem como objetivo a promoção de edifícios ambientalmente responsáveis e lucrativos, bem como de lugares saudáveis para viver e trabalhar, sendo este sistema financiado pela instituição *National Institute of Standards and Technology* (NIST) (MEISEL, 2010).

É um método de avaliação ambiental e social, aplicável na fase de projeto, que tem como principal objetivo o uso de uma *check-list*, que serve para a identificação e implementação de medidas práticas na construção sustentável, em todas as fases do ciclo de vida e em todas as tipologias de construção.

A avaliação é feita através do uso de uma escala de 100 créditos onde estes são ponderados de forma a refletir os potenciais impactes. Além disso, existem 10 créditos bónus que são distribuídos dependendo de dois critérios, inovação e prioridade regional (LEED, 2011).

A última versão do LEED inclui Créditos Regionais que permitem a adequação do sistema para qualquer lugar ou clima do mundo. Por se tratar de um sistema de certificação documentado *online* permite o crescimento e a adoção internacional do LEED. De todos os aspetos/critérios de sustentabilidade apresentados na *check-list*, existem alguns que são pré-requisitos, e um número mínimo de créditos é necessário

para que o edifício possa ser certificado. A *check-list* é baseada em nove áreas principais:

- Sustentabilidade do local;
- Eficiência da água;
- Energia e atmosfera;
- Materiais e recursos;
- Qualidade do ambiente interior;
- Locais e articulação;
- Conscientização e educação;
- Inovação;
- Prioridade regional.

No caso dos EUA, apesar de haver vários sistemas de avaliação reconhecidos, o LEED, apresenta-se como o mais difundido e utilizado. Por outro lado trata-se de um sistema muito abrangente e com grande adaptabilidade.

Inicialmente, em 1996 quando começou a ser aplicado o sistema LEED, estava apenas direcionado para edifícios de ocupação comercial. Mais tarde em 1999, as avaliações deste sistema passam a abranger outras áreas, como edifícios residenciais, englobando todo o seu ciclo de vida.

Este sistema dispõe de vários tipos de metodologias adaptadas às tipologias dos edifícios. Na Tabela 3 pode-se observar as várias versões e as suas características.

O sistema de avaliação é elaborado através da atribuição dos pontos a cada categoria é feita através do somatório dos créditos obtidos em cada indicador. Cada uma das seis categorias de avaliação representa o mesmo peso na avaliação, embora algumas das categorias possam dispor de mais indicadores pontuáveis, o que representa um maior contributo para a obtenção da classificação final (Sustentare, 2009).

Na Tabela 4, pode-se observar a pontuação de cada categoria.

Tabela 3 - Versões a aplicabilidade do LEED (Fonte: LEED, 2011)

Versões	Características
LEED Novas Construções (LEED-NC)	Novas construções comerciais e grandes remodelações.
LEED Edifícios Existentes (LEED-EB)	Edifícios existentes.
LEED Interiores Comerciais (LEED-CI)	Espaços comerciais interiores.
LEED Estruturas e Esqueleto (LEED Core&Shell)	Elementos construtivos do edifício (estrutura, sistemas de AVAC, etc.).
LEED Residencial (LEED-Homes)	Aplicável a edifícios residenciais unifamiliares ou multifamiliares (complexo de apartamentos por exemplo)
LEED Desenvolvimento Urbano (LEED Neighborhood Development)	Aplicação desta versão a um projeto de urbanização permite uma abordagem integrada mas vocacionada para o desempenho sustentável de diferentes tipos de edifícios.
LEED Escolas (LEED Schools)	Reconhece o carácter único da conceção e construção de escolas Consiste em dois sistemas de avaliação, um deles baseado nas novas construções e grandes obras de renovação (LEED-NC v2.2) e outro baseado no LEED Interiores Comerciais (LEED-CI v2.0) – este sistema ainda está em desenvolvimento e não existem informações públicas acerca de edifícios certificados por esta versão
LEED Retail	

Tabela 4 - Categorias do LEED com a respetiva pontuação (Fonte: LEED 2009)

Categoria	Pontos
Inovação nos processos de planeamento	6
Escolha do local	26
Eficiência na gestão da água	10
Energia e atmosfera	35
Materiais e recursos	14
Qualidade do ambiente interior	15
Prioridade regional	4

Após a atribuição e contagem dos pontos, a fase da classificação é feita através de uma escala de quatro níveis: Certificado (40 + pontos); Silver (50 + pontos); Gold (60 + pontos) e Platinum (80 + pontos) (LEED, 2015).

2.2.3. SBTool

A metodologia SBTool foi desenvolvida em 1996 pelo iiSBE, tendo sido inicialmente denominada por Green Building Tool (GBTool). A principal diferença entre do SBTool para as outras metodologias é o facto de esta ter a contribuição de 20 países, permitindo que os utilizadores especifiquem suas prioridades e as adaptem ao meio ambiente, contextos sócio-culturais, económicos e tecnológicas das diferentes regiões (Mateus e Bragança, 2011). O SBTool é um método de avaliação ambiental, social e económico. Através dele é possível avaliar e classificar o desempenho de um edifício tendo como base a comparação entre a melhor prática e a prática convencional existentes no local/país de implementação do edifício (SBTool, 2011).

Vários países já adaptaram à sua realidade o SBTool, dois exemplos são Portugal e a Itália. A versão portuguesa foi desenvolvida em conjunto pela Universidade do Minho e o iiSBE Portugal. É uma abordagem genérica que pode ser aplicada a edifícios habitacionais novos e renovados no contexto Português, recentemente encontra-se em desenvolvimento uma abordagem para o planeamento urbano (Castanheira G e Bragança L, 2015). Cada tipologia de construção tem o seu próprio módulo específico de SBTool^{PT}, onde as três dimensões da sustentabilidade são avaliadas (iiSBE Portugal, 2010). Na Tabela 5, pode observar-se os indicadores e categorias analisadas pela metodologia SBTool internacional.

O processo de avaliação deste sistema é implementado em três fases, que se passam a descrever do seguinte modo:

- 1ª Fase – Quantificação do desempenho ao nível de cada indicador;
- 2ª Fase – Quantificação do desempenho ao nível das categorias, dimensões do desenvolvimento sustentável e quantificação do nível de sustentabilidade;
- 3ª Fase – Preenchimento do certificado de sustentabilidade.

Após a normalização do parâmetro, é utilizada uma fórmula que permite obter um valor adimensional, estabelecendo assim, valores compreendidos entre a melhor prática e a de referência. Na Tabela 6, verifica-se a classificação obtida.

Tabela 5 - Indicadores e categorias analisadas pelo SBTool Internacional (Fonte: SBTool, 2011)

Indicadores

Seleção do local, Planeamento e Desenvolvimento do Projeto

- A1. Seleção do local
 - A2. Planeamento do projeto
 - A3. Desenho urbano e desenvolvimento local
-

Consumo de energia e recursos

- B1. Energia total renovável no ciclo de vida
 - B2. Picos de energia necessários durante a fase de operação
 - B3. Energia renovável
 - B4. Materiais
 - B5. Água potável
-

Cargas ambientais

- C1. Emissões de gases com efeito de estufa
 - C2. Outras emissões atmosféricas
 - C3. Resíduos sólidos
 - C4. Águas pluviais e águas residuais
 - C5. Impactes no local
 - C6. Outros impactos locais e regionais
-

Qualidade do ambiente interior

- D1. Qualidade do ar interior
 - D2. Ventilação
 - D3. Temperatura do ar e humidade relativa
 - D4. Iluminação natural e artificial
 - D5. Ruído e acústica
-

Qualidade do Serviço

- E1. Segurança durante a fase de utilização
 - E2. Funcionalidade e eficiência
 - E3. Controlo e monitorização
 - E4. Flexibilidade e adaptabilidade
 - E5. Escolha de equipamentos
 - E6. Manutenção do desempenho operacional
-

Aspetos sociais e económicos

- F1. Aspetos sociais
 - F2. Custos e economia
-

Aspetos Culturais e Perceptuais

- G1. Cultura e Património
 - G2. Perceção
-

Tabela 6 - Classificação segundo o SBTool Internacional (Fonte: SBTool, 2011)

Níveis de classificação	Valor normalizado
A+	$P > 1,00$
A	$0,70 < P \leq 1,00$
B	$0,40 < P \leq 0,70$
C	$0,10 < P \leq 0,40$
D	$0,00 < P \leq 0,10$
E	$0,00 < P$

2.2.4. DGNB

Esta metodologia é a mais recente, desenvolvida entre 2008 e 2009 na Alemanha, e tem como base o conhecimento prático para auxílio no planeamento e avaliação sustentável. A metodologia é divulgada como sendo de fácil utilização para avaliação e certificação de construções sustentáveis. É referida ainda como um sistema com potencial para ser largamente utilizado a nível mundial, devido ao conceito de qualidade abrangente, que tem em conta a igualdade económica, ambiental e sócio-cultural (DGNB, 2011). O DGNB é ainda apresentado como podendo ser utilizado fora do seu país de origem, a Alemanha, uma vez que foi desenvolvido de acordo com as diretivas e regulamentos da UE, garantindo desta forma a qualidade de construção e o alto desempenho

Atualmente o sistema DGNB apresenta as seguintes versões, (DGNB, 2012):

- Novos edifícios de escritórios e administrativos;
- Novos edifícios comerciais;
- Novos edifícios industriais;
- Novos edifícios residenciais;
- Novos edifícios de hotelaria (hotéis);
- Construção de Edifícios Educacionais.

Este sistema, para avaliação de edifícios residenciais, é composto pelos critérios expostos na Tabela 7.

Tabela 7 - Categorias de avaliação do sistema DGNB (Fonte: DGNB, 2012)

Critérios Principais	Critérios de Grupo	Critérios
-----------------------------	---------------------------	------------------

Critérios Principais	Critérios de Grupo	Critérios
Qualidade ecológica	Análise do ciclo de vida	1 – Potencial de Aquecimento Global 2 – Potencial de Depleção do Ozono estratosférico 3 – Potencial de oxidação fotoquímica 4 – Acidificação 5 – Potencial de Eutroficação
	Efeito sobre o ambiente global e local	6 – Impacte no ambiente local 8 – Uso sustentável dos recursos / madeira 9 – Microclima 10 – Necessidade de energia primária não-renovável
	Consumo de recursos e produção de resíduos	11 – Necessidade total de energia primária e proporção de energia renovável 14 – Necessidade de água potável e volume de águas residuais 15 – Utilização do solo
Qualidade económica	Custos do ciclo de vida	16 – Custos de ciclo de vida do edifício
	Desempenho económico	17 – Sustentabilidade para a utilização por terceiros
Qualidade funcional e Sócio-cultural	Satisfação, conforto e saúde do utilizador	18 – Conforto térmico no inverno 19 – Conforto térmico no verão 20 – Qualidade do ar interior 21 – Conforto acústico 22 – Conforto visual 23 – Influência do utilizador na fase de construção 24 – Qualidade dos espaços exteriores 25 – Segurança 26 – Acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida/portadoras de deficiência
	Funcionalidade	27 – Utilização eficiente da área do piso 28 – Adequação para a conversão 29 – Acesso ao Público 30 – Adequação à utilização de bicicletas
	Qualidade estética	31 – Projeto e planeamento urbano de qualidade através da competição 32 – Integração de arte pública
Qualidade técnica	Qualidade técnica	33 – Proteção contra incêndios 34 – Proteção contra ruído e controle de emissões 35 – Qualidade das fachadas do edifício 40 – Facilidade de limpeza e manutenção 42 – Facilidade de desmontagem e reciclagem
Qualidade do processo	Qualidade do planeamento	43 - Definição de projeto abrangente 44 – Planeamento Integrado 45 – Projeto de construção abrangente
		46 – Aspectos sustentáveis em fase adjudicação

Critérios Principais	Critérios de Grupo	Critérios
	Qualidade na construção	47 – Documentação para gestão do edifício 48 – Impacte Ambiental no local de construção /processo construtivo 49 – Pré-qualificação de adjudicados 50 – Garantia da qualidade de construção 51 – Adjudicação sistemática
Qualidade da localização		56 – Localização riscos no local 57 – Condições de localização 58 – Condições de imagem pública e social 59 – Acessibilidade a transportes públicos 60 – Acessibilidade específicas do edifício 61 – Acessibilidade a amenidades

Na Tabela 8, pode-se observar a ponderação atribuída a cada categoria.

Tabela 8 - Categorias do DGNB com a respetiva ponderação (Fonte: DGNB, 2012)

Categoria	Ponderação %
Qualidade ecológica	22.5
Qualidade económica	22.5
Qualidade funcional e Sociocultural	22.5
Qualidade técnica	22.5
Qualidade do processo	10
Qualidade da localização	Avaliado de forma independente

A categoria "qualidade da localização" é avaliada de forma independente, visto que referem-se a critérios não associados diretamente ao projeto.

Após a avaliação de cada critério e de agregados nas respetivas categorias, estas são também agregadas de forma a obter um indicador único, utilizando os fatores de ponderação apresentados na Tabela 8. O edifício em estudo deve então obter uma classificação tal que lhe permita obter a certificação. O DGNB permite a certificação em três níveis de sustentabilidade, ouro, o mais elevado, prata e bronze, o nível mais baixo. A Tabela 9 apresenta o desempenho final que os edifícios deverão obter para atingir os três níveis.

Tabela 9 - Classificação segundo o DGNB (Fonte: DGNB, 2012)

Nível de classificação	Desempenho
Ouro	>80%
Prata	>65%
Bronze	<50%

2.2.5. CASBEE

O CASBEE, Comprehensive Assessment System for Building Environmental, foi desenvolvido em 2001, por um organismo japonês, o IBEC, Institute for Building Environmental and Energy Conservation of Japan, segundo as seguinte premissas (CASBEE, 2015):

- O sistema deve ser estruturado com avaliações elevadas de adjudicação para edifícios superiores, aumentando assim os incentivos para *designers* e outros;
- O sistema de avaliação deve ser tão simples quanto possível;
- O sistema deve ser aplicável a edifícios com uma ampla gama de tipos de construção;
- O sistema deve levar em consideração questões e problemas peculiares do Japão e Ásia.

Esta metodologia de avaliação apresenta aspetos interessantes no âmbito da avaliação da sustentabilidade dos edifícios de habitação, definindo o conceito de fronteira, o qual abrange o edifício e a sua envolvente exterior, ou seja, o CASBEE considera a existência de dois espaços, o interior e o exterior, que se encontram divididos por uma fronteira imaginária. Deste modo, existem duas categorias principais de avaliação, uma destina-se aos impactos ambientais causados fora da fronteira hipotética, ou seja, no espaço público e a outra analisa a melhoria das condições de vida dos utilizadores do edifício, isto é, o espaço interior, conforme é possível verificar através da Figura 6 (CASBEE, 2015).

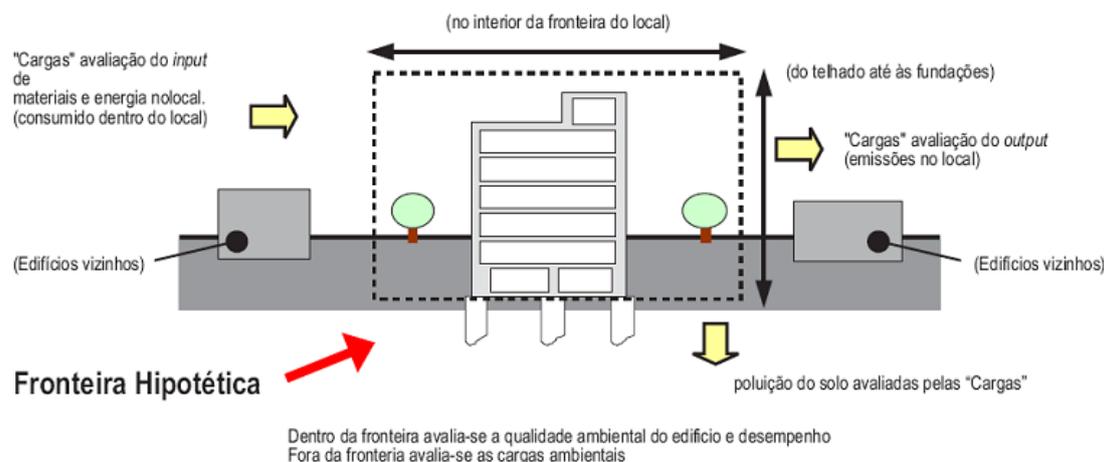


Figura 6 - Definição de fronteira proposta pelo CASBEE (Fonte: Pinheiro 2006)

Neste momento, este sistema está desenvolvido e em desenvolvimento de modo a ser aplicado a diferentes tipologias de edifícios, nomeadamente às que se encontram apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Versões do sistema CASBEE (Fonte: CASBEE, 2015)

Designação	Tipologia a Aplicar
CASBEE – Pre-design	Fase projeto
CASBEE – New Construction	Novas construções
CASBEE - Home	Edifícios habitacionais.
CASBEE – Urban Development	Desenvolvimento Urbano
CASBEE - Urban Area + Buildings	Construções Urbanas
CASBEE – Cities	Cidades
CASBEE - Market Promotion	Edifícios comerciais
CASBEE - Property Appraisal	Propriedades
CASBEE - Existing Building	Edifícios existentes
CASBEE - Renovation	Remodelações

Os critérios associados ao CASBEE - New Construction, destinado as novas construções, é composto pelos critérios expostos na Tabela 11.

Tabela 11 - Critérios avaliados no CASBEE-NC (Fonte: CASBEE, 2015)

Dimensão	Categoria	Indicador
Q1 - Ambiente Interior	Ambiente Sonoro	Ruído
		Isolamento sonoro
		Absorção sonora
	Conforto Térmico	Controlo da temperatura em divisões
		Controlo da Humidade
		Tipo do sistema de Ar Condicionado
	Luz e Iluminação	Luz Natural
		Medidas anti-brilho
		Nível de iluminação
		Ajuste de luz
Qualidade do Ar	Controlo da Origem	
	Ventilação	
	Plano de Operações	
Q2 - Qualidade de Serviço	Habilitações do Serviço	Funcionalidade e Utilização
		Amenidade
		Gestão da Manutenção
	Durabilidade e Fiabilidade	Resistência a Sismos
		Ciclo de vida dos Componentes
		Fiabilidade
	Flexibilidade e Adaptabilidade	Adaptabilidade do Pé Direito do Piso
		Flexibilidade da Distribuição de Cargas no Piso
Q3 - Ambiente Exterior no Local	Preservação e Criação de Biótopo	Adaptabilidade dos acessos
		Paisagem
	Características Locais e Amenização do Exterior	Atenção ao Carácter Local e Melhoria do Conforto
		Melhoria do Ambiente Térmico no Local
LR1 – Energia	Carga Térmica do Edifício	
	Utilização de Energia Natural	Uso Direto de Energia Natural
		Conversão para Uso de Energias Renováveis
	Eficiência nos Sistemas de Serviços do Edifício	Sistema AVAC
		Sistema de Ventilação
Sistema de Iluminação		
	Sistema de Abastecimento de Água Quente	
	Elevadores	

Dimensão	Categoria	Indicador
LR2 - Recursos e Materiais		Equipamentos para Melhorar a Eficiência Energética
	Operações Eficientes	Monitorização Operações e Gestão de Sistemas
	Recursos Hídricos	Poupança de Água Águas da Chuva e Águas Cinzentas
	Redução da Utilização de Materiais Não Renováveis	Redução da utilização de Materiais Continuação da Utilização de Esqueletos Estruturais Existentes, etc. Uso de Materiais Reciclados como Materiais Estruturais Uso de Materiais Reciclados como Materiais não Estruturais Madeiras Provenientes de Florestas Sustentáveis Esforços para o aumento da Reutilização de Componentes e Materiais
	Evitar o Uso de Materiais Com componentes Poluentes	Uso de Materiais sem Substancias Prejudiciais Evitar CFC's e Halons
		Considerar o Aquecimento Global
LR3 - Envolvente Exterior	Considerações no Ambiente Local	Poluição do Ar Efeito “Ilha de Calor” Cargas nas Infra-estruturas Locais Ruído, Vibração e Odor
	Considerações na Envolvente Próxima	Obstrução da Luz Solar e Estragos do Vento Poluição Luminosa

O modelo de avaliação é feito através da atribuição de um nível entre 1 a 5, a cada critério de avaliação, defini da de acordo com os padrões técnicos e sociais em que o edifício se insere, (CASBEE, 2014).

A avaliação da metodologia CASBEE, abrange as quatro áreas, eficiência energética, eficiência dos recursos, ambiente local e ambiente interior (CASBEE, 2014). Assim sendo, utilizando estas áreas que são similares noutras metodologias, surgiu o conceito, desenvolvido pelo CASBEE e designado por ecossistemas fechados, ou seja, o edifício em estudo é considerado como um espaço fechado limitado pelo seu terreno.

Com o conceito de ecossistema fechado o objetivo do sistema passa por relacionar os dois fatores “L” e “Q”, criando um indicador de eficiência ambiental do edifício designado por Building Environmental Efficiency (BEE), (Silva, 2007).

A avaliação deste conceito é feita através do rácio de dois fatores, “L” e “Q”, sendo o “L” referente às cargas ambientais fora do limite (Q1 - Ambiente Interior, Q2 - Qualidade do Serviço e Q3 - Ambiente Exterior no Local) e o “Q” à qualidade e desempenho ambiental dentro do limite (L1 - Energia, L2 - Recursos e materiais e L3 - Envoltente Exterior).

Após a atribuição dos níveis aos diversos critérios e expostos os resultados, a classificação de desempenho dos edifícios avaliados segundo o CASBEE é constituída por cinco níveis: S (superior), A, B+, B e C, sendo S a melhor classificação, (CASBEE, 2014).

As ferramentas estão a sofrer uma constante evolução para que sejam corrigidas as suas diversas limitações. Atualmente, o principal objetivo é desenvolver e implementar uma metodologia consensual que sirva de suporte à conceção de edifícios sustentáveis, que seja ao mesmo tempo pratica, transparente e suficientemente flexível, para que possa ser facilmente adaptada aos diferentes tipos de edifícios e à constante evolução tecnológica que se verifica no domínio da construção. Existem inúmeros países que têm ou que se encontram a desenvolver sistemas próprios de avaliação da sustentabilidade, pelo que as trocas de conhecimento e a coordenação internacional se encontram a crescer exponencialmente (Mateus, R. & Bragança L., 2006).

2.3. Normas

O aparecimento das metodologias de avaliação de sustentabilidade surge como uma ferramenta de apoio ao Homem mas, com várias metodologias a serem desenvolvidas em simultâneo (BREEAM, SBTTool, LEED, CASBEE, etc.), os indicadores diferiam entre elas o que por consequência, gera grande discordância de comparação de resultados obtidos. Deste modo, surgiu a necessidade de se criarem normas ambientais e de avaliação da sustentabilidade de edifícios. Esse trabalho está a ser realizado por duas agências, a *International Organization for Standardization* (ISO) e a *European Committee for Standardization* (CEN).

Nas normas ISO, existem várias comissões técnicas com responsabilidades de elaborar normas relacionadas com o ciclo de vida e sustentabilidade, como por exemplo a ISO/TC 59. Nas normas CEN, a comissão técnica TC350 desenvolveu normas para avaliação da sustentabilidade dos edifícios e para avaliação ambiental dos produtos (EPD).

2.3.1. Normas ISO

A palavra sustentabilidade e a sua importância para o Mundo, começou a ser tida em conta no início dos anos 90, para várias instituições, desde governos, empresas e todo o tipo de organizações.

A conferência do Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, realizada no Rio de Janeiro em junho de 1992, foi de extrema importância, visto que dela resultaram várias diligências com o objetivo de implementar a sustentabilidade na construção.

Segundo as Nações Unidas, estas diligências, surgem "com o objetivo de estabelecer uma nova e justa parceria global mediante a criação de novos níveis de cooperação entre os Estados, os setores-chaves da sociedade e os indivíduos, trabalhando com vistas à conclusão de acordos internacionais que respeitem os interesses de todos e protejam a integridade do sistema global de meio ambiente e desenvolvimento, reconhecendo a natureza integral e interdependente da Terra" (ONU, 2015)

Assim sendo, com as conclusões que surgiram da conferência, surge a necessidade da criação de um padrão internacional para o desenvolvimento sustentável.

A criação de um padrão normativo a implementar foi viabilizada pela Organização Internacional de Normalização (ISO), criando desta forma as normas ISO 14000 (ISO 14000, 2004).

A norma internacional ISO 14000 (ISO 14000:2004), permitiu que outras normas surgissem dirigidas a proteção ambiental. A Figura 7, de forma resumida, permite verificar os vários conjuntos de normas ISO que foram desenvolvidos com o objetivo de controlar o impacto ambiental dos produtos e sistemas de produção.

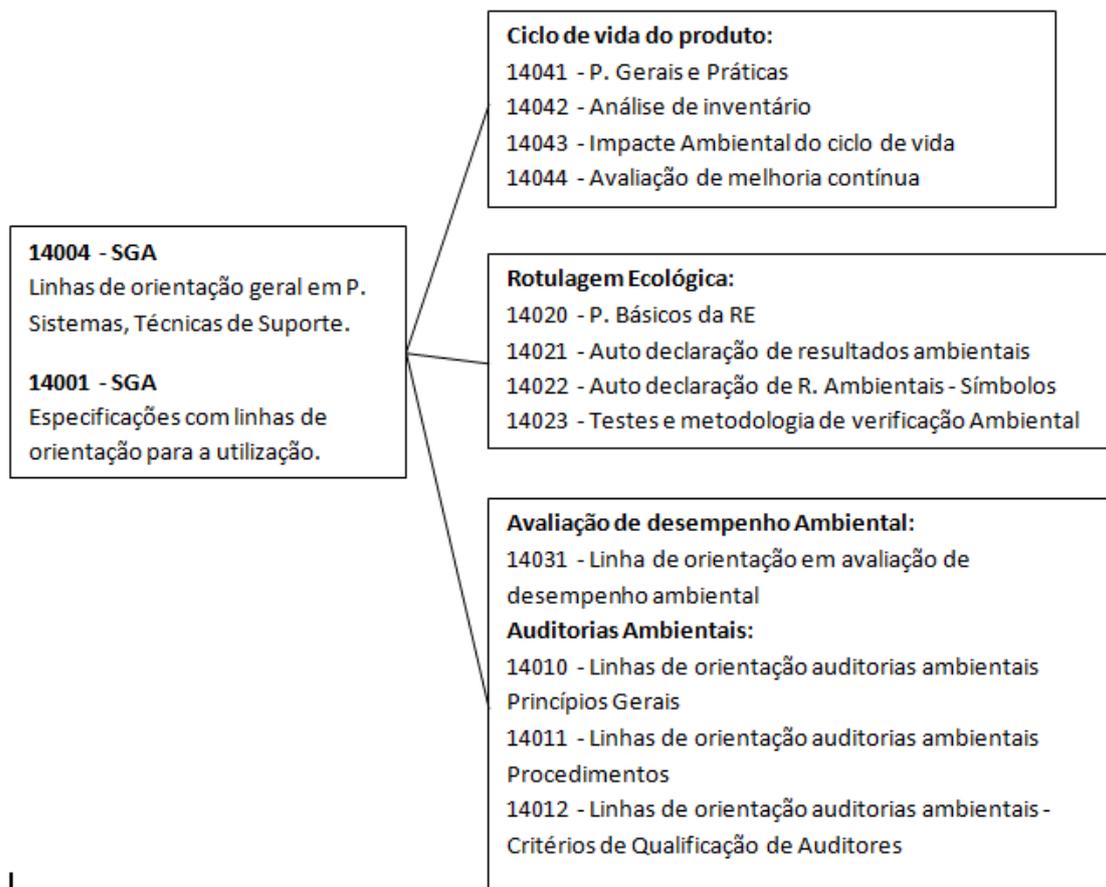


Figura 7 - Normas ISO do sistema de Gestão Ambiental. Adaptado das aulas de Sustentabilidade do Mestrado de Construção Sustentável, (Gervásio et al, 2010)

Na Figura 7, observa-se como foram organizadas as normas em torno da norma ISO 14000 (ISO 14000:2004), assim sendo e de um modo sucinto, descreve-se o objetivo das normas ISO 14001:2012 e ISO 14004:2012:

- ISO 14001:2014 - Sistemas de gestão ambiental; Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização, define as especificações e linhas de orientação de utilização do sistema de Gestão Ambiental.
- ISO 14004:2012 - Sistemas de gestão ambiental; Linhas de orientação gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio, define as linhas de orientação e os princípios da gestão ambiental.

Após a definição do sistema de gestão ambiental, foram criados dois grupos de apoios, sendo estes designados por ferramentas de apoio e ferramentas de auditoria e avaliação.

O grupo relacionado com as ferramentas de apoio ao sistema ambiental, é composto pelas seguintes normas:

- ISO 14020:2000 - Environmental labels and declarations -- General principles, Contém princípios básicos aplicáveis a todos os tipos de rotulagem ambiental, recomenda que, sempre que apropriado seja levada em consideração a ACV.
- ISO 14022:1996 - Environmental Labels and Declarations: Self-Declaration Environmental Claims, Symbols. Promove a padronização de termos e símbolos utilizados em créditos ambientais.
- ISO 14023:1999 - Environmental labels and declarations. Self-declaration of environmental claims: testing and verification methodologies. Esta norma explicita testes, metodologias de verificação, práticas e critérios para programas de certificação.
- ISO 14041:1998 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Goal and scope definition and inventory analysis. Definições de âmbito e análise de inventário. Orienta como o âmbito deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender ao objetivo estabelecido. Da mesma forma, esta norma orienta como realizar a análise de inventário, que envolve a recolha de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto.
- ISO 14042:2000 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle impact assessment. Avaliação do impacto de ciclo de vida. Especifica os elementos essenciais para a estruturação dos dados, a sua caracterização, a avaliação quantitativa e qualitativa dos impactos potenciais identificados na etapa de análise de inventário.
- ISO 14043:2000 - Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle interpretation. Interpretação do ciclo de vida. Define um procedimento sistemático para identificar, qualificar, conferir e avaliar as informações dos resultados do inventário do ciclo de vida ou avaliação do inventário do ciclo de vida, facilitando a interpretação do ciclo de vida para criar uma base onde as conclusões e recomendações serão materializadas no Relatório Final.
- ISO 14044. 2006. Environmental management – life cycle assessment – *Requirements and guidelines*. Especifica requisitos e fornece orientações para

avaliação do ciclo de vida (ACV), incluindo: avaliação do ciclo de vida (ACV), a análise de inventário do ciclo de vida (ICV), o ciclo de vida de avaliação de impacto (ACVI), elaboração de relatórios e análise crítica da ACV, as limitações da ACV, a relação entre as fases da ACV, e as condições de uso, de escolhas, de valores e elementos opcionais.

As normas descritas encontram-se sujeitas a evolução conforme o aumento dos conhecimentos do ser humano, assim sendo, em 2009, surgiu a necessidade da criação de uma nova norma, a ISO 14050:2009 - *Environmental management – Vocabulary*, a qual define os termos de conceitos fundamentais relacionados à gestão ambiental e sustentabilidade.

Na Tabela 12, pode-se verificar as normas associadas a construção sustentável, algumas delas encontram-se em desenvolvimento.

Tabela 12 - Normas associadas à construção sustentável (Fonte: ISO, 2015)

Normas	Descrição
ISO/TS 12720:2014	Sustainability in buildings and civil engineering works -- Guidelines on the application of the general principles in ISO 15392 Sustentabilidade em edifícios e trabalhos de engenharia civil - Orientações sobre a aplicação dos princípios gerais da norma ISO 15392.
ISO 15392:2008	Sustainability in building construction -- General principles Sustentabilidade em edifícios - Princípios gerais.
ISO 16745:2015	Environmental performance of buildings -- Carbon metric of a building -- Use stage Desempenho ambiental dos edifícios - métrica de carbono de um edifício - Fase de utilização.
ISO/DIS 16745-1 (em desenvolvimento)	Sustainability in buildings and civil engineering works -- Carbon metric of a building during use stage -- Part 1: Calculation, reporting and communication Sustentabilidade em edifícios e trabalhos de engenharia civil - métrica de carbono de um edifício durante a fase de utilização - Parte 1: Cálculo, elaboração de relatórios e comunicação.
ISO/DIS 16745-2 (em desenvolvimento)	Sustainability in buildings and civil engineering works -- Carbon metric of a building during use stage -- Part 2: Verification Sustentabilidade em edifícios e trabalhos de engenharia civil - métrica de carbono de um edifício durante a fase de utilização - Parte 2: Verificação.

Normas	Descrição
ISO 21929-1:2011	Sustainability in building construction -- Sustainability indicators -- Part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings Sustentabilidade na construção civil - Indicadores de sustentabilidade - Parte 1: Estrutura para o desenvolvimento de indicadores e um conjunto de indicadores para edifícios.
ISO/TS 21929-2:2015	Sustainability in building construction -- Sustainability indicators -- Part 2: Framework for the development of indicators for civil engineering works Sustentabilidade na construção civil - Indicadores de sustentabilidade - Parte 2: Estrutura para o desenvolvimento de indicadores para obras de engenharia civil.
ISO 21930:2007	Sustainability in building construction -- Environmental declaration of building products Sustentabilidade na construção civil - Declaração ambiental de produtos de construção.
ISO/CD 21930 (em desenvolvimento)	Sustainability in buildings and civil engineering works -- Environmental declaration of building products Sustentabilidade em edifícios e trabalhos de engenharia civil - Declaração ambiental de produtos de construção.
ISO 21931-1:2010	Sustainability in building construction -- Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works -- Part 1: Buildings Sustentabilidade na construção civil - Quadro de métodos de avaliação do desempenho ambiental de obras de construção - Parte 1: Prédios.
ISO/WD 21931-2 (em desenvolvimento)	Sustainability in building construction -- Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works -- Part 2: Civil engineering works Sustentabilidade na construção civil - Quadro de métodos de avaliação do desempenho ambiental de obras de construção - Parte 2: obras de engenharia civil.
ISO/TR 21932:2013	Sustainability in buildings and civil engineering works -- A review of terminology Sustentabilidade em edifícios e obras de engenharia civil - Uma revisão de terminologia.

2.3.2. Normas CEN

O CEN, Comité Europeu de Normalização, é uma organização internacional fundada em 1975, com o objetivo de desenvolver um mercado interno europeu de bens e serviços. Algumas normas são de aplicação voluntária, enquanto outras são integradas na legislação da União Europeia.

Este comité trabalha em conjunto com outras organizações internacionais de normalização, como o CENELEC - Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica, o ETSI/IENT - Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações e a *ISO - International Organization for Standardization* (CEN, 2015). O trabalho realizado em conjunto por estas agências permite que as normas gerem consenso.

Na construção sustentável, as normas surgiram com a necessidade de definir requisitos, especificações, guias ou características a serem aplicadas na construção sustentável, sendo, deste modo possível assegurar que os materiais, produtos, processos e serviços são adequados à sua finalidade. Estas normas são criadas tendo como base as normas ISO, permitindo deste modo manter o mesmo objetivo a nível mundial.

Com a criação destas normas, tem sido possível uma uniformização das leis nos países da Comunidade Europeia, definindo assim os parâmetros para a implementação da sustentabilidade quer a nível da construção, bem como dos produtos.

Atendendo a esta linha de trabalho, no ano de 2005 foi criado o Comité técnico CEN/TC 350, que tem como finalidade o desenvolvimento de normas europeias para: a avaliação dos aspetos de sustentabilidade de novas e atuais obras de construção, as declarações ambientais dos produtos da construção. As normas serão de aplicação geral e relevantes para a avaliação do desempenho integrado dos edifícios ao longo do seu ciclo de vida (Baio Dias, 2015). Este Comité tem como objetivo a avaliação da sustentabilidade nas vertentes do desempenho ambiental, económico e social (CEN, 2015). Em Portugal foi criada a comissão técnica CT 171, tem como função acompanhar os trabalhos da CT 350 e traduzir as normas.

O Comité Técnico CEN/TC 350 é composto por cinco grupos de trabalho (Baio Dias, 2015):

- GT1 – Environmental performance of buildings, Desempenho ambiental dos edifícios;
- GT2 – Building life cycle description, Descrição do ciclo de vida do edifício;
- GT3 – Products level, nível dos produtos;
- GT4 – Economical performance of buildings, Performance económica do edifício;

- GT5 – Social performance of buildings, Performance social do edifício.

Estes cinco grupos, acima descritos, são responsáveis pelo desenvolvimento dos princípios gerais e dos requerimentos, com o objetivo de implementar a sustentabilidade na construção.

As primeiras normas desenvolvidas no âmbito do Comité Técnico CEN/TC 350 para o desenvolvimento sustentável, estão apresentadas na Figura 8.

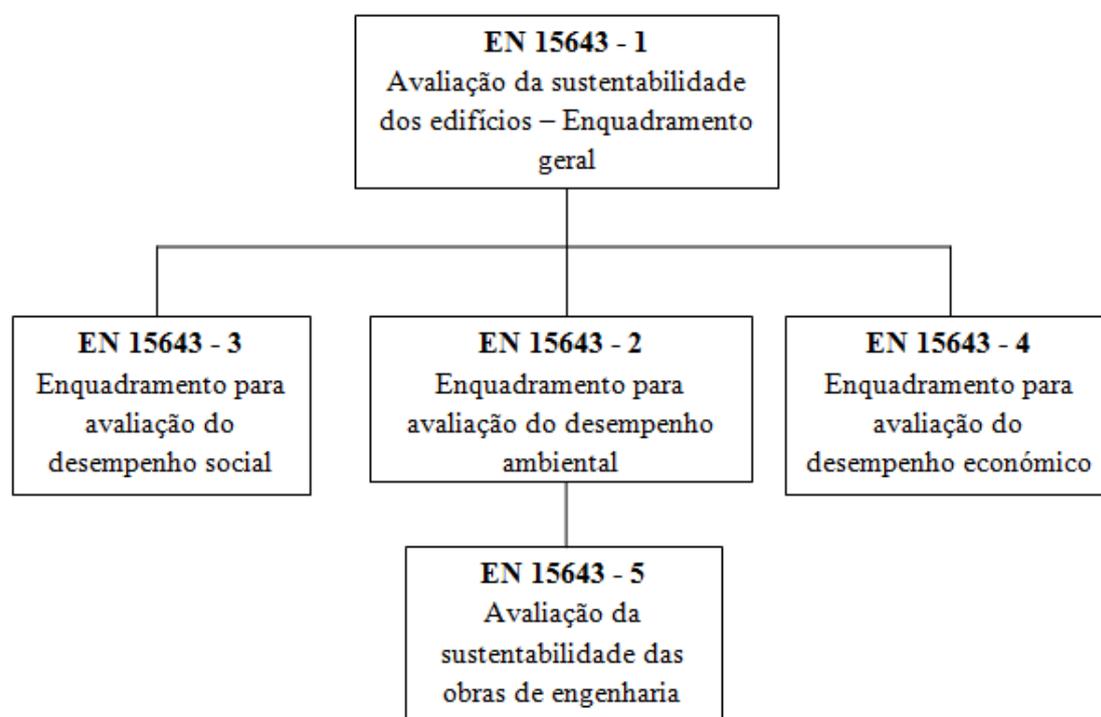


Figura 8 - Normas 15643 desenvolvidas no âmbito do Comité Técnico CEN/TC 350, para o desenvolvimento sustentável, adaptado de Baio Dias, (Coelho, 2010)

As normas EN 15643, encontram-se divididas em 4 partes, sendo elas, o enquadramento geral, social, ambiental e económico no que se refere a avaliação da sustentabilidade dos edifícios. Neste conjunto de normas pode-se encontrar uma descrição dos princípios e requisitos gerais das metodologias para avaliação do desempenho ambiental, social e económico dos edifícios.

A aplicação destas normas é feita de forma horizontal e de relevância para a avaliação do desempenho ao longo do ciclo de vida do edifício. Nas normas é possível verificar as fronteiras do sistema para a avaliação do desempenho integrado dos edifícios em termos de impactes quantificáveis, é possível encontrar os indicadores centrais para a avaliação do desempenho ambiental, social e económico ao longo do ciclo de vida dos edifícios e descreve como estes serão tratados com vista à avaliação global.

As normas desenvolvidas pelo Comité Técnico CEN/TC 350, referentes à sustentabilidade, agrupam-se em 3 níveis, sendo eles:

- Nível do produto;
- Nível do edifício;
- Nível do enquadramento

Dos níveis acima referidos, as normas que se enquadram em cada nível são:

- A nível do produto, a norma EN 15942 relativa ao formato de comunicação das EPD's (Declaração Ambiental de Produto) e a norma CEN/TR 15941 Declaração ambiental de produtos - Metodologia para seleção e utilização de dados.
- A nível do enquadramento, a série de normas EN 15643, encontram-se divididas em 4 partes, sendo elas, o enquadramento geral, social, ambiental e económico no que se refere a avaliação da sustentabilidade dos edifícios.

CAPÍTULO 3. CONSTRUÇÃO METÁLICA

A construção metálica encontra-se associada a indústria da construção desde o século XVIII (Swenson, 2015), garantindo desta maneira construções arrojadas, de grande envergadura e de qualidade. As suas vantagens mais relevantes encontram-se associadas ao tempo de construção, racionalização no uso dos materiais, aumento da produtividade e ao facto de ser um material com alto índice de reciclabilidade. Inicialmente era aplicada em grandes estruturas, no presente ainda continua essa mesma aplicação, sendo que existe uma tipologia associada a construções mais pequenas, o LSF, *Ligth Steel Framing*.

3.1. Estruturas Metálicas

O aço é um material muito utilizado no ramo da construção civil, a sua utilização em estruturas metálicas surge no século XVIII como uma nova opção, garantindo soluções arrojadas, eficientes e com alta qualidade. Das primeiras construções destaca-se a ponte de Coalbrookdale ou ponte Ironbridge de 1779, localizada na Inglaterra, conforme se pode visualizar na Figura 9.



Figura 9 - Ponte de Coalbrookdale ou ponte Ironbridge de 1779 (Fonte: Ironbridge, 2015)

Depois do uso desta solução em várias pontes, durante o último século, as estruturas metálicas permitiram a projetistas, engenheiros e arquitetos, a criação de edifícios com grande impacto visual, ficando desta forma, este método construtivo associado ao modernismo, a inovação e a vanguarda.

Na Figura 10, pode-se observar uma fase da construção de um edifício destinado a escritórios, recorrendo ao uso de estrutura metálica.



Figura 10 - Uso de estrutura metálica na construção (Fonte: Dmoz 2015)

Na Figura 11, apresenta uma galeria de arte localizada no Canadá, onde se pode observar uma cinta ondulada que percorre o exterior da galeria, que pretende criar um efeito suave de luminosidade. Desta forma combina-se estética com vanguarda do uso da luz.

A construção sustentável procura igualar dois grandes desafios, à escala mundial, reduzir os impactes ambientais sem colocar em causa a vertente económica e social. No que se refere à parte ambiental, minimizar os impactes causados na fase de construção, alterações no dia-a-dia dos habitantes locais e na redução da produção de resíduos, estes aspetos são os mais importantes, garantindo ao mesmo tempo, a mais alta qualidade, resistência e durabilidade, sem esquecer a estética do edifício.



Figura 11 - Galeria de arte de Alberta (Canadá) (Fonte: Alberta, 2015)

Na realidade, construir de forma sustentável, consiste em:

- reduzir o impacto negativo das obras (barulho, poeira e tarefas repetitivas);
- integrar fontes de energia renováveis ainda na fase de desenvolvimento do projeto,
- usar materiais recicláveis na construção para preservar recursos naturais,
- melhorar a performance térmica dos edifícios para reduzir os custos com ar-condicionado e fonte de calor e as emissões de CO₂,
- projetar o tempo de vida das estruturas,
- reciclar materiais e estruturas após a demolição.

O uso do aço na construção, na construção metálica, vai no seguimento dos objetivos do desenvolvimento sustentável. O aço possui várias vantagens em termos ambientais, que por consequências, mas não só, implicam impactos em termos sociais e económicos. Resulta assim uma estreita ligação entre o aço e o desenvolvimento sustentável (Dalsheimer, 2004).

Esta tipologia de construção, esta associada a vantagens ambientais, sociais e económicas, conforme se pode observar:

Vantagens ambientais:

- Durabilidade, o aço é um material durável, requer pouca manutenção e pode ser protegido contra a corrosão e outros tipos de deterioração;

- Reciclabilidade, o aço tem um índice de reciclabilidade muito alto, aproximadamente 100%. Mais da metade do aço produzido na França e na União Europeia e 40% da produção mundial de aço é obtida de aço reciclado. Este índice vem aumentando ano após ano, preservando recursos e o meio-ambiente (Futureng, 2015);
- Maximiza a luz e garante transparência, a alta resistência do aço permite estruturas leves com vãos amplos. Telhados e fachadas leves e transparentes permitem um melhor aproveitamento da luz, facilitando o uso de energia solar;
- Produção de aço, o aço é produzido a partir do ferro, trata-se de um dos elementos mais abundantes no nosso planeta. Nos últimos 50 anos, o consumo de energia necessária para a produção de aço baixou mais de 50%, as emissões de CO₂ também baixaram para metade e a emissão de partículas reduziu quase 90% (Revipack, 2015);
- Leveza, por ser tratar de uma construção muito mais leve, a carga pode ser reduzida em cerca de 60%, desse modo podem poupar em fundações com sapatas muito fundas e outras situações caras, poderá optar por uma laje em betão para o assentamento da estrutura;
- Harmonia, a estrutura em aço é menos agressiva ao meio ambiente pois além de reduzir o consumo de madeira na obra, diminui a emissão de partículas e poluição sonora geradas pelas serras e outros equipamentos destinados a trabalhar a madeira.

Vantagens Sociais:

- Segurança e condições de trabalho, a construção em aço envolve a montagem de produtos semi-acabados vindos da fábrica, num ambiente controlado, limitando as operações ao ar livre;
- Isolamento térmico e acústico, o aço está associado a materiais que garante um bom conforto térmico e acústico (REIDsteel 2015).

Vantagens Económicas:

- O uso de estruturas em aço promove, através do isolamento pelo exterior, o uso de grandes áreas envidraçadas e iluminação natural, permitindo assim a poupança de energia;

- Em função da maior velocidade de execução da obra, haverá um ganho adicional pela ocupação antecipada do imóvel e pela rapidez no retorno do capital investido;
- A resistência mecânica do aço permite o uso de menos material para um desempenho equivalente;
- Hoje há várias maneiras de proteção efetiva do aço contra corrosão, seja através de revestimento metálico ou pintura. Aço utilizado em interiores não necessita de proteção. Quando submetido à manutenção, o aço dura por muito tempo.

De uma forma resumida, na Tabela 13 é possível verificar as características associadas a esta tipologia construtiva, é de realçar a valorização enquanto material económico de construção, flexibilidade, rapidez, segurança, qualidade, sustentabilidade e prestígio.

Tabela 13 - Quadro resumo das características associadas a tipologia construtiva (Fonte: REIDsteel 2015)

Valorização enquanto material económico	Flexibilidade	Rapidez	Segurança
Material da construção	No planeamento	Soluções pré definidas	Durante a fase de planeamento e produção
Desenvolvimento contínuo da tecnologia	Durante a fase de construção	Construído num curto período de tempo	Durante a fase de construção
Edifício construído num curto período de tempo	Na fase de utilização		
Pequenos gastos na manutenção			
Qualidade	Abordagem profissional	Sustentabilidade	Prestígio
Durante a fase de planeamento	Profissionais com formação	Durante a fase de construção	Agradável esteticamente
Durante a fase de construção	Aconselhamento e apoio	Construído num curto período de tempo	Produto final de acordo com o pretendido pelo cliente
Relação qualidade/custo		Amigo do ambiente	
Depois da ocupação			

3.2. Ligth Steel Framing

Um dos sistemas de construção metálica associado aos edifícios residenciais tem como designação Ligth Steel Framing (LSF). A palavra Steel indica que o material associado a esta tipologia é o aço, a palavra Framing sugere o uso de estruturas e a palavra Ligth, que significa leve, indica que os elementos em aço são de baixo peso. Deste modo surge a designação *Ligth Steel Framing*, ou seja, estruturas em aço leve.

De modo a realçar a característica da leveza, verifica-se que algumas publicações usam o termo *Light Gauge*, onde *Gauge* refere-se a uma unidade de medida que define a espessura das chapas de metal, e o termo *Cold Formed Steel*, onde é elucidado o processo de moldagem do aço, moldagem a frio.

O uso desta tipologia de construção teve o seu início nos Estados Unidos da América, sendo que a sua necessidade surgiu com o aumento populacional na passagem do século XVIII para o século XIX, quando “a população passou de 3.900.000 em 1790 para 7.200.000 em 1810” (Montana, 2015). Com este aumento populacional, o país viu-se forçado a construir novas habitações com os materiais disponíveis, visto tratar-se de uma urgência social. Para solucionar o défice de habitações, nos primeiros anos, o material usado foi a madeira que ainda é utilizado hoje em dia. O uso do aço na construção civil surgiu após o término da segunda guerra mundial.

Inicialmente o aço apenas era utilizado nas paredes divisórias mas começou-se a notar que havia a possibilidade de o utilizar como elemento principal na estrutura resistente das habitações. Com o embargo ao corte de árvores nas florestas mais antigas e o aumento do preço da mesma, surgiu a necessidade de arranjar um material que a substituísse. No princípio da década de 90, organismos como o *American Iron and Steel Institute* ou a *National Associations of Home Builders*, deram início à pesquisa e implementação de materiais alternativos, como por exemplo o aço galvanizado moldado a frio.

Em Portugal, antes do ano de 1995, a mudança para este tipo de construção ainda sofria de algum tradicionalismo construtivo, ou seja, as pessoas tinham preferência pela estrutura em betão armado e o uso do tijolo mesmo sabendo das deficiências, como sendo a nível da impermeabilização como do isolamento térmico e acústico.

Com a necessidade de reduzir tempos de construção, sem descuidar os elevados níveis de segurança, de reduzir os custos de manutenção e de tornar os edifícios mais agradáveis quer em nível térmico e acústico, existiu a necessidade de solucionar estes requisitos. Deste modo, construtores e proprietários começam-se a aperceber das potencialidades da tipologia LSF.

Após o ano de 1995, com o aumento da consciencialização da população, em relação à fraca qualidade de execução em alvenaria e com o conseqüente aumento divulgação das características por parte deste sistema, será de esperar um desenvolvimento superior no nosso País (Futureng, 2003).

Numa análise comparativa, entre moradias unifamiliares, construídas com um sistema estrutural em betão armado e com um sistema estrutural misto aço/betão, verificou-se que, aquelas com sistema estrutural misto possuem um melhor desempenho ambiental e económico do que as de estrutura em betão armado (Gervásio, 2005).

A tipologia em LSF, pode ser utilizada em todo tipo de construção de edifícios de dois a três pisos, sejam eles moradias unifamiliares, edifícios multifamiliares, edifícios comerciais e industriais, e pode ainda ser utilizado em obras de remodelação na execução de paredes exteriores e interiores, lajes e coberturas (Murtinho et al, 2006)

Os materiais associados a tipologia LSF, são materiais sustentáveis que pretendem corresponder as necessidades humanas, tornando desta forma os edifícios mais agradáveis conforme abordado anteriormente.

3.2.1. Materiais

Os materiais associados a esta tipologia de construção sustentável, encontram-se divididos em duas classes, estrutural e não estrutural. Na classe estrutural, os materiais são o aço e as placas OSB, placa de partículas orientadas, em inglês, *oriented strand board*. Na classe não estrutural, os materiais associados são a lã de rocha, o gesso cartonado e o sistema ETICS, sistema de isolamento térmico pelo exterior, em inglês, *External Thermal Insulation Composite Systems*.

3.2.1.1. Aço

Numa análise aos materiais associados à indústria da construção civil, o aço destaca-se em várias propriedades conforme já referidas anteriormente. Apesar de não ser proveniente de uma fonte renovável, é reciclável e é considerado um dos materiais mais versáteis do mundo. Por ser um produto facilmente reciclado, tem vantagens em relação a um produto que é inicialmente ‘verde’, mas que não pode ser reciclado. Apenas não é reciclado o aço que não é economicamente viável separar de outros materiais (Torgal & Jalali, 2008).

A tipologia de aço usada no sistema LSF encontra-se associada ao termo “enformado a frio”, ou seja, são peças metálicas que adquiriram a sua forma final após passarem por um processo de moldagem mecânica à temperatura ambiente.

No que diz respeito às vantagens do aço, quando utilizado em perfis enformados a frio, destacam-se as seguintes (Yu, 2000):

- Elevada relação resistência-peso;
- Facilidade de manuseamento e transporte;
- Processo de fabricação simples, o que permite produção em massa;
- Flexibilidade na conceção arquitetónica;
- Harmonia com os restantes materiais de construção.

O LSF é especialmente indicado para construção de edifícios residenciais, unifamiliares, bem como para a reabilitação de edifícios antigos. No entanto, existem várias outras tipologias onde é possível tirar partido das muitas vantagens do sistema, como por exemplo, armazéns, construção modular e junção de dois tipos de construção.

Na Figura 12 e Figura 13, pode-se visualizar uma habitação unifamiliar na fase de construção da estrutura e aplicação deste sistema numa reabilitação, respetivamente.



Figura 12 - Moradia Uni-familiar em LSF (Fonte: Futureng 2013)



Figura 13 - Reabilitação utilizando LSF (Fonte: Futureng 2013)

3.2.1.2. OSB

O OSB é uma placa estrutural produzida a partir de filamentos de madeira. Estes são orientados em três camadas perpendiculares, que por sua vez são unidas com resinas e prensadas sob altas temperaturas, resultando assim um aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas ou "*oriented strand board*", Figura 14. Este processo permite aumentar a resistência e a rigidez das placas. Desta forma, para além de serem um material de revestimento, funcionam como material resistente, sendo passível de

cálculo estrutural segundo o Eurocódigo 5 nomeadamente a sua classe, espessura, juntas, montagem e fixação aos perfis metálicos (Futureng, 2015).

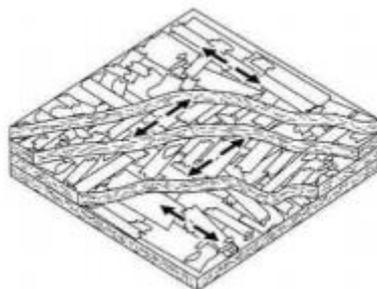


Figura 14 - Orientação das fibras de madeira numa placa OSB (Dias et al., 2004).

A madeira usada para a produção placas de OSB provém totalmente de madeiras resinosas, incluindo espécies tais como o choupo, o abeto e o pinheiro, dependendo da disponibilidade local das diversas variedades (Kronoply, 2002).

Este material é considerado sustentável e eco-eficiente, devido ao elevado rendimento do procedimento industrial, que garante um aproveitamento de cerca de 90% da matéria-prima, ou seja, do tronco da árvore (Kronoply, 2002).

Apesar de ser considerado um material estrutural, contribui, também, para o aumento do isolamento térmico e acústico do edifício, servindo de base de fixação para os acabamentos das fachadas.

Esta solução é tipicamente aplicada pelo exterior e interior do edifício, em paramentos verticais e horizontais. Na Figura 15, pode-se visualizar a aplicação das placas de OSB pelo exterior.



Figura 15 - Aplicação de revestimento OSB (Fonte: Futureng 2013)

3.2.1.3. Lã de Rocha

A lã de rocha é um tipo de fibra inorgânica, tal como a lã de vidro, mas neste caso elaborada a partir de rochas basálticas e outros minerais.

Devido às suas excelentes propriedades termo-acústicas, a lã de rocha é empregue nos mercados da construção civil, industrial, automóvel e de eletrodomésticos, entre outros, em todo o mundo. Permite em simultâneo, uma economia energética e conforto ambiental, segurança e aumento no rendimento de equipamentos industriais. É um material de fácil aplicação, não se deteriora, é inodoro, não se torna num ambiente adequado ao desenvolvimento de organismos com o passar do tempo e apresenta um excelente comportamento perante o fogo. (Futureng, 2015)

A sua aplicação em formato painel ou manta, consiste no preenchimento do espaço resultante do espaçamento dos perfis e dos materiais que revestem esses elementos, o OSB e o gesso cartonado, conforme se pode verificar na Figura 16.



Figura 16 - Lã de rocha aplicada entre perfis de aço (Fonte: Futureng 2013)

3.2.1.4. Gesso Cartonado

O gesso cartonado ou também designado por gesso laminado, é um revestimento constituído por gesso, água e alguns aditivos. Esta pasta húmida é despejada continuamente sobre papel, recebendo uma nova camada na superfície superior. Assim é fabricada uma espécie de sanduíche de papel e gesso que, após secagem é cortada numa grande variedade de formatos. As placas de gesso laminado, ou gesso cartonado, estão também disponíveis em diversas espessuras e, conforme os aditivos que recebem, podem destinar-se a locais diferentes numa construção, tal como ambientes húmidos ou onde se necessita adicional resistência ao fogo (Futureng, 2015). Conforme referido, os aditivos que recebem, conferem a especificidade de gesso cartonado normal, hidrófugo e ignífugo.

A sua aplicação, consiste na aplicação no interior e exterior da construção em placas, servindo de revestimento, conforme se pode verificar na Figura 17.



Figura 17 - Aplicação de gesso cartonado no interior da habitação (Fonte: Futureng 2013)

CAPÍTULO 4. DESENVOLVIMENTO DOS INDICADORES

Um indicador é um parâmetro (propriedade medida ou observada) ou valor derivado de parâmetros que fornece informações sobre determinado fenômeno (OCDE, 1993). Com o objetivo de aplicar o conceito de desenvolvimento sustentável, torna-se fundamental o estabelecer indicadores, objetivos e metas que possam medir e avaliar o desempenho de um objeto, relativamente à sua sustentabilidade. Uma vez estabelecidas as metas, poder-se-á então em qualquer altura, avaliar a distância que separa o objeto do objeto em vista (Ambiente, 2015).

Os indicadores de sustentabilidade pretendem dar a conhecer de forma quantitativa e qualitativa os aspetos a considerar dentro do conceito de sustentabilidade, de forma a informar os responsáveis pela tomada de decisão, orientando assim o desenvolvimento e a monitorização de políticas e estratégias, permitindo a fácil implementação das medidas de desenvolvimento sustentável. Desta forma, os indicadores permitem (SILVA, 2003):

- estabelecer metas e desenvolver padrões de referência para avaliação e monitorização de desempenho (*benchmarking*);
- medir ou descrever o desempenho de programas, ações, edifícios e projetos, de diferentes agentes do processo de construção ou de diferentes regiões ou países;
- monitorizar periodicamente o progresso em direção à sustentabilidade;
- proporcionar a comunicação com clientes e demais partes interessadas;
- verificar os benefícios diretos associados à sustentabilidade e de benchmarking do desempenho.

O indicador surge como algo que permite perceber o que se pretende analisar. Dependendo a que se refere, o indicador deverá ter uma escala que seja de fácil atribuição e interpretação.

Assim, os indicadores são parâmetros selecionados e considerados isoladamente ou combinados entre si, sendo especialmente úteis para refletir sobre determinadas

condições dos sistemas em análise (normalmente são efetuados tratamentos aos dados originais, tais como médias aritméticas simples, percentis, medianas, etc.). A par com os indicadores, surgem neste âmbito os conceitos de sub-índices (constituem uma forma de agregação intermédia entre indicadores e índices) e de índices (correspondem a um nível superior de agregação, onde após aplicado um método de agregação aos indicadores e/ou aos sub-índices é obtido um valor final) (APAmbiente, 2015).

Como apresentado no Capítulo 2 desta dissertação, todas as metodologias de avaliação de sustentabilidade de edifícios, têm como base a avaliação de um determinado grupo de indicadores. A avaliação do desempenho do edifício em cada um deles, permitirá obter seu o nível de sustentabilidade. Isto comprova a necessidade de se incluir, nas metodologias de avaliação de sustentabilidade, indicadores que de facto avaliem e permitam chamar à atenção para aspetos chave da sustentabilidade.

Existem inúmeros aspetos a serem considerados numa avaliação de sustentabilidade, como referido no capítulo 2. No entanto, existem aspetos que já são alvo de grande debate quer no meio científico quer no mercado de soluções, como a eficiência térmica ou o impacto de ciclo de vida dos materiais, entre outros.

Nesta dissertação pretende-se desenvolver e analisar dois indicadores de sustentabilidade de edifícios, aplicados num contexto de construção metálica: (i), utilização da água nas fases de produção dos materiais de construção e de execução do edifício e (ii) a adaptabilidade e flexibilidade dos edifícios. A escolha destes indicadores, deveu-se à sua elevada importância para o objetivo da sustentabilidade e à sua fraca discussão e valorização nas metodologias já existentes.

Na secção seguinte será brevemente apresentada a metodologia que esteve na base do desenvolvimento dos dois indicadores. Após essa breve exposição, apresentam-se os dois indicadores, os motivos que levaram à sua seleção e o desenvolvimento do método de cálculo para a sua utilização.

4.1. Metodologia base utilizada no desenvolvimento dos indicadores

Para desenvolver os indicadores utilizou-se como base a metodologia SBTool^{PT}-H. Esta escolha deveu-se à facilidade em aceder a todo o procedimento de cálculo e estrutura da

metodologia e ao facto de esta ser aplicada à realidade Portuguesa. Assim, seguindo a sua estrutura, este trabalho tem uma real possibilidade de vir a ser aplicado nas avaliações de sustentabilidade de edifícios, através da sua possível incorporação numa versão mais atualizada da metodologia SBTool^{PT}-H. Apesar disto, também outras metodologias foram analisadas de forma a verificar se analisam os aspetos em questão e de que forma o fazem, com será apresentado em mais detalhe nas secções 4.2 e 4.3 do presente documento.

Conforme descrito no Capítulo 3, referente a análise das metodologias, a metodologia SBTool^{PT}-H, é suportada por um guia de avaliação, que por sua vez segue quatro parâmetros (Mateus, R e Bragança, L, 2011):

- A quantificação do desempenho do edifício ao nível de cada parâmetro;
- A normalização dos parâmetros;
- A agregação dos indicadores em categorias e estas em dimensões;
- O cálculo de nível de Sustentável e avaliação global.

A quantificação de um parâmetro, é um processo simples, visto que em relação ao impacto ambiental associado ao ciclo de vida do edifício, a metodologia SBTool^{PT}, usa as mesmas categorias presentes nas EPD. Esta simplificação, confronta com a escassez de EPD, para minimizar este problema a metodologia, utiliza dados relativos a ACV dos materiais e matérias relacionadas com a indústria da construção.

Assim sendo, a metodologia em análise inclui uma base de dados que se encontra em constante atualização e abrange áreas como: as tecnologias de construção comuns para cada edifício e elementos (pisos, paredes, telhados, janelas e portas); os materiais de construção; e os impactos do funcionamento do equipamento de climatização mais comum (Mateus, R e Bragança, L, 2011). As unidades usadas na quantificação são o metro quadrado e o quilograma.

Relativamente ao desempenho social, no guia de avaliação é possível verificar os métodos analíticos que devem ser utilizados para quantificar os parâmetros. Na eventualidade da avaliação estar a ser efetuada durante a fase de construção, as medições poderão ser realizadas *in-situ*.

A medição do desempenho económico, é um processo simples, visto que as metodologias padronizadas e dados quantitativos encontram-se disponíveis para o contexto português. De forma resumida, o desempenho económico de um edifício consiste no valor de mercado atribuído ao edifício e sobre os custos relacionados com a água e consumo de energia.

A normalização dos parâmetros tem como objetivo evitar os efeitos de escala dentro de cada indicador e resolver o problema de alguns dos parâmetros que são do tipo "maior é melhor" e sendo os outros "menor é melhor".

Para tal, a normalização é realizada utilizando a equação (1) de (Balteiro D, 2001).

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{i^*}}{P_i^* - P_i^*} \quad \forall_i \quad (1)$$

Na equação, \bar{P}_i é o valor normalizado do parâmetro em análise, P_i^* é o valor associado a melhor prática, P_{i^*} é o valor associado a prática convencional e P_i é o valor associados ao caso em estudo.

A prática convencional corresponde ao nível de desempenho mínimo aceitável, abaixo do qual um edifício não poderá ser considerado sustentável. Este valor baseia-se nos níveis mínimos legislados ou na prática corrente da construção de edifícios habitacionais em Portugal.

A melhor prática, consiste em fornecer uma orientação que reúna consenso entre os intervenientes, apresentado alguma reputação no domínio da construção sustentável ou ao nível desejado pelas políticas e normas existentes, representando assim uma opção mais eficiente para comparação com o caso em estudo.

O recurso a estas duas práticas - melhor prática e prática convencional - representa o conceito de *benchmark*, consistindo num processo de comparação de produtos, serviços e de práticas. O principal objetivo de um *benchmark* passa por melhorar a função e processo de produção de um produto ou de uma solução. Através da sua análise, existe a possibilidade de surgirem novas ideias e melhorias.

A avaliação da sustentabilidade de um edifício é realizada através da normalização dos vários indicadores e da agregação dos indicadores em categorias, destas em dimensões e das no nível de sustentabilidade. O nível de sustentabilidade do edifício, é dado

seguindo a escala apresentada Tabela 14. A avaliação varia entre A⁺ e E, sendo que A⁺ é o mais sustentável e E o menos sustentável.

Tabela 14 - Níveis de avaliação SBTool^{PT}-H (Fonte: SBTool)

Níveis de classificação	Valor normalizado
A+	$P > 1,00$
A	$0,70 < P \leq 1,00$
B	$0,40 < P \leq 0,70$
C	$0,10 < P \leq 0,40$
D	$0,00 < P \leq 0,10$
E	$0,00 < P$

Uma vez que o presente trabalho consiste no desenvolvimento de novos indicadores, foi necessário estabelecer novas práticas de referência (*benchmarks*), para os aspetos em análise. Para tal, seguiu-se a metodologia apresentada por Castro (2015) que consiste na recolha de valores associados ao estudo de um parâmetro.

Na primeira avaliação aos dados recolhidos, podem surgir valores demasiado altos e demasiados baixos, de modo a que estes valores não influenciem a análise dos dados, torna-se importante o recurso de métodos de análise estatística. Recorrendo ao método da curva de Gauss, estabelece-se a média, o desvio padrão e o intervalo de inserção dos dados, considera-se que os valores que ficam posicionados fora dos limites estabelecidos [$\mu - 3\sigma$; $\mu + 3\sigma$], onde μ representa a média e σ o desvio padrão, permitem desta forma eliminar valores que iriam influenciar a definição de melhor prática e prática convencional.

A definição dos *benchmarks*, será apresentada em detalhe no subcapítulo 4.2.2.

4.2. Água

A água apresenta-se na natureza sob variadas formas e com características diversas. Trata-se de um recurso natural, de grande valor económico, ambiental e social, fundamental à subsistência e bem-estar do Homem e dos ecossistemas do planeta Terra.

Aquilo que durante milhares de anos parecia inesgotável, hoje, devido a má utilização, e a crescente procura deste recurso, tornou-se uma preocupação geral, pela menor disponibilidade de água potável em todo o Planeta. Isto é suficiente, para deixar o cidadão comum preocupado, mas ganha outra dimensão, se se pensar que apenas 1% de toda a água da Terra está disponível para uso, pois a maior percentagem de água existente é salgada (97,5%) e outra parte encontra-se em locais inacessíveis (Rianço, 2005).

Perspetivando um futuro onde este recurso estará afetado em termos quantitativos e qualitativos, na vertente económica, a ausência de água não permitirá o funcionamento desde a pequena à grande empresa, desde o pequeno ao grande agricultor, afetará a produção das matérias-primas. Nesta vertente, quando um recurso escasseia e a procura aumenta, a relação procura - compra, irá causar um aumento do preço do produto final. Na vertente ambiental, as alterações climáticas, já causam grandes alterações nos ecossistemas, assim sendo, torna-se importante uma gestão equilibrada do uso de água de modo a não permitir o aumento de água não potável. Na vertente social, a população mundial situa-se em 7.1 mil milhões, projetando-se o crescimento de 1 mil milhão para os próximos 12 anos, chegando no ano 2050 aos 9.6 mil milhões. (NU, 2013). Este aumento populacional criará um maior consumo deste recurso natural, causado devido aos alimentos, energia e produção industrial.

Se se enfrenta a qualidade da água, questões de escassez ou de variabilidade, a forma de antecipar e responder aos desafios hídricos define a capacidade de crescimento. Existem benefícios ambientais e económicos para superar esses desafios. Provando mais uma vez, que a água segura, limpa e acessível é o alicerce para o crescimento. (Growingblue, 2015).

O uso de água potável na construção civil é um dado adquirido, estima-se um gasto de 500 litros de água por metro quadrado de construção (Carias. S, 2015). Olhando para alguns materiais de construção é possível verificar que são responsáveis por um grande consumo deste recurso. Usando os materiais associados à construção metálica, verifica-se que, por exemplo, nos Estados Unidos para se produzir uma tonelada de perfis de aço galvanizado enformados a frio, com densidade de 7850 kg/m^3 , o consumo de água associado a este processo é de $28,6 \text{ m}^3$ de água (WorldSteel Association, 2015). Na Europa, a produção mostra-se mais eficiente neste aspeto, uma vez que para o mesmo

tipo de perfil e mesma quantidade são consumidos aproximadamente 20 m³ de água (Ruukki, 2015). A água utilizada no processo de fabrico do aço, cerca de 95 % é reciclável (Weisenberger, G 2011), a restante água é evaporada. Com o avanço da tecnologia, hoje em dia é possível reciclar cerca de 98% da água utilizada (Worldsteel Association, 2015). Relativamente ao OSB, a quantidade de água consumida varia significativamente consoante os processos de cada empresa. Por exemplo os painéis OSB da Kronoply consomem 7,21 m³ de água (Kronoply, 2015), enquanto o OSB mais utilizado em Portugal, por cada metro cúbico consome cerca de 3,32 m³ de água (Egger, 2015). A lã de rocha, considerando uma espessura variável entre os 50 e 200 mm utiliza cerca de 0,0738 m³/m² (Naima, 2013) e para uma espessura de 120 mm, o consumo de água associado é de 0.032 m³/m² (Isover, 2015). O gesso cartonado, considerando uma espessura de 13 mm, utiliza cerca de, 10,51 l/m². (Gyproc, 2015) enquanto o gesso cartonado da mesma empresa - Gypsum - por cada metro cúbico consomem cerca de 3,32 m³ de água (Gypsum, 2015).

Esta pequena análise permite validar a importância de se olhar para a quantidade de água consumida nos processos de produção dos materiais e execução dos edifícios.

No sub-capítulo seguinte descreve como é que as metodologias de avaliação de sustentabilidade de edifícios têm em conta este aspeto.

4.2.1. Avaliação do consumo de água dos materiais nas metodologias de avaliação de sustentabilidade de edifícios

De forma a entender qual o consumo de água associado à produção dos materiais - fazendo o paralelo para a energia, pode ser chamada de água incorporada - analisou-se a forma como as várias metodologias consideram, ou não, este aspeto como um indicador relevante para a sustentabilidade.

Após esta análise aos indicadores associados às metodologias acima descritas, verificou-se que a quantificação da água incorporada e aplicação nos trabalhos de construção civil não é contabilizada.

A metodologia SBtool^{PT}-H, na dimensão ambiental, na categoria água, contém dois indicadores, avaliando o seu consumo e aproveitamento durante a fase de utilização do

edifício, o P14 - "Volume de água consumida *per capita* no interior do edifício e com a reutilização e utilização de água não potável" e o P15 - "Porcentagem de redução de água potável". No indicador P14, avalia-se o consumo de água de todos os equipamentos existentes na habitação, no P15 avalia-se a possibilidade de reduzir o consumo de água potável usando sistemas de reutilização da água.

A metodologia BREEAM - CSH, tem em conta a importância da água em duas vertentes. A primeira categoria "saúde e bem-estar", avalia a qualidade da água, pretendendo com isto minimizar o risco de contaminação, garantindo a preservação das fontes de água potável. A segunda categoria "água", considera quatro indicadores, (i) consumo de água, (ii) monitorização da água, (iii) deteção e prevenção de fuga de água e (iv) eficiência dos equipamentos de água. No indicador relativo ao consumo de água, este analisa a redução do consumo de água durante a fase de utilização do edifício, contabilizando uma estimativa do uso sanitário nos novos edifícios, usando sistemas de reciclagem de água. O indicador "monitorização de água", pretende controlar o consumo de água durante a fase de utilização. O indicador "deteção e prevenção de fuga de água", pretende reduzir o impacto das fugas de água que não possam ser facilmente detetadas, contribuindo para o controlo do consumo de água potável. Por último, o indicador "eficiência dos equipamentos de água", pretende avaliar a redução do consumo de água não regulamentada, incentivando a utilização de equipamentos mais eficientes no consumo de água.

O DGNB, na dimensão ambiental, possui um indicador relativo à necessidade de água potável e ao volume de águas residuais, que pretende analisar e evidenciar que, o consumo de água potável diário nos equipamentos resulta em água residual, o objetivo passa por reduzir o consumo de água potável, tornado desta forma a quantidade de água residual menor.

Na metodologia japonesa, CASBEE-NC, na categoria, redução de carga ambiental do edifício, no parâmetro "recursos e materiais", existem dois indicadores, "poupança de água" e "águas das chuvas e águas cinzentas". No primeiro, avaliam-se métodos de poupança de água nos equipamentos de abastecimento do edifício. O segundo, sendo dividido em duas partes, na parte das águas das chuvas, relaciona o nível das águas das chuvas usadas com a totalidade da água usada (água potável, água da chuva e

desperdício de água), na parte relacionada com as águas cinzentas, é avaliada a reutilização das mesmas.

No LEED, na categoria "eficiência da água", possui três critérios, (i) eficiência da água existente na envolvente, (ii) aproveitamento de águas residuais e (iii) redução do uso da água potável. No primeiro pretende-se limitar ou eliminar o uso de água potável para irrigação dos espaços verdes, no segundo, é pretendido reduzir a produção de efluentes e a necessidade de água, desta forma é possível aumentar as reservas de água.

Da análise aos indicadores, presentes nas metodologias em estudo, conclui-se que a quantificação de água incorporada nos materiais não se encontra contabilizada, sendo a mesma considerada desprezível. Deste modo, torna-se de elevada importância o estudo da água incorporada nos materiais, para uma perceção da importância da monitorização da água potável no Planeta.

Na norma EN 15978:2011, norma relativa ao método de cálculo do desempenho ambiental, pode-se encontrar indicadores relacionados com o consumo de recurso. O consumo de água na construção encontra-se na presente norma, que abrange todas as fases do ciclo de vida da construção: fases de montagem, operação, manutenção e fim de vida (Bragança L. Mateus R, 2012).

4.2.2. Desenvolvimento do indicador "Água incorporada nos materiais de construção"

O indicador em estudo, intitulado "Água incorporada nos materiais de construção", pretende sensibilizar o Homem para a escolha de produtos que deixem um menor impacto nos recursos naturais. Pretende-se valorizar a utilização de materiais que, durante a sua produção e aplicação, tenham associado um consumo reduzido de água. Para tal, foram analisadas diversas EPD (DAP – declaração ambiental de produto) de vários materiais de construção, para perceber e analisar qual a real quantidade de água incorporada nos edifícios e quais os materiais que contribuiriam para tal. Desta análise, resultou uma base de dados dos diversos materiais, que permitiu estabelecer qual seria a melhor prática e a prática convencional.

A folha de cálculo elaborada neste estudo, consiste no método de cálculo e na avaliação da quantidade de água incorporada num produto/material de uma solução construtiva. Os valores relativos aos *benchmarks* da melhor prática e prática convencional de cada produto/material, resultam da base de dados, resultante da metodologia descrita no Subcapítulo 4.2.3. O preenchimento da folha de cálculo, encontra-se restringida ao preenchimento dos campos destinados à quantidade de água incorporada no produto/material escolhido [C] e de material [D], conforme se pode visualizar na Tabela 15.

Tabela 15 - Processo de cálculo de indicador "Água incorporada nos materiais de construção"

Produto/Materiais	Água incorporada			Quantidade de material [D]	Quantidade de água incorporada		
	Benchmarks		Solução em Estudo [C]		Prática Conv. (P_{Ai}^*) [A]*[D]	Melhor Prática (P_{Ai}^*) [B]*[D]	Solução em Estudo (P_{Ai}) [C]*[D]
	Prática Conv. [A]	Melhor Prática [B]					
Betão Armado C20/25 considerando armadura	m^3/m^3	2,27E-01	2,07E-01	m^3			
Ligth Steel Frame	m^3/t	1,98E+00	1,62E+00	t			
OSB	m^3/m^3	2,73E-01	7,35E-02	m^3			
Tijolo de alvenaria 11 cm	m^3/t	1,00E-01	5,00E-02	t			
Tijolo de alvenaria 15 cm	m^3/t	1,00E-01	5,00E-02	t			
Lã de Rocha	m^3/m^2	3,81E-02	3,12E-02	m^2			
Gesso Cartonado - BA12	m^3/m^2	1,18E-02	9,06E-03	m^2			
Argamassa Assentamento de tijolo 15	m^3/m^2	5,09E-03	4,70E-03	m^2			
Argamassa Assentamento de tijolo 11	m^3/m^2	3,88E-03	3,21E-03	m^2			
Argamassa de reboco	m^3/m^2	2,97E-03	2,48E-03	m^2			
Total							

Ao preencher os valores anteriormente referidos, a exibição do valor total de água incorporada em cada prática (prática convencional [A]*[D], melhor prática [B]*[D] e solução em estudo [C]*[D]) é obtida automaticamente através das fórmulas pré-definidas. Por exemplo, o valor da quantidade de água incorporada referente a prática convencional, surge através da multiplicação entre o *benchmark* definido como prática convencional e a quantidade de material inserida. Este processo repete-se para as

restantes práticas. Após estarem calculados os valores parciais dos materiais, é possível obter os valores totais das três práticas. Com estes valores, aplicando a equação (1), é possível normalizar o resultado e obter o índice de água incorporada $\overline{P_{AL}}$.

A avaliação pode ser realizada ao edifício, a um material ou a uma solução construtiva. Assim, pode aplicar-se o indicador em diversas soluções como:

- Tomada de decisão – durante o projeto é possível comparar materiais e/ou soluções construtivas e verificar qual o que incorpora menor quantidade de água, permitindo assim apoiar a escolha de soluções mais sustentáveis;
- Fase de utilização – avaliar as soluções construtivas e/ou todo o edifício, relativamente ao seu conteúdo de água e verificar assim se são sustentáveis.

4.2.3. Definição de *benchmarks*

Na análise, ao indicador, "Água incorporada nos materiais de construção", visto não existir definição sobre a melhor prática e a prática convencional, foi necessário estabelecer esses valores. Para tal, como já foi referido, seguiu-se a metodologia apresentada por Castro (2015). Este processo foi realizado dividido em três fases:

- Pesquisa de EPD's;
- Organização de dados relativos as EPD's;
- Aplicação de análise estatística para definir valores.

No primeiro ponto foi realizada uma recolha de dados relativos ao consumo de água na produção de cada material. Após a recolha, os dados foram normalizados para a mesma unidade funcional de forma a poderem ser facilmente comparáveis. De seguida, realizou-se a análise estatística, para cada um dos materiais em estudo. Na análise relativa ao intervalo estabelecido através do desvio padrão, constatou-se que todos os valores obtidos se enquadravam nos respetivos intervalos (ver Anexo I).

Para o LSF, após pesquisa de várias EPD e tomando em consideração que 95% da água utilizada no processo de fabrico do aço, é reaproveitável (Weisenberger, G 2011), obtiveram-se os consumos apresentados na Tabela 16. A coluna "consumo ilíquido" corresponde à quantidade total de água utilizada e a coluna "água incorporada"

corresponde ao consumo líquido, ou seja, à quantidade de água que não é reaproveitada na produção de LSF.

Tabela 16 - Consumo de água por empresa no processo de produção de LSF

Empresas	Consumo líquido (m³/t)	Água incorporada (m³/t)
Gruppobeltrame	-	3,70
Gryphon.Environdéc	36000	1,80
MCA	39600	1,98
Akkon	68700	3,44
A S S	-	2,76
World steel	28600	1,43
Ruukki	20000	1,00
Arcelor Mittral	-	1,33

Na Figura 18, pode-se observar a análise estatística aos dados relativo à quantidade de água incorporada no LSF. A linha em azul, indica a prática convencional enquanto a linha em laranja, indica a melhor prática.

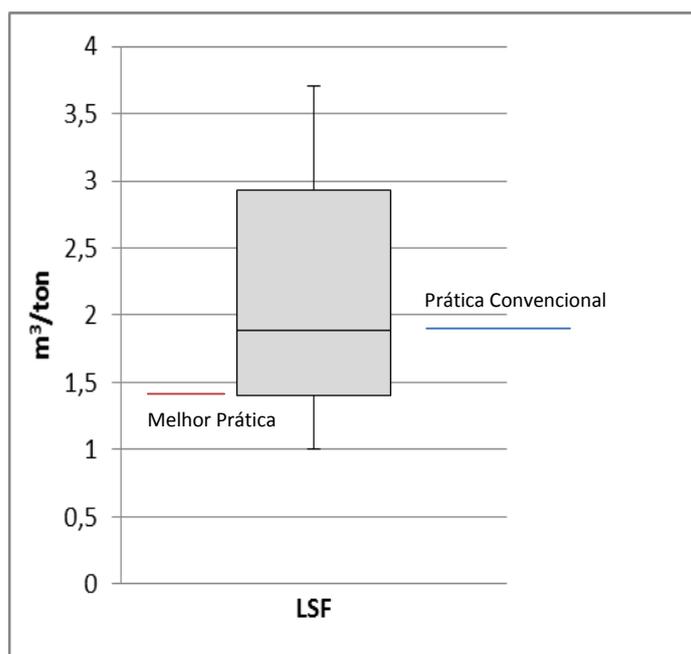


Figura 18 - Análise estatística aos consumos associados ao LSF

De forma resumida, na Tabela 17 observa-se a mediana, que representa a prática convencional e o limite do primeiro quartil que representa a melhor prática.

Tabela 17 - Melhor Prática e Prática Convencional LSF

Práticas	Água incorporada (m³/t)
Melhor Prática	1,62
Prática Convencional	1,98

Para o material OSB, repetiu-se a mesma metodologia utilizada para o LSF. A Tabela 18 apresenta o consumo de água no processo de fabrico do OSB e a Figura 19, a sua distribuição, com identificação da melhor prática e prática convencional.

Tabela 18 - Consumo de água por empresa produtora de OSB

Empresas	Água incorporada (m³/ m³)
Glunz AG	2,800
AdvanTech	0,046
EGGER OSB	2,320
Southeast	0,036
American Canadian	0,390
Dominik Kaestner	0,156

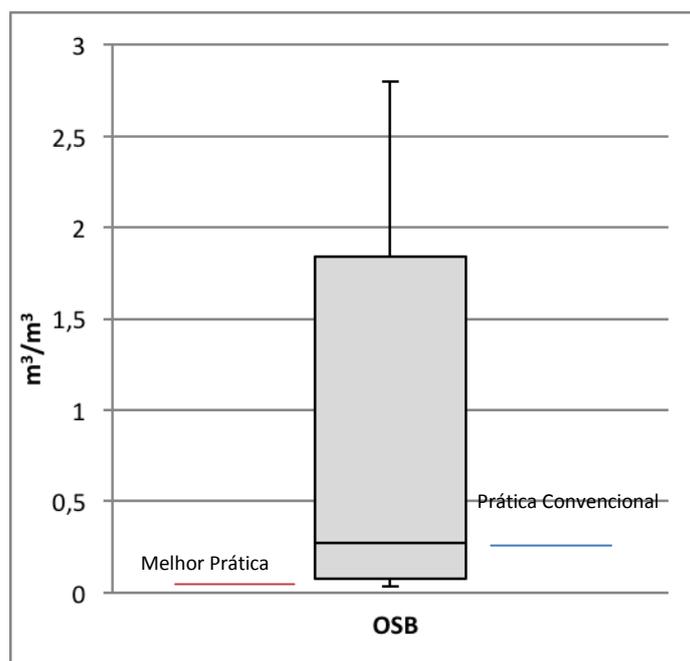


Figura 19 - Análise estatística aos consumos associados ao OSB

Na Tabela 19 observam-se os valores obtidos para melhor prática e prática convencional.

Tabela 19 - Melhor Prática e Prática Convencional OSB

Práticas	Água incorporada (m^3/m^3)
Melhor Prática	0,0735
Prática Convencional	0,0273

Repetindo o processo anterior, para o material gesso cartonado, a Tabela 20 mostra a quantidade de água incorporada em várias soluções de gesso cartonado, a Figura 20, a sua distribuição e a Tabela 21 apresenta os valores obtidos para os *benchmarks* deste material.

Tabela 20 - Consumo de água por empresa produtora de Gesso Cartonado

Empresas	Água incorporada (m³/m³)
Gyproc WallBoard	0,00680
Gyproc Normal	0,0125
RB 12.5 mm	0,00760
EuroGypsum	0,0118
Dalsan Gypsum	0,0211
Knauf Bulgária	0,0147
Gyproc Suécia	0,0105

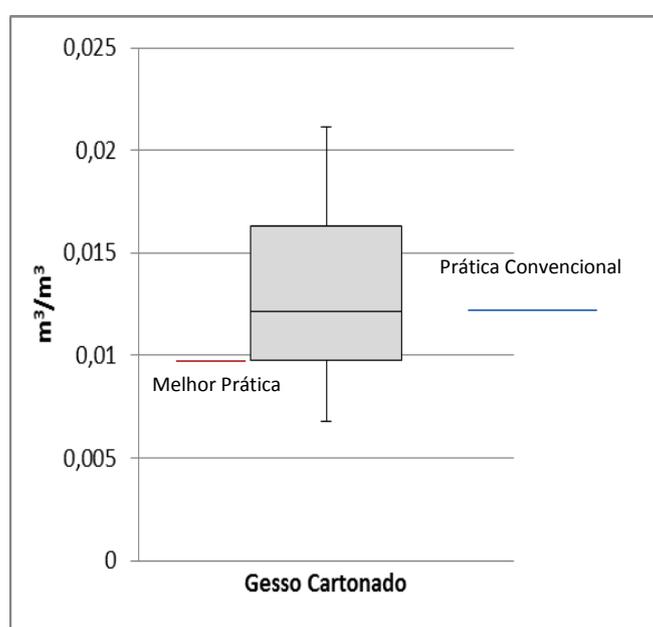


Figura 20 - Análise estatística aos consumos associados ao gesso cartonado

Tabela 21 - Melhor Prática e Prática Convencional do Gesso Cartonado

Práticas	Água incorporada (m³/ m³)
Melhor Prática	0,00906
Prática Convencional	0,0118

Os resultados obtidos para a lã de rocha, são igualmente apresentados nas Tabela 22 e Tabela 23 e na Figura 21.

Tabela 22 - Consumo de água por empresa produtora de Lã de Rocha

Empresas	Água incorporada (m³/m²)
Thermafiber 1	721,00
Thermafiber 2	0,0738
Heraklith Knauf 1	0,0311
Heraklith Knauf 2	0,0381
Heraklith Knauf 3	0,0311
Heraklith Knauf 4	0,0381
Isover	0,0458
Eurima	0,00339
Naima	0,000454
Rockwool	0,510

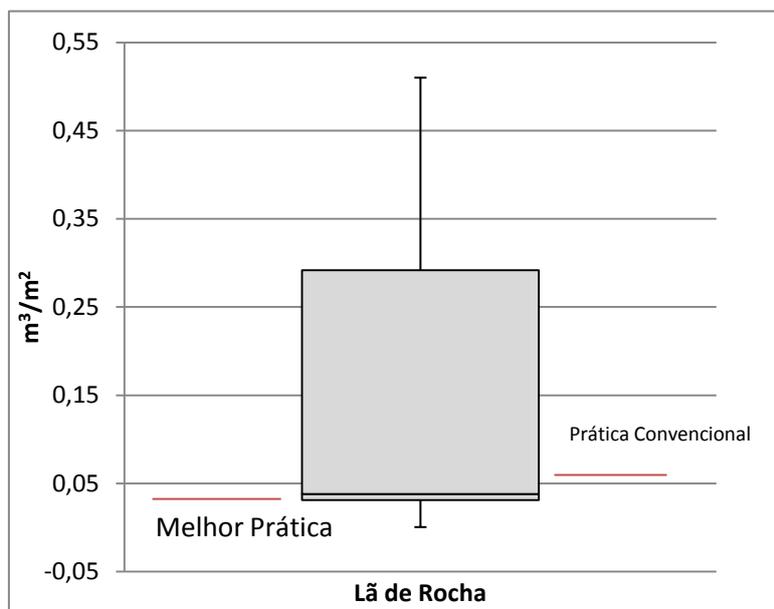


Figura 21 - Análise estatística aos consumos associados a lã de rocha

Tabela 23 - Melhor Prática e Prática Convencional da lã de rocha

Práticas	Água incorporada (m³/ m²)
Melhor Prática	0,0311
Prática Convencional	0,0381

Na Figura 22, mostra a distribuição dos quatro materiais.

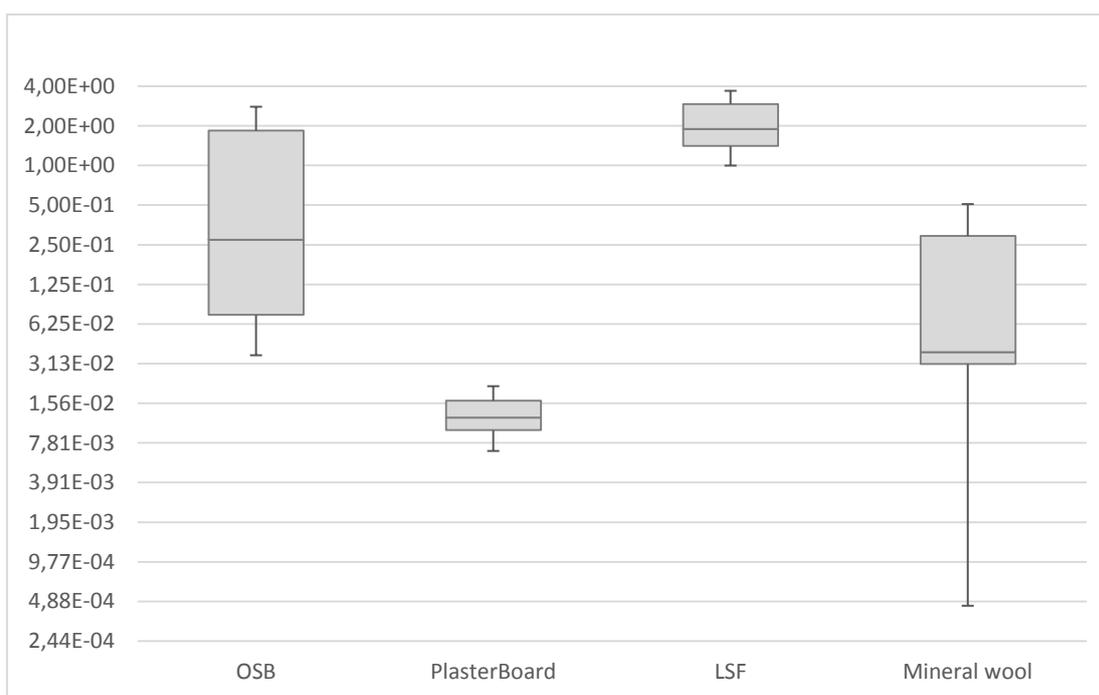


Figura 22 Análise estatística aos consumos associados ao LSF

Este procedimento deveria ser seguido para outros materiais de construção, tais como os tijolos cerâmicos, betão armado ou argamassas. No entanto, verificou-se uma falha relativa a existência de EPD para este tipo de materiais. Assim, para se poder estabelecer os *benchmarks* para estas soluções, fez-se uma análise aos dados existentes relativos aos materiais mais utilizados em Portugal. Desta forma, a melhor prática foi considerada como o menor consumo encontrado, e a prática convencional o valor mediano ou que tenha sido pré-identificado como a solução mais comum em Portugal.

Associado à construção tradicional, surgem o betão armado, a alvenaria em tijolo cerâmico, a argamassa de assentamento e, a argamassa de reboco, entre outros materiais.

A Tabela 24, apresenta os valores obtidos associados à melhor prática e à prática convencional de cada material, relacionadas com a estrutura em LSF.

Tabela 24 - Prática convencional e melhor prática, relativos à quantidade de água incorporada nos materiais de construção

Material	Prática Convencional		Melhor Prática	
LSF	1,98	m ³ /t	1,62	m ³ /t
OSB	0,273	m ³ / m ³	0,0735	m ³ / m ³
Gesso Cartonado	0,0118	m ³ / m ³	0,00906	m ³ / m ³
Lã de Rocha	0,0381	m ³ / m ²	0,0312	m ³ / m ²

No seguinte parágrafo é discutida a definição de melhor prática e prática convencional para os materiais associados a construção tradicional.

No cálculo do consumo de água relativo ao betão armado C20/25, é necessário ter-se em conta o somatório de três aspetos: (i) consumo de água na produção de cimento, (ii) consumo de água na produção de armadura de aço e, (iii) consumo de água para a produção do betão. Os valores apresentados na Tabela 25 referentes ao betão, têm como base os seguintes pressupostos. Para melhor prática, considerou-se que para uma laje maciça, o consumo de aço seria de 22 kg/m² e que para se produzir 1 m³ de betão, seriam necessários 144 m³ de água e 412 kg de cimento (Concrete Properties, 2015). Sabendo que são necessários 0,15 m³ de água por metro cúbico de cimento, o consumo de água é de 61,80x10⁻³ m³/m³ de cimento produzido. Para se produzir uma tonelada de varão de aço considerou-se um consumo de 40 m³ de água (Celsa, 2015), logo por cada metro quadrado de armadura são 8,8x10⁻⁴ m³/m². Do somatório obteve-se um consumo total de água de 206,68 m³/m³. Na prática convencional, considerando os mesmos aspetos anteriores, para se produzir 1 m³ de betão, considerou-se 180 m³ de água e 310 kg de cimento (Bento R, 2013), deste modo a quantidade de água para se produzir 412 kg de cimento, sabendo que são necessários 0,15 m³ de água por metro cúbico de cimento, o consumo de água é de 46,50x10⁻³ m³/m³ de cimento produzido. Para se produzir uma tonelada de varão de aço é necessário 40 m³ de água (Celsa, 2015), logo por cada metro quadrado de armadura são 8,8x10⁻⁴ m³/m². Do somatório obteve-se um consumo total de água de 227,38 m³/m³.

Relativamente ao consumo de água na produção de tijolos cerâmicos, apenas foram encontrados dois valores: 1x10⁻¹ m³/t (Almeida M, 2015) e 5x10⁻² m³/t (Rocha M,

2011). Assim, considerou-se o menor consumo como melhor prática e o maior como prática convencional.

Para o assentamento da alvenaria em obra, optou-se por considerar uma argamassa pronta, ou seja, uma argamassa seca devidamente doseada, já que esta possui uma quantidade de água necessária já estabelecida. Nas argamassas, que resultam da mistura em obra, a quantidade de materiais depende sempre de quem a prepara., fazendo assim com que o consumo seja difícil de prever e que, muitas vezes, seja superior ao desejável. Recorreu-se então a duas das empresas mais conceituadas a nível nacional, a Secil Argamassas e a Cimpor e tendo sido considerados dois tipos de assentamento: tijolo de 15 cm e de 11 cm. No caso das argamassas da Cimpor para assentamento de tijolo de 15, verificou-se que a argamassa tem um rendimento 40 kg/m^2 (Cimpor, 2015) e que segundo a ficha técnica, a quantidade de água que se deve misturar por saco (35 kg cada) são $3,75 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ de água. Para além disso, segundo a declaração de desempenho da argamassa (Cimpor 2015), cerca de 7% da sua constituição é cimento, que por sua vez equivale a 2,45 kg, sabendo que o consumo de água associado à produção de uma tonelada de cimento é de $0,15 \text{ m}^3$, por cada saco de argamassa, o consumo de água associado é de $3,675 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{saco}$. Do somatório obteve-se um consumo total de água de $4,12 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{saco}$. Convertendo o consumo para 1 m^2 , o valor obtido é de $4,70 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$.

No da Secil para assentamento de tijolo de 15, a argamassa tem um rendimento de 35 kg/m^2 (Secil, 2015), e uma composição de 14% de cimento (4,20 kg). Somando assim a quantidade de água que é necessária adicionar por saco, à quantidade de água incorporada no cimento, obteve-se um consumo total de água de $5,09 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$.

No caso da Cimpor para assentamento de tijolo de 11, a argamassa tem um rendimento de 30 kg/m^2 (Cimpor, 2015), uma necessidade de $3,75 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ de água por saco e 7% é cimento na sua constituição, Seguindo o mesmo cálculo que para as argamassas de assentamento de tijolo de 15, obteve-se um consumo total de água de $3,21 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$. Já no caso da Secil, verificou-se que a argamassa tem um rendimento $25,7 \text{ kg/m}^2$ (Secil, 2015), 14% é cimento na sua constituição e uma necessidade de água de $6,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{saco}$. Assim obteve-se um consumo total de água de $3,88 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$.

Após análise dos consumos, para o assentamento de tijolo de 15 cm, definiu-se que o valor associado à marca Cimpor, $4,70 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$ é inferior ao da Secil, $5,09 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$. Deste modo, a melhor prática fica associada ao valor da Cimpor e o da Secil a prática convencional. Repetindo a mesma análise para o assentamento de tijolo de 11 cm, definiu-se que o valor associado à marca Cimpor, $3,21 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$ é inferior ao da Secil, $3,88 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$. Deste modo, a melhor prática fica associada ao valor da Cimpor e o da Secil a prática convencional.

Também para o acabamento da alvenaria em obra, optou-se por considerar uma argamassa de reboco pronta, recorrendo-se novamente a duas das empresas mais conceituadas a nível nacional, a IRP-Secil e a Cimpor. No primeiro caso, argamassa IRP-Secil, verificou-se que (i) esta possui um rendimento $15 \text{ kg}/\text{m}^2$ (IRP-Secil, 2015), (ii) por cada 30 kg de argamassa (1 saco) são necessários $5,00 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ de água e que (iii) e que 21% da sua constituição é cimento. Seguindo o mesmo cálculo das argamassas de assentamento, resulta um consumo total de água de $2,97 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$ para esta argamassa. No segundo caso, argamassa de reboco da marca Cimpor, verificou-se que esta possui um rendimento $15 \text{ kg}/\text{m}^2$ (Cimpor, 2015), que por cada 30 kg de argamassa é necessário adicionar $5,00 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ de água e que cerca de 21% da sua constituição é cimento. Resultou assim um consumo total de água de $2,48 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$.

Após análise dos consumos, para se rebocar, definiu-se que o valor associados à marca Cimpor, $2,48 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$ é inferior ao da IRP-Secil, $2,97 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$. Deste modo, a melhor prática fica associada ao valor da Cimpor e o da IRP-Secil a prática convencional.

Tabela 25 - Prática convencional e melhor prática, relativos à quantidade de água incorporada nos materiais de construção

Material	Prática Convencional		Melhor Prática	
Betão Armado	227,38	m^3/m^3	206,68	m^3/m^3
Tijolo de alvenaria	0,100	m^3/t	0,050	m^3/t
Arg. Assentamento Tijolo 11	0,00388	m^3/m^2	0,00321	m^3/m^2
Arg. Assentamento Tijolo 15	0,00509	m^3/m^2	0,00470	m^3/m^2
Argamassa reboco	0,00297	m^3/m^2	0,00248	m^3/m^2

4.3. Flexibilidade e adaptabilidade

Ao longo dos tempos, perante as dificuldades, o Homem foi-se tornando flexível por vezes de forma inconsciente à realidade que o rodeava. Com o excessivo consumo dos recursos naturais, chegou a hora em que a sustentabilidade é colocada à prova nas novas tipologias de construções bem como nas reabilitações.

Nos países mais desenvolvidos, existe a necessidade de adaptar edifícios obsoletos para continuar com o mesmo fim ou prepara-los para novos fins (Douglas 2006), tornando-se desta forma uma solução mais económica. Nas grandes cidades europeias, pode-se observar uma adaptação dos espaços, edifícios residenciais a serem reabilitados para a mesma utilização e utilizações diferentes. Os edifícios são frequentemente objetos de transitoriedade - exibindo mudança morfológica ao longo da sua vida respondendo a um contexto evolutivo, artefactos inflexíveis, não estáticos que são deixados à idade e serem condicionados através de manutenção periódica (Graham, 2005 e Douglas, 2006).

O termo flexibilidade, pode ser entendido como a capacidade do espaço físico se adaptar ao processo dinâmico do habitar (Abreu R.,2015 e Heitor T.,2015), ou seja, ao longo dos tempos, o espaço pode ser adaptado ao estilo de vida dos moradores ou a evolução da sociedade.

O conceito de flexibilidade tem sido definido como: conversão, polivalência, expansão, multifuncionalidade e diversidade (Abreu R.,2015 e Heitor T.,2015).

Em termos de conversão, como a própria palavra indica, consiste na transformação de um espaço ou de vários espaços, um exemplo que é possível verificar no presente é a reabilitação de habitações antigas, tornando-as em locais de escritórios. O termo polivalência, remete para a utilização de um espaço sem haver necessidade de alterar a sua configuração, o termo expansão, consiste na alteração da área, ou seja, alterar os limites iniciais ou inicialmente previstos, a multifuncionalidade remete-se para a adaptação de um espaço para usos diversos, fica subjacente a possibilidade de haver alterações na configuração espacial, por último, diversidade, consiste na variedade que pode se encontrar num edifício.

A evolução dos processos construtivos, permite que a estratégia de flexibilidade seja dinâmica, ou seja, encontra-se em constante evolução. O conceito de camada, é a

autonomia construtiva entre as várias camadas que constitui a condição essencial para prolongar a vida funcional de um edifício e permitir o desempenho de estratégias de flexibilidade, foi inicialmente proposto por Duffy em 1990 e desenvolvido por Brand em 1994. Este conceito de camada, como o próprio nome indica, remete-se para a organização de um edifício por camadas, no total de seis: terreno, estrutura, fachada, instalações, espaço interior e mobiliário, conforme a Figura 23. A forma de como se encontra explicado este conceito, permite que sejam executadas remodelações, contemplando remoção e reconstrução, sem que haja interferência nas partes que compõem o edifício, isto devido a independência entre camadas.

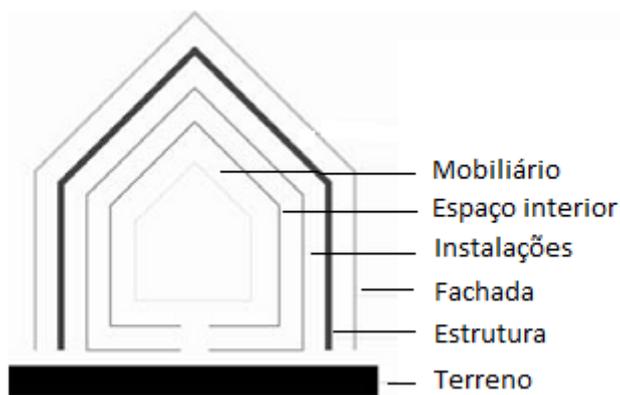


Figura 23 - Modelo de Brandon (Fonte: Schmidt-et-al., 2011)

A autonomia construtiva entre as várias camadas que constitui a condição essencial para prolongar a vida funcional de um edifício e permitir o desempenho de estratégias de flexibilidade (Brand, 1994). A relação de independência existente entre camadas permitirá assim que haja intervenção numa delas sem interferir com as restantes camadas.

Os edifícios sustentáveis, deverão então ter a capacidade para se ajustarem as novas circunstâncias e tecnologias, sem desperdício excessivo do existente e conflito entre especialidades (Kendall e Ando 2005).

Na construção metálica em *LSF*, o termo flexibilidade encontra-se empregue em três fases distintas. Na fase de projeto, na construção e no uso (REIDsteel, 2015). Durante a fase de projeto, em virtude dos avanços da tecnologia, é possível o dono de obra visualizar o aspeto final da sua casa, a excelente relação entre a resistência do aço e o seu peso confere o uso apelativo e económico do espaço, atendendo as dimensões dos próprios perfis. Como esta tipologia de construção, enquadra-se no tipo de construção modular, tendo em vista a expansão, pode-se prever inicialmente a oportunidade de integrar grandes aberturas para portas e janelas, a existência de soluções normalizadas permitem uma maior poupança de tempo e de dinheiro numa perspetiva futura. Na fase de construção e de utilização, o cliente poderá optar por alterar alguma parte do seu projeto, alteração esta poderá ser de fachada, de divisória interior, estando prevista a integração na estrutura principal de elementos modulares, tais como módulo sanitário, como as ligações estruturais são feitas através do sistema de aparafusamento, qualquer alteração é facilitada. Na eventualidade de haver necessidade de alguma alteração, levando ao aumento de peso, os elementos de aço podem ser reforçados, individualmente ou através da adição de outros perfis.

4.3.1. Avaliação da adaptabilidade e flexibilidade nas metodologias de avaliação de sustentabilidade de edifícios

Após uma análise aos indicadores associados às metodologias acima descritas, verificou-se que a adaptabilidade e flexibilidade apenas se encontra presente nas metodologias SBTool e DGNB.

A metodologia SBTool Internacional, na sua última versão de junho de 2015, dispõem de 5 indicadores, no parâmetro qualidade de serviços, flexibilidade e adaptabilidade, (i) Capacidade do dono/inquilino modificar as instalações dos sistemas técnicos, (ii) Capacidade de aumentar horizontal e verticalmente a estrutura principal, (iii) Restrições de adaptabilidade impostas pela estrutura ou pela altura do piso, (iv) Restrição de adaptabilidade impostas por sistemas e questões técnicas e (iv) Adaptabilidade em relação a futuras mudanças no fornecimento de energia. No primeiro indicador, avalia-se a quantidade de trabalhos necessários para as alterações dos sistemas técnicos com vista as novas exigências. No segundo indicador, avalia-se a capacidade de aumento da estrutura principal. No terceiro indicador, avalia-se a restrições causadas pela

capacidade de carga estrutural e disposição da mesma. No quarto indicador pretende-se garantir que os sistemas elétricos e AVAC, garantem um grau de flexibilidade que permita as alterações, com o mínimo de trabalhos num futuro. No quinto indicador, pretende-se garantir que o edifício, no futuro, possa ser adaptado para funcionar com um combustível diferente do inicialmente previsto ou instalar-se painéis solares. Na metodologia SBTool^{PT}-H, não existe este indicador.

Tanto a metodologia BREEAM-CSH, como o CASBEE-NC, como o LEED, não abordam este indicador.

O DGNB, na dimensão social, possui um indicador relativo a adaptabilidade do sistema técnico, este indicador pretende avaliar a capacidade de adaptação dos sistemas técnicos existentes no edifício. Estes sistemas podem estar relacionados com a sustentabilidade do edifício, visto que estão relacionados com o consumo de água e energia.

4.3.2. Desenvolvimento do indicador "Flexibilidade e adaptabilidade"

De forma a permitir que o indicador a desenvolver fosse efetivamente útil, pretende-se que fosse aplicável às fases de ante-projeto e projeto. Assim, para além de se poder certificar um edifício relativamente à sua facilidade de adaptação, também, seria possível auxiliar os projetistas e conceberem um edifício que seja à partida, adaptável e assim mais sustentável deste início. A abordagem de outras metodologias e a revisão bibliográfica, levou a que o indicador fosse avaliado através de seis parâmetros, de forma qualitativa. A atribuição de um nível de desempenho é dada em função do somatório dos créditos obtidos em cada um dos seis parâmetros. Os créditos atribuídos a cada parâmetro estão compreendidos entre 0 (zero) e 5, sendo que 0 (zero) corresponde à pior prática e 5 à mais eficiente.

O primeiro parâmetro, "modo de fixação dos elementos construtivos", pretende avaliar como se encontram fixados os elementos construtivos, permitindo um rápido processo de remoção bem como uma rápida separação dos materiais. Se os materiais estiverem fixados através do sistema de aparafusamento, o valor atribuído será de 5, se for através de pregos, o valor atribuído será de 4, se for através de soldadura, o valor atribuído será de 2 e se a fixação é através de argamassa, o valor atribuído será de 0.

O segundo parâmetro, "uso de vãos grandes, possibilitando a aplicação de uma estrutura modular", avaliará a existência de vãos grandes, garantindo desta forma a possibilidade de se aplicar uma estrutura modular, um novo espaço. Na eventualidade de o vão ser superior a 3,00 m, o valor atribuído será de 5, se o vão estiver compreendido entre 2,80 e 3,00 m, o valor atribuído será de 4, se o vão estiver compreendido entre 2,60 e 2,80 m, o valor atribuído será de 2.

O terceiro parâmetro, "arquitetura que permita aplicar uma nova área", é avaliada a capacidade do edifício estar preparado para receber uma nova área, considerando que o número máximo de pisos é igual a rés-do-chão + dois. Na eventualidade de se poder colocar uma nova área nos 3 pisos, o valor atribuído será de 5, caso seja colocada em dois pisos, o valor atribuído será de 4, caso seja possível colocar num só piso, o valor atribuído será de 2.

No quarto parâmetro, "pé direito considerado", garantindo um pé direito que permita a existência de zona reservada a condutas. Na eventualidade de a altura ser superior a 3,00 m, o valor atribuído será de 5, se a altura estiver compreendida entre 2,80 e 3,00 m, o valor atribuído será de 4, se a altura estiver compreendida entre 2,60 e 2,80 m, o valor atribuído será de 2, se a altura for inferior a 2,60m, o valor atribuído será de 0.

No quinto parâmetro, "Localização das condutas", dividido por especialidade (abastecimento de água, drenagem de águas residuais, instalação elétrica e comunicações e instalação de AVAC) neste parâmetro pretende-se avaliar a acessibilidade às referidas condutas, sem danificar os elementos que a circundam. Na eventualidade da acessibilidade ser de 100%, o valor atribuído é de 5, se for 75%, o valor atribuído é de 4, se for de 50%, o valor atribuído é de 2, se for de 25%, o valor atribuído é de 1. Outro aspeto avaliado neste parâmetro consiste na possibilidade das redes serem intercetadas, permitindo deste modo estabelecer novas ramificações. Neste caso o valor atribuído é de 1. As percentagens acima definidas, foram atribuídas de modo a valorizar o menor dano possível, desta forma, a intervenção que não cause danos nos elementos que a circulam é pontuada com 5 valores enquanto que, a que maior danos causar é pontuada com 1 valor.

A folha de cálculo elaborada neste estudo, consiste na atribuição de valores, consoante a opção correspondente ao edifício em estudo. Os valores relativos aos *benchmarks* da

melhor prática e prática convencional de cada produto/material, resultam da avaliação da realidade habitacional portuguesa. O preenchimento da folha de cálculo, encontra-se restringida ao preenchimento do campo destinado ao caso prático [A] conforme se pode visualizar na Tabela 26.

Tabela 26 - Processo de avaliação do indicador Flexibilidade e adaptabilidade

Critério	Descrição	Créditos	Caso de estudo
1	Modo de fixação dos elementos construtivos		
1.1	Fixações mecânicas (perfis e buchas de fixação)	5	
1.2	Fixação através de pregos	4	
1.3	Através de soldadura	2	
1.4	Fixação através de argamassa	0	
2.	Uso de vãos grandes (L), possibilitando a aplicação de uma estrutura modular		
2.1	$L > 3,00$	5	
2.2	$2,80 < L \leq 3,00$	4	
2.3	$2,60 < L \leq 2,80$	2	
3.	Arquitetura que permita aplicar uma nova área, considerando que o número máximo de pisos é igual a rés-do-chão +2		
3.1	Em 3 pisos	5	
3.2	Em 2 pisos	4	
3.3	Em 1 piso	2	
4.	Pé direito (H) considerado		
4.1	$H > 3,00$	5	
4.2	$2,80 < H \leq 3,00$	4	
4.3	$2,60 < H \leq 2,80$	2	
4.4	$2,60 \leq H$	0	
5.	Localização das condutas		
5.1	Localização das condutas - Abastecimento de água		
5.1.1	Condutas no interior de elementos construtivos		
	100% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	5	
	75% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	4	
	50% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	2	
	25% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	1	
5.1.2	Existem interceções acessíveis ao longo das canalizações, que permitem o corte de água, assim como o estabelecimento de novas ramificações ou a eliminação de ramificações existentes	1	
5.2	Localização das canalizações - Drenagem de águas residuais		

5.2.1	Conduitas no interior de elementos construtivos		
	100% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	5	
	75% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	4	
5.2.2	25% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	2	
	0% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	1	
	Existem interceções acessíveis ao longo das canalizações, que permitem o corte de água, assim como o estabelecimento de novas ramificações ou a eliminação de ramificações existentes	1	
5.3	Localização das condutas - Instalação elétrica e comunicações		
5.3.1	Conduitas no interior de elementos construtivos		
	100% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	5	
	75% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	4	
	25% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	2	
	0% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	1	
5.3.2	Existem interceções acessíveis ao longo das condutas, que permitem o corte de água, assim como o estabelecimento de novas ramificações ou a eliminação de ramificações existentes	1	
5.4	Localização das condutas - Instalação de AVAC		
5.4.1	Conduitas no interior de elementos construtivos		
	100% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	5	
	75% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	4	
	25% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	2	
	0% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	1	
5.4.2	Existem interceções acessíveis ao longo das condutas, que permitem o corte de água, assim como o estabelecimento de novas ramificações ou a eliminação de ramificações existentes	1	

Total (P_{FA})

O valor da prática convencional para a adaptabilidade e flexibilidade (P_{FA}*) é de 18 valores, referente ao somatório de zero pontos, do primeiro critério, dois pontos, do segundo critério, dois pontos, do terceiro critério, dois pontos, do quarto critério, do critério 5, do subcritério 5.1.1, dois pontos e um ponto do subcritério 5.1.2, para os restantes subcritérios definiu-se a mesma valorização. O valor da melhor prática para adaptabilidade e flexibilidade (P_{FA}*) é de 38 valores, resultante do somatório de cinco pontos, do primeiro critério, cinco pontos, do segundo critério, quatro pontos, do terceiro critério, quatro pontos, do quarto critério, do critério 5, dividido em, subcritério 5.1.1, quatro pontos e um ponto do subcritério 5.1.2, para os restantes subcritérios definiu-se a mesma valorização.

Após estarem atribuídos os valores parciais dos materiais, é possível obter o valor total do edifício em estudo (P_{FA}). Com este valor, pode proceder-se à normalização do valor, através da equação (1), permitindo desta forma obter o desempenho final do edifício relativamente a este indicador ($\overline{P_{FA}}$).

A avaliação pode ser realizada ao edifício, a um material ou a uma solução construtiva.

CAPÍTULO 5. CASO PRÁTICO

O presente capítulo consiste na validação do procedimento de cálculo desenvolvido no capítulo anterior, através da sua aplicação a dois casos de estudo.

No primeiro subcapítulo são apresentados dois casos de estudo, um edifício em estrutura metálica e outro em estrutura em betão armado e alvenaria. Com estas duas tipologias, pretende-se validar o processo de cálculo dos dois indicadores.

5.1. Apresentação do caso prático

5.1.1. Edifício em LSF

O edifício em estrutura metálica *Light Steel Frame* utilizado tratou-se de um edifício unifamiliar com 12,30 m por 9,30 m, com fundações e laje de piso em betão armado. É um edifício de arquitetura moderna, constituído por 2 pisos, sendo que o primeiro destina-se a zona de garagem, cozinha, sala de estar e sala de jantar, o segundo piso destina-se a zona de quartos (Figura 24).

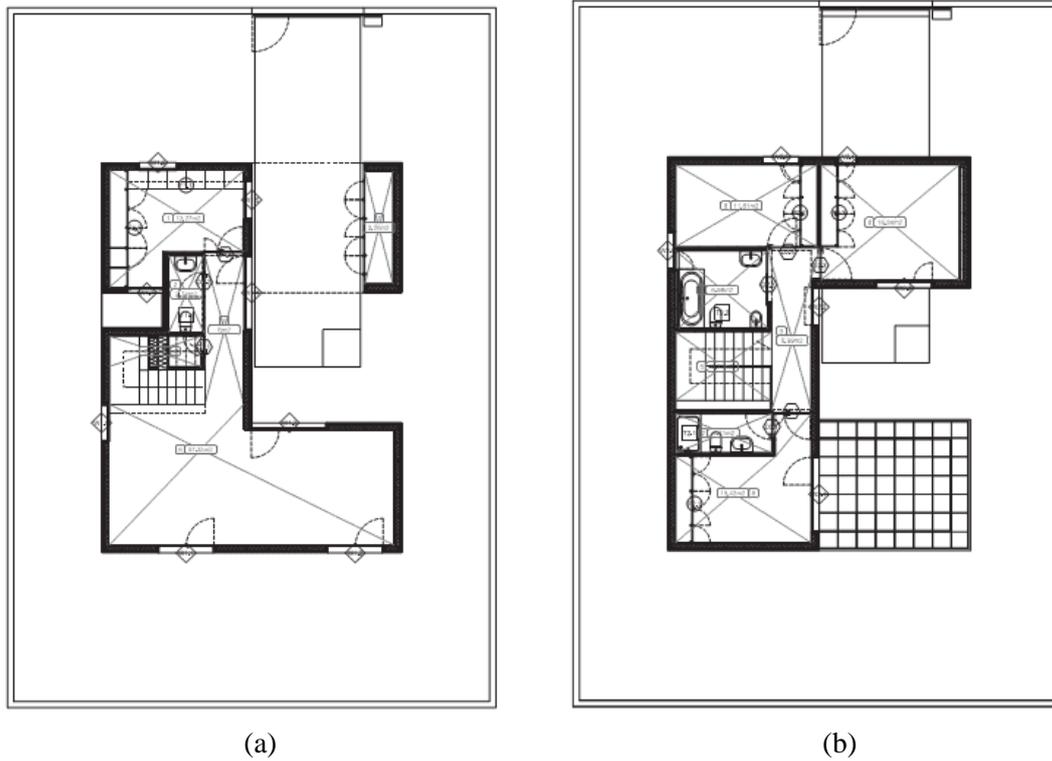


Figura 24 - Planta de arquitetura. a) Planta do piso 0; b) Planta do piso 1 (Fonte:)

As soluções construtivas adotadas para o este edifício encontram-se resumidas na Tabela 27.

Tabela 27 - Resumo das soluções construtivas do edifício LSF

Elemento	Descrição	Esquema
Fundações	Sapata de betão C20/25 armado com aço A400 e lintel de fundação em betão armado com uma armadura em varão de aço	

Figura 25 - Esquema de sapata e lintel

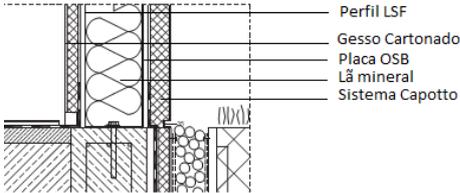
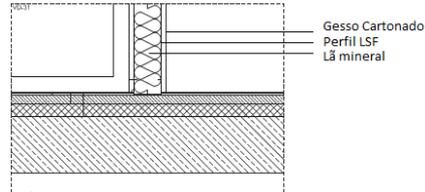
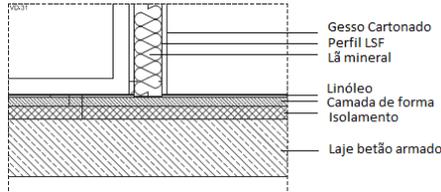
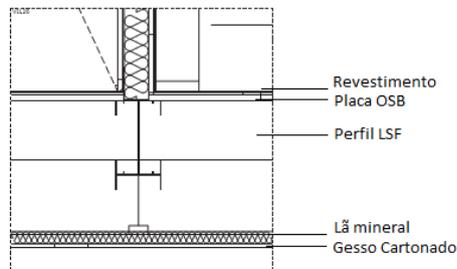
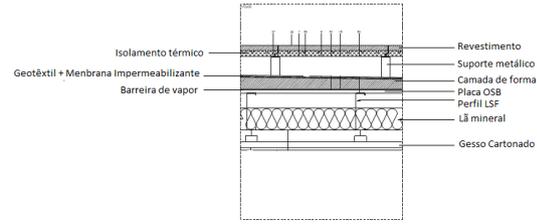
Elemento	Descrição	Esquema
Paredes exteriores	Perfis de aço galvanizado, revestidos na face interior por placas de gesso cartonado BA13 e por placas OSB 12mm no exterior, com isolamento térmico 4 cm e acústico 12 cm, entre as placas, em mantas de lã mineral	
Paredes interiores	Perfis de aço galvanizado revestidos em ambas as faces por placas de gesso cartonado, com isolamento térmico e acústico em mantas de lã mineral	
Laje de piso térreo	Betão armado, com isolamento térmico, uma camada de forma e por um linóleo	
Laje de piso	Perfis de aço galvanizado revestidos na face inferior por placas de gesso cartonado e na face superior por placas de OSB, com isolamento térmico e acústico, entre as placas, em mantas de lã mineral	
Laje de cobertura	Perfis de LSF, superiormente revestidos por placas OSB, barreira de vapor, depois da camada de forma é aplicado uma membrana impermeabilizante juntamente com o geotêxtil, para o revestimento final aplica-se um suporte metálicos para se aplicar o isolamento térmico e depois o revestimento final.	

Figura 26 - Esquema da parede exterior do edifício em estudo

Figura 27 - Esquema da parede interior do edifício em estudo

Figura 28 - Esquema da laje de piso rés-do-chão do edifício em estudo

Figura 29 - Esquema da laje de piso do edifício em estudo

Figura 30 - Esquema da laje de cobertura do edifício em estudo

5.1.2. Edifício em alvenaria de tijolo e betão armado

O edifício em estrutura de betão armado e alvenaria de tijolo utilizado, é um edifício unifamiliar com 12,00 m por 10,00 m, com fundações, lajes de pisos e cobertura em betão armado. É um edifício de arquitetura moderna, constituído por 2 pisos, sendo que o primeiro destina-se a zona de garagem, cozinha, sala de estar e sala de jantar, o segundo piso destina-se a zona de quartos (Figura 31).

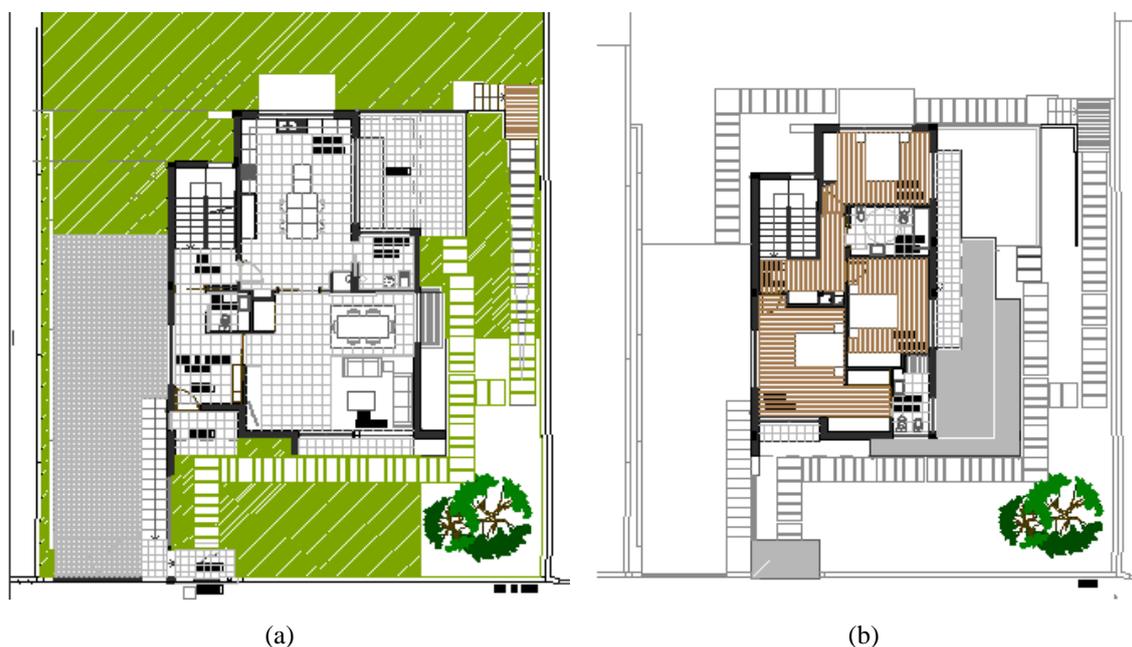


Figura 31 - Planta de arquitetura. a) Planta do piso 0; b) Planta do piso 1

As soluções construtivas adotadas para o este edifício encontram-se resumidas na Tabela 28.

Tabela 28 - Resumo das soluções construtivas do edifício construção tradicional

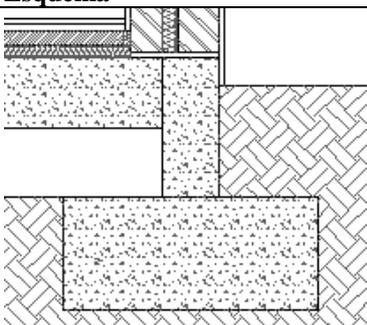
Elemento	Descrição	Esquema
Fundações	Sapata de betão C20/25 armado com aço A400 e lintel de fundação em betão armado com uma armadura em varão de aço	

Figura 32 - Esquema de sapata e lintel

Paredes exteriores
 Parede constituída com 2 panos de tijolo, 15 cm e 11 cm, entre eles preenchido por lâ de rocha, reboco 1 cm em ambas as faces.

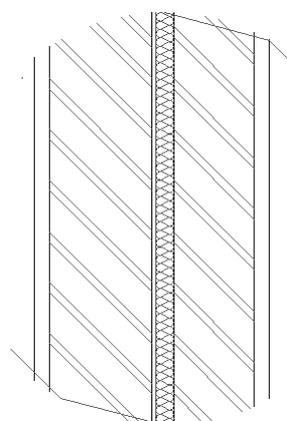


Figura 33 - Esquema da parede exterior do edifício em estudo

Paredes interiores
 Parede em alvenaria de tijolo de 11 cm, reboco 1 cm em ambas as faces.

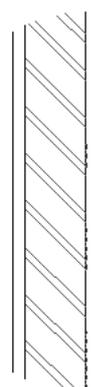


Figura 34 - Esquema da parede interior do edifício em estudo

Elemento	Descrição	Esquema
----------	-----------	---------

Laje de piso térreo

Betão armado, com isolamento térmico, uma camada de forma e por um linóleo

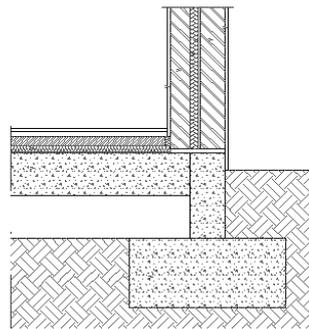


Figura 35 - Esquema da laje de piso rés-do-chão do edifício em estudo

Laje de piso

Laje aligeirada com vigota de betão armado e abobadilha cerâmica, camada de forma.

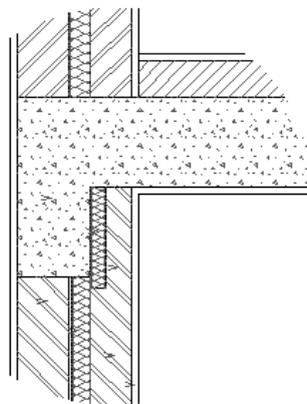


Figura 36- Esquema da laje de piso do edifício em estudo

Laje de cobertura

Laje aligeirada com vigota de betão armado e abobadilha cerâmica, camada de forma é aplicado uma membrana impermeabilizante juntamente com o geotêxtil, para o revestimento final aplica-se um suporte metálicos para se aplicar o isolamento térmico e depois o revestimento final.

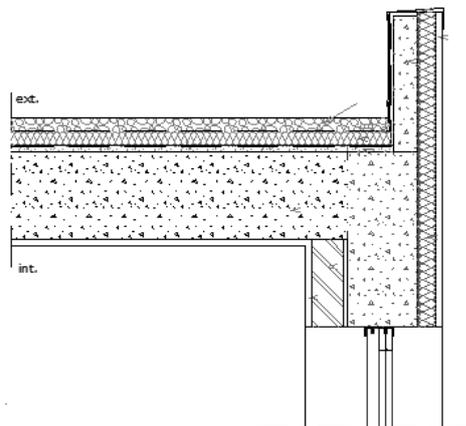


Figura 37 - Esquema da laje de cobertura do edifício em estudo

5.2. Aplicação dos indicadores ao caso de estudo

5.2.1. Indicador "Água incorporada no material de construção na fase de produção e aplicação em obra"

Na análise ao indicador "Água incorporada nos materiais de construção " comparou-se a solução em construção metálica com a solução tradicional, ou seja, foi realizada uma análise a um 1 m^2 de parede exterior. A solução em construção metálica é constituída por perfis de aço galvanizado, revestidos na face interior por placas de gesso cartonado BA13 e por placas OSB 12mm no exterior, com isolamento térmico e acústico, entre as placas, em mantas de lã mineral. A solução tradicional é composta por 1 m^2 de dois panos de parede de alvenaria de 11cm e 15 cm, com lã de rocha 12 cm entre ambas, sendo rebocada em ambas as faces para posterior acabamento exterior e interior. Como o objetivo passa por comparar a quantidade de água incorporada nas diferentes soluções construtivas, exclui-se da análise o isolamento exterior, sistema ETICS e o acabamento interior, barramento fino, para posterior pintura, visto serem iguais para ambas as soluções.

De acordo com o processo de cálculo desenvolvido foi necessário: (i) identificar quais os materiais utilizados em cada solução, (ii) identificar a quantidade de água incorporada em cada material e (iii) determinar a quantidade dos materiais utilizados. Só após ter estes valores, é possível obter o índice de água incorporada \overline{P}_{AI} .

A primeira solução a ser analisada, foi a solução em estrutura metálica em LSF. Para determinar a quantidade de perfis metálicos necessários por metro quadrado de parede, dividiu-se a quantidade total de perfis utilizados nas paredes exteriores constante no mapa de trabalhos e quantidades pela área total de paredes exteriores do edifício - $215,00 \text{ m}^2$. Obteve-se assim uma quantidade de $0,00715 \text{ t/m}^2$.

Em relação à lã de rocha e gesso cartonado, o valor a introduzir no cálculo foi de 1 m^2 em ambos os materiais. No que se refere ao OSB, como a espessura da placa é de 18 mm, o volume correspondente é de $0,018 \text{ m}^3$.

O passo seguinte foi preencher a folha de cálculo, conforme apresentado na Tabela 29.

Tabela 29 - Quantificação do Índice de água incorporada ($\overline{P_{Ai}}$) para a solução de parede exterior em LSF

Produto/Materiais	Água incorporada			Quantidade de material	Quantidade de água incorporada		
	Benchmarks		Solução em Estudo		Prática Conv. (P_{Ai}^*)	Melhor Prática (P_{Ai}^*)	Solução em Estudo (P_{Ai})
	Prática Conv. [A]	Melhor Prática [B]					
Betão Armado C20/25 considerando armadura	2,27E-01	2,07E-01	m ³ /m ³	m ³	0,00E+00	0,00E+00	0,000E+00
Ligth Steel Frame	1,98E+00	1,62E+00	1,33E+00 m ³ /ton	0,0072 ton	1,42E-02	1,16E-02	9,510E-03
OSB	2,73E-01	7,35E-02	2,32E-01 m ³ /m ³	0,0180 m ³	4,91E-03	1,32E-03	4,176E-03
Tijolo de alvenaria 11 cm	1,00E-01	5,00E-02	m ³ /ton	ton			
Tijolo de alvenaria 15 cm	1,00E-01	5,00E-02	m ³ /ton	ton			
Lã de Rocha	3,81E-02	3,12E-02	3,20E-02 m ³ /m ²	1,0000 m ²	3,81E-02	3,12E-02	3,200E-02
Gesso Cartonado - BA12	1,18E-02	9,06E-03	1,05E-02 m ³ /m ²	1,0000 m ²	1,18E-02	9,06E-03	1,051E-02
Argamassa Assentamento de tijolo 15	5,09E-03	4,70E-03	m ³ /m ²	m ²			
Argamassa Assentamento de tijolo 11	3,88E-03	3,21E-03	m ³ /m ²	m ²			
Argamassa de reboco	2,97E-03	2,48E-03	m ³ /m ²	m ²			
Total					0,07	0,05	0,06

Obtiveram-se assim os seguintes valores:

- Melhor prática: $P_{Ai}^* = 0,0532 \text{ m}^3$
- Prática Convencional: $P_{Ai}^* = 0,0690 \text{ m}^3$
- Solução em estudo: $P_{Ai} = 0,0562 \text{ m}^3$

Desta forma, procedendo à normalização dos valores, segundo a equação (1) obteve-se $\overline{P_{Ai}} = 0,81$, correspondendo a um desempenho de nível A, segundo a Tabela 14.

Para a solução construção tradicional de uma parede exterior, utilizou-se o mesmo procedimento. Considerou-se que para 1 m² de parede alvenaria, são necessários 18 tijolos em cada paramento Sendo que um tijolo de 11 cm, tem um peso unitário de 3,9 kg e um tijolo de 15 cm tem um peso unitário de 5,2 kg, a quantidade total de tijolo é de $7,02 \times 10^{-2} \text{ t/m}^2$ e $9,36 \times 10^{-2} \text{ t/m}^2$, respetivamente. Relativamente à lâ de rocha e a argamassa de assentamento, a quantidade considerada foi 1 m² em ambos os materiais. No que se refere ao reboco, como existem duas faces, o valor considerado foi 2 m².

Com estes valores foi então possível preencher a folha de cálculo como apresentado na Tabela 30.

Tabela 30- Quantificação do Índice de água incorporada ($\overline{P_{Ai}}$) para solução de parede exterior em alvenaria de tijolo

Produto/Materiais	Água incorporada				Quantidade de material	Quantidade de água incorporada			
	Benchmarks		Solução em Estudo	Prática Conven. (P_{Ai}^*)		Melhor Prática (P_{Ai}^*)	Solução em Estudo (P_{Ai})		
	Prática Conven. [A]	Melhor Prática [B]						[A]*[D]	[B]*[D]
Betão Armado C20/25 considerando armadura	2,27E-01	2,07E-01		m ³ /m ³					
Ligth Steel Frame	1,98E+00	1,62E+00		m ³ /ton					
OSB	2,73E-01	7,35E-02		m ³ /m ³					
Tijolo de alvenaria 11 cm	1,00E-01	5,00E-02	5,00E-02	m ³ /ton	0,07	ton	7,02E-03	3,51E-03	3,510E-03
Tijolo de alvenaria 15 cm	1,00E-01	5,00E-02	5,00E-02	m ³ /ton	0,09	ton	9,36E-03	4,68E-03	4,680E-03
Lã de Rocha	3,81E-02	3,12E-02	3,20E-02	m ³ /m ²	1,00	m ²	3,81E-02	3,12E-02	3,200E-02
Gesso Cartonado - BA12	1,18E-02	9,06E-03		m ³ /m ²					
Argamassa Assentamento de tijolo 15	5,09E-03	4,70E-03	7,80E-03	m ³ /m ²	1,00	m ²	5,09E-03	4,70E-03	7,800E-03
Argamassa Assentamento de tijolo 11	3,88E-03	3,21E-03	5,72E-03	m ³ /m ²	1,00	m ²	3,88E-03	3,21E-03	5,720E-03
Argamassa de reboco	2,97E-03	2,48E-03	2,50E-03	m ³ /m ²	2,00	m ²	5,94E-03	4,96E-03	5,000E-03
Total							0,0694	0,0523	0,0587

Obtiveram-se assim os seguintes valores:

- Melhor prática: $P_{Ai}^* = 0,052 \text{ m}^3$
- Prática Convencional: $P_{Ai}^* = 0,069 \text{ m}^3$
- Solução em estudo: $P_{Ai} = 0,059 \text{ m}^3$

Desta forma, procedendo à normalização dos valores, segundo a equação (1) obteve-se $\overline{P_{Ai}} = 0,62$, correspondendo a um desempenho de nível **B**, segundo a Tabela 14.

Na comparação relativa a parede interior, irá ser feita uma análise a um 1 m² de parede interior em que é constituída por perfis de aço galvanizado, revestidos em ambas as faces por placas de gesso cartonado BA13, com isolamento térmico e acústico, entre as

placas, em mantas de lã mineral, enquanto a solução tradicional é composta por 1 m² de um pano de parede de alvenaria de 11cm, sendo rebocada em ambas as faces para posterior acabamento.

A primeira solução a ser analisada foi a solução em estrutura metálica em LSF. Para determinar a quantidade de perfis metálicos necessários por metro quadrado de parede, dividiu-se a quantidade total de perfis utilizados nas paredes interiores constante no mapa de trabalhos e quantidades pela área total de paredes interiores do edifício - 70,00 m². Obteve-se assim uma quantidade de 0,00166 t/m². Em relação à lã de rocha e gesso cartonado, o valor a introduzir no cálculo foi de 1 m² para a lã de rocha e 2 m² para o gesso cartonado.

Com estes valores foi então possível preencher a folha de cálculo como apresentado na Tabela 31.

Tabela 31 - Quantificação do Índice de água incorporada $\overline{P_{Ai}}$ para solução de parede interior, solução em LSF

Produto/Materiais	Água incorporada				Quantidade de material	Quantidade de água incorporada		
	Benchmarks			Solução em Estudo		Prática Conven. (P _{Ai} *)	Melhor Prática (P _{Ai} *)	Solução em Estudo (P _{Ai})
	Prática Conven. [A]	Melhor Prática [B]	[C]					
Betão Armado C20/25 considerando armadura	2,27E-01	2,07E-01		m ³ /m ³	m ³	0,00E+00	0,00E+00	0,000E+00
Ligth Steel Frame	1,98E+00	1,62E+00	1,33E+00	m ³ /ton	0,0166 ton	3,28E-02	2,68E-02	2,202E-02
OSB	2,73E-01	7,35E-02	2,32E-01	m ³ /m ³	0,0000 m ³	0,00E+00	0,00E+00	0,000E+00
Tijolo de alvenaria 11 cm	1,00E-01	5,00E-02		m ³ /ton	ton			
Tijolo de alvenaria 15 cm	1,00E-01	5,00E-02		m ³ /ton	ton			
Lã de Rocha	3,81E-02	3,12E-02	3,20E-02	m ³ /m ²	1,0000 m ²	3,81E-02	3,12E-02	3,200E-02
Gesso Cartonado - BA12	1,18E-02	9,06E-03	1,05E-02	m ³ /m ²	2,0000 m ²	2,36E-02	1,81E-02	2,102E-02
Argamassa Assentamento de tijolo 15	5,09E-03	4,70E-03		m ³ /m ²	m ²			
Argamassa Assentamento de tijolo 11	3,88E-03	3,21E-03		m ³ /m ²	m ²			
Argamassa de reboco	2,97E-03	2,48E-03		m ³ /m ²	m ²			
Total						0,09	0,08	0,08

Obtiveram-se assim os seguintes valores:

- Melhor prática: $P_{Ai}^* = 0,0945 \text{ m}^3$
- Prática Convencional: $P_{Ai^*} = 0,0761 \text{ m}^3$
- Solução em estudo: $P_{Ai} = 0,0750 \text{ m}^3$

Desta forma, procedendo à normalização dos valores, segundo a equação (1) obteve-se $\overline{P_{Ai}} = 1,06$, correspondendo a um desempenho de nível **A+**, segundo a Tabela 14.

Para a solução em construção tradicional de uma parede interior, utilizou-se o mesmo processo acima descrito, desta forma, para 1 m^2 de alvenaria, são necessários 18 tijolos. Um tijolo de 11 cm, tem um peso unitário de 3,9 kg, desta forma multiplicando o peso unitário por 18 tijolos, o peso total é de 70,20 kg. Como na folha de cálculo, o valor de entrada é expresso em toneladas, convertendo os valores em tonelada, obtém-se $7,02 \times 10^{-2} \text{ t}$.

Na argamassa de assentamento, o valor a introduzir na folha de cálculo é de 1 m^2 . No que se refere ao reboco, como existem duas faces, o valor a introduzir é de 2 m^2 . A lâ de rocha não faz parte desta solução construtiva.

Com estes valores foi então possível preencher a folha de cálculo como apresentado na Tabela 32.

Obtiveram-se assim os seguintes valores:

- Melhor prática: $P_{Ai}^* = 0,0168 \text{ m}^3$
- Prática Convencional: $P_{Ai^*} = 0,0117 \text{ m}^3$
- Solução em estudo: $P_{Ai} = 0,0142 \text{ m}^3$

Tabela 32 - Quantificação do Índice de água incorporada $\overline{P_{Ai}}$ para solução de parede interior, construção tradicional

Produto/Materiais	Água incorporada			Quantidade de material	Quantidade de água incorporada		
	Benchmarks		Solução em Estudo		Prática Conven. (P_{Ai}^*)	Melhor Prática (P_{Ai}^*)	Solução em Estudo (P_{Ai})
	Prática Conven.	Melhor Prática					
[A]	[B]	[C]	[D]				
Betão Armado C20/25 considerando armadura	2,27E-01	2,07E-01	m ³ /m ³	m ³			
Ligth Steel Frame	1,98E+00	1,62E+00	m ³ /ton	ton			
OSB	2,73E-01	7,35E-02	m ³ /m ³	m ³			
Tijolo de alvenaria 11 cm	1,00E-01	5,00E-02	5,00E-02 m ³ /ton	0,07 ton	7,02E-03	3,51E-03	3,510E-03
Tijolo de alvenaria 15 cm	1,00E-01	5,00E-02	5,00E-02 m ³ /ton	0,00 ton	0,00E+00	0,00E+00	0,000E+00
Lã de Rocha	3,81E-02	3,12E-02	3,20E-02 m ³ /m ²	0,00 m ²	0,00E+00	0,00E+00	0,000E+00
Gesso Cartonado - BA12	1,18E-02	9,06E-03	m ³ /m ²	m ²			
Argamassa Assentamento de tijolo 15	5,09E-03	4,70E-03	7,80E-03 m ³ /m ²	0,00 m ²	0,00E+00	0,00E+00	0,000E+00
Argamassa Assentamento de tijolo 11	3,88E-03	3,21E-03	5,72E-03 m ³ /m ²	1,00 m ²	3,88E-03	3,21E-03	5,720E-03
Argamassa de reboco	2,97E-03	2,48E-03	2,50E-03 m ³ /m ²	2,00 m ²	5,94E-03	4,96E-03	5,000E-03
Total					0,0168	0,0117	0,0142

Desta forma, procedendo à normalização dos valores, segundo a equação (1) obteve-se $\overline{P_{Ai}} = 0,51$, correspondendo a um desempenho de nível **B**, segundo a Tabela 14.

Numa análise geral aos resultados obtidos, a solução em LSF, tem uma avaliação superior à solução em construção tradicional. Ao avaliar-se individualmente a solução parede exterior, verifica-se a água incorporada no OSB, representa um peso considerável no valor final da solução em LSF enquanto que na solução tradicional os valores de água incorporada nas alvenarias e argamassas influenciam o resultado final.

Na análise ao indicador "Flexibilidade e adaptabilidade" compararam-se os casos práticos, a solução em construção metálica com a solução tradicional. Para o preenchimento da folha de cálculo, foi necessário registar o pé direito dos pisos e a largura dos vãos. No caso de estudo em LSF, o pé direito é de 3,00 metros e a largura de vão é superior 3,00 metros enquanto no caso de estudo em construção tradicional o pé direito é de 2,80 metros e a largura de vão também é superior a 3,00 metros.

Em relação as condutas, considerou-se que no primeiro caso, encontram-se pelo teto e paredes, ambos revestidos a gesso cartonado, existem pontos de acesso às mesmas para alguma eventualidade. No segundo caso, encontra-se no pelo teto a instalação elétrica, as restantes encontram-se embebidas na laje e paredes em alvenaria.

Com estes conhecimentos, foi então possível preencher a folha de cálculo para o primeiro caso, em LSF, como apresentado na Tabela 33.

Tabela 33 - Quantificação do Índice de água incorporada ($\overline{P_{AF}}$) construção em LSF

Critério	Descrição	Créditos	Caso de estudo
1	Modo de fixação dos elementos construtivos		
1.1	Fixações mecânicas (perfis e buchas de fixação)	5	5
1.2	Fixação através de pregos	4	
1.3	Através de soldadura	2	
1.4	Fixação através de argamassa	0	
2.	Uso de vãos grandes (L), possibilitando a aplicação de uma estrutura modular		
2.1	L>3,00	5	5
2.2	2,80<L≤3,00	4	
2.3	2,60<L≤2,80	2	
3.	Arquitetura que permita aplicar uma nova área, considerando que o número máximo de pisos é igual a rés-do-chão +2		
3.1	Em 3 pisos	5	4
3.2	Em 2 pisos	4	
3.3	Em 1 piso	2	
4.	Pé direito (H) considerado		
4.1	H>3,00	5	4
4.2	2,80<H≤3,00	4	
4.3	2,60<H≤2,80	2	
4.4	2,60≤H	0	
5.	Localização das condutas		
5.1	Localização das condutas - Abastecimento de água		
5.1.1	Condutas no interior de elementos construtivos		4
	100% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	5	
	75% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	4	
	50% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	2	
	25% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	1	
5.1.2	Existem interceções acessíveis ao longo das canalizações, que	1	1

	permitem o corte de água, assim como o estabelecimento de novas ramificações ou a eliminação de ramificações existentes		
5.2	Localização das canalizações - Drenagem de águas residuais		
5.2.1	Condutas no interior de elementos construtivos		
	100% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	5	4
	75% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	4	
	25% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	2	
	0% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	1	
5.2.2	Existem interceções acessíveis ao longo das canalizações, que permitem o corte de água, assim como o estabelecimento de novas ramificações ou a eliminação de ramificações existentes	1	1
5.3	Localização das condutas - Instalação elétrica e comunicações		
5.3.1	Condutas no interior de elementos construtivos		
	100% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	5	4
	75% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	4	
	25% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	2	
	0% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	1	
5.3.2	Existem interceções acessíveis ao longo das condutas, que permitem o corte de água, assim como o estabelecimento de novas ramificações ou a eliminação de ramificações existentes	1	1
5.4	Localização das condutas - Instalação de AVAC		
5.4.1	Condutas no interior de elementos construtivos		
	100% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	5	4
	75% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	4	
	25% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	2	
	0% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	1	
5.4.2	Existem interceções acessíveis ao longo das condutas, que permitem o corte de água, assim como o estabelecimento de novas ramificações ou a eliminação de ramificações existentes	1	1
		Total (P_{FA})	38

Obtiveram-se assim os seguintes valores:

- Melhor prática: $P_{AFi}^* = 38$
- Prática Convencional: $P_{AFi^*} = 18$
- Solução em estudo: $P_{AFi} = 38$

Desta forma, procedendo à normalização dos valores, segundo a equação (1) obteve-se $\overline{P_{AFi}} = 1$, correspondendo a um desempenho de nível **A**, segundo a Tabela 14.

Repetindo o processo, para o segundo caso, foi então possível preencher a folha de cálculo, como apresentado na Tabela 34.

Tabela 34 - Quantificação do Índice de água incorporada ($\overline{P_{AF}}$) construção tradicional

Critério	Descrição	Créditos	Caso de estudo
1	Modo de fixação dos elementos construtivos		
1.1	Fixações mecânicas (perfis e buchas de fixação)	5	0
1.2	Fixação através de pregos	4	
1.3	Através de soldadura	2	
1.4	Fixação através de argamassa	0	
2.	Uso de vãos grandes (L), possibilitando a aplicação de uma estrutura modular		
2.1	L>3,00	5	5
2.2	2,80<L≤3,00	4	
2.3	2,60<L≤2,80	2	
3.	Arquitetura que permita aplicar uma nova área, considerando que o número máximo de pisos é igual a rés-do-chão +2		
3.1	Em 3 pisos	5	2
3.2	Em 2 pisos	4	
3.3	Em 1 piso	2	
4.	Pé direito (H) considerado		
4.1	H>3,00	5	2
4.2	2,80<H≤3,00	4	
4.3	2,60<H≤2,80	2	
4.4	2,60≤H	0	
5.	Localização das condutas		
5.1	Localização das condutas - Abastecimento de água		
5.1.1	Condutas no interior de elementos construtivos		1
	100% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	5	
	75% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	4	
	50% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	2	
	25% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	1	
5.1.2	Existem interceções acessíveis ao longo das canalizações, que permitem o corte de água, assim como o estabelecimento de novas ramificações ou a eliminação de ramificações existentes	1	1
5.2	Localização das canalizações - Drenagem de águas residuais		
5.2.1	Condutas no interior de elementos construtivos		1
	100% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	5	
	75% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	4	

	25% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	2	
	0% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	1	
5.2.2	Existem interceções acessíveis ao longo das canalizações, que permitem o corte de água, assim como o estabelecimento de novas ramificações ou a eliminação de ramificações existentes	1	1
5.3	Localização das condutas - Instalação elétrica e comunicações		
5.3.1	Condutas no interior de elementos construtivos		
	100% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	5	
	75% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	4	1
	25% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	2	
	0% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	1	
5.3.2	Existem interceções acessíveis ao longo das condutas, que permitem o corte de água, assim como o estabelecimento de novas ramificações ou a eliminação de ramificações existentes	1	1
5.4	Localização das condutas - Instalação de AVAC		
5.4.1	Condutas no interior de elementos construtivos		
	100% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	5	
	75% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	4	1
	25% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	2	
	0% de acessibilidade sem danificar os elementos construtivos	1	
5.4.2	Existem interceções acessíveis ao longo das condutas, que permitem o corte de água, assim como o estabelecimento de novas ramificações ou a eliminação de ramificações existentes	1	1

Total (P_{FA}) 18

Obtiveram-se assim os seguintes valores:

- Melhor prática: $P_{AFi}^* = 38$
- Prática Convencional: $P_{AFi^*} = 18$
- Solução em estudo: $P_{AFi} = 17$

Desta forma, procedendo à normalização dos valores, segundo a equação (1) obteve-se $\overline{P_{AFi}} = -0,05$, correspondendo a um desempenho de nível **E**, segundo a Tabela 14.

Numa análise aos resultados obtidos, a solução em LSF, tem uma avaliação superior à solução em construção tradicional. Os fatores mais importantes para esta diferença, encontram-se relacionados com o modo de fixação dos elementos e acessibilidade as condutas.

CAPÍTULO 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo é abordado as conclusões obtidas ao longo do decorrer desta dissertação e propõem-se os desenvolvimentos futuros.

6.1. Conclusões

A presente dissertação teve como principal objetivo o desenvolvimento de indicadores chave de sustentabilidade para edifícios residenciais em estrutura metálica, LSF.

Com este objetivo no horizonte, houve a necessidade de compreender termos como desenvolvimento sustentável, construção sustentável, metodologias de avaliação de sustentabilidade, termos estes que tem uma grande importância para um futuro melhor.

As metodologias de avaliação, devem ser encaradas como uma ferramenta de elevada importância, visto que os parâmetros que já avaliam são de extrema importância para o bem-estar do Homem.

Relativamente a construção, recorrendo as estruturas metálicas, revelou-se uma agradável surpresa, as características associadas a esta tipologia, permitem ao Homem conceber espaços com elevada qualidade e requinte, não desprezando o conforto, sendo que a maior característica recai no alto índice de reciclabilidade do aço. A construção em LSF, apesar de pouco implementada no nosso País, começa de forma sustentável a marcar posição em relação a construção tradicional, visto que aspetos como o conforto térmico e acústico são cada vez mais tomados em consideração.

No desenvolvimento dos indicadores, relativamente a estudo da água incorporada, fica visível a importância de gerir bem o uso de água, visto ser um dos recursos mais importantes ao ser-humano. No indicador, flexibilidade e adaptabilidade, fica notório que um bom planeamento na fase de projeto permite preservar o número de anos numa habitação.

Numa análise aos resultados obtidos na aplicação dos indicadores, é possível determinar que no indicador associado à água incorporada nos materiais de construção, na solução parede exterior, apesar dos valores definidos como melhor prática e prática convencional da solução em estudo serem muitos semelhantes, a pequena diferença entre os valores da solução em estudo reflete-se na avaliação final, nesta solução o consumo de água na solução em LSF é inferior ao da construção tradicional. Na solução parede divisória apesar da diferença no nível de avaliação, o consumo de água na solução em LSF é superior ao da construção tradicional, a diferença de avaliação é devido ao caso de estudo em LSF ser inferior à melhor prática.

Na análise aos resultados obtidos no indicador, flexibilidade e adaptabilidade, a avaliação obtida na solução em LSF, demonstra a potencialidade desta solução no que se refere a flexibilidade e adaptabilidade de um espaço, um desses critérios que mais se distânciam da construção tradicional é o modo de fixação.

Atendendo aos resultados obtidos, no desenvolvimento dos indicadores é possível determinar que os objetivos inicialmente propostos foram atingidos.

6.2. Desenvolvimentos Futuros

Neste trabalho, é possível integrar diversas propostas de continuidade, pois o tema em questão apresenta um elevado potencial de desenvolvimento.

Deste modo, como se constatou durante a pesquisa, o desenvolvimento de EPD torna-se um aspeto importante, visto que são aspeto importante na definição de *benchmarks*, relativos a melhor prática e prática convencional.

Relativamente ao indicador "água incorporada", pode ser revisto, podendo assim aumentar o leque de materiais e soluções construtivas. No que se refere ao indicador "Flexibilidade e adaptabilidade", a implementação de novos critérios torna-se importante na construção sustentável, permitindo assim o aumento de vida útil de uma habitação.

Na sociedade atual, a promoção das práticas sustentáveis, são de extrema importância, não só pela sensibilização do uso dos recursos mas sim pelo conforto e bem-estar no ser humano.

REFERÊNCIAS

Alberta, 2015 - Choosing alberta - <http://www.albertacanada.com/> (consultado em Setembro de 2015)

CASBEE, 2014 - Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency – CASBEE for New Construction –Technical Manual. Japan, 2014. Disponível no site do CASBEE em: [http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/download/CASBEE-BD\(NC\)e_2014manual.pdf](http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/download/CASBEE-BD(NC)e_2014manual.pdf) (consultado em Junho de 2015)

CEN, 2015 - Disponível no site da CEN em: <https://www.cen.eu/about/Pages/default.aspx>

ISO, 2015 - Disponível no site da ISO em: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=322621 (consultado em Junho de 2015)

Meisel, 2010 - LEED Material A Resource Guide to Green Building. Princeton Architectural, New York, EUA, 2010.

Bento R, 2013 - Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), 55 Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2013, disponível em: [http://www.researchgate.net/publication/268815886_Analise_do_desempenho_ambiental_de_estruturas_de_concreto_armado_uso_da_Avaliao_do_Ciclo_de_Vida_\(ACV\)](http://www.researchgate.net/publication/268815886_Analise_do_desempenho_ambiental_de_estruturas_de_concreto_armado_uso_da_Avaliao_do_Ciclo_de_Vida_(ACV)) (consultado em Setembro de 2015)

Balteiro D, 2001 - An analysis of productive efficiency and innovation activity using DEA: An application to Spain's wood-based industry - Volume 8, Issue 7, October 2006, Pages 762–773

Bragança L. Mateus R, 2012 Análise do ciclo de vida de construções metálicas, I Congresso Luso-Africano de Construção Metálica Sustentável, 2012

Bragança. L e Mateus, R, 2005, Sustainability assessment datasheet, Balkema Publishers

BREEAM, 2011 - Building Research Establishment Environmental Assessment, BREEAM on New Construction: Non-Domestic Buildings - Technical Manual, SD5073 - 2:0:2001, BREEAM, Londres, Reino Unido (2011).

BREEAM, 2012 - Building Research Establishment Environmental Assessment, What is BREEAM?, disponível on-line em <http://www.breeam.org/page.jsp?id=66>. (consulta em Abril de 2015)

Brundtland G et al, 1987 - Our Common Future: Report of the 1987 World Commission on Environment and Development, Oxford, Oxford University Press

Carias Silvana, 2015 - Construção seca é alternativa para economia de água disponível on-line em <http://www.kiplaca.com.br/detalhesNot.php?id=8&cat=1> (Consulta)

CASBEE 2015, <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm> (Acedido em Junho de 2015)

CASBEE, 2015 An overview of CASBEE - disponível em: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/overviewE.htm> (Consultado em Junho de 2015)

Castanheira G e Bragança L, 2015 - Estratégias de Intervenção para a Regeneração Urbana Sustentável, disponível on-line em http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/21860/1/WCRS_Castanheira_Bragan%C3%A7a.pdf

Cheng Yu, 2010 - Shear resistance of cold-formed steel framed shear walls with 0.686 mm, 0.762 mm, and 0.838 mm steel sheet sheathing, Engineering Structures, 32(6), 1522–1529

Cimpor, 2015 - Declaração de desempenho M5- http://www.cimpor-portugal.pt/cache/binImagens/Declaracao_de_Desempenho-Assentamento_de_Alvenaria_AAM5-1399.pdf (consultado em Setembro de 2015)

Cimpor, 2015 - Ficha técnica Argamassa de assentamento M5 - http://www.cimpor-portugal.pt/cache/binImagens/AA_M5_-_Rev.13-1905.pdf (consultado em Setembro de 2015)

Cimpor, 2015 - Ficha técnica Argamassa de reboco - http://www.cimpor-portugal.pt/produtos_artigo.aspx?lang=pt&id_object=47&id_gama=11 (consultado em Setembro de 2015)

Concrete Properties, 2015 Propriedades do betão - caso prático <http://theconstructor.org/concrete/concrete-mix-design-procedure-example/6005/> (consultado em Setembro de 2015)

Dmoz 2015 - Industrial Revolution - https://www.dmoz.org/Society/History/By_Time_Period/Eighteenth_Century/Industrial_Revolution/ (consultado em Setembro de 2015)

Egger, 2015 LCA: Results, Disponível em: http://www.egger.com/downloads/bildarchiv/237000/1_237137_ZF_EPD_EGGER-OSB_EN.pdf (consultado em Junho de 2015)

FIEC, 2013 - FIEC contribution to the EC Green Paper on long-term financing of the European economy FINAL, Disponível em: http://ec.europa.eu/internal_market/consultations/2013/long-term-financing/docs/contributions/registered-organisations/european-construction-industry-federation_en.pdf (Consultado em Junho de 2015)

Forbes, D.; Smith, S.; Horner, R., Investigating the weighting mechanism in BREEAM Ecohomes. CIB W055 - W065 Joint International Symposium: Transformations through Construction, Dubai, Emirados Árabes Unidos (2008).

Futureng. 2003. Engenharia para Light Steel Framing , Disponível em: www.futureng.pt (consultado em Junho de 2015)

Gervásio, H. & Simões da Silva, L. 2005. A sustentabilidade do aço. Congresso de Construção Metálica e Mista. Lisboa.

Gypsum, 2015 - Gyproc Plastboard <http://www.british-gypsum.com/~media/files/british-gypsum/lca/epd-12-5mm-gyproc-wallboard.pdf>.
(consultado em Setembro de 2015)

Ruuki, 2015 - <http://www.ruukki.com/~media/Files/Working-towards-sustainability/Environmental-product-declarations/Environmental-product-declaration-for-structural-steel-construction-products.pdf>

Ironbridge, 2015 - The Ironbridge Gorge Museum Trust - <http://www.ironbridge.org.uk/>
(consultado em Setembro de 2015)

ISO 14001:2012 Sistemas de gestão ambiental; Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização

ISO 14004:2012 Sistemas de gestão ambiental; Linhas de orientação gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio

Kronoply, 2015 - disponível on-line em:
<http://www.kronoply.com/cms/Aktuelles/Artikel/KRONOPLY-OSB-erhaelt-neue-Umweltproduktdeklaration/2032394052.html> (Consultado em Setembro de 2015)

LEED, 2015 - disponível on-line em <http://www.usgbc.org/leed> (Acedido em Junho de 2015)

Malthus, An Essay On The Principle Of Population (1798 1st edition) with A Summary View (1830), and Introduction by Professor Antony Flew. Penguin Classics. ISBN 0-14-043206-X.

Mateus, R. & L. Bragança 2006. Tecnologias Construtivas para Sustentabilidade da Construção, Edições Ecopy, Porto.

Montana, 2015 - Nature and the american experience, disponível on-line em <http://www.umt.edu/mansfield/internationalprograms/susi/Readings%20and%20Resources/pastore-nature-american-experience.pdf> (Acedido em Março 2015)

Murtinho, V., Ferreira, H., Correia, A., Silva, L., Gervásio, H. & Santos, P. 2010. Architectural concept for multi-storey apartment building with light steel framing. *Steel Construction* 3, 163-168.

OCDE, 2015 - Sustainable buildings, Disponível em: <http://www.oecd.org/env/consumptioninnovation/oecdworkonsustainablebuildings.htm>, (consulta em Abril de 2015)

OECD. Organization for economic cooperation and development. OECD Core set of indicators for environmental performance reviews. a synthesis report by the Group on the State of the Environment. *Environment Monographs*, n. 83. 1993. 39 f.

ONU, 2015 Disponível no site da ONU <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf> (consultado em Junho de 2015)

Pinheiro, M. D. 2006. *Ambiente e Construção Sustentável* Instituto do Ambiente, Amadora.

Revipack, 2015 - Reciclagem do aço atingiu 75% disponível on-line em <https://revipack.wordpress.com/category/revipack/> (Consulta em Junho 2015)

Ruukki, 2015 - Table 4. The environmental profile of welded and coated trusses and beams made of cold-formed structural tubes and sections

Secil, 2015 - Ficha técnica argamassa de assentamento - <http://www.secilargamassas.pt/pt/produtos-20121220-181446/solucoes-para-alvenarias/alvenaria-m10> (consultado em Setembro de 2015)

Swenson, 2015 - Building construction - <http://www.britannica.com/technology/building-construction> (consultado em Setembro de 2015)

Silva, 2007 - Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: Estado actual e discussão metodológica. São Paulo, 2007 – *Habitação mais sustentável*. Disponível em: http://www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br/pdf/D5_metodologias_de_avaliacao.pdf (consultado em Setembro de 2012)

Silva, V. G., 2003 - Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica. 2003. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Teixeira. J., 2009 - Dissertação Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação: Proposta de Aspectos a Avaliar em Portugal, Vila Real, 2009

Torgal, F., & Jalali, J. (2008). Tendências para a sustentabilidade dos materiais de construção. Engenharia e vida, Janeiro, pp 56-59.

UK Department for Communities and Local Government, Code for Sustainable Homes - Technical Guide, Communities and Local Government Publications, Londres, Reino Unido (2010).

Weisenberger, G, 2011 - Sustainability and the Structural Engineer

WorldSteel, 2015 - Sustainable Steel - at the core of a green economy
<https://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/bookshop/Sustainable-steel-at-the-core-of-a-green-economy/document/Sustainable-steel-at-the-core-of-a-green-economy.pdf> (consultado em Setembro de 2015)