

LVS³

Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures

DOCUMENTO DE BASE

Novembro 2014

Este documento é resultado de um projeto realizado com o apoio financeiro do *Research Fund for Coal & Steel* (RFCS)



Documento de Base

Embora se tenha tentado garantir a integridade e qualidade deste documento e todas as informações nele contidas, não é assumida qualquer responsabilidade pelos parceiros e pela editora por danos a bens ou pessoas como resultado do uso desta publicação e informações nela contidas.

A reprodução para fins não comerciais é autorizada mediante a citação da fonte e conhecimento do coordenador do projeto. A distribuição pública desta publicação requer a autorização prévia dos parceiros do projeto. Os pedidos deve ser dirigidos ao coordenador do projeto: ARCELORMITTAL BELVAL & DIFFERANGE S.A., Rue de Luxembourg 66, Esch-sur-Alzette, Luxembourg.

O presente documento diz respeito ao projeto de divulgação (RFS2-CT-2013-00016) LVS³ - *Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures*, que foi financiado pelo *Research Fund for Coal & Steel* (RFCS) da Comunidade Europeia.

ISBN 978-92-9147-124-9

Helena Gervásio, Paulo Santos, Luís Simões da Silva, Olivier Vassart, Anne-Laure Hettinger e Valérie Huet.

Impresso em CMM Portugal.

Novembro 2014

CONTEÚDO

1	INTRODUÇÃO	5
2	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EDIFÍCIOS.....	6
2.1	CONCEITO DE CICLO DE VIDA	6
2.2	METODOLOGIAS E FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS	7
2.3	QUADRO NORMATIVO DE UMA ACV	9
2.3.1	Definição do objetivo e âmbito	9
2.3.2	Análise de inventário do ciclo de vida	11
2.3.3	Avaliação de impactos do ciclo de vida	11
2.3.4	Interpretação do ciclo de vida	21
2.3.5	Exemplo ilustrativo	21
2.4	NORMAS EUROPEIAS PARA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EDIFÍCIOS.....	22
2.4.1	CEN TC350	22
2.4.2	Nível do edifício (EN 15978)	23
2.4.3	Nível de produto (EN 15804)	29
2.5	OUTRAS NORMAS E REGULAMENTOS (PRINCIPALMENTE PARA A FASE DE UTILIZAÇÃO).....	30
3	Metodologias simplificadas para avaliação de edifícios.....	32
3.1	INTRODUÇÃO	32
3.2	ALGORITMO PARA A AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA COM BASE EM MACRO-COMPONENTES.....	32
3.2.1	Etapas gerais	33
3.2.2	Alocação de materiais recicláveis	36
3.2.3	Caracterização dos macro-componentes	40
3.2.4	Exemplo ilustrativo de um conjunto de macro-componentes	42
3.3	ALGORITMO PARA QUANTIFICAÇÃO DA ENERGIA (FASE DE UTILIZAÇÃO)	46
3.3.1	Introdução	46
3.3.2	Localização do edifício e clima	46
3.3.3	Método de cálculo das necessidades energéticas	51
3.3.4	Calibração do algoritmo	75
4	Validação das metodologias adotadas	84
4.1	VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA DAS MACRO-COMPONENTES	84
4.1.1	Descrição do caso de estudo	84
4.1.2	Seleção das macro-componentes	85
4.1.3	Aplicação da metodologia das macro-componentes	87
4.1.4	Comparação com análise detalhada do ciclo de vida	88
4.2	VALIDAÇÃO DO CÁLCULO DAS NECESSIDADES ENERGÉTICAS	89
4.2.1	Dados climáticos e características térmicas do solo	89
4.2.2	Dados relativos à ocupação do edifício	90
4.2.3	Equipamentos do edifício	90

4.2.4 Vãos envidraçados e controlo dos dispositivos de sombreamento.....	91
4.2.5 Envolvente opaca	91
4.2.6 Resultados do desempenho energético do edifício	91
4.2.7 Comparação com simulação numérica avançada.....	92
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
REFERÊNCIAS	95
ANEXO 1 – BASE DE DADOS DOS MACRO-COMPONENTES.....	98

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste documento é fornecer informações detalhadas sobre o desenvolvimento e validação de metodologias de ciclo de vida que incidem sobre a avaliação do ciclo de vida de estruturas de aço. Este documento foi criado no âmbito do projeto de divulgação **LVS³: Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures** (RFS2-CT-2013-00016).

Este documento centra-se em duas metodologias complementares:

- (i) Uma metodologia de macro componentes, a qual permite a avaliação do ciclo de vida dos edifícios e/ ou componentes de construção, excluindo a quantificação de energia na fase de utilização do edifício;
- (ii) Uma metodologia centrada na fase de utilização do edifício permitindo a quantificação da energia operacional de edifícios.

Ambas as metodologias foram desenvolvidas e validadas no âmbito do projeto de investigação *SB_Steel: Sustainability of Steel Buildings* (SB_Steel, 2014).

No âmbito do projeto LVS³ ambas as metodologias foram implementadas em programas de cálculo. A primeira foi implementada pela Universidade de Coimbra (Portugal) numa aplicação informática para iPads e iPhones; a última foi implementada pela CTICM no AMECO, ferramenta desenvolvida pela ArcelorMittal e pelo CTICM.

Este documento está dividido em três partes principais. No Capítulo 2 é fornecida uma breve introdução ao conceito de ciclo de vida, seguida pela apresentação das diferentes metodologias correntes para a avaliação da sustentabilidade de edifícios e por uma descrição do enquadramento geral de análise de ciclo de vida de acordo com as normas internacionais. Depois, no Capítulo 3 é fornecida uma descrição pormenorizada dos métodos adotados para a avaliação dos impactes ambientais e para a avaliação das necessidades energéticas do edifício durante a sua vida operacional. Para finalizar, no Capítulo 4, é apresentado um caso de estudo, o qual foi utilizado para a validação das metodologias adotadas.

2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EDIFÍCIOS

2.1 Conceito de Ciclo de Vida

Uma Análise do Ciclo de Vida (ACV) tem como objetivo avaliar os potenciais impactos ambientais associados a processos ou atividades de um produto, e avaliar e implementar soluções de melhoria ambiental.

Uma LCA identifica e quantifica a utilização de materiais, as necessidades energéticas, os resíduos sólidos, as emissões atmosféricas e pela água ao longo do ciclo de vida do produto (ou seja, desde a aquisição de matéria-prima até ao fim de vida), como é ilustrado na Fig. 2.1.

As metodologias de ciclo de vida são recomendadas pela Política Integrada de Produto (COM (2003) 302) para a avaliação dos potenciais impactos dos produtos. Os potenciais impactos ambientais ocorrem em todas as fases do ciclo de vida de um edifício ou de outra construção. A principal vantagem do conceito de ciclo de vida é evitar a transferência de impactos ambientais de uma fase do ciclo de vida para outra, de uma região geográfica para outra ou de um meio ambiente (por exemplo qualidade do ar) para outro (por exemplo água ou terra) (UNEP, 2004).

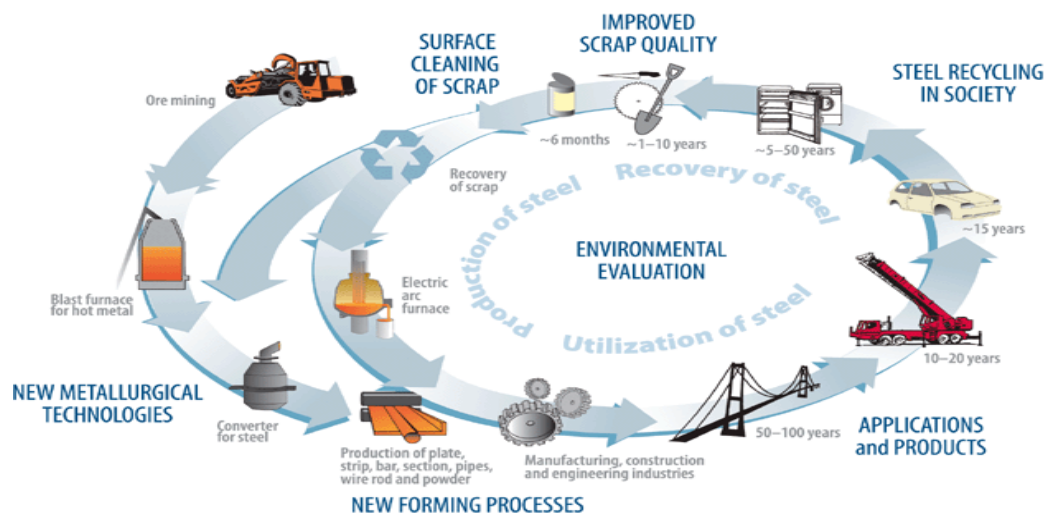


Fig. 2.1: Metodologia do ciclo de vida (créditos para stalkretsloppet.se)

Além disso, as metodologias de ciclo de vida permitem melhores escolhas a longo prazo. Os intervenientes em toda a cadeia do ciclo de vida de um produto, desde o berço ao túmulo, têm uma responsabilidade e um papel a desempenhar, tendo em conta todos os impactos revelantes no meio ambiente (UNEP, 2004). Pela quantificação de todas as emissões para a atmosfera, água e solo que ocorrem em todas as fases do ciclo de vida, uma metodologia de ciclo de vida permite identificar

os processos mais críticos durante toda a vida do produto ou sistema, aumentando assim o potencial de melhoria ambiental em toda a cadeia do produto.

No entanto, este tipo de análise tem algumas desvantagens:

- ✓ Uma ACV é geralmente demorada e dispendiosa, muitas vezes exigindo conhecimentos especializados;
- ✓ Não há uma metodologia de ACV geralmente aceitável;
- ✓ Algumas das suposições tomadas na ACV podem ser subjetivas (por exemplo, a determinação de limites, a fonte de dados e a escolha da avaliação dos impactos);
- ✓ Os resultados da ACV podem ser focados a nível nacional ou regional, consequentemente podem não ser adequados para aplicações locais;
- ✓ A precisão de um estudo de ACV depende da qualidade e disponibilidade dos dados revelantes.

As metodologias de ciclo de vida adotadas neste projeto visam superar algumas das desvantagens mencionadas acima, conforme descrito no capítulo seguinte.

Na próxima subsecção deste capítulo, será apresentada uma breve síntese das diferentes metodologias e ferramentas para a avaliação da sustentabilidade de um edifício.

2.2 Metodologias e ferramentas para avaliação da sustentabilidade de edifícios

A construção é responsável por uma percentagem significativa dos impactos ambientais no sector industrial. Durante os últimos anos, tem havido um aumento de interesse na avaliação ambiental no setor de construção.

Atualmente existem duas classes principais de ferramentas de avaliação para o setor da construção (Reijnders e Roekel, 1999):

- (i) Ferramentas qualitativas baseadas em pontuações e critérios;
- (ii) Ferramentas que utilizam análises quantitativas de *inputs* e *outputs* baseados numa metodologia de ciclo de vida.

Dentro do primeiro grupo de ferramentas existem sistemas como o LEED (nos EUA), BREAM (no Reino Unido), GBTool (*International Initiative for a Sustainable Built Environment* (iiSBE)), etc. Estes métodos, também conhecidos como sistemas de classificação, são geralmente baseados em auditorias de edifícios e na atribuição de pontuações aos parâmetros pré-definidos. Geralmente estes sistemas são utilizados para obter certificações de edifícios verdes e rótulos ecológicos. No entanto, este tipo de ferramentas está fora do âmbito deste documento, o qual centra-se no segundo grupo de ferramentas que são as análises de ciclo de vida.

Uma ACV pode ser diretamente aplicada ao setor de construção. No entanto, devido às características específicas da construção, surgem alguns problemas

adicionais na aplicação de análises de ciclo de vida correntes a edifícios e outras construções. As principais causas são as seguintes (IEA, 2001):

- (i) A esperança de vida de edifícios é longa e muitas vezes desconhecida, estando assim sujeita a um grande nível de incertezas;
- (ii) Os edifícios são muitas vezes dependentes das características do local de implantação e muitos dos impactos são locais;
- (iii) Os materiais de construção são normalmente compósitos, o que requer a coleta de um maior número de dados associados aos processos de produção;
- (iv) O consumo de energia na fase de utilização de um edifício depende muito do comportamento dos seus utilizadores e dos serviços;
- (v) Um edifício é normalmente multifuncional, dificultando a escolha de uma unidade funcional adequada;
- (vi) Os edifícios estão intimamente ligados a outros elementos do meio construído envolvente, em particular infraestruturas urbanas como estradas, redes de distribuição de águas e saneamento, instalações de tratamento e espaços verdes. Esta questão pode ser complexa quando se pretende realizar uma ACV de um edifício isolado.

Em relação à avaliação do ciclo de vida de edifícios e dos seus componentes, é feita uma distinção entre ferramentas de ACV desenvolvidas com o objetivo de avaliar os materiais e componentes de um edifício (ex. BEES (Lippiatt, 2002)) e metodologias de ACV para avaliar o edifício como um todo (ex. Athena (Trusty, 1997), Envest (Howard et al. 1999), EcoQuantum (Kortman et al., 1998)). Estas últimas são geralmente mais complexas, uma vez que o desempenho global do edifício depende da interação entre os seus componentes individuais e subsistemas, bem como da interação entre os ocupantes e o meio ambiente. A seleção de uma ferramenta adequada depende dos objetivos ambientais específicos do projeto.

A precisão e a relevância das ferramentas de ACV como auxiliar de projeto, foram analisadas num projeto desenvolvido no âmbito da rede temática Europeia PRESCO (*Practical Recommendations for Sustainable Construction*) (Kellenberger, 2005). Neste projeto, várias ferramentas de ACV foram comparadas com base em casos de estudo, tendo como objetivo principal a harmonização das ferramentas de ACV para edifícios. Outra análise comparativa relativa a ferramentas de avaliação ambiental no setor da construção pode ser encontrada em Jönsson (2000) e Forsberg & von Malmberg (2004).

Como já foi referido, este documento centra-se na ACV e em particular a sua aplicação a estruturas em aço. Nos parágrafos seguintes será introduzido o enquadramento normativo de uma ACV. Em primeiro lugar, serão apresentadas as

normas internacionais ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006), as quais estabelecem o enquadramento geral de uma ACV; em seguida serão introduzidas as recentes normas europeias para a sustentabilidade dos trabalhos de construção. É de salientar que, enquanto as primeiras têm uma aplicação geral, as normas Europeias estão focadas na avaliação de edifícios e de outros trabalhos de construção.

2.3 Quadro normativo de uma ACV

As normas internacionais ISO 14040 (2006) e 14044 (2006) estabelecem o enquadramento geral, princípios e requisitos para realização e apresentação de estudos de avaliação do ciclo de vida. De acordo com estas normas, a avaliação do ciclo de vida deve incluir a definição do objetivo e âmbito, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados. Conforme representado na Fig. 2.2, as várias fases são inter-relacionadas, requerendo por vezes um processo iterativo a fim de cumprir os objetivos e âmbito do estudo. As diferentes etapas serão detalhadas nos parágrafos seguintes.

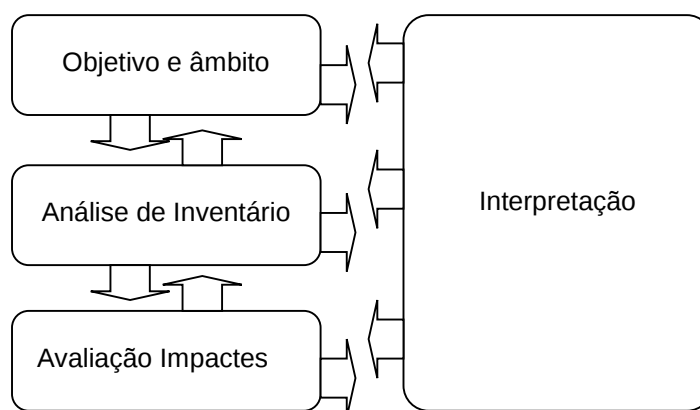


Fig. 2.2: Enquadramento geral de uma ACV (ISO 14044:2006)

2.3.1 Definição do objetivo e âmbito

O objetivo de uma ACV deve referir claramente a aplicação pretendida, as razões para a elaboração do estudo e o público-alvo, ou seja, para quem os resultados do estudo serão comunicados.

No âmbito de uma ACV as principais questões a serem consideradas e claramente definidas são a unidade funcional e as fronteiras do sistema.

2.3.1.1 Função e unidade funcional

O âmbito de uma ACV deve especificar claramente as funções do sistema em estudo. Uma unidade funcional é uma medida do desempenho dos resultados funcionais do sistema de produto.

O objetivo principal da unidade funcional é fornecer uma referência com a qual os fluxos de entrada e saída estão relacionados. Esta referência é necessária para assegurar a comparação entre resultados de diferentes análises de ciclo de vida. A comparação de resultados é particularmente crítica quando sistemas alternativos são avaliados, de forma a assegurar que as comparações são realizadas com base numa unidade comum.

2.3.1.2 Fronteiras do sistema

As fronteiras do sistema determinam quais as unidades de processo que estão incluídas na ACV. Para um material genérico, uma ACV abrange todas as fases desde a produção da matéria-prima até ao fim de vida, como representado na Fig. 2.3.



Fig. 2.3: Processos incluídos numa ACV de um material genérico

Quando a ACV contém apenas as fases iniciais de produção de materiais, esta é conhecida como uma análise do berço-ao-portão. Se for abordado o ciclo completo (desde a produção da matéria-prima até ao fim de vida) então a análise é denominada do berço-à-cova. Quando os processos de reciclagem são considerados na fase de fim de vida, evitando a produção de novos materiais a partir de matérias-primas, então a análise é denominada análise do berço-ao-berço. Vários fatores determinam os limites do sistema, incluindo a aplicação pretendida do estudo, as hipóteses adotadas, os critérios de exclusão, a limitação em termos de dados e custos e o público-alvo.

A seleção de fluxos de entrada e saída, o nível de agregação numa determinada categoria de dados e a modelação do sistema devem ser efetuados de forma a que os fluxos de entrada e saída nos limites do sistema sejam fluxos elementares.

2.3.1.3 Requisitos de qualidade de dados

A fim de cumprir o objetivo e o âmbito da análise, a norma ISO14044 indica os seguintes requisitos de qualidade para os dados:

- cobertura temporal: data da recolha de dados e período de tempo mínimo para a recolha de dados;
- cobertura geográfica: área geográfica para a qual as unidades de processo devem ser obtidas;
- cobertura tecnológica: tecnologias específicas ou combinação de tecnologias;
- precisão: verificação da variabilidade dos valores para cada grupo de dados (por exemplo: variância);
- completitude: percentagem do fluxo que é medido ou estimado;
- representatividade: avaliação qualitativa do nível em que o conjunto de dados representa a realidade;
- consistência: avaliação qualitativa da uniformidade da metodologia de estudo;
- reprodutibilidade: avaliação qualitativa do grau relativo às informações sobre a metodologia e os dados; os valores deverão permitir que qualquer interessado independente possa reproduzir os resultados apresentados no estudo;
- incerteza da informação (por exemplo: dados, modelos e hipóteses).

2.3.2 Análise de inventário do ciclo de vida

A análise de inventário envolve o procedimento de recolha de dados e cálculo de forma a quantificar as entradas e saídas revelantes do sistema. Estas entradas e saídas podem incluir a utilização de recursos e emissões para o ar, água e terra associados ao sistema.

Os dados qualitativos e quantitativos abrangidos no inventário devem ser recolhidos para cada unidade de processamento incluída nos limites do sistema.

A recolha de dados pode ser um recurso/processo intensivo. A limitação prática sobre a recolha de dados deve ser considerada no âmbito, e documentada no relatório do estudo.

2.3.3 Avaliação de impactes do ciclo de vida

2.3.3.1 Método geral de cálculo

A fase de avaliação de impactes da ACV tem como objetivo avaliar potenciais impactos ambientais, utilizando os resultados da análise de inventário de ciclo de vida (AICV) realizada previamente. Em geral, este processo envolve a associação dos dados do inventário aos impactes ambientais específicos, e é realizado em duas partes:

- (i) Elementos obrigatórios tais como classificação e caracterização;
- (ii) Elementos opcionais, como a normalização, classificação, agrupamento e ponderação.

A classificação implica uma seleção prévia das categorias ambientais, de acordo com o objetivo do estudo, e a atribuição dos resultados da AICV às categorias ambientais selecionadas. Os fatores de caracterização são em seguida utilizados, os quais representam a contribuição relativa de cada resultado do inventário para a categoria ambiental. De acordo com este método, as categorias ambientais são funções lineares, isto é, os fatores de caracterização são independentes da magnitude da intervenção no ambiente, tal como indicado pela expressão 2.1:

$$impact_{cat} = \sum_i m_i \times charact_factor_{cat,i}$$

Eq. (2.1)

onde m_i é a massa do fluxo i do inventário e $charact_factor_{cat,i}$ é o fator de caracterização do fluxo i do inventário para a categoria ambiental.

Em relação aos passos adicionais na ACV, a normalização é geralmente necessária para demonstrar até que ponto uma determinada categoria ambiental contribui para o impacto ambiental em termos globais. Após os indicadores ambientais terem sido normalizados, na etapa de ponderação são atribuídos a cada indicador fatores numéricos de acordo com a sua importância relativa. A ponderação é baseada em valor/preferências ao invés de ciências naturais, assim, a norma ISO 14044 distingue entre aplicações internas e externas, e se os resultados da ACV se destinam a ser comparados e apresentados ao público então a ponderação não deve ser utilizada.

Agrupamento é um outro passo opcional da avaliação do ciclo de vida em que as categorias ambientais são agregadas em uma ou várias categorias. Neste caso, de acordo com a ISO 14044, podem ser utilizados dois possíveis procedimentos: classificação da categoria de indicadores numa base nominal e classificação da categoria dos indicadores numa escala ordinal.

Este documento foca apenas as etapas obrigatórias da ACV; portanto, os elementos opcionais acima referidos não serão abordados neste texto.

2.3.3.2 Cálculo dos potenciais impactes ambientais

O objetivo de uma ACV é avaliar os potenciais impactes ambientais associados a entradas e saídas conhecidas. Nos parágrafos seguintes, é apresentada uma breve introdução às categorias ambientais mais comuns numa ACV, juntamente com o

método de cálculo adotado na metodologia simplificada apresentada mais à frente neste documento.

2.3.3.2.1 Potencial de aquecimento global (GWP)

O “efeito de estufa”, representado na Fig. 2.4, deve-se à radiação infravermelha (RI) e gases ativos que estão presente na atmosfera terrestre (por exemplo, H_2O , CO_2 e O_3), os quais absorvem a radiação infravermelha refletida pela superfície terrestre impedindo que a radiação escape para o espaço, provocando o aquecimento da superfície da terra e da atmosfera inferior.

A concentração destes gases, também conhecida como Gases de Efeito de Estufa (GEE), tem vindo a aumentar desde o período industrial, e está a aumentar o efeito de estufa na Terra, causando um aumento da temperatura da superfície terrestre dando origem a preocupações tais como as potenciais alterações climáticas.



Fig. 2.4: Aquecimento Global (EPS, 2009)

Nem todos os GEE são iguais. Enquanto o CO_2 é o GEE mais comum, há uma série de outros gases que contribuem para as alterações climáticas da mesma forma que o CO_2 . O Efeito de diferentes GEE é expresso utilizando o Potencial de Aquecimento Global (GWP).

O GWP é uma medida relativa à quantidade de CO_2 que é necessária libertar para ter o mesmo efeito radioativo que a libertação de 1 kg de um GEE num determinado intervalo de tempo. O GWP é uma forma de quantificar o potencial impacto de um gás específico no aquecimento global.

GWP de diversos gases foram calculados pelo Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC, 2007) para três períodos de tempo (20, 100 e 500 anos). No Quadro 2.1 são indicados os GWP para os três gases com efeito de estufa principais.

Quadro 2.1 – GWP para três períodos de tempo (em kg CO₂ eq./kg) (IPCC, 2007)

	20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1	1	1
Metano (CH ₄)	62	25	7
Óxido nitroso (N ₂ O)	275	298	156

Assim, de acordo com a expressão (2.2), a determinação do indicador “Aquecimento Global” é dado por:

$$GlobalWarming = \sum_i GWP_i \times m_i$$

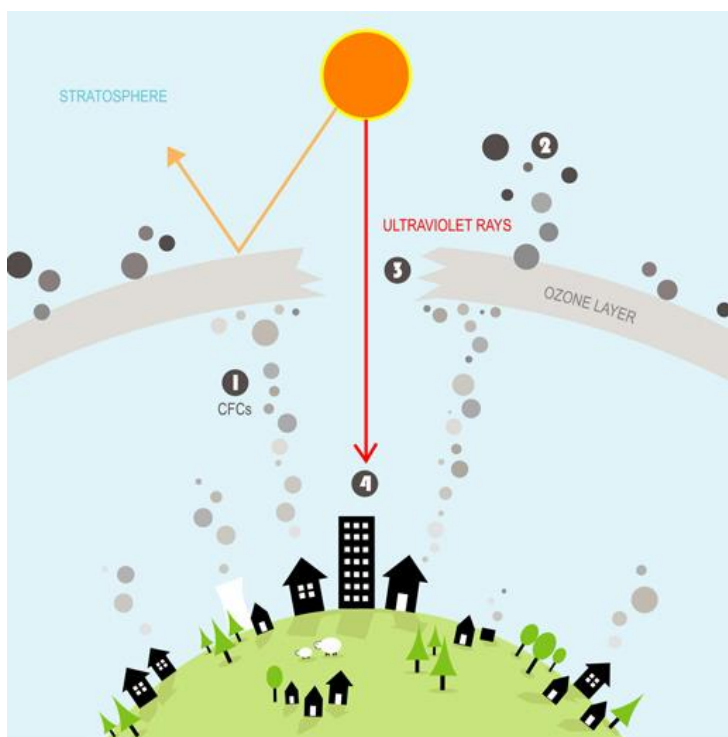
Eq. (2.2)

onde, m_i é a massa de substância i libertada (em kg).

Este indicador é expresso em *kg de CO₂ equivalente*. Na metodologia adotada, apenas é considerado o período de tempo de 100 anos.

2.3.3.2 Potencial de depleção da camada de ozono (ODP)

Os gases de depleção do ozono causam danos no ozono estratosférico ou “camada de ozono” pela libertação de moléculas de radicais livres, as quais originam a destruição do ozono (O₃).



Os danos na camada de ozono reduzem a capacidade para prevenir a entrada de radiação ultravioleta (UV) na atmosfera da terra, aumentando a quantidade de luz UVB cancerígena que atinge a superfície terrestre.

Isto provoca problemas de saúde nos humanos tais como cancro de pele e cataratas, e danos causados pelo sol nos animais e vegetações.

Fig. 2.5: Destruição do ozono (Blendspace, 2013)

Os gases com maior potencial de depleção do ozono são CFCs, HCFCs e halogéneos.

A crescente preocupação a nível mundial com a camada de ozono, na década de 1980, conduziu a um esforço para conter a depleção da camada de ozono, que culminou com o protocolo de Montreal proibindo muitos dos gases poluentes que destroem o ozono.

O potencial de depleção do ozono (ODP) é expresso como a perda global de ozono de uma substância comparado com a perda global de ozono devido à substância de referência CFC-11. A unidade de referência do ODP é o kg equivalente de clorofluorcarbono – 11 (CFC-11). O modelo de caracterização foi desenvolvido pela Organização Meteorológica Mundial, o qual define o potencial de depleção do ozono para diferentes gases. Assim, os ODPs para algumas substâncias, assumindo um regime estacionário, são apresentados no Quadro 2.2 (Heijungs et al., 1999).

Quadro 2.2 – ODP para algumas substâncias (em kg CFC-11 eq./kg) (Heijungs et al., 1999)

	Regime estacionário (t ≈:)
CFC-11	1
CFC-10	1.2
Halon 1211	6.0
Halon 1301	12.0

Assim, a determinação do indicador da depleção da camada de ozono é dada por,

$$Ozone\ Depletion = \sum_i ODP_i \times m_i$$

Eq. (2.3)

em que, m_i massa da substância i libertada (em kg). Este indicador é expresso em kg de CFC-11 equivalente.

2.3.3.2.3 Potencial de acidificação (AP)

A acidificação é um processo no qual a poluição do ar (principalmente de amoníaco (NH_3), dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de azoto (NO_x)) é convertida em substâncias ácidas, tal como ilustrado na Fig. 2.6. Compostos acidificantes emitidos para a atmosfera são transportados pelo vento e depositados como partículas ácidas, chuva ácida ou neve. Quando esta chuva cai, muitas vezes a uma distância considerável a partir do local de origem do gás, provoca danos no ecossistema a vários níveis, dependendo da natureza do ecossistema.

O potencial de acidificação é medido utilizando a capacidade de uma substância para libertar iões de H^+ , que é a causa da acidificação, ou pode ser medido em relação a uma libertação equivalente de Dióxido de Enxofre (SO_2).

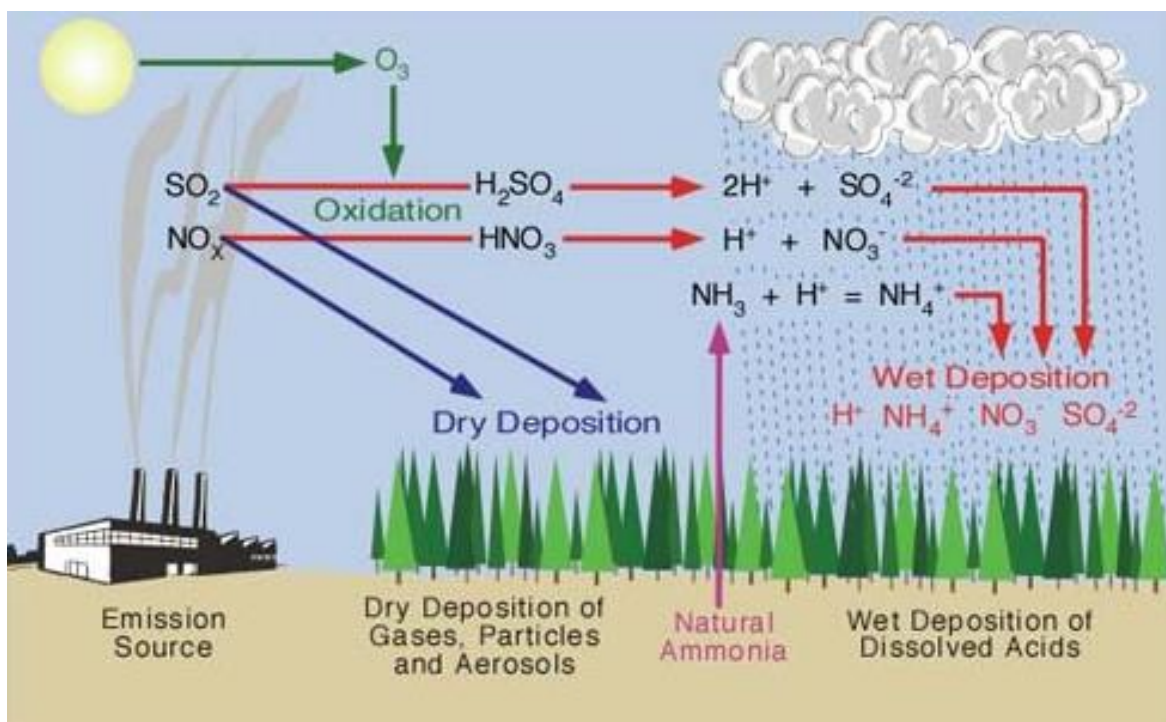


Fig. 2.6: Potencial de acidificação (The energy library, 2013)

Os fatores de caracterização adotados para este trabalho são baseados no modelo RAINS-LCA (Huijbregts, 2001). Assim, os fatores de caracterização médios europeus de acidificação são apresentados no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Potenciais de acidificação (AP) (em kg SO2 eq.) (Huijbregts, 2001)

	Amoníaco (NH3)	Óxido de nitrogênio (NOx)	Dióxido de Enxofre (SO2)
APi	1.60	0.50	1.20

Assim, a determinação do indicador de acidificação é dada por,

$$Acidification = \sum_i AP_i \times m_i$$

Eq. (2.4)

onde, m_i é a massa da substância i libertada (em kg). Este indicador é expresso em kg de SO₂ equivalentes.

2.3.3.2.4 Potencial de Eutrofização (EP)

Diversos nutrientes, tais como os nitratos e fosfatos, são geralmente adicionados ao solo através do processo de fertilização para estimular o crescimento de plantas e produtos agrícolas. Estes nutrientes são essenciais para a vida, mas quando eles acabam em áreas sensíveis de água potável ou terrestres, esta fertilização involuntária pode resultar em excesso de produção de plantas ou algas, que por

sua vez pode conduzir à asfixia de outros organismos durante o seu processo de apodrecimento. Portanto, a eutrofização ou enriquecimento de nutrientes, ilustrado na Fig. 2.7, pode ser classificado como um sobre enriquecimento dos cursos de água. A sua ocorrência pode levar a danos nos ecossistemas, aumentando a mortalidade da fauna e flora e à perda de espécies dependentes de ambientes com poucos nutrientes. Isto leva a uma redução global na biodiversidade destes ambientes e tem efeitos devastadores em animais não aquáticos e seres humanos que dependem desses sistemas.

A eutrofização é medida utilizando como unidade de referência o kg de nitrogênio ou fosfato equivalente. Como tal, é uma medida do grau em que uma substância na água causa proliferação de algas, com nitrogênio ou fosfato como substância de referência. Os principais contribuintes para a eutrofização são os compostos de nitrogênio, como nitratos de amoníaco, ácido nítrico e compostos fosfóricos, incluindo fosfatos e ácido fosfórico.

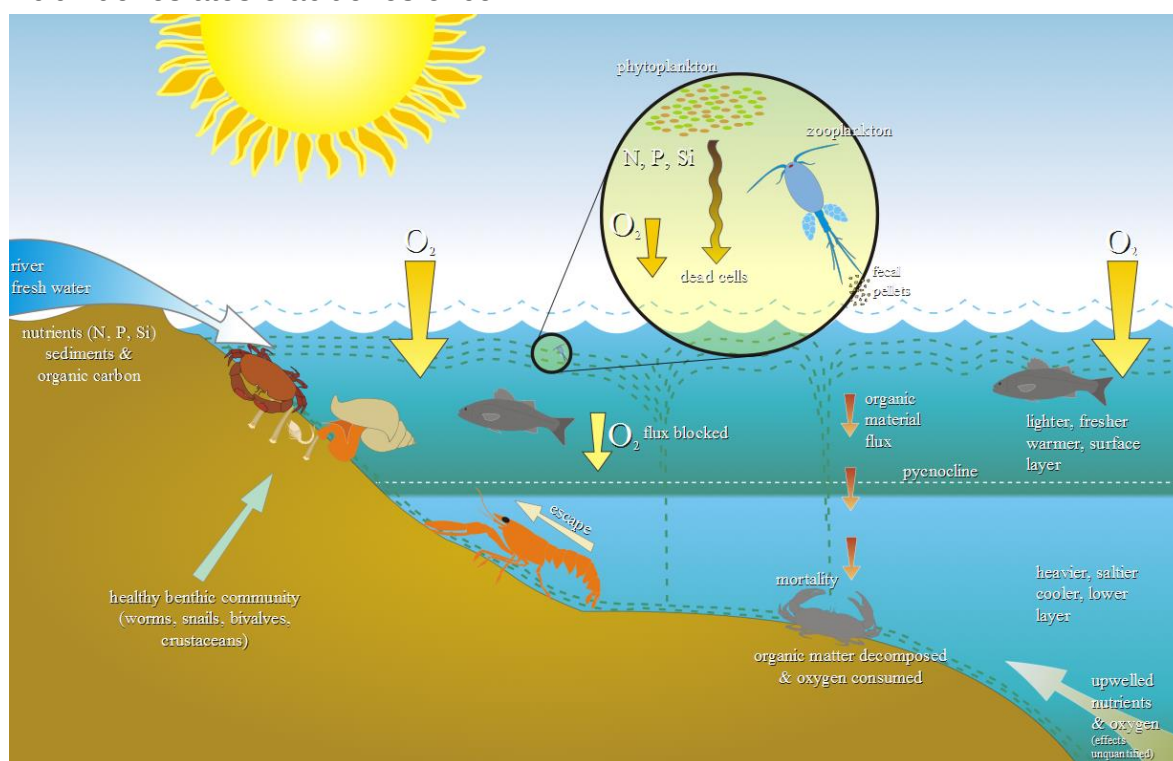


Fig. 2.7: Potencial de eutrofização (Wikipedia, 2013a)

Tomando o fosfato como substância de referência, os fatores de caracterização de algumas substâncias, são indicados no Quadro 2.4 (Heijungs et al., 1999).

Quadro 2.4 – Potenciais de eutrofização (em kgPO_4^{3-} eq.) (Heijungs et al., 1999)

	Amoníaco (NH_3)	Óxido de nitrogênio (NO_x)	Nitrato (N)	Fosfato (P)
EPI	0.35	0.13	0.10	1.00

Desta forma, o indicador de eutrofização é dado por,

$$Eutrofication = \sum_i EP_i \times m_i$$

Eq. (2.5)

onde, m_i (kg) é a massa da substância i libertada para o ar, água e solo. Este indicador é expresso em $kg PO_4^{3-}$ equivalentes.

2.3.3.2.5 Potencial de formação de ozono fotoquímico (POCP)

Em atmosferas que contêm óxidos de nitrogênio (NO_x), um poluente comum, e compostos orgânicos voláteis (COV), o ozono e outros poluentes do ar podem ser criados na presença de luz solar. Embora o ozono seja essencial na atmosfera superior para proteger contra os raios ultravioleta (UV), o ozono a níveis mais baixos da atmosfera tem diversos impactos tais como danos na agricultura e aumento da incidência da asma e outras doenças respiratórias.

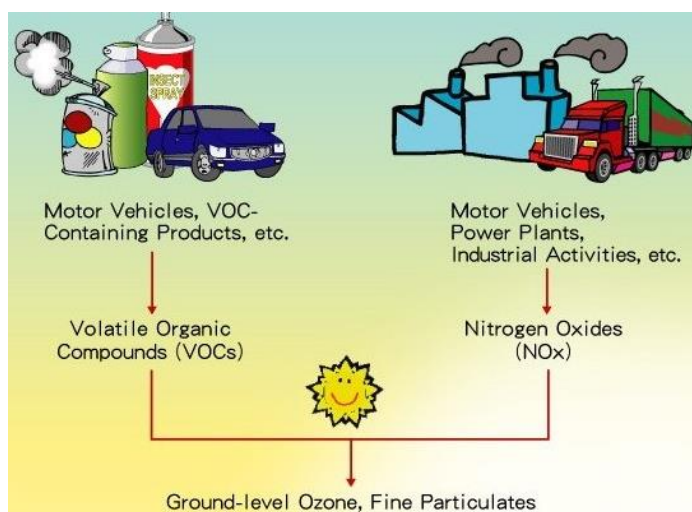


Fig. 2.8: Potencial de formação de ozono troposférico (EPD, 2013)

O nevoeiro fotoquímico (ou *smog*) é a manifestação mais comum dos efeitos de elevados níveis de gases que contribuem para o POCP que ocorre em grandes cidades como Los Angeles e Pequim. A principal fonte de NO_x é a queima de combustíveis, enquanto os COV são emitidos normalmente a partir de solventes utilizados em tintas e revestimentos.

A categoria ambiental de POCP é uma medida da capacidade relativa de uma substância produzir ozono na presença de NO_x e luz solar. O POCP é expresso utilizando o etileno como referência. Os fatores de caracterização (POCP) foram desenvolvidos com base no modelo da Comissão Económica das Nações Unidas para a Europa (UNECE).

Os POCP foram calculados para dois cenários (Heijungs et al., 1999):

- (i) Concentração de NO_x relativamente elevada;
- (ii) Concentração de NO_x relativamente baixa.

Ambos os fatores de caracterização são indicados no Quadro 2.5 para algumas substâncias.

Quadro 2.5 – POCP para diferentes concentrações de NO_x e para algumas substâncias (em kg C_2H_4 eq./kg) (Heijungs et al., 1999)

	Elevada- NO_x POCP	Baixo- NO_x POCP
Acetaldeído (CH_3CHO)	0.641	0.200
Butano (C_4H_{10})	0.352	0.500
Monóxido de carbono (CO)	0.027	0.040
Acetileno ou Etino (C_2H_2)	0.085	0.400
Metano (CH_4)	0.006	0.007
Óxido de nitrogênio (NO_x)	0.028	Sem dados
Propano (C_3H_8)	1.123	0.600
Óxido de enxofre (SO_x)	0.048	Sem dados
Tolueno ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$)	0.637	0.500

Assim, a determinação do indicador da formação dos foto-oxidantes é dada por,

$$\text{Photo-oxidant formation} = \sum_i \text{POCP}_i \times m_i$$

Eq. (2.6)

onde, m_i é a massa da substância i libertada (em kg). Este indicador é expresso em *kg de etileno (C_2H_4) equivalente*.

Na metodologia adotada, apenas os fatores de caracterização relativos ao cenário com elevada concentração de NO_x são considerados.

2.3.3.2.6 Potencial de depleção de recursos abióticos

Os indicadores de depleção de recursos abióticos pretendem representar a decrescente disponibilidade de recursos não renováveis como resultado da sua extração e consequente escassez.

São considerados dois tipos de indicadores:

- Depleção de elementos abióticos que tem em consideração a extração de elementos escassos (e dose seus minérios);
- Depleção de energias/combustíveis fósseis que tem em consideração a utilização de energias fósseis como combustível ou matéria-prima.

O potencial de depleção de recursos abióticos não fósseis ($\text{ADP}_{\text{elements}}$) é determinado para cada extração de elementos com base na reserva restante e na taxa de extração. O ADP é baseado na relação “Produção/Reserva final”, que é comparada com o elemento de referência, neste caso Antimônio (Sb) (Guinée et al., 2002).



Fig. 2.9: Potencial de depleção de recursos abióticos (Wikipedia, 2013b)

Portanto, o potencial de depleção do recurso abiótico i ($ADP_{\text{element } i}$) é dado pelo rácio entre a quantidade de recurso extraído e as reservas recuperáveis desse recurso, expresso em kg de Antimónio, e os fatores de caracterização de alguns recursos são indicados no Quadro 2.6.

Quadro 2.6 – Potencial de depleção de recursos abióticos para alguns elementos (em Sb eq./kg) (Guinée et al., 2002)

Recurso	ADP_{elements}
Alumínio	1.09E-09
Cádmio	1.57E-01
Cobre	1.37E-03
Ferro	5.24E-08
Chumbo	6.34E-03

Assim, a determinação do indicador do depleção de recursos abióticos (elementos) é dada por,

$$Abiotic\ Depletion = \sum_i ADP_i \times m_i$$

Eq. (2.7)

onde, m_i é a quantidade de recurso i extraído (em kg). Este indicador é expresso em kg de antimónio (recurso de referência).

Os combustíveis fósseis foram inicialmente quantificados da mesma forma, mas desde 2010 que têm sido calculados de forma diferente. Neste caso, é considerada uma medida absoluta, baseada no teor de energia dos combustíveis fósseis

(Guinée et al., 2002). Esta quantificação não tem em consideração a escassez relativa dos diferentes combustíveis fósseis, já que estes são recursos em grande parte transferíveis, mas na realidade estes só variam 17% entre o carvão (o mais comum) e gás (o mais escasso). O indicador de depleção de recursos abióticos fósseis é expresso em MJ.

2.3.4 Interpretação do ciclo de vida

A interpretação é o último passo de uma ACV e nesta fase os resultados da análise de inventário e da avaliação de impactos são interpretados. O objetivo principal desta fase é formular as conclusões que podem ser retiradas dos resultados da ACV. Além disso, os resultados das fases anteriores da ACV e as escolhas realizadas durante todo o processo devem ser analisadas, nomeadamente os pressupostos considerados, os modelos, os parâmetros e os dados utilizados na ACV devem ser consistentes com o objetivo e o âmbito do estudo.

2.3.5 Exemplo ilustrativo

Para ilustrar as diferentes fases da avaliação do ciclo de vida, nos parágrafos seguintes é apresentado um breve exemplo.

Considere-se a produção de 1 kg de um material genérico para isolamento para o qual, na fase de inventário, foram obtidas as seguintes emissões (Quadro 2.7):

Quadro 2.7 – Emissões obtidas na produção de 1 kg de um material de isolamento genérico

Emissões	Valor (in kg)
Monóxido de carbono (CO)	0.12
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.60
Amoníaco (NH ₃)	0.01
Metano (CH ₄)	0.05
Óxidos de nitrogénio (NO _x)	1.02
Fosforo (P)	0.35
Dióxido de enxofre (SO ₂)	0.10

Na fase seguinte de avaliação de impactos, considere-se que as categorias ambientais selecionadas foram as seguintes:

- (i) Potencial de Aquecimento Global (GWP),
- (ii) Potencial de acidificação (AP),
- (iii) Potencial de eutrofização (EP).

Os fatores de caracterização para cada emissão e para cada categoria ambiental, são apresentados no Quadro 2.8.

Quadro 2.8 – Fatores de caracterização para as categorias ambientais selecionadas

	GWP	AP	EP
	(kg CO₂ eq.)	(kg SO₂ eq.)	(kg PO₄- eq.)
Monóxido de carbono (CO)	1.53	-	-
Dióxido de carbono (CO ₂)	1.00	-	-
Amônia (NH ₃)	-	1.60	0.35
Metano (CH ₄)	25.00	-	-
Óxidos de nitrogénio (NO _x)	-	0.50	0.13
Fosfato (P)	-	-	3.06
Dióxido de enxofre (SO ₂)	-	1.20	-

Assim, os resultados para cada categoria ambiental são obtidos pelo produto da massa de cada emissão pelo respetivo fator de caracterização (por exemplo, para GWP: $0.12 \times 1.53 + 0.60 \times 1.00 + 0.05 \times 23 = 1.93$ kg CO₂ eq.). Os resultados encontram-se indicados no Quadro 2.9.

Quadro 2.9 – Os resultados finais para as categorias ambientais selecionadas

GWP (kg CO₂ eq.)	AP (kg SO₂ eq.)	EP (kg PO₄- eq.)
1.93	0.65	1.21

2.4 Normas europeias para avaliação do ciclo de vida de edifícios

2.4.1 CEN TC350

O Comité Europeu de Normalização (CEN) foi mandatado em 2004 para o desenvolvimento de métodos normalizados de aplicação horizontal para avaliação do desempenho ambiental de edifícios.

O CEN TC350 expandiu o mandato para a avaliação da sustentabilidade e optou por uma metodologia de ciclo de vida como base para toda a avaliação. Assim, este Comité Técnico (CT) desenvolveu normas, relatórios técnicos e especificações técnicas para disponibilizar indicadores e metodologias para a avaliação da sustentabilidade de edifícios.

O enquadramento normativo para avaliação da sustentabilidade de edifícios, de acordo com a série de normas CEN-TC 350, abrange aspetos ambientais, económicos e sociais (EN 15643-1, 2010), tal como ilustrado na Fig. 2.10.

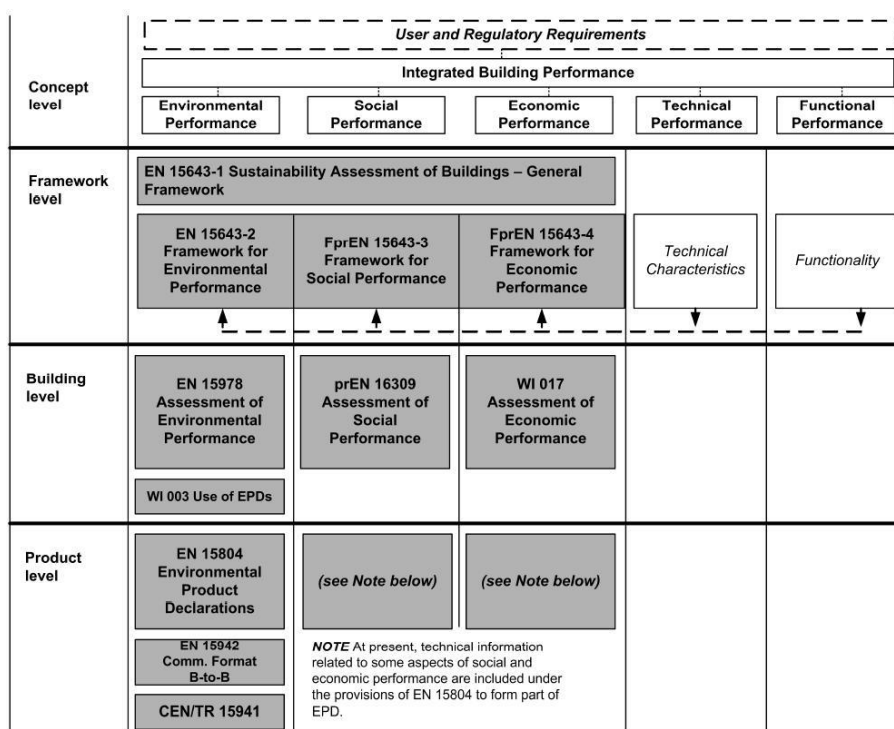


Fig. 2.10: Programa de trabalho do CEN TC350 (EN 15643-1, 2010)

Como pode ser observado na Fig. 2.10, o CT funciona em quatro níveis (conceito/enquadramento/edifício/produto) e em cinco tipos de performances (ambiental/social/económica/técnica/funcional). A avaliação ambiental é o aspeto mais avançado até ao momento, com normas desenvolvidas ao nível do edifício e ao nível do produto.

A metodologia de ciclo de vida adotada neste trabalho segue as duas normas relativas à avaliação de impactos ambientais de edifícios: a EN 15978 (2011) e a EN 15804 (2012) ao nível do edifício e produto, respetivamente.

2.4.2 Nível do edifício (EN 15978)

A EN 15978 (2011) fornece regras de cálculo para a avaliação do desempenho ambiental de edifícios novos e existentes, com base numa metodologia de ciclo de vida. Destina-se a apoiar o processo de tomada de decisão e documentar a avaliação do desempenho ambiental de um edifício.

Para uma visão completa da metodologia, a leitura da norma é recomendada; esta secção foca-se nos seguintes aspetos: equivalente funcional, fases do ciclo de vida e indicadores ambientais.

2.4.2.1 Equivalente funcional

O equivalente funcional é definido pela norma como “os requisitos funcionais e/ou requisitos técnicos para um edifício ou sistemas instalados (parte do edifício) para utilização como base de comparação”. Assim, a comparação entre edifícios e sistemas só é aceitável quando as funções consideradas são as mesmas. Os seguintes aspetos devem ser incluídos no equivalente funcional de um edifício:

- (i) Tipologia do edifício (por exemplo residencial, escritórios, etc.);
- (ii) Padrão de utilização;
- (iii) Requisitos técnicos e funcionais mais revelantes;
- (iv) Vida útil.

2.4.2.2 Etapas do ciclo de vida

As fronteiras do sistema estabelecem o âmbito da análise de ciclo de vida, ou seja, determina os processos que são considerados na análise. Tal como referido na norma, a avaliação ambiental “inclui todos os processos a montante e a jusante necessários para estabelecer e manter a função(ões) do edifício”.

Para avaliar o desempenho ambiental ao nível do edifício são necessárias informações referentes aos materiais integrados no edifício. Esta informação deve ser consistente, e portanto, deve seguir as regras definidas na EN 15804 (ver próxima subsecção).

Nesta norma o ciclo de vida de um edifício é representando por um conceito modular, tal como ilustrado na Fig. 2.11.

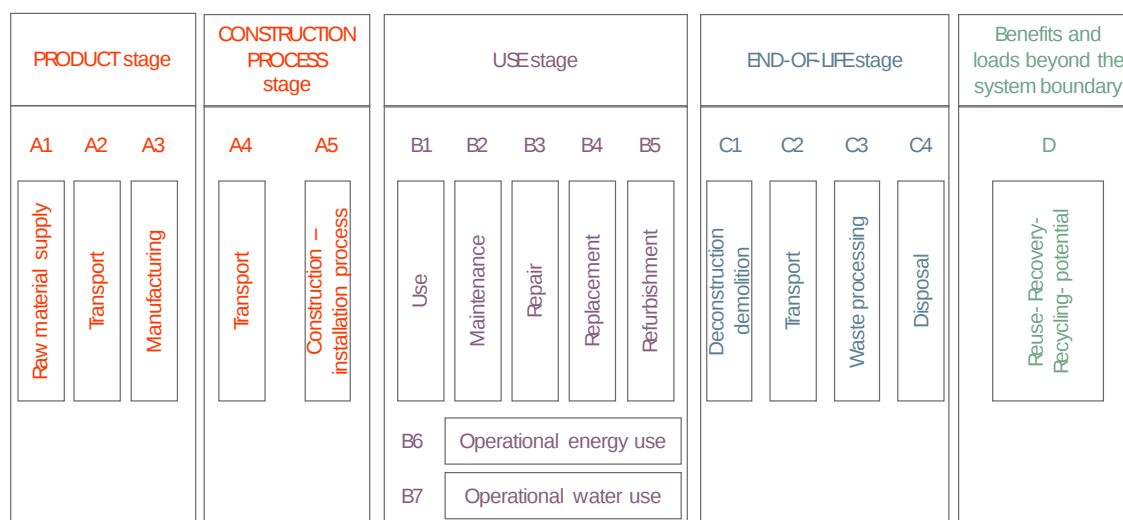


Fig. 2.11: Módulos de um ciclo de vida de um edifício (EN 15978, 2011)

A fase de produção inclui os módulos A1 a A3, a fase de construção inclui os módulos A4 e A5, a fase de utilização inclui os módulos B1 a B7, a fase de fim de vida inclui os módulos C1 a C4, e o módulo D inclui os benefícios e cargas ambientais para além dos limites do sistema. Nos parágrafos seguintes, é apresentada uma breve descrição para cada uma das fases e respetivos módulos.

2.4.2.2.1 Fase de produção

A fase de produção inclui os módulos de informação A1 a A3. O limite do sistema com a natureza é definido de forma a incluir os processos que produzem os materiais e fornecimento de energia no sistema, seguido dos processos de fabricação e transporte até ao portão da fábrica, bem como o tratamento de todos os resíduos provenientes desses processos. Esta fase inclui:

- ✓ A1 – Extração e processamento de matérias-primas; reutilização de produtos ou materiais de um sistema anterior; processamento de materiais secundários utilizados na fabricação do produto;
- ✓ A2 – Transporte até ao portão da fábrica e transporte interno;
- ✓ A3 – Produção de materiais auxiliares, fabricação de produtos e subprodutos, e fabricação de embalagens.

2.4.2.2.2 Fase de construção

A fase do processo de construção inclui os seguintes módulos de informação:

- ✓ A4 – Transporte a partir do portão da fábrica para o local de construção;
- ✓ A5 – A instalação do produto no edifício incluindo a fabricação e transporte de materiais auxiliares, a energia ou água necessárias para a instalação ou operação no local de construção. Também inclui operações locais.

2.4.2.2.3 Fase de utilização

A fase de utilização inclui dois tipos de módulos de informação. Módulos relacionados com a estrutura do edifício (módulos B1-B5) e módulos relacionados com a operação do edifício (módulos B6-B7).

- ✓ B1 – A utilização do produto instalado em termos de quaisquer emissões para o ambiente decorrente dos componentes do edifício e da sua construção durante a sua utilização regular (i.e. antecipada).
- ✓ B2 – A manutenção abrange a combinação de todas as medidas técnicas e administrativas associadas, previstas durante a vida útil, para manter o produto instalado num edifício, num estado no qual possa realizar o seu desempenho funcional e técnico, bem como preservar as qualidades estéticas do produto;

- ✓ B3 – A reparação engloba a combinação de todas as ações técnicas e administrativas associadas durante a vida útil associadas ao tratamento corretivo ou reativo de um produto de construção ou das suas partes instaladas no edifício ou na obra de construção para o repor num estado aceitável que lhe permita assegurar os seus desempenhos funcionais e técnicos requeridos;
- ✓ B4 – A substituição abrange a combinação de todas as ações técnicas e administrativas durante a vida útil associadas ao retorno de um produto de construção a um estado que lhe permita assegurar os seus desempenhos funcionais ou técnicos requeridos, pela substituição de um elemento de construção completo;
- ✓ B5 – A reabilitação cobre a combinação de todas as ações técnicas e administrativas durante a vida útil de um produto associadas ao retorno de um edifício ou outra obra de construção, ou das suas partes, a um estado que lhe permite assegurar as funções requeridas;
- ✓ B6 – A energia consumida com o funcionamento dos sistemas técnicos integrados do edifício, assim como os aspetos e impactes ambientais que lhe estão associados, incluindo o processamento e o transporte dos resíduos gerados no estaleiro pela utilização da energia;
- ✓ B7 – Água consumida pelos sistemas técnicos integrados do edifício em fase operacional, assim como os aspetos e impactes ambientais associados considerando o ciclo de vida da água, incluindo a produção e o transporte da água e tratamento das águas residuais.

2.4.2.2.4 Fase de fim de vida

A fase de fim de vida do edifício inclui todos as saídas que atingiram o estado de “fim-de-resíduo, resultantes da desmontagem, desconstrução ou demolição do edifício. A fase de fim de vida inclui os módulos de informação opcional seguintes:

- ✓ C1 Desconstrução, incluindo a desmontagem ou a demolição, do produto do edifício, incluindo a classificação inicial dos materiais no estaleiro;
- ✓ C2 Transporte do produto descartado no âmbito do processamento dos resíduos, por exemplo para uma central de reciclagem, e transporte dos resíduos, por exemplo para a sua eliminação final;
- ✓ C3 Processamento dos resíduos, por exemplo recolha de frações de resíduos provenientes da desconstrução e processamento dos resíduos de fluxos de materiais destinados a uma reutilização, a uma reciclagem e a uma recuperação de energia.
- ✓ C4 Eliminação dos resíduos incluindo o pré-tratamento físico e a gestão do estaleiro de eliminação.

2.4.2.2.5 Benefícios e cargas além das fronteiras do sistema de produto

O módulo de informação D inclui todos os benefícios e cargas líquidos resultantes de produtos reutilizáveis, materiais recicláveis e/ou transportadores de energia saindo de um sistema de produto, por exemplo, sob a forma de materiais ou combustíveis secundários

2.4.2.3 Avaliação do impacto de ciclo de vida

Na fase de avaliação do impacto do ciclo de vida são consideradas duas categorias ambientais de acordo com a norma EN 15978: indicadores ambientais que descrevem os impactos ambientais e indicadores ambientais que descrevem os fluxos de entrada e de saída. Estes dois tipos de indicadores são descritos nos parágrafos seguintes.

2.4.2.3.1 Indicadores que descrevem os impactos ambientais

Seis indicadores são fornecidos para a descrição dos impactos sobre o meio ambiente, os quais são indicados no Quadro 2.10.

Quadro 2.10 – Indicadores que descrevem os impactos ambientais (EN15978)

Indicador	Unidade
Potencial de aquecimento global, GWP	kg CO ₂ equiv.
Potencial de depleção da camada de ozono estratosférico, ODP;	kg CFC 11 equiv.
Potencial de acidificação do solo e da água; AP;	kg SO ₂ ⁻ equiv.
Potencial de eutrofização, EP;	kg (PO ₄) ³⁻ equiv.
Potencial de criação fotoquímica de ozono, POCP;	kg Eteno equiv.
Potencial de depleção de recursos abióticos para elementos; ADP_elements	kg Sb equiv.
Potencial de depleção de recursos abióticos para combustíveis fósseis; ADP_fossil fuels	MJ

Estes indicadores foram já apresentados nas secções anteriores deste documento.

2.4.2.3.2 Indicadores que descrevem os fluxos de entrada e de saída

Adicionalmente são considerados indicadores para descrever os fluxos de entrada e de saída. Os indicadores que descrevem a utilização de recursos são apresentados no Quadro 2.11. Estes indicadores descrevem a utilização de energia primária, de recursos hídricos renováveis e não renováveis, e são calculados diretamente a partir do fluxo de entrada da análise de inventário.

Quadro 2.11 – Indicadores que descrevem a utilização de recursos (EN15978)

Indicador	Unidades
Utilização de energia primária renovável, com exclusão dos recursos de energia primária renováveis utilizados como matérias-primas	MJ, poder calorífico inferior
Utilização dos recursos de energia primária renováveis utilizados como matérias-primas	MJ, poder calorífico inferior
Utilização total dos recursos de energia primária renováveis (energia primária e recursos de energia primária utilizados como matérias-primas)	MJ, poder calorífico inferior
Utilização de energia primária não renovável, com exclusão dos recursos de energia primária não renováveis utilizados como matérias-primas	MJ, poder calorífico inferior
Utilização dos recursos de energia primária não renováveis utilizados como matérias-primas	MJ, poder calorífico inferior
Utilização total dos recursos de energia primária não renováveis (energia primária e recursos de energia primária utilizados como matérias-primas)	MJ, poder calorífico inferior
Utilização de material secundário	kg
Utilização de combustíveis secundários renováveis	MJ, poder calorífico inferior
Utilização de combustíveis secundários não renováveis	MJ, poder calorífico inferior
Utilização líquida de água doce	m ³

Com base também nos resultados da análise de inventário, são ainda considerados os indicadores que descrevem as categorias de resíduos e fluxos de saída, os quais são apresentados no Quadro 2.12 e

Quadro 2.13, respetivamente. Além disso, para a quantificação destes indicadores, são estabelecidos cenários para os processos e fases apropriadas.

Quadro 2.12 – Indicadores que descrevem as categorias de resíduos (EN15978)

Indicador	Unidades
Resíduos perigosos eliminados	kg
Resíduos não perigosos eliminados	kg
Resíduos radioativos eliminados	kg

Quadro 2.13 – Outros indicadores que descrevem os fluxos de saída (EN15978)

Indicador	Unidades
Componentes destinados a reutilização	kg
Materiais destinados a reciclagem	kg
Materiais destinados à recuperação de energia	kg
Energia fornecida ao exterior	MJ por vetor energético

2.4.3 Nível de produto (EN 15804)

Ao nível do produto, a norma EN 15804 define as regras da categoria de produto para desenvolver as Declarações Ambientais de Produto (DAP) para produtos de construção. As DAPs são declarações ambientais do Tipo III, de acordo com a ISO 14025 (2006) e são normalmente uma boa fonte de dados ambientais para as análises de ciclo de vida. Uma DAP é um tipo particular de ACV, realizado recorrendo a um conjunto definido de Regras para a Categoria de Produto (RCP), como ilustrado na Fig. 2.12. Diferentes RCPs podem ser utilizadas para produtos de construção (CPA, 2012), no entanto as DAP só são comparáveis se tiverem como base a mesma RCP.



Fig. 2.12: O processo DAP é descrito em CPA (2012)

O objetivo do conjunto de regras básicas estabelecido pela EN 15804 é fornecer ao avaliador informação consistente, comparável e fiável permitindo a agregação ao nível do edifício.

As regras de cálculo da ACV ao nível do material são semelhantes às descritas anteriormente ao nível do edifício. O âmbito de uma ACV realizada ao nível do material pode ser o mesmo ao descrito ao nível do edifício (ver Fig. 2.11). No entanto, na EN 15804 apenas é obrigatório declarar a fase de produção (módulos A1 a A3), a declaração de outras fases do ciclo de vida é opcional.

Da mesma forma, nesta norma, a unidade funcional estabelece a referência pela qual os fluxos de materiais dos produtos da construção resultantes da ACV são normalizados. No entanto, nesta norma, é fornecida uma unidade adicional: a unidade declarada. A unidade declarada pode ser utilizada em vez da unidade funcional quando a função do produto ao nível do edifício não é declarada ou é desconhecida.

2.5 Outras normas e regulamentos (principalmente para a fase de utilização)

Como foi mencionado anteriormente, a EN15978 (2011) atribui num sistema modular todos os potenciais impactes ambientais relativos ao ciclo de vida de um edifício. Neste sistema, o Módulo B6 corresponde à energia operacional, ou seja, a energia utilizada por sistemas técnicos integrados no edifício durante a sua fase de operação. Assim, este módulo inclui o consumo de energia para arrefecimento e aquecimento de espaços, para produção de águas quentes sanitárias (AQS), ventilação, iluminação e energia auxiliar utilizada por bombas, controlo e automação. No entanto, a EN15978 não providencia as regras para o cálculo da energia; mas refere que deve cumprir a Diretiva de Desempenho Energético de Edifícios (EPBD) (EU 2002) e as suas implementações nacionais.

A Diretiva relativa ao desempenho energético de edifícios é a principal ferramenta ao nível da UE para se obter o desempenho energético dos edifícios. As quatro questões-chave da EPBD a serem aplicadas pelos Estados-Membros são as seguintes (EU 2002):

- ✓ Metodologia comum para o cálculo do desempenho energético dos edifícios;
- ✓ Padrões mínimos para o desempenho energético de edifícios novos e edifícios já existentes que sejam submetidos a grandes obras de renovação;
- ✓ Os sistemas para certificação energética de edifícios novos ou existentes, e para edifícios públicos, apresentação dessa certificação e outra informação relevante;
- ✓ Inspeções regulares de caldeiras e sistemas centrais de ar-condicionado em edifícios, e complementarmente avaliação das instalações de aquecimento quando as caldeiras já tenham mais de 15 anos de idade.

A reformulação da EPBD (em 2010) estabelece um quadro legal para atualizar os códigos nacionais dos edifícios, e apresenta a política de edifícios com energia próxima de zero, de modo a que todos os novos edifícios tenham consumos de energia próximos de zero a partir de 2020 (por exemplo, características fundamentais para um edifício com “zero” emissão de carbonos são apresentadas na Fig. 2.13).

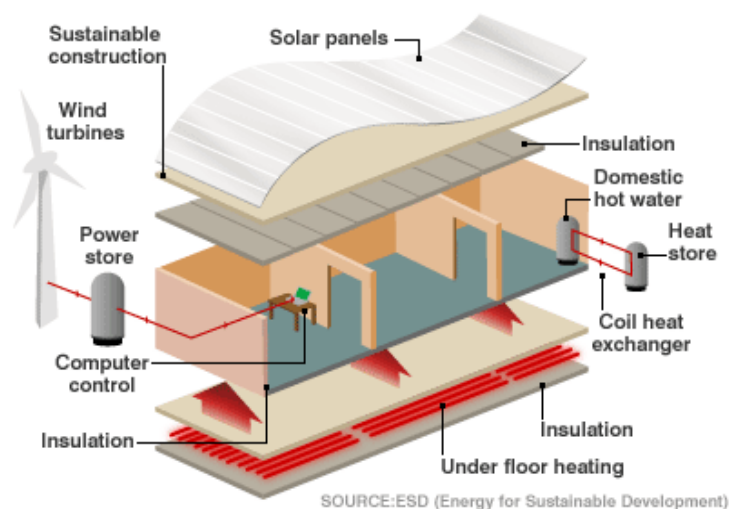


Fig. 2.13: Características-chave para uma casa sem emissões de carbono

Apesar dos requisitos gerais fornecidos pela EPBD, esta não providencia o método de cálculo. Assim, cada Estado-Membro na CE tem a liberdade de escolher o seu próprio método. A maioria dos países alega utilizar as normas CEN ou outras normas internacionais em maior ou menor extensão. A este respeito, duas normas adicionais são consideradas neste documento:

- (i) ISO 13790 (2008), que abrange todos os aspetos das componentes de transmissão de calor, envolvidas nos cálculos térmicos e proporciona fatores de correlação para que os cálculos tenham em consideração os efeitos térmicos dinâmicos,
- (ii) EN 15316-3-1 (2007) que aborda as necessidades de energia para produção de Água Quente Sanitária (AQS).

3 METODOLOGIAS SIMPLIFICADAS PARA AVALIAÇÃO DE EDIFÍCIOS

3.1 Introdução

O sector da construção está cada vez mais sujeito a pressões relativas à sustentabilidade: declarações ambientais de produtos, edifícios com baixo consumo de energia, etc. No entanto, os diversos intervenientes nem sempre estão devidamente preparados para analisar o desempenho ambiental de produtos de construção.

As performances térmicas dos novos edifícios têm sido enquadradas por regulamentos, persuadindo os arquitetos a terem um bom controlo e conhecimento das fases de utilização dos edifícios. Por outro lado, a energia incorporada e a pegada de carbono dos materiais são menos conhecidas, apesar de cada vez mais serem um requisito em concursos. Ainda poucos intervenientes ligados ao sector tem a competência necessária para lidar com ambos os aspetos.

Assim, a fim de promover a aplicação de análises de ciclo de vida no sector dos edifícios, neste capítulo são introduzidas duas metodologias simplificadas:

- (i) Uma metodologia para a análise de ciclo de vida baseada em macro-componentes;
- (ii) Uma metodologia para o cálculo das necessidades energéticas de um edifício, para arrefecimento e aquecimento de espaços, incluindo a energia necessária para produção de água quente sanitária.

Ambas as metodologias foram desenvolvidas no âmbito do projeto Europeu de Investigação *SB_Steel* (2014), e são baseadas nos princípios das mais recentes normas EN 15978 e EN 15804.

Em primeiro, será descrita a metodologia de avaliação do ciclo de vida, seguida pela metodologia para o cálculo da energia e respetivos procedimentos de calibração.

3.2 Algoritmo para a avaliação de ciclo de vida com base em macro-componentes

A envolvente do edifício, interna e externa, desempenha um papel importante no comportamento do edifício no que diz respeito aos consumos de energia e impactes ambientais. Isto conduziu ao desenvolvimento de soluções pré-fabricadas para os principais componentes do edifício, ou seja, macro-componentes. As macro-

componentes são agrupamentos pré-definidos de diferentes materiais, os quais compõem totalmente uma componente principal de um edifício (Gervásio et al., 2014).

Para cada componente de um edifício, diferentes soluções foram pré-agrupadas e o método utilizado para a análise do ciclo de vida de edifícios, baseado em macro-componentes, é apresentado em detalhe nos parágrafos seguintes.

3.2.1 Etapas gerais

3.2.1.1 Objetivo e âmbito

O objetivo desta ferramenta é quantificar os impactos ambientais de um simples edifício ou de componentes do edifício (em m²), utilizando macro-componentes pré-definidas. Assim, a metodologia permite que a avaliação possa ser realizada em dois níveis distintos: (i) ao nível da componente; e (ii) ao nível do edifício.

3.2.1.1.1 Unidade funcional

Ao nível do edifício, a unidade funcional representa um edifício com uma tipologia definida (por exemplo residencial, escritórios, etc.) projetado para um período de vida pré-definido (por exemplo 50 anos), cumprindo assim todos os requisitos da norma.

Ao nível da componente do edifício, a unidade funcional (em m²) corresponde a uma determinada componente do edifício, com uma tipologia definida (por exemplo paredes exteriores, lajes interiores, etc.), utilizada por um determinado período de tempo (por exemplo 50 anos). Neste caso, a função da componente do edifício pode estar incluída ou não (no caso de análises comparativas a função da componente do edifício deve ser considerada).

3.2.1.1.2 Fronteiras do sistema

A análise ambiental do ciclo de vida compreende a fase da produção do material (módulos A1 a A3), a fase de construção (módulo A4), a fase de utilização (módulo B1 a B5), a fase de fim de vida (módulos C1 a C4) e os benefícios e cargas devidas aos processos de reciclagem (módulo D), como indicado no Quadro 3.1.

O módulo B6 não é considerado nesta metodologia. No entanto, a metodologia apresentada na subsecção seguinte aborda os aspetos incluídos neste módulo.

Da mesma forma, os módulos A5, B1 e B7 não são considerados. A importância dos impactos devido aos processos de construção (módulo A5) (incluindo a utilização de equipamento, operação do estaleiro e produção de resíduos) os quais podem ser desprezados ao nível do edifício (Gervásio et al., 2014).

O módulo B1 abrange as emissões devidas à utilização de materiais instalados no edifício que não são considerados nos restantes módulos da fase de utilização. No

entanto, de acordo com a legislação em vigor, os materiais de construção são normalmente de baixa-emissão, pelo que este módulo tem pouca importância.

Quadro 3.1: Informação dos módulos do ciclo de vida do edifício (de acordo com a EN 15643-2:2011)

Fase de produção			Fase de Construção		Fase de utilização							Fase de fim de vida				
Fornecimento de matéria-prima	Transporte	Fabricação	Transporte	Processo de construção	Use	Manutenção	Reparação	Substituição	Reabilitação	Utilização de energia	Utilização de água	Demolição	Transporte	Processamento de resíduos	Eliminação	Reutilização/reciclagem
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
x	x	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x

Finalmente, a quantificação da utilização de água (módulo B7) não é considerada porque não depende das opções relativas à construção do edifício.

3.2.1.2 Inventário de ciclo de vida

Conforme foi indicado anteriormente, o controlo da qualidade dos dados é um requisito das normas de ACV. Portanto, em relação aos produtos de construção, os dados devem ser verificados em termos de (EN 15804):

- Cobertura temporal: os conjuntos de dados devem ser atualizados para os últimos 10 anos no caso de dados genéricos, e para os últimos 5 anos no caso de dados específicos do produtor;
- Os conjuntos de dados devem basear-se em médias realizadas para 1 ano;
- Cobertura geográfica: os dados devem refletir a área geográfica para o produto declarado ou grupo de produtos;
- Cobertura tecnológica: os dados devem refletir a realidade física do produto declarado ou grupo de produtos;
- Completude: os conjuntos de dados devem ser completos de acordo com as fronteiras do sistema e com os limites estabelecidos pelos critérios de exclusão dos fluxos de entrada e saída.

Neste trabalho, a maioria dos dados ambientais são fornecidos da base de dados *PE International* (2006), exceto para os dados relativos ao aço. Os dados do aço são fornecidos pelo *Worldsteel Association* (2002) em colaboração com a *PE International*. Assim, a metodologia é bastante semelhante, garantindo uma boa

consistência em termos de recolha e gestão de dados, bem como regras de alocação e exclusão, como é demonstrado no Quadro 3.2, para os principais materiais utilizados nas macro-componentes.

Quadro 3.2: Verificação da qualidade para os principais materiais das macro-componentes

3.2.1.3	Cobertura temporal	Cobertura geográfica	Cobertura tecnológica	Compleitude
Seção de aço	2007, média anual	Europa	Produtores Europeus	> 99% da massa e energia
Armadura de aço	2007, média anual	Mundial	Produtores Mundiais	> 99% da massa e energia
Bobina de aço	2007, média anual	Europa	Produtores Europeus	> 99% da massa e energia
Betão C20/25	2011, média anual	Alemanha	Produtores Alemães	> 95% da massa e energia
Painéis de OSB	2008, média anual	Alemanha	Produtores Alemães	> 99% da massa e energia
Gesso cartonado	2008, média anual	Europa	Produtores Europeus	> 95% da massa e energia
Tijolos	2011, média anual	Alemanha	Produtores Alemães	> 95% da massa e energia
Lã-de-rocha	2011, média anual	Europa	Produtores Europeus	> 95% da massa e energia
Poliestireno Expandido EPS	2011, sem dados	Europa	Sem dados	Sem dados
Poliestireno Extrudido XPS	2011, média anual	Alemanha	Produtores Alemães	> 95% da massa e energia
Espuma rígida de poliuretano PUR	2011, média anual	Alemanha	Produtores Alemães	> 95% da massa e energia
Cortiça expandida	2011, média anual	Alemanha	Produtores Alemães	> 95% da massa e energia
Lã-de-vidro	2011, média anual	Europa	Produtores Europeus	> 95% da massa e energia
Espuma polietileno PE	2011, média anual	Alemanha	Produtores Alemães	> 95% da massa e energia

3.2.1.4 Avaliação do impacto de ciclo de vida

As categorias ambientais selecionadas para descrever os impactos ambientais de edifícios são indicadas no Quadro 2.10 e correspondem às categorias ambientais recomendadas nas normas Europeias para avaliação do desempenho ambiental de edifícios (EN 15643-2 e EN 15978).

O conceito modular das normas acima referidas, foi adotado nesta metodologia. Assim, os resultados da análise ambiental de ciclo de vida para cada macro-componente são apresentados por módulo ou pelo valor agregado de cada fase. A análise ambiental do ciclo de vida para cada macro-componente foi realizada com base no programa GaBi (2012).

3.2.2 Alocação de materiais recicláveis

O aço é 100% reciclável e a sucata pode ser convertida em aço com a mesma qualidade de aço, dependendo da forma como o aço é produzido (Worldsteel Association, 2009). Assim, no fim de vida de uma estrutura em aço, a estrutura é usualmente desmontada e o aço é enviado para reciclagem ou para reutilização (parcialmente ou totalmente). De acordo com os dados provenientes do Instituto de Reciclagem de Aço (2009), na América do Norte, a taxa de reciclagem de estruturas em aço é de cerca de 97.5%. Os gráficos apresentados na Fig. 3.1a e na Fig. 3.1b apresentam respetivamente a tendência das taxas de reciclagem de estruturas e de armaduras em aço no sector da construção.

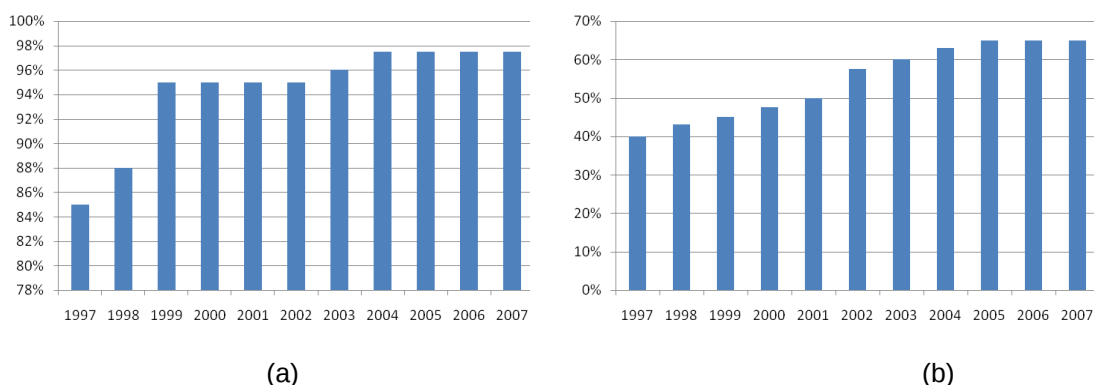


Fig. 3.1: Taxas de reciclagem de (a) estruturas em aço e (b) armaduras em aço (Steel Recycling Institute, 2009)

Em LCA, a reutilização e a reciclagem do aço é um problema multifuncional, necessitando a utilização de um processo de alocação, o qual é descrito nos parágrafos seguintes.

3.2.2.1 Introdução

A maioria dos processos industriais são multifuncionais, ou seja, aos seus fluxos de saída compreendem mais do que um produto e os fluxos de entrada para a produção de produtos, muitas vezes incluem produtos intermediários ou descartados. O problema de alocação ocorre quando é necessária uma decisão

apropriada relativamente à alocação dos fluxos de entrada/saída à unidade funcional fornecida pelo sistema do produto em estudo.

A alocação é definida na ISO 14040 (2006) como “divisão dos fluxos de entrada e saída de um processo ou de um sistema de produto em estudo e de um ou de outros sistemas de produtos”. Assim, o processo de alocação aborda a partição de fluxos entre processos unitários ou sistemas de produtos.

De acordo com a ISO 14044 (2006), a alocação deve ser evitada, tanto por divisão do processo a ser alocado em dois ou mais subprocessos e recolhendo os dados de entrada e de saída relativos a esses subprocessos, ou expandindo o sistema do produto de forma a incluir as funções adicionais relativas aos subprodutos (expansão do sistema).

A expansão do sistema inclui a metodologia de “cargas evitadas”, a qual elimina as funções adicionais do processo multifuncional pela subtração dos processos mono-funcionais equivalentes de forma a obter um processo mono-funcional. Quando nem a subdivisão de processos, nem a expansão do sistema são viáveis de acordo com o âmbito e objetivo do estudo, então a alocação é inevitável. Neste caso são recomendadas duas alternativas pela ISO 14044 (2006): (i) a divisão dos fluxos de entrada e saída do sistema é baseada em relações causais físicas (ou químicas ou biológicas); ou (ii) a alocação é baseada em outras relações (por ex. valor económico dos produtos).

A consideração da reutilização e reciclagem de materiais é uma questão multifuncional, implicando a utilização de processos de alocação. Os princípios e metodologias de alocação acima mencionados, aplicam-se também a situações de reciclagem e reutilização, embora neste caso, as alterações nas propriedades inerentes dos materiais devem ser tomadas em consideração quando se escolhe o processo de alocação (ISO 14044, 2006).

Neste caso, três situações podem ocorrer (Werner, 2005):

- i) As propriedades inerentes dos materiais não são alteradas durante o sistema do produto e o material é para ser reutilizado na mesma aplicação;
- ii) As propriedades inerentes dos materiais são alteradas durante o sistema do produto considerado e o material é para ser reutilizado na mesma aplicação;
- iii) As propriedades inerentes dos materiais são alteradas durante o sistema do produto considerado e o material é para ser utilizado em outras aplicações.

No primeiro caso, existe uma situação de ciclo fechado em que a substituição de material primário é assumida como completa, e por conseguinte, os impactos ambientais provenientes da produção do material primário ou eliminação final não são atribuídos ao sistema do produto.

O segundo caso corresponde a uma metodologia de ciclo aberto mas assumindo uma situação de ciclo fechado. Neste caso, as alterações nas propriedades dos materiais são consideradas desprezáveis e a reciclagem é assumida como uma situação de ciclo fechado. Finalmente, no último caso, existe uma situação de ciclo aberto, onde a substituição de material primário é assumida como parcial. Neste caso, os impactos ambientais devidos à produção do material primário ou eliminação final têm de ser parcialmente atribuídos ao sistema em estudo.

De acordo com a ISO 14044 (2006), no caso de uma situação de ciclo fechado a alocação é evitada uma vez que a utilização de materiais secundários substitui a utilização de matérias-primas.

3.2.2.2 Evitar a alocação de sucata

Ao longo do ciclo de vida do aço, a sucata pode ser originada na partir da fase de fabrico, na fase de processamento final e na fase de fim de vida (ver Fig. 3.2). Assim, deve-se considerar um método de alocação para a sucata originada nas diversas fases do ciclo de vida. Além disso, o aço é produzido através de duas vias diferentes, conforme descrito nos parágrafos seguintes, e a alocação da sucata que é introduzida na fase de produção do aço é outra questão a ser considerada.

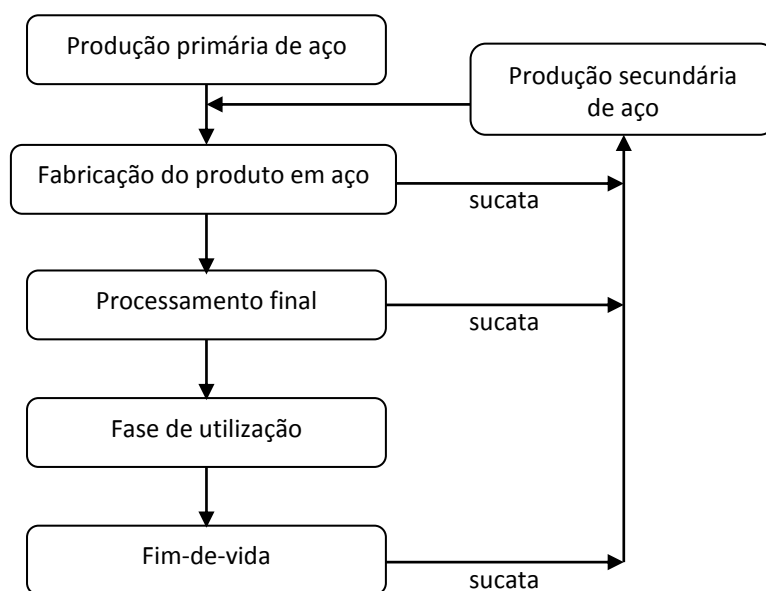


Fig. 3.2: Fronteiras do sistema relativo ao aço, incluindo o fim de vida (LCI, 2002)

Finalmente, o aço pode ser reciclado ou reutilizado várias vezes, sendo assim necessário um método apropriado de alocação para dar resposta às múltiplas reciclagens e reutilizações dos produtos em aço.

Portanto, a metodologia adotada para resolver o problema de alocação do aço é a metodologia de ciclo fechado desenvolvida pelo Worldsteel Association (LCI, 2002). A metodologia foi desenvolvida a fim de gerar dados ambientais de produtos em aço, considerando a reciclagem no fim de vida. A adoção de um ciclo fechado é justificada pelo facto de a sucata poder ser novamente derretida para produzir novo aço com pouca ou nenhuma alteração nas suas propriedades inerentes. Neste caso, de acordo com a norma ISO 14044, a necessidade de alocação é evitada uma vez que a utilização de material secundário substitui a utilização de matéria-prima.

O aço pode ser produzido através de duas vias principais: via Alto-Forno (AF) e via Forno de Arco Elétrico (FAE). A diferença principal entre as duas vias é a quantidade de sucata introduzida no processo de fabrico do aço: na via AF, o aço é produzido quase exclusivamente a partir de matérias-primas; enquanto na via FAE, o aço é produzido principalmente a partir da sucata introduzida.

Assim, considerando-se as duas vias principais para produção de aço, e assumindo os dados ambientais da produção de aço via AF (assumindo 100% de matéria-prima) dado por X_{pr} e os dados para a produção de aço via FAE (assumindo 100% de aço secundário) dado por X_{re} , então os dados ambientais associados à sucata são dados pela expressão (3.1).

$$LCI_{scrap} = Y(X_{pr} - X_{re})$$

Eq. (3.1)

onde, Y é o fator de cedência, que representa a eficiência do processo secundário na conversão de sucata em aço. De acordo com a worldsteel association (LCI, 2002), são necessários cerca de 1.05 kg de sucata para produzir 1 kg de aço secundário.

Considerando a via AF, assumindo 100% de entrada de matéria-prima e uma taxa de recuperação RR (fração de aço recuperado como sucata durante o ciclo de vida de um produto de aço), então, no final do ciclo de vida, a sucata líquida produzida é dada por RR . Assim, os dados ambientais de 1 kg de aço, incluindo o fim de vida, são dados pelos dados ambientais da produção primária mais o crédito devido à sucata produzida, como indicado pela expressão (3.2)

$$LCI = X_{pr} - RR[Y(X_{pr} - X_{re})]$$

Eq. (3.2)

Por outro lado, assumindo que 1 kg de aço secundário é utilizado para a produção de aço novo via FAE, e no fim de vida RR kg de aço são recuperados para

reciclagem, então, a sucata líquida consumida é dada por $(1/Y - RR)$. Neste caso, os dados ambientais de 1 kg de aço, incluindo o fim de vida, são dados pelos dados ambientais da produção secundária com um débito devido à sucata consumida, tal como expresso em (3.3)

$$LCI = X_{re} + (1/Y - RR) \left[Y(X_{pr} - X_{re}) \right]$$

Eq. (3.3)

A reorganização da expressão (3.3) conduz à expressão (3.2), o que indica que os dados ambientais do sistema não dependem da via de produção do material. Depende da percentagem de aço no fim de vida e da eficiência do processo de reciclagem. Assim, a expressão (3.3) permite a alocar a sucata de aço independentemente da via de produção de aço.

As expressões anteriores foram obtidas assumindo 100% de produção primária ou 100% de produção secundária. Na realidade, os produtos de aço produzidos pela via primária também podem incluir o consumo de sucata e os produtos da via secundária podem também incluir uma pequena percentagem de matérias-primas. Assim, o débito ou crédito dado pela expressão (3.1) é, neste caso, dado por:

$$LCI_{scrap} = (RR - S) \times Y(X_{pr} - X_{re})$$

Eq. (3.4)

onde, $(RR - S)$ representa a sucata líquida no fim de vida. Considerando que os dados de inventário de um produto de aço acabado são dados por X' , então os dados para o produto, incluindo a reciclagem de fim de vida, são dados por:

$$LCI = X' - \left[(RR - S) \times Y(X_{pr} - X_{re}) \right]$$

Eq. (3.5)

A expressão (3.5) é adotada na metodologia de ACV apresentada nos sub-capítulos seguintes, para produzir os dados de inventário referentes aos produtos de aço, incluindo a reciclagem no fim de vida.

3.2.3 Caracterização dos macro-componentes

As macro-componentes foram definidas para as diferentes componentes de um edifício de acordo com o esquema de classificação Unifomat (2010). São consideradas as seguintes categorias: (A) Subestrutura, (B) Superestrutura e envolvente exterior e (C) Interiores. Cada categoria principal é subdividida. O esquema detalhado de classificação é apresentado no Quadro 3.3.

Quadro 3.3: Esquema de classificação das componentes de um edifício (UniFormat, 2010)

(A) Subestrutura	(A40) Lajes de fundação	(A4010) Lajes de fundação correntes	
(B) Superestrutura e envoltente exterior	(B10) Superestrutura	(B1010) Construção do piso	(B1010.10) Piso interior estrutural
			(B1010.20) Pavimentos interiores, lajes e revestimentos
		(B1020) Construção da cobertura	(B1020.10) Piso de cobertura estrutural
			(B1020.20) Pavimentos da cobertura, lajes e acabamento
	(B20) Envoltente exterior vertical	(B2010) Paredes exteriores	(B2010.10) Acabamentos exteriores
			(B2010.20) Construção das paredes exteriores
		(B2020) Janelas exteriores	
	(B30) Envoltente exterior vertical	(B2050) Portas exteriores	
		(B3010) Coberturas	
		(B3060) Aberturas horizontais	
(C) Interiores	(C10) Construção Interior	(C1010) Paredes interiores	
	(C20) Acabamentos interiores	(C2010) Acabamentos das paredes	
		(C2030) Pavimentos	
		(C2050) Acabamentos do teto	

Dentro de cada uma das componentes do edifício (ver Quadro 3.3) as macro-componentes têm a mesma função e propriedades similares. A unidade funcional de cada macro-componente é 1 m² de uma componente do edifício com características similares, com uma vida útil de 50 anos.

Esta metodologia foi desenvolvida para a avaliação de edifícios em fase inicial de projeto (Gervásio et al., 2014). Assim, para lidar com a habitual falta de dados na fase inicial de projeto, a estrutura de suporte (considerando uma estrutura de laminados a quente ou uma estrutura de betão) é considerada nas macro-componentes relativas ao “piso interior estrutural” (B1010.10) ou “piso de cobertura estrutural” (B1020.10), por m².

A informação fornecida por cada macro-componente é ilustrada no exemplo apresentando no Quadro 3.4. Para além das características das diferentes camadas de materiais, são ainda dados o coeficiente de transmissão térmica (U) (tendo em consideração as pontes térmicas, se aplicável) e a inércia térmica (κ_m), os quais permitem a quantificação de energia operacional do edifício.

As macro-componentes foram compiladas numa base de dados, a qual é fornecida no Anexo 1 deste documento.

3.2.4 Exemplo ilustrativo de um conjunto de macro-componentes

Em alguns casos, a componente de um edifício, necessita de várias macro-componentes para desempenhar a sua função, as quais devem ser consideradas em simultâneo. Um exemplo ilustrativo é em seguida apresentado para uma laje interior de um edifício residencial.

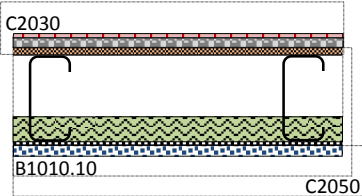
3.2.4.1 Agrupamento de macro-componentes

Para uma laje interior de um edifício são seleccionadas as seguintes macro-componentes:

- (i) Uma macro-componente para o pavimento (C2030),
- (ii) Uma macro-componente para o sistema estrutural do piso (B1010.10),
- (iii) Uma macro-componente para os acabamentos do teto (C2050).

O conjunto seleccionado de macro-componentes é ilustrado no Quadro 3.4. Neste caso, o valor do coeficiente global de transmissão térmica (U) não é indicado dado que a macro-componente corresponde a uma laje interior, não tendo por isso influência no cálculo das necessidades térmicas.

Quadro 3.4: Agrupamento macro-componentes para uma laje interior

Agrupamento de macro-componentes	Macro-componentes	Material	Espessura (mm)/ Densidade (kg/m ²)	κ_m (J/m ² .K)
	C2030 Pavimento	Azulejos cerâmicos	31 kg/m ²	61062
		Betonilha betão	13 mm	
	B1010.10 Sistema estrutural do piso	OSB	18 mm	
		Caixa-de-ar	160 mm	
		Lã-de-rocha	40 mm	
		Aço leve	14 kg/m ²	
		Gesso cartonado	15 mm	
	C2050 Acabamentos do teto	Pintura	0.125 kg/m ²	

3.2.4.2 Unidade funcional e vida útil estimada dos materiais

A unidade funcional da componente do edifício é uma laje interior (por m²) de um edifício residencial, com uma vida útil de 50 anos. As macro-componentes selecionadas tem de cumprir a mesma unidade funcional. Assim, tem de ser considerada a vida útil estimada para os diferentes materiais. O Quadro 3.5 indica a vida útil dos diferentes materiais.

Quadro 3.5: Vida útil estimada dos materiais

Macro-componente	Material	Unidade	Vida útil estimada [anos]
Pavimentos	Azulejos cerâmicos	m ²	25
	Reboco betão	m ²	50
Sistema estrutural do piso	Aço enformado a frio	kg/m ²	50
	Lã-de-rocha	m ²	50
	OSB	m ²	50
	Gesso cartonado	m ²	50
Acabamentos do teto	Pintura	m ²	10

A fim de cumprir a unidade funcional, alguns dos materiais tem de ser substituídos ou reabilitados de acordo com o cenário pré-definido.

3.2.4.3 Cenários e suposições

A fim de cumprir a informação ambiental em todos os módulos, são necessários os cenários e suposições.

A unidade funcional está relacionada com um período de tempo de 50 anos. Isto significa que cada material incluído na macro-componente tem de cumprir este requisito. Assim, os materiais com uma vida útil inferior a 50 anos necessitam de manutenção ou mesmo serem substituídos durante este período de tempo. Por isso, diferentes cenários são assumidos para cada material, para que cumpra o período de tempo da análise. Do mesmo modo, na fase de fim de vida, cada material tem um destino diferente de acordo com as suas características inerentes. Assim é considerado para cada material um cenário de fim de vida, tendo em consideração as suas propriedades.

Todos os cenários acima mencionados foram definidos de acordo com as regras indicadas nas normas EN 15643-2 e EN 15978.

3.2.4.3.1 Cenários para o transporte de materiais (Módulos A4 e C2)

As distâncias de transporte entre as unidades de produção até ao local de construção (módulo A4) e as distâncias entre o local de demolição e o local de reciclagem/eliminação (módulo C2) são assumidas, por defeito, como 20 km e o transporte é feito por camião com uma capacidade de carga de 22 toneladas.

3.2.4.3.2 Cenários e fase de utilização (Módulos B1:B7)

Os cenários são pré-definidos para diferentes materiais de forma a cumprir os requisitos de tempo de 50 anos. Portanto, em relação às macro-componentes mencionadas em cima, os cenários são definidos da seguinte forma:

- Substituição dos azulejos em cerâmica a cada 25 anos;
- Pintura do teto a cada 10 anos.

3.2.4.3.3 Cenários para o fim-de-vida (Módulos C1:C4) e reciclagem (Módulo D)

Os diferentes cenários de fim de vida são especificados para os materiais de acordo com as suas características inerentes, assim como indicado no Quadro 3.6. Assim, considera-se que o OSB é incinerado (80%) numa fábrica de biomassa e são obtidos créditos devidos à recuperação de energia. O aço é reciclado, assumindo uma taxa de reciclagem de 90%, e são obtidos créditos devido à sucata líquida no fim do ciclo de vida. Da mesma forma, estima-se que a lâ-de-rocha é reciclada (80%). No entanto, devido à falta de dados relativos ao processo de reciclagem da lâ-de-rocha, não foram obtidos créditos para além da redução de resíduos enviados para aterro.

Quadro 3.6: Opções de fim de vida para os materiais

Material	Cenário de fim de vida/reciclagem	Créditos
Azulejos de cerâmica	Aterro (100%)	-
Reboco betão	Aterro (100%)	-
Gesso cartonado	Aterro (100%)	-
Lã-de-rocha	Reciclagem (80%) + Aterro (20%)	-
OSB	Incineração (80%) + Aterro (20%)	Crédito devido à recuperação de energia
Aço leve	Reciclagem (90%) + Aterro (10%)	Crédito devido à reciclagem líquida

Para os restantes materiais foi considerado que foram enviados para um aterro de materiais inertes.

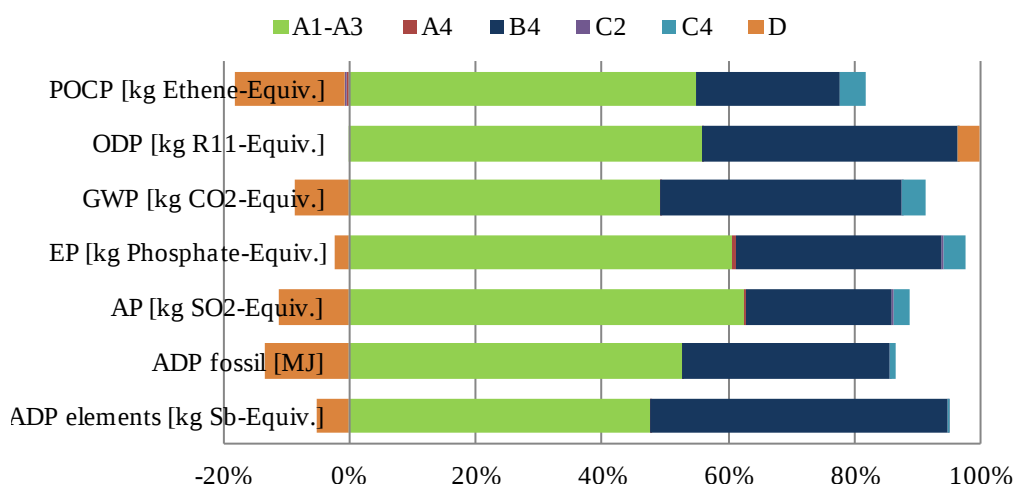
3.2.4.4 Análise ambiental

Os resultados do conjunto das macro-componentes apresentadas no Quadro 3.4, são apresentados no Quadro 3.7, por m².

Quadro 3.7: Análise ambiental do ciclo de vida das macro-componentes (por m²)

Categoria ambiental	A1-A3	A4	B4	C2	C4	D	TOTAL
ADP elem. [kg Sb-Eq.]	1.86E-03	6.59E-09	1.83E-03	5.76E-09	5.93E-07	-1.96E-04	3.49E-03
ADP fossil [MJ]	1.31E+03	2.45E+00	8.12E+02	2.14E+00	2.31E+01	-	1.82E+03
AP [kg SO ₂ Eq.]	2.47E-01	7.91E-04	9.14E-02	6.85E-04	1.01E-02	-4.45E-02	3.05E-01
EP [kg PO ₄ ⁻ Eq.]	2.61E-02	1.82E-04	1.40E-02	1.57E-04	1.54E-03	-1.01E-03	4.09E-02
GWP [kg CO ₂ Eq.]	8.38E+01	1.77E-01	6.48E+01	1.54E-01	6.80E+00	-	1.41E+02
ODP [kg R11 Eq.]	2.80E-06	3.09E-12	2.04E-06	2.70E-12	1.27E-09	1.76E-07	5.01E-06
POCP [kg Ethene Eq.]	3.41E-02	-2.58E-04	1.43E-02	-2.23E-04	2.62E-03	-1.07E-02	3.98E-02

A análise da contribuição de cada módulo de informação é apresentada na Fig. 3.3. Os módulos A1-A3 têm a maior contribuição em todas as categorias ambientais (acima de 50% para a maioria), seguido do Módulo B4 com uma contribuição que varia entre os 10% e os 20%. O módulo D tem uma contribuição significativa (perto de 10%) para a maioria das categorias ambientais. Menos importante, é a contribuição dos restantes módulos, com uma contribuição insignificante.

Fig. 3.4: Impactos ambientais para um ciclo de vida de um macro-componente (por m²)

Todas as macro-componentes foram calculadas de forma semelhante à descrita neste exemplo. Como já foi referido, estas macro-componentes permitem realizar análises de ciclo de vida ao nível do produto ou ao nível do edifício.

3.3 Algoritmo para quantificação da energia (fase de utilização)

3.3.1 Introdução

Tal como mencionado anteriormente, a norma EN 15978 (2011) atribui todos os potenciais impactos ambientais de todos os aspetos relacionados com o edifício durante o seu ciclo de vida (produção de materiais, utilização, fim de vida e reutilização, recuperação e reciclagem) a um sistema modular. De acordo com este sistema, o módulo B6 corresponde à energia operacional, ou seja, a energia consumida no edifício.

Os limites do módulo B6 têm de ser compatíveis com diretiva comunitária sobre o desempenho energético de edifícios (EPBD - “Energy Performance Building Directive”) através da utilização da norma EN15603 (2008) e deve incluir a energia utilizada para aquecimento, arrefecimento, produção de água quente sanitária, ventilação, iluminação e sistemas auxiliares.

A metodologia simplificada que foi adotada é baseada nas características do edifício e do equipamento instalado, quantificando a energia necessária para aquecimento, arrefecimento, e para produção de água quente sanitária (AQS). A energia necessária para ventilação e iluminação não é incluída, uma vez que estas duas componentes não estão diretamente relacionadas com o sistema construtivo adotado para o edifício. O cálculo dos consumos para aquecimento e arrefecimento, são realizados com base no método mensal em regime quase permanente prescrito pela norma ISO 13790 (2008). Esta norma abrange todos os aspetos referentes ao cálculo do balanço térmico do edifício e providência fatores de correlação para ter em consideração os efeitos termodinâmicos. A energia utilizada para produção de AQS é calculada segundo a norma EN 15316-3-1 (2007).

3.3.2 Localização do edifício e clima

Para calcular a energia operacional do edifício durante a sua fase de utilização, é importante ter em conta as variáveis mais relevantes para o comportamento térmico e eficiência energética do edifício.

Os parâmetros mais relevantes podem ser agrupados em quatro grupos principais, nomeadamente: clima, envolvente do edifício, equipamentos e fatores humanos, tal como ilustrado na Fig. 3.5. A maioria destes fatores foram considerados no algoritmo implementado, tal como detalhado nos parágrafos seguintes.

A localização do edifício, em termos de condições climáticas, tem uma importância vital para a previsão do seu comportamento térmico (Santos et al., 2011, 2012).

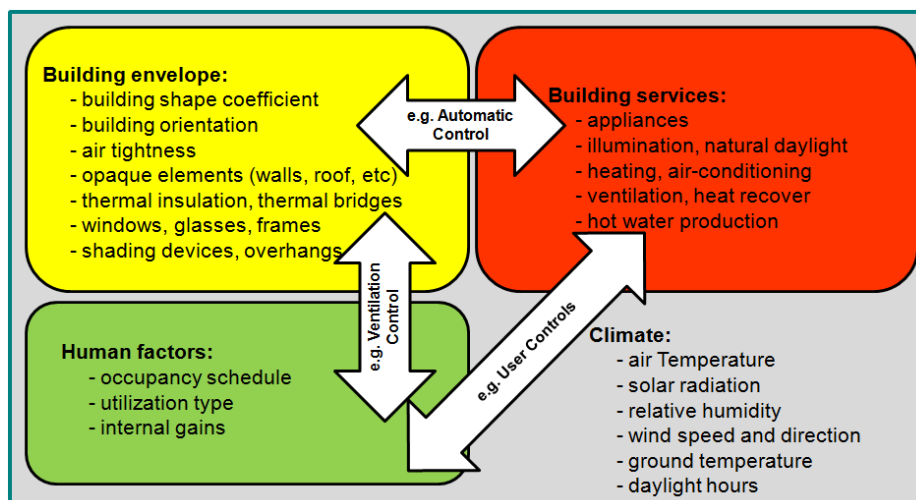


Fig. 3.5: Fatores-chave principais com influência na energia consumida pelo edifício (Santos et al., 2012)

Relativamente a esta questão, foram considerados dois parâmetros climáticos para o cálculo das necessidades energéticas:

- Temperatura do ar;
- Radiação solar numa superfície com uma dada orientação.

A Fig. 3.6 ilustra graficamente estes dados climáticos médios mensais para a cidade de Timisoara na Roménia.

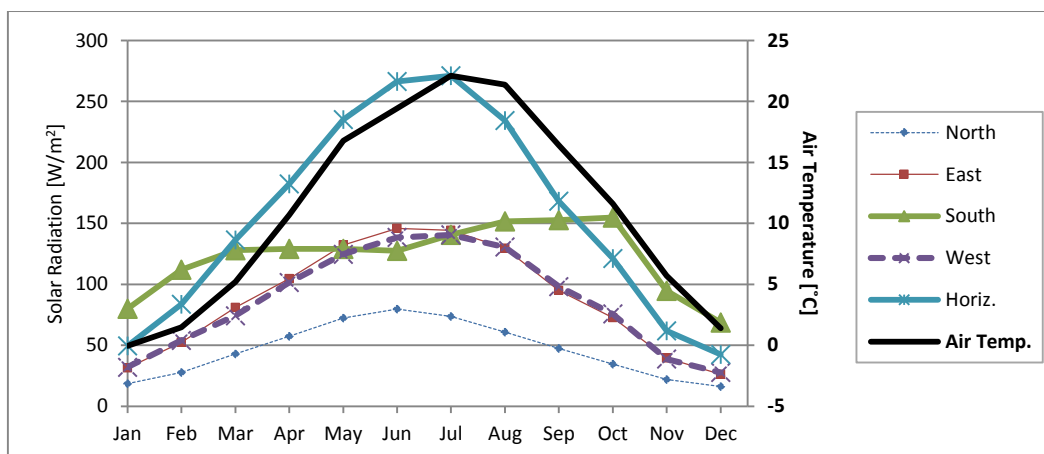


Fig. 3.6: Média mensal da temperatura do ar exterior e da radiação solar incidente: Timisoara (RO)

A metodologia está calibrada para cinco regiões climáticas (classificadas de acordo com a classificação de Köppen-Geiger). (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc. A classificação de Köppen-Geiger é um dos sistemas mais utilizados para classificação do clima (Kottek et al., 2006). A Fig. 3.7 apresenta a classificação climática de Köppen-Geiger para a Europa. É claramente visível a importância da latitude, altitude e proximidade da costa no clima dessas regiões. Em regiões com

menores latitudes (abaixo de 45°N) (Sul da Europa, por exemplo, países mediterrâneos) o clima é classificado como Csa e Csb, ou seja, “C – Temperatura amena” com “s – Verão seco” e “a – Verão quente” ou “b – Verão ameno”.

Acima destas latitudes (entre 45-55°N), em países da Europa central a oeste, o clima é principalmente categorizado como Cfb, ou seja, “C – Temperatura amena” com “f – Integralmente húmido” e “b – Verão ameno”. Nos países de leste da Europa central (afastados da costa Atlântica) o clima é classificado como Dfb, ou seja, “D – Neve” com “f – Integralmente húmido” e “b – Verão ameno”. Em regiões com latitudes ainda mais elevadas (acima de 55°N), países Nórdicos, o clima é frequentemente classificado como Dfc, ou seja, “D – Neve” com “f – Integralmente húmido” e “c – Verão frio/fresco”. Este clima tem algumas semelhanças com o clima dos países de leste da Europa central, estando a diferença principal no Verão mais frio/fresco.

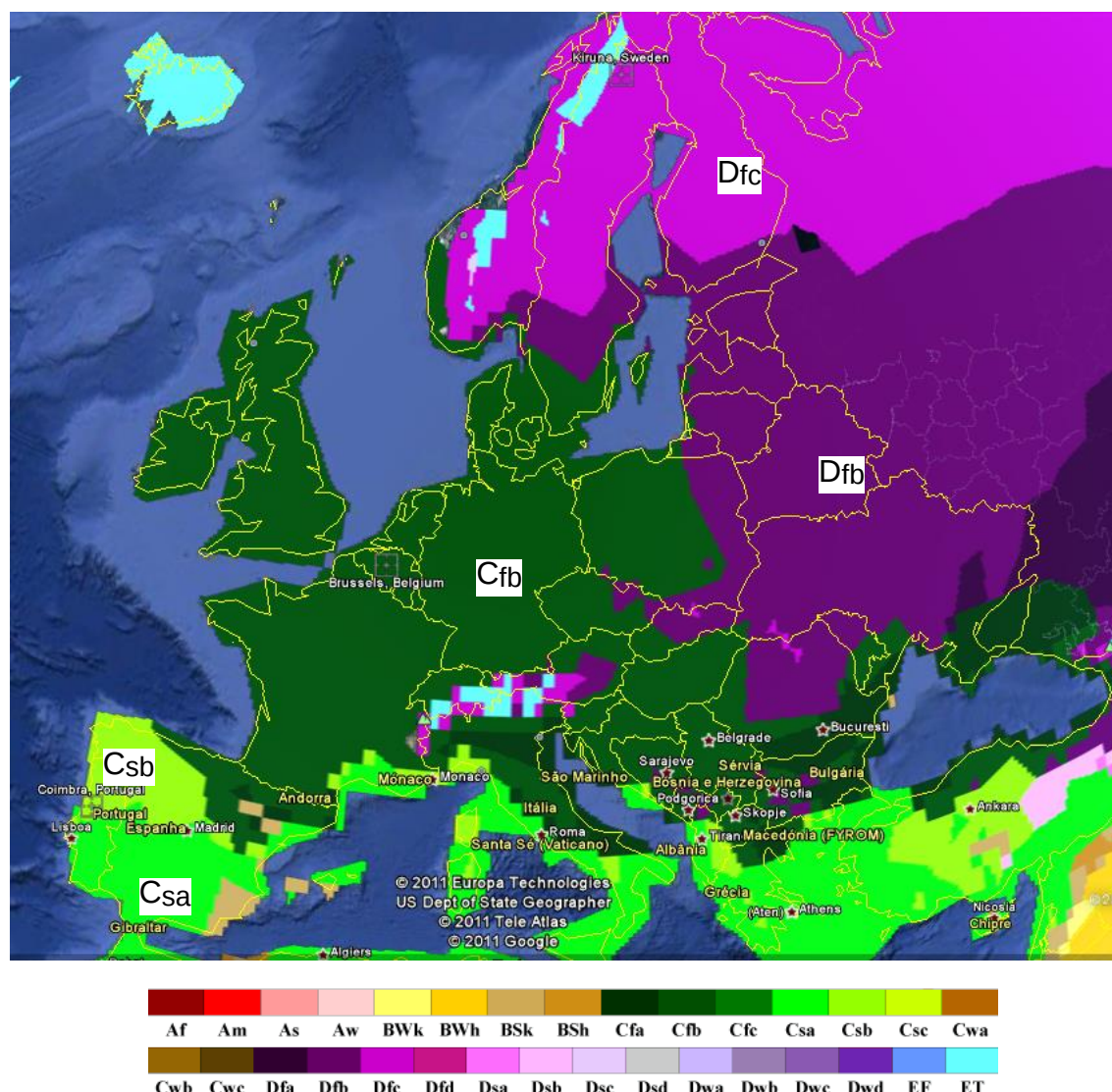


Fig. 3.7: Mapa da Europa para a classificação climática de Köppen-Geiger (Kottek et al., 2006; Google Earth, 2014).

Foi implementada uma base de dados com informação climática para diferentes localizações Europeias. O Quadro 3.8 apresenta uma lista com 48 cidades para as quais foram já obtidos dados climáticos. A maioria destes dados climáticos foi obtida a partir da base de dados do programa de simulação energética EnergyPlus (EERE-USDoE, 2014) e os restantes foram fornecidos por parceiros deste projeto de investigação.

Quadro 3.8: Lista de locais com dados climáticos

Cidade	País	Zona	
		Climática	Latitude
Amesterdão	Holanda	Cfb	52
Ankara	Turquia	Csb	39
Arhanglesk	Rússia	Dfc	64
Atenas	Grécia	Csa	37
Barcelona	Espanha	Csa	41
Berlin	Alemanha	Cfb	52
Bilbao	Espanha	Cfb	43
Bratislava	Eslováquia	Cfb	48
Bruxelas	Bélgica	Cfb	50
Bucareste	Roménia	Cfa	44
Coimbra	Portugal	Csb	40
Génova	Itália	Csb	44
Graz	Áustria	Dfb	47
Hamburgo	Alemanha	Cfb	53
Helsínquia	Finlândia	Dfb	60
Istambul	Turquia	Csa	40
Kiev	Ucrânia	Dfb	50
Kiruna	Suécia	Dfc	67
La Corunha	Espanha	Csb	43
Lisboa	Portugal	Csa	38
Ljubljana	Eslovênia	Cfb	46
Londres	Inglaterra	Cfb	50
Madrid	Espanha	Csa	40
Marselha	França	Csa	43
Milão	Itália	Cfb	45
Minsk	Belarus	Dfb	53
Montpellier	France	Csa	43
Moscovo	Rússia	Dfb	55
Munique	Alemanha	Cfb	48
Nantes	França	Cfb	47
Nice	França	Csb	43
Oslo	Noruega	Dfb	59
Ostersund	Suécia	Dfc	63
Paris	França	Cfb	48
Porto	Portugal	Csb	41
	República		
Praga	Checa	Cfb	50
Roma	Itália	Csa	41
Salamanca	Espanha	Csb	40

Sanremo	Itália	Csb	43
Sevilha	Espanha	Csa	37
Estocolmo	Suécia	Dfb	59
Tampere	Finlândia	Dfc	61
Tessalonica	Grécia	Cfa	40
Timisoara	Roménia	Cfb	45
Viena	Áustria	Dfb	48
Vigo	Espanha	Csb	42
Varsóvia	Polónia	Dfb	52
Zurique	Suíça	Cfb	47

3.3.3 Método de cálculo das necessidades energéticas

A metodologia adotada permite calcular as necessidades energéticas numa base mensal, para aquecimento e arrefecimento de espaços, e produção de AQS. Para a determinação da contribuição de cada termo envolvido nos cálculos térmicos foi necessário ter em consideração várias normas, tal como ilustrado na Fig. 3.8 para aquecimento e arrefecimento de espaços.

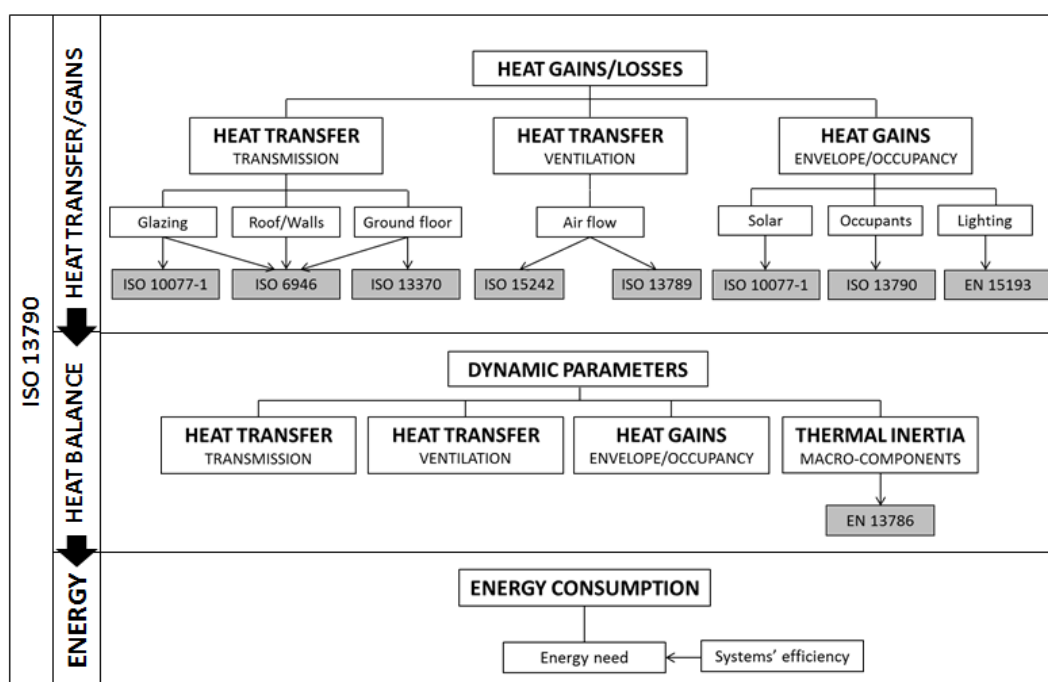


Fig. 3.8: Fluxograma do algoritmo e as normas de referência para condicionamento de espaços.

Como é possível verificar na Fig. 3.8, a norma mais utilizada é a ISO 13790 (2008), que faz referência a cálculos específicos prescritos noutras normas. Tendo em conta a importância da produção de AQS na energia consumida em edifícios, principalmente em edifícios residenciais, é também essencial estimar a sua parte.

Como já mencionado anteriormente, este cálculo é realizado recorrendo à norma EN 15316-3-1 (2007).

O procedimento e estrutura do algoritmo implementado para o cálculo das necessidades energéticas do edifício é apresentado na Fig. 3.9.

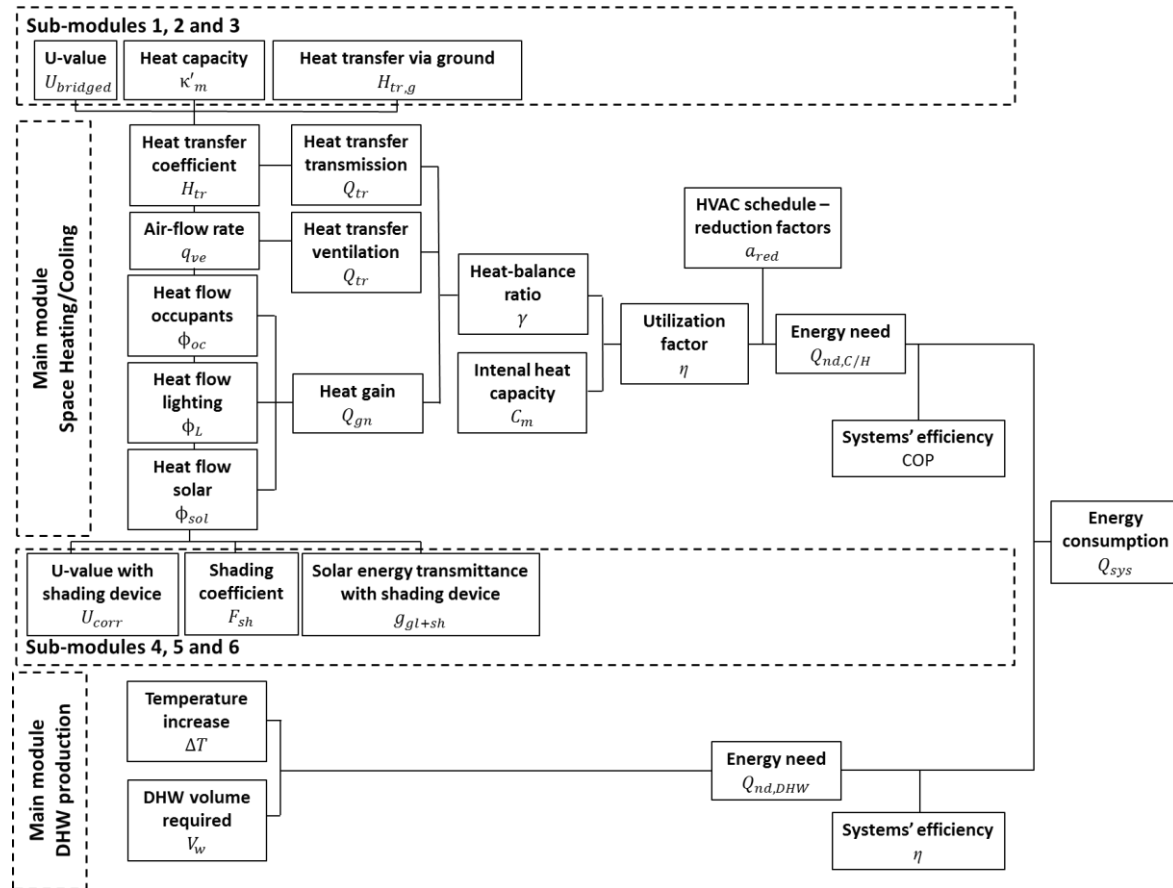


Fig. 3.9: Fluxograma de cálculo do consumo de energia do edifício

Os sub-módulos 1 e 2, correspondentes, respetivamente, ao valor de U e capacidade calorífica dos elementos construtivos da envolvente, foram calculados previamente para as macro-componentes selecionadas pelo utilizador. O sub-módulo 3 diz respeito à transferência de calor pelo solo. Os sub-módulos 4, 5 e 6 correspondem às sub-rotinas utilizadas para calcular os efeitos dos dispositivos de sombreamento e o sombreamento devido à geometria em planta do edifício. No entanto, apenas são consideradas plantas retangulares na atual versão do software AMECO.

3.3.3.1 Necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento de espaços

As Eq. (3.6) e Eq. (3.7), são as equações principais definidas pela norma ISO 13790 (2008) para quantificar as necessidades energéticas mensais, (m), assumindo o

funcionamento contínuo, (*cont*), dos sistemas (a nomenclatura utilizada é a definida na ISO 13790):

$$Q_{H,nd,cont,m} = (Q_{H,tr,m} + Q_{H,ve,m}) - \eta_{H,gn,m} \cdot Q_{H,gn,m}$$

Eq. (3.6)

$$Q_{C,nd,cont,m} = Q_{C,gn,m} - \eta_{C,ls,m} \cdot (Q_{C,tr,m} + Q_{C,ve,m})$$

Eq. (3.7)

onde,

- $Q_{H,nd}$, necessidades energéticas para aquecimento (kWh);
- $Q_{C,nd}$, necessidades energéticas para arrefecimento (kWh);
- Q_{tr} , transferência de calor total por transmissão (kWh);
- Q_{ve} , transferência de calor total por ventilação (kWh);
- $\eta_{H,gn}$, fator de utilização dos ganhos de calor (-);
- $\eta_{C,ls}$, fator de utilização das perdas de calor (-).

A metodologia utilizada para o cálculo de todas estas parcelas é descrita nas secções seguintes.

3.3.3.1.1 Transferência de calor por transmissão

O balanço térmico do edifício inclui todos os tipos de transferência de calor por transmissão/condução.

- (i) paredes;
- (ii) cobertura;
- (iii) pisos exteriores (se existirem);
- (iv) envidraçados (vidro + caixilharia);
- (v) piso térreo.

A transferência de calor por transmissão dos tipos i) a iv) é realizada considerando o mecanismo de condução sem os efeitos de massa (implicitamente), portanto, o calor perdido ou ganho é proporcional à diferença de temperatura ambiente entre o interior e o exterior, e ao coeficiente global de transmissão de calor do elemento construtivo, obtido pelas equações Eq. (3.8), Eq. (3.9) e Eq. (3.10). A transferência de calor por transmissão/condução para o solo, inclui implicitamente os efeitos da inércia térmica do solo. Isto significa que o coeficiente de transferência de calor é calculado por uma metodologia diferente da adotada para os outros componentes, Eq. (3.11).

$$Q_{tr} = H_{tr,adj}(\theta_{int,sec} - \theta_e) \cdot t$$

Eq. (3.8)

$$H_{tr,adj} = H_{D,W} + H_{D,R} + H_{D,EF} + H_{D,Gl} + H_{GF}$$

Eq. (3.9)

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i$$

Eq. (3.10)

$$H_{GF} = b_{tr,g} \cdot A_i \cdot U_{GF}$$

Eq. (3.11)

onde,

 Q_{tr} , transferência de calor total por transmissão (kWh); $H_{tr,adj}$, coeficiente global de transmissão de calor (W/K); $\theta_{int,sec,H}$ e $\theta_{int,sec,C}$, *set-points* de temperatura em modo de aquecimento e arrefecimento, respetivamente (°C); t , duração do mês dada pela ISO 13790 (Ms); H_D , coeficiente de transferência de calor por transmissão para o ambiente exterior (W/K), através de: paredes, $H_{D,W}$; coberturas, $H_{D,R}$; pisos exteriores, $H_{D,EF}$; elementos envidraçados, $H_{D,Gl}$; H_{GF} , coeficiente de transferência de calor por transmissão para o solo (W/K); $b_{tr,g}$, fator de ajustamento mensal do solo (W/K); A_i , área do elemento construtivo i (m²); U_i , transmissão térmica do elemento construtivo i (W/m².K); U_{GF} , transmissão térmica do conjunto laje térrea + solo (W/m².K).

Os parâmetros utilizados no cálculo relacionados com o tempo foram obtidos na ISO13790 e são apresentados no Quadro 3.9.

Quadro 3.9: Valores relacionados com o tempo

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MonthLength, t (Ms)	2.6784	2.4192	2.6784	2.5920	2.6784	2.5920	2.6784	2.6784	2.5920	2.6784	2.5920	2.6784
MonthDay (dias)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
NbDayWorking (dias)	23	20	21	22	23	20	23	22	21	23	21	22

Todos os coeficientes de transmissão térmica, exceto o relacionado com a transferência de calor para o solo, são calculados de acordo com a norma EN ISO 6946:2007.

Transferência de calor para o solo

A transferência de calor para o solo é quantificada diferenciadamente em função do tipo de piso térreo conforme apresentado na Fig. 3.10 e de acordo com a norma ISO 13370:200.

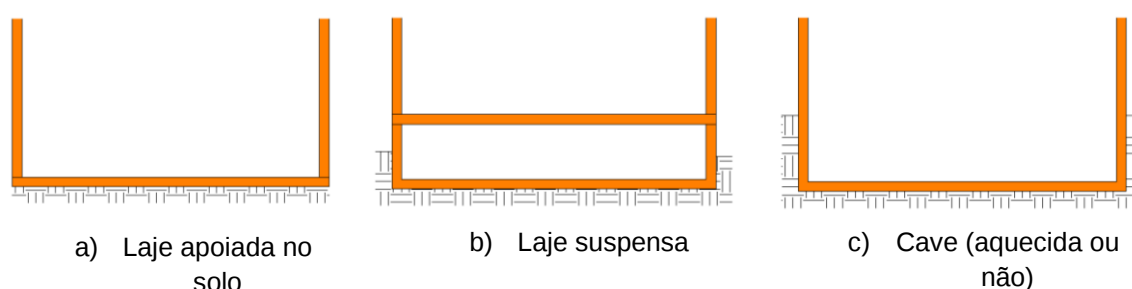


Fig. 3.10: Tipos de pisos térreos

A quantidade de calor transferida para o (ou do) solo é calculada modificando o coeficiente de transmissão de calor, de forma a ter em consideração o isolamento adicional providenciado pelo solo. Além disso, o coeficiente de transmissão de calor é também modificado, para incluir o efeito da inércia térmica do solo. As propriedades térmicas consideradas para os diversos tipos de solo são apresentadas no Quadro 3.10.

Quadro 3.10: Propriedades térmicas do solo (ISO 13370:2007)

	Condutividade térmica λ [W/(m·K)]	Capacidade térmica por volume ρc [MJ/(m ³ ·K)]
Argila e sedimentos	1.5	3.00
Areia ou cascalho	2.0	2.00
Rocha homogênea	3.5	2.00
Valores padrão	2.0	2.00

Transferência de calor pelas janelas

O algoritmo contém uma base de dados com valores médios das propriedades óticas e térmicas de vários tipos de janelas (EN 15193), listados no Quadro 3.11,

onde $g_{gl,n}$ corresponde transmissão de calor por radiação solar perpendicular ao vidro e U_{Gl} a transmissão térmica da janela.

Quadro 3.11: Valores adoptados para as propriedades óticas e térmicas de janelas

Tipo de vidro	$g_{gl,n}$	U_{Gl}
Vidro simples	0.87	5.8
Vidro duplo	0.78	2.9
Vidro duplo de baixa emissividade 1	0.72	1.7
Vidro duplo de baixa emissividade 2	0.67	1.4
Vidro duplo de baixa emissividade 3	0.65	1.2
Vidro triplo	0.7	2.0
Vidro triplo de baixa emissividade 1	0.5	0.8
Vidro triplo de baixa emissividade 2	0.5	0.6

A transmissão de calor pela janela é calculada aplicando a Eq. (3.10). No entanto, para considerar o efeito positivo do dispositivo de proteção ativado durante a noite, é necessário modificar o coeficiente de transmissão de calor. O valor corrigido da transmissão de calor, $U_{Gl,corr}$ em W/m².K, é obtido por:

$$U_{Gl,corr} = U_{Gl+shut} \cdot f_{shut} + U_{Gl} \cdot (1 - f_{shut})$$

Eq. (3.12)

onde,

- $U_{Gl+shut}$, transmissão térmica da janela e dispositivo de proteção (W/m²K);
- f_{shut} , fração da diferença de temperatura acumulada para o período com o dispositivo de proteção ativado (adimensional);
- U_{Gl} , coeficiente de transmissão térmica da janela sem o dispositivo de proteção (W/m²K).

A transmissão de calor da janela com o dispositivo de proteção ativado, $U_{Gl+shut}$ é calculada pela equação:

$$U_{Gl+shut} = \frac{1}{\frac{1}{U_{Gl}} + R_{sh} + \Delta R}$$

Eq. (3.13)

onde,

- R_{sh} , resistência térmica do dispositivo de proteção (m².K/W);

ΔR , resistência térmica adicional considerando a permeabilidade ao ar do dispositivo de proteção ($\text{m}^2.\text{K/W}$).

Os valores de R_{sh} e ΔR utilizados no algoritmo por defeito foram obtidos na ISO 10077-1 (2007). Estes valores dependem do tipo de material da persiana e da sua permeabilidade ao ar (Quadro 3.12).

Quadro 3.12: Resistência térmica de dispositivos de proteção

Tipo de dispositivos de proteção	R_{sh} [$\text{m}^2.\text{K/W}$]	Permeabilidade ao ar		
		Alta/Muito Alta	Média	Apertada Ou baixa
		ΔR [$\text{m}^2.\text{K/W}$]		
Estore exterior em alumínio (sem isolamento)	0.01	0.00	0.12	0.00
Portada exterior opaca em madeira (sem isolamento)	0.10	0.00	0.16	0.00
Estore exterior em madeira (sem isolamento)	0.10	0.00	0.16	0.00
Estore exterior em plástico (sem isolamento)	0.10	0.00	0.16	0.00
Estore veneziano com lâminas de madeira	0.01	0.09	0.00	0.00
Estore veneziano com lâminas metálicas	0.01	0.09	0.00	0.00
Lona opaca exterior tipo rolo	0.01	0.09	0.00	0.00
Lona translúcida exterior tipo rolo	0.01	0.09	0.00	0.00
Portada interior	0.01	0.00	0.00	0.24
Cortinas interiores opacas	0.00	0.00	0.00	0.00
Cortinas interiores transparentes	0.00	0.00	0.00	0.00
Portadas interiores de madeira	0.10	0.00	0.00	0.31
Estore de plástico com isolamento tipo espuma	0.15	0.00	0.19	0.00
Portada de madeira com 25-30mm de espessura	0.20	0.00	0.22	0.00

A fração adimensional da diferença de temperatura acumulada para o período de tempo com o dispositivo de proteção ativado, f_{shut} , utilizado no algoritmo foi obtido a partir de valores horários. Foi considerado igual à fração de tempo noturna (proteção noturna dos envidraçados).

3.3.3.1.2 Transferência de calor pela ventilação

Um tipo de técnica passiva para aquecimento/arrefecimento consiste na definição das condições mais favoráveis para a ventilação do edifício para otimização do seu desempenho térmico. No Inverno, é conveniente reduzir o fluxo de ar proveniente do exterior de modo a reduzir as perdas de calor. No Verão é vantajoso aumentar a renovação do ar interior sempre que se pretenda arrefecer o edifício e a

temperatura exterior seja menor que a temperatura do ar interior. Assim, o algoritmo permite definir diferentes taxas de renovação de ar interior em função do modo de aquecimento ou arrefecimento.

A metodologia para cálculo da transferência de calor por ventilação é prescrita na norma ISO 13790:2008, cláusula 9.3, e apresenta as seguintes expressões:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj}(\theta_{int,sec} - \theta_e) \cdot t$$

Eq. (3.14)

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \left(\sum_k b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn} \right)$$

Eq. (3.15)

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \cdot q_{ve,k}$$

Eq. (3.16)

onde,

$\rho_a \cdot c_a$, capacidade térmica do ar por unidade de volume (J/m³.K);

$q_{ve,k,mn}$, média no tempo do fluxo de ar do elemento k (m³/s);

$b_{ve,k}$, fator de correção da temperatura do fluxo de ar k (-).

Se não existir um sistema de pré-aquecimento (por exemplo, unidade de recuperação de calor), então o fator de correção da temperatura, $b_{ve,k}$, é 1. No caso de um edifício com uma unidade de recuperação de calor:

$$b_{ve,k} = (1 - f_{ve,frac,k} \cdot \eta_{hru})$$

Eq. (3.17)

onde,

$f_{ve,frac,k}$, fração do fluxo de ar do elemento k que passa pela unidade de recuperação de calor

η_{hru} , eficiência da unidade de recuperação de calor.

3.3.3.1.3 Ganhos internos de calor

O calor gerado pelos ocupantes e equipamentos é calculado através dos ganhos internos. Esta é uma parcela importante no balanço térmico do edifício. O algoritmo pode utilizar dados introduzidos pelo utilizador ou valores padrão (obtidos na 13790:2008) compostos por um horário de ocupação semanal e correspondente taxa de fluxo de calor.

A equação utilizada para o cálculo dos ganhos internos devido a fontes de calor existentes no interior do edifício é:

$$Q_{int} = \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} \right) \cdot t + \left(\sum_k (1 - b_{tr,l}) \Phi_{int,mn,u,l} \right) \cdot t$$

Eq. (3.18)

onde,

$\Phi_{int,mn,k}$, média no tempo do fluxo de calor emitido pela “fonte” k (W);

$\Phi_{int,mn,u,l}$, média no tempo do fluxo de calor emitido pela “fonte” l num espaço não condicionado adjacente (W);

$b_{tr,l}$, fator de redução para o espaço não condicionado adjacente;

t , duração do mês (Ms).

O calor gerado no interior de um edifício pode ser proveniente de: i) ocupantes; ii) equipamentos. No Quadro 3.13 são apresentados valores de referência para o fluxo de calor dos ocupantes e dispositivos.

Quadro 3.13 – Fluxo de calor por unidade de área proveniente dos ocupantes e equipamentos em edifícios residenciais (ISO 13790:2008)

Dias	Horas	Sala de estar e cozinha ($\Phi_{int,oc} + \Phi_{int,A}$)/ A_f [W/m ²]	Outras áreas condicionadas (por exemplo. quartos) ($\Phi_{int,oc} + \Phi_{int,A}$)/ A_f [W/m ²]
Segunda a Sexta	07:00 to 17:00	8.0	1.0
	17:00 to 23:00	20.0	1.0
	23:00 to 07:00	2.0	6.0
Sábado e Domingo	07:00 to 17:00	8.0	2.0
	17:00 to 23:00	20.0	4.0
	23:00 to 07:00	2.0	6.0

3.3.3.1.4 Ganhos solares

Este tipo de ganhos de calor (proveniente da radiação solar) é outra variável importante na equação do balanço térmico de um edifício. A equação para o seu cálculo é a seguinte:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t + \left(\sum_k (1 - b_{tr,l}) \Phi_{sol,mn,u,l} \right) \cdot t$$

Eq. (3.19)

onde,

- $\Phi_{sol,mn,k}$, média no tempo do fluxo de calor emitido pela “fonte” de radiação solar k (W);
- $\Phi_{sol,mn,u,l}$, média no tempo do fluxo de calor emitido pela “fonte” de radiação solar l num espaço não condicionado adjacente (W);
- $b_{tr,l}$, fator de redução para o espaço não condicionado adjacente;
- t , duração do mês (Ms).

É necessário calcular a área coletora efetiva para cada elemento sujeito à radiação solar. Este método apresentado na ISO 13790 (2008) permite ter em consideração os efeitos dos dispositivos de sombreamento, do sombreamento devido ao próprio edifício e de outros dados climáticos (e.g. radiação solar). Esta metodologia é descrita resumidamente nos parágrafos seguintes.

O fluxo de calor devido aos ganhos solares é obtido a partir da equação,

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}$$

Eq. (3.20)

onde,

- $F_{sh,ob,k}$, fator de redução devido ao sombreamento por obstáculos exteriores (-);
- $A_{sol,k}$, área coletora solar efetiva do elemento construtivo k (-);
- $I_{sol,k}$, radiação solar incidente por m² de área coletora k (W/m²);
- $F_{r,k}$, fator de forma entre o elemento construtivo k e o céu (-);
- $\Phi_{r,k}$, fluxo de calor devido à radiação térmica para o céu a partir do elemento construtivo k (W/m²).

O fator de redução devido ao sombreamento por obstáculos exteriores, $F_{sh,ob,k}$, não é considerado nesta versão do AMECO. A área coletora solar efetiva dos elementos envidraçados é calculada por,

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p}$$

Eq. (3.21)

onde,

- $F_{sh,gl}$, fator de redução devido aos dispositivos de sombreamento (-);

g_{gl} , fator solar da parte envidraçada da janela (-);

F_F , fração em área de caixilharia da janela (-);

$A_{w,p}$, área total projetada da janela (m²).

É possível ter em consideração o efeito positivo (por exemplo durante a estação de arrefecimento) dos dispositivos de sombreamento aplicados nas janelas. Para isso, é necessário determinar o fator de redução desse dispositivo de sombreamento através de,

$$F_{sh,gl} = \frac{(1 - f_{sh,with}) \cdot g_{gl} + f_{sh,with} \cdot g_{gl+sh}}{g_{gl}}$$

Eq. (3.22)

onde,

g_{gl+sh} , transmissão solar energética total pela janela com dispositivo de sombreamento ativado;

$f_{sh,with}$, fração ponderada no tempo com o dispositivo de sombreamento está em utilização.

Os valores adotados para a energia solar total transmitida pela janela com os dispositivos de sombreamentos ativados, g_{gl+sh} , são apresentados no Quadro 3.14 e foram obtidos do RCCTE (2006).

A fração ponderada no tempo com o dispositivo de sombreamento em utilização, $f_{sh,with}$, é calculada para cada orientação e é baseada em valores horários de radiação solar (determinados utilizando o algoritmo do *EnergyPlus*, com base no modelo de Perez para cálculos solares). Corresponde à fração de tempo que a radiação solar está acima do *set-point* para uma determinada orientação.

No caso de uma janela com vidros não difusivos ("non-scattering") e sem considerar o sombreamento, a transmissão solar energética total, g_{gl} , é calculada de acordo com:

$$g_{gl} = g_{gl,n} \cdot F_w$$

Eq. (3.23)

onde,

F_w , fator de correção para vidros não difusivos ("non-scattering") (-);

$g_{gl,n}$, transmissão energética solar para radiação perpendicular ao vidro ou fator solar (-).

Quadro 3.14 : Transmissão solar energética total pela janela com dispositivos de sombreamento ativados, g_{gl+sh}

Tipo de dispositivo de sombreamento	Cor do dispositivo de sombreamento		
	Luz	Intermediário	Escuro
Portada exterior opaca em madeira (sem isolamento)	0.03	0.05	0.06
Estore exterior em madeira (sem isolamento)	0.04	0.05	0.07
Estore exterior em alumínio (sem isolamento)	0.04	0.07	0.09
Estore exterior em plástico (sem isolamento)	0.04	0.07	0.09
Estore veneziano com lâminas de madeira	0.08	0.08	0.08
Estore veneziano com lâminas metálicas	0.09	0.09	0.09
Lona opaca exterior tipo rolo	0.04	0.06	0.08
Lona translúcida exterior tipo rolo	0.16	0.18	0.2
Portada interior	0.47	0.59	0.69
Cortinas interiores opacas	0.37	0.46	0.55
Cortinas interiores transparentes	0.39	0.48	0.58
Portadas interiores de madeira	0.35	0.46	0.58
Estore de plástico com isolamento tipo espuma	0.04	0.07	0.09
Portada de madeira com 25-30mm de espessura	0.04	0.05	0.07

No entanto, se existirem dispositivos de sombreamento aplicados na janela, ou se o vidro for difusivo (“scattered”), é necessário calcular a média no tempo da transmissão energética solar baseada na soma ponderada das frações de radiação solar direta e difusa. Este parâmetro é calculado mensalmente através da Eq. (3.24).

$$g_{gl} = a_{gl} \cdot g_{gl,alt} + (1 - a_{gl}) \cdot g_{gl,dif}$$

Eq. (3.24)

$$alt_g = \frac{\sum_1^n \alpha_i \cdot I_{dir,i}}{\sum_1^n I_{dir,i}}$$

Eq. (3.25)

$$a_{gl} = \frac{\sum_1^n I_{dir,i}}{\sum_1^n I_{sol,i}}$$

Eq. (3.26)

onde,

a_{gl} , fator de ponderação, dependente da posição (orientação e inclinação) de janela, do clima e estação do ano (-);

$g_{gl,alt}$, transmissão energética por radiação solar a partir de uma dada altitude, alt_{gl} , representativa da posição (orientação e inclinação) da janela, do clima e da estação do ano (-);

$g_{gl,dif}$, transmissão energética para radiação solar difusa isotrópica (-);

$I_{dir,i}$, média horária da radiação solar direta i (W/m²);

I_{sol} , média horária da radiação solar total i (W/m²);

α_i , ângulo de incidência solar (°);

n , número de horas do mês.

Os valores da radiação solar direta e total, e o ângulo de incidência solar, $I_{dir,i}$, I_{sol} e α_i , respetivamente, foram obtidos através do *EnergyPlus*, com base no modelo de Perez para o cálculo solar.

A fração em área de caixilharia da janela, F_F , é calculada com base na norma ISO 10077-1 (2006). Podem ser utilizados os valores 0.2 ou 0.3, consoante o valor máximo obtido para o coeficiente de transmissão térmica da janela. O valor por defeito para climas com período de aquecimento predominante, é 0.3 (ISO 13790, nota da cláusula 11.4.5).

A área total projetada da janela, $A_{w,p}$, inclui o vidro e a caixilharia, uma vez que as propriedades térmicas da janela integradas no algoritmo incluem todo o elemento construtivo (vidro e caixilho). Para além disso, esta metodologia é também recomendada pela ISO 13789:2007 no Anexo B.

A área coletora solar efetiva de **elementos opacos** é calculada pela seguinte equação,

$$A_{sol} = \alpha_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c$$

Eq. (3.27)

onde,

$\alpha_{S,c}$, coeficiente de absorção da radiação solar para elementos opacos (-);

R_{se} , coeficiente de resistência térmica superficial opaca exterior, obtido da ISO 6946:2007 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$);

U_c , coeficiente de transmissão de calor para elementos opacos, calculado de acordo com a norma ISO 6946:2007 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$);

A_c , área (projetada num plano paralelo à superfície) do elemento opaco (m^2);

O coeficiente de absorção da radiação solar depende da cor da superfície exterior do elemento opaco, tendo sido considerados os valores apresentados no Quadro 3.15.

Quadro 3.15: Coeficiente de absorção da radiação solar de um elemento opaco (RCCTE, 2006)

Cor	$\alpha_{s,c}$
Clara	0.3
Média	0.5
Escura	0.8

A radiação solar incidente, $I_{sol,k}$, foi obtida para um valor médio mensal. Obviamente, este valor depende do clima, da latitude e da posição (orientação e inclinação) do elemento opaco em estudo.

O fator de forma entre o elemento construtivo e o céu, $F_{r,k}$, é considerado igual a 1.0 para elementos não sombreados horizontais e 0.5 para os verticais (também não sombreados).

A radiação térmica emitida para o céu, $\Phi_{r,k}$, é incluída na equação referente aos ganhos solares: Eq. (3.20). No entanto, esta transferência de calor por radiação é devida à diferença de temperatura entre a superfície do elemento (assumindo que é igual à temperatura exterior) e a esfera celeste (céu). A Eq. (3.28) permite calcular o valor para este fenómeno de transferência de calor,

$$\Phi_{r,k} = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}$$

Eq. (3.28)

onde,

h_r , coeficiente de transmissão de calor por radiação exterior ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$);

$\Delta\theta_{er}$, diferença média entre a temperatura do ar exterior e a temperatura aparente do céu ($^{\circ}\text{C}$).

A norma ISO 13790:2008 diz que o coeficiente de transmissão de calor por radiação exterior, h_r (W/m².K), pode ser considerado igual a $5.\varepsilon$ (onde ε é a emissividade do material), o que corresponde a uma temperatura média de 10 °C da superfície exterior e do céu.

De acordo com a ISO 13790 (cláusula 11.4.6) a diferença média entre a temperatura exterior e a temperatura do céu, $\Delta\theta_{er}$, pode ser considerada igual a 9°C em regiões subpolares, 13°C nos trópicos e 11°C em zonas intermédias.

3.3.3.1.5 Parâmetros dinâmicos

Para o modo de aquecimento, o fator de utilização dos ganhos térmicos, $\eta_{H,gn,m}$, é dado pelas seguintes equações:

$$\text{se } \gamma_H > 0 \text{ e } \gamma_H \neq 1, \text{ então: } \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}}$$

Eq. (3.29)

$$\text{se } \gamma_H = 1, \text{ então: } \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1}$$

Eq. (3.30)

$$\text{se } \gamma_H < 0, \text{ então: } \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H}$$

Eq. (3.31)

onde,

$\gamma_H = Q_{H,gn}/Q_{H,ht}$ é relação entre balanços térmicos;

$a_H = a_{H,0} + \tau/\tau_{H,0}$ é um parâmetro adimensional;

$\tau = C_m/H$ é a constante de tempo de uma zona do edifício que tem em consideração a inércia térmica do edifício e a transmissão de calor por condução e ventilação;

$a_{H,0}$ e $\tau_{H,0}$ são parâmetros adimensionais que tomam o valor 1 e 15, respetivamente (valor da ISO 13790).

O fator de utilização dos ganhos térmicos para o modo de arrefecimento é obtido através da seguinte equação:

$$\text{se } \gamma_C > 0 \text{ e } \gamma_C \neq 1, \text{ então: } \eta_{C,Is} = \frac{1 - \gamma_C^{-a_C}}{1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}}$$

Eq. (3.32)

$$\text{se } \gamma_C = 1, \text{ então: } \eta_{C,Is} = \frac{a_C}{a_C+1}$$

Eq. (3.33)

$$\text{se } \gamma_c < 0, \text{ então: } \eta_{c,ls} = 1$$

Eq. (3.34)

Os parâmetros utilizados para obter os fatores de utilização são similares aos apresentados para o modo de aquecimento, mas com valores correspondentes ao modo de arrefecimento (os parâmetros adimensionais $a_{c,0}$ e $\tau_{c,0}$ assumem respetivamente o valor 1 e 15 na ISO 13790).

A massa interior do edifício é tida em consideração nos cálculos através da constante de tempo da zona do edifício, τ , expressa em horas. Este valor é obtido por:

$$\tau = \frac{C_m}{3600 \cdot (H_{tr,adj} + H_{ve,adj})}$$

Eq. (3.35)

onde,

C_m , é a capacidade térmica do edifício ou zona do edifício (J/K);

$H_{tr,adj}$, é o coeficiente global de transferência de calor por transmissão obtido pela Eq. (3.9);

$H_{ve,adj}$, é o coeficiente global de transferência de calor por ventilação obtido pela Eq. (3.15).

A capacidade térmica, C_m (J/K), foi calculada através do somatório das capacidades térmicas de todos os elementos de construção do edifício em contato térmico direto com o ar interior do edifício (ISO 13790), é dada por,

$$C_m = \sum_j k_j \cdot A_j$$

Eq. (3.36)

onde,

k_j é a capacidade térmica por área de elemento construtivo j (J/K.m²);

A_j é a área da superfície do elemento construtivo j (m²).

A capacidade térmica por área, k_j , foi calculada para cada macro componente sob orientação da norma EN ISO 13786:2007, Anexo A, que contempla um método simplificado para esta avaliação.

De modo a determinar de uma forma rápida a capacidade térmica do edifício, a ISO 13790 fornece valores padrão por metro quadrado, dados para a classe de inércia térmica do edifício. Estes valores são apresentados no Quadro 3.16 para o método mensal ou sazonal.

Quadro 3.16 – Valores padrão para a capacidade térmica (ISO 13790, 2008)

Classe	C_m [J/K]
Muito leve	$80000 \cdot A_f$
Leve	$110000 \cdot A_f$
Média	$165000 \cdot A_f$
Pesada	$260000 \cdot A_f$
Muito pesada	$370000 \cdot A_f$

A_f - Área de piso

Duração dos meses de aquecimento e arrefecimento

Com o intuito de obter uma estimativa dos meses com necessidades de arrefecimento e aquecimento, a ISO 13790 fornece dois métodos de avaliação, baseados no balanço térmico e nos parâmetros adimensionais, a_c e a_H . Embora a referida norma proponha dois métodos, apenas o mais detalhado é apresentado neste documento (cláusula 7.4.1.1 – método b), uma vez que é viável a sua implementação no algoritmo desta ferramenta.

Modo aquecimento

A estimativa da fração do mês onde existem necessidades energéticas para aquecimento do edifício começa com o cálculo do balanço térmico ideal, $\gamma_{H,lim}$, que corresponde a um fator de utilização de ganhos térmicos ideal, $\eta_{H,gn}$. Este último adota um valor que torna nulas as necessidades energéticas para aquecer o edifício. Este raciocínio é adotado assumindo um edifício ideal com inércia térmica infinita, onde $\gamma_{H,lim} = 1.0$, e assim $\eta_{H,gn} = 1.0$. Como um edifício real tem inércia finita, nem todos os ganhos térmicos contribuem para diminuir as necessidades energéticas de aquecimento tendo como referência uma temperatura de conforto (devido ao sobreaquecimento). Assim, o fator de utilização dos ganhos térmicos é inferior e é necessário ter mais ganhos para equilibrar a equação do balanço térmico para que as necessidades energéticas sejam nulas. Este raciocínio não é válido para as perdas de calor (se a relação do balanço térmico for menor que 1, significa que as perdas de calor são superiores aos ganhos; como o fator de utilização dos ganhos térmicos não pode ter um valor superior a 1, não é possível ter uma

necessidade energética nula, assim, não é possível determinar uma relação de balanço térmico ótima inferior a 1.0). Isto é explicado graficamente na Fig. 3.11.

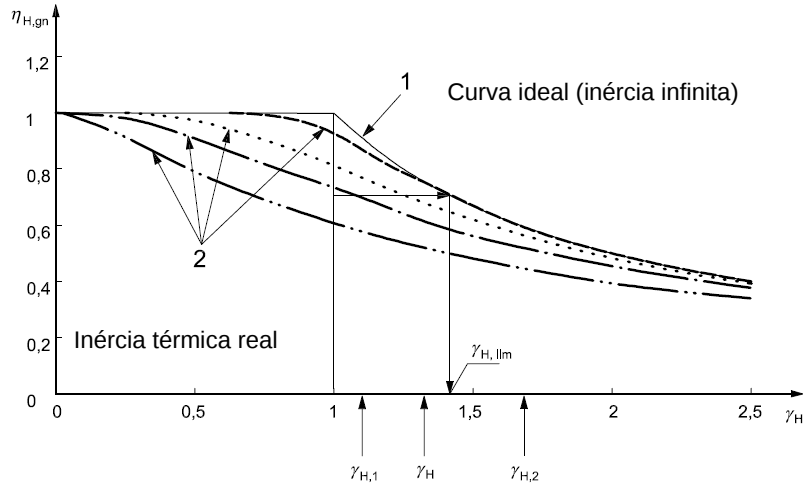


Fig. 3.11: Parâmetros relevantes para determinar a fração mensal das necessidades energéticas para arrefecimento e aquecimento (ISO 13790)

A relação do balanço térmico ideal é calculada por:

$$\gamma_{H,lim} = \frac{(a_H + 1)}{a_H}$$

Eq. (3.37)

Para o cálculo da fração mensal com necessidades de aquecimento, é necessário determinar γ_H no início e no final do mês. A média de γ_H para o início do mês é obtida pela média de γ_H do mês em análise e do mês seguinte. O parâmetro para γ_H no final do mês é obtido pela média de γ_H do mês em análise e do mês seguinte. Além disso, dois “novos” parâmetros são necessários: $\gamma_{H,1}$ e $\gamma_{H,2}$. O primeiro é obtido pelo mínimo dos dois γ_H calculados pelo processo anterior, e $\gamma_{H,2}$ corresponde ao máximo. Estes parâmetros ($\gamma_{H,1}$ e $\gamma_{H,2}$) são as relações de balanço térmico no início e no fim do mês, respetivamente, e são calculados da seguinte forma:

$$\text{se } \gamma_{H,2} < \gamma_{H,lim}, \text{ então } f_H = 1$$

Eq. (3.38)

$$\text{se } \gamma_{H,1} > \gamma_{H,lim}, \text{ então } f_H = 0$$

Eq. (3.39)

A Equação (3.39) significa que se a menor relação do balanço térmico nos limites do mês é mais elevada que a ótima, então, nesse mês, não existe necessidade de aquecer o edifício. No entanto, se nenhuma destas condições forem cumpridas, é necessário aplicar:

$$\text{se } \gamma_H > \gamma_{H,lim}, \text{ então } f_H = 0,5 \cdot \frac{\gamma_{H,lim} - \gamma_{H,1}}{\gamma_H - \gamma_{H,1}}$$

Eq. (3.40)

$$\text{se } \gamma_H \leq \gamma_{H,lim}, \text{ então } f_H = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{\gamma_{H,lim} - \gamma_H}{\gamma_{H,2} - \gamma_H}$$

Eq. (3.41)

Estas equações seguem a mesma lógica das equações (3.38) e (3.39), com a diferença que no caso das equações (3.40) e (3.41), γ_H refere-se ao valor médio mensal e não aos valores limite do mês (início e fim).

A duração da estação de aquecimento também pode ser determinada pela soma de f_H para cada mês, ou seja:

$$L_H = \sum_{m=1}^{12} f_{H,m}$$

Eq. (3.42)

Modo de arrefecimento

O raciocínio explicado para o modo de aquecimento, pode ser aplicado no caso do modo de arrefecimento. Por este motivo não é necessário repetir as explicações detalhadas relativas a esse procedimento. O cálculo da fração mensal com necessidades energéticas para arrefecimento é calculado utilizando o inverso da relação de balanço térmico ótimo, $(1/\gamma_c)_{lim}$. Este parâmetro é calculado da seguinte forma:

$$(1/\gamma_c)_{lim} = (a_c + 1)/a_c$$

Eq. (3.43)

Em seguida, os parâmetros limite, $(1/\gamma_c)_1$ e $(1/\gamma_c)_2$ são obtidos através das equações (3.44) e (3.45):

$$\text{se } (1/\gamma_c)_2 < (1/\gamma_c)_{lim}, \text{ então } f_c = 1$$

Eq. (3.44)

$$\text{se } (1/\gamma_c)_1 > (1/\gamma_c)_{lim}, \text{ então } f_c = 0$$

Eq. (3.45)

Tal como no modo de aquecimento, se nenhuma destas condições for verificada:

$$\text{se } (1/\gamma_c) > (1/\gamma_c)_{lim}, \text{ então } f_c = 0,5 \cdot \frac{(1/\gamma_c)_{lim} - (1/\gamma_c)_1}{(1/\gamma_c) - (1/\gamma_c)_1}$$

Eq. (3.46)

$$\text{se } (1/\gamma_c) \leq (1/\gamma_c)_{lim}, \text{ então } f_c = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{(1/\gamma_c)_{lim} - (1/\gamma_c)}{(1/\gamma_c)_2 - (1/\gamma_c)}$$

Eq. (3.47)

A estação de arrefecimento também pode ser calculada pela soma de todos os f_c para cada mês, como é apresentado na Equação (3.48):

$$L_c = \sum_{m=1}^{12} f_{c,m}$$

Eq. (3.48)

Necessidades energéticas para sistemas intermitentes de climatização

Quando os sistemas de AVAC funcionam de acordo com um horário (ou seja, em modo intermitente), a ISO 13790 (2008) fornece diretrizes para reduzir as necessidades energéticas baseadas no cálculo para o modo em funcionamento contínuo, apresentado anteriormente na Eq. (3.6) e Eq. (3.7). Isto é determinado pela redução das necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento, $Q_{H,nd}$ e $Q_{C,nd}$, através do fator de redução adimensional para arrefecimento e aquecimento intermitentes, $a_{C,red}$ e $a_{H,red}$. As frações mensais com necessidades energéticas para os modos de aquecimento e arrefecimento, $f_{H,m}$ e $f_{C,m}$, são também aplicadas. Assim,

$$Q_{H,nd,interm,m} = f_{H,m} \cdot a_{H,red} \cdot Q_{H,nd,cont,m}$$

Eq. (3.49)

$$Q_{C,nd,interm,m} = f_{C,m} \cdot a_{C,red} \cdot Q_{C,nd,cont,m}$$

Eq. (3.50)

A constante de tempo do edifício, τ , e a relação do balanço térmico, γ_H e γ_C , também apresentam influência no fator de redução das necessidades energéticas devido ao funcionamento intermitente dos sistemas de climatização, tal como é observado nas equações seguintes,

$$a_{H,red} = 1 - b_{H,red} \cdot \frac{\tau_{H,0}}{\tau} \cdot \gamma_H \cdot (1 - f_{H,hr}) , \text{ com } f_{H,hr} \leq a_{H,red} \leq 1.0$$

Eq. (3.51)

$$a_{C,red} = 1 - b_{C,red} \cdot \frac{\tau_{C,0}}{\tau} \cdot \gamma_C \cdot (1 - f_{C,day}) , \text{ com } f_{C,day} \leq a_{C,red} \leq 1.0$$

Eq. (3.52)

onde,

b_{red} é um parâmetro fixo, com o valor 3 (tanto para o modo de aquecimento como para o modo de arrefecimento);

$f_{H,hr}$ é a fração do número de horas em que os sistemas estão em funcionamento;

$f_{C,day}$, representa a fração do número de dias da semana, com os sistemas em funcionamento.

3.3.3.2 Energia necessária para a produção de AQS

A energia necessária para a produção de AQS, em $MJ/mês$, é calculada segundo a norma EN 15316-3-1 (2007), sendo influenciada pelo tipo de edifício, área de pavimento e a diferença entre a temperatura da água à entrada e a temperatura pretendida para a mesma, de acordo com,

$$Q_{DHW,nd,m} = 4,182 \cdot V_{W,m} \cdot (\theta_{W,t} - \theta_{W,o})$$

Eq. (3.53)

onde,

$V_{W,m}$ é o volume de AQS necessário mensalmente de acordo com a EN 15316-3-1 (2007);

$\theta_{W,t}$ é a temperatura pretendida para a água quente [$^{\circ}C$];

$\theta_{W,o}$, é a temperatura da água à entrada da rede [$^{\circ}C$].

Para uma única habitação o volume diário das necessidades de água quente sanitária é baseado na área do edifício e calculado (em m^3/dia) como,

$$V_w = \frac{a \cdot N_U}{1000}$$

Eq. (3.54)

onde,

a , requisitos da unidade baseada em litros de água a 60°C/dia;

N_U , número de unidades a serem consideradas.

O volume mensal necessário de AQS, $V_{w,m}$, pode ser obtido pela multiplicação do valor diário, V_w , pelo número de dias do mês.

Os parâmetros, a e N_U , dependem do tipo de edifício e da sua ocupação/atividade e podem ser calculados dependendo da área de pavimento, A_f , do seguinte modo,

$$\text{se } A_f > 30m^2, \text{ então } a = \frac{62 \cdot \ln(A_f) - 160}{A_f}$$

Eq. (3.55)

$$\text{se } 15 \leq A_f \leq 30m^2, \text{ então } a = 2$$

Eq. (3.56)

3.3.3.3 Consumo de energia

O cálculo da energia útil necessária, não tem em consideração a eficiência dos sistemas instalados no edifício para climatizar os espaços interiores e para produção de AQS. O algoritmo considera que o edifício pode ter sistemas com diferentes eficiências, uma vez que não é frequente, por exemplo, as eficiências de aquecimento e arrefecimento serem iguais. Assim, cada necessidade energética (arrefecimento, aquecimento e produção de AQS) é afetada pela eficiência do respetivo equipamento. A fórmula geral para calcular a energia final consumida que pode ser aplicada para cada tipo de necessidades energéticas é dada por:

$$Q_{cons} = \frac{Q_{nd}}{\eta_{sys}}$$

Eq. (3.57)

onde,

Q_{nd} , energia útil necessária;

η_{sys} , eficiência do sistema.

Os valores adotados para a eficiência energética dos sistemas e o tipo de energia consumida são apresentados nos quadros seguintes. A maioria destes valores foram obtidos a partir do RCCTE (2006).

Quadro 3.17 : Eficiência dos sistemas para aquecimento de espaços e energia utilizada

Sistema de aquecimento	$\eta_{H,sys}$	Tipo de energia
Resistência elétrica	1	Eletricidade
Aquecedor a gás	0.87	Gás
Aquecedor a combustível líquido	0.8	Combustível líquido
Aquecedor a combustível sólido	0.6	Combustível sólido
Split (Aquecimento)	4	Eletricidade

Quadro 3.18: Eficiência dos sistemas para arrefecimento de espaços e energia utilizada

Sistema de arrefecimento	$\eta_{C,sys}$	Tipo de energia
Split (arrefecimento)	3	Eletricidade
Máquina de refrigeração (ciclo de compressão)	3	Eletricidade
Máquina de refrigeração (ciclo de absorção)	0.8	Eletricidade

Quadro 3.19: Eficiência dos sistemas para produção de AQS e energia utilizada

Sistema de aquecimento	$\eta_{DHW,sys}$	Tipo de energia
Caldeira elétrica	0.9	Eletricidade
Caldeira a gás	0.6	Gás
Caldeira de condensação	0.72	Gás
Aquecedor autónomo	0.4	Gás

A energia total consumida pelo edifício é determinada a partir da soma de todas as energias utilizadas:

$$Q_{Tot,cons} = \frac{Q_{H,nd}}{\eta_{H,sys}} + \frac{Q_{C,nd}}{\eta_{C,sys}} + \frac{Q_{DHW,nd}}{\eta_{DHW,sys}}$$

Eq. (3.58)

A energia primária é calculada pela multiplicação do fator de conversão F_{pu} , [kgoe/kWh] pela energia final consumida,

$$Q_{Tot,prim} = F_{H,pu} \cdot Q_{H,cons} + F_{C,pu} \cdot Q_{C,cons} + F_{DHW,pu} \cdot Q_{DHW,cons}$$

Eq. (3.59)

O fator de conversão a partir da energia consumida (ou utilizada) para energia primária depende do combustível (tipo de energia) para cada sistema. Os valores padrão foram obtidos no RCCTE (2006) e são apresentados no Quadro 3.20.

Quadro 3.20: Fator de conversão a partir da energia consumida para energia primária (RCCTE, 2006)

Tipo de energia	F_{pu} [kgoe/kWh]
Eletricidade	0.29
Gás, combustível líquido ou sólido	0.086

3.3.3.4 Inércia térmica

No que diz respeito à inércia térmica, os cálculos da capacidade térmica interna do edifício, C_m , foram realizados segundo sugestões da ISO 13790 conforme apresentado anteriormente na Equação (3.36). A capacidade térmica interna por unidade de área para cada macro-componente foi calculada de acordo com as prescrições indicadas no anexo A da EN ISO 13786 (2007). Este procedimento simplificado é baseado na profundidade de penetração da onda de calor, calculada para os materiais adjacentes à superfície do paramento interior, que adequando para este tipo de cálculos. Neste método, é considerada a capacidade térmica das diversas camadas constituintes do elemento construtivo em análise, até uma espessura máxima de 100 mm (contados a partir da superfície interior).

3.3.3.5 Pontes térmicas

O efeito de pontes térmicas “repetitivas” (por exemplo, originadas por perfis em aço, tal como ilustrado na Fig. 3.12) nos elementos de construção (por exemplo, paredes ou lajes) foram considerados no cálculo do coeficiente de transmissão de calor (U). Os efeitos de outras pontes térmicas lineares e pontuais não foram considerados. O valor de U está inserido na base de dados do programa para cada macro-componente.

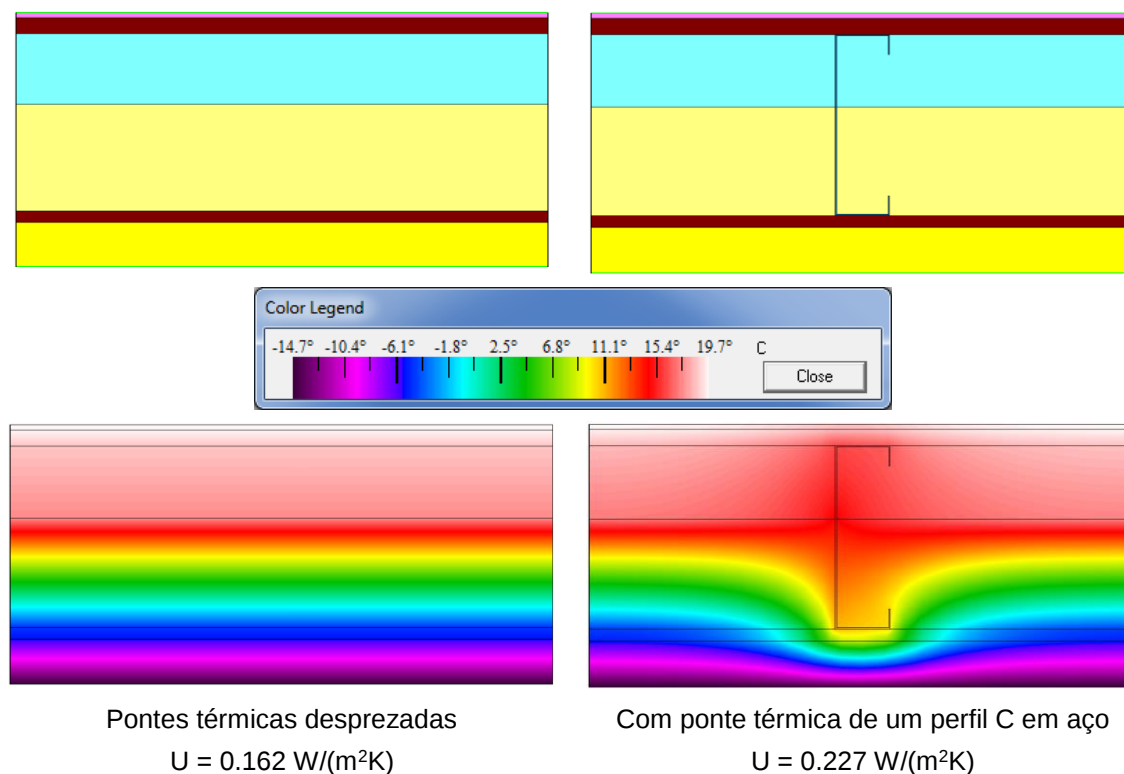


Fig. 3.12: Efeito das pontes térmicas no coeficiente de transmissão de calor para um pavimento exterior com estrutura leve em aço enformado a frio

O valor de U para elementos construtivos contendo pontes térmicas foi determinado pelo método apresentado na Secção 6 da ISO 6946 (2007) e aperfeiçoado por Gorgolewski (2007), dado que o primeiro é apenas aplicável se a camada de isolamento térmico não for atravessada por perfis em aço. O segundo método baseia-se na determinação de dois limites da resistência térmica do elemento construtivo e dos fatores de correção dependentes das dimensões e afastamento do perfil. O limite inferior é calculado pela combinação de resistências paralelas das camadas, ou seja, assumindo que cada plano está à mesma temperatura. O limite superior da resistência térmica do elemento construtivo é calculado pela soma das resistências para cada via de transmissão de calor. Sempre que não existam pontes térmicas no elemento construtivo, então pode ser aplicado o método para camadas homogêneas, que tem em consideração um circuito de resistências térmicas em série.

3.3.4 Calibração do algoritmo

Foram realizados vários testes para verificação e calibração do algoritmo implementado para prever a energia operacional do edifício (aquecimento e arrefecimento de espaços), baseado no método mensal em regime quase

permanente (“*quasi-steady-state*”) descrito na ISO 13790, com o intuito de verificar e melhorar a sua precisão.

Primeiro, a precisão do algoritmo mensal foi verificada aplicando-o a doze casos de teste preconizados na norma EN 15265 para um compartimento de escritórios. Depois, uma vez que os edifícios reais não são tão simples, existindo mais do que um compartimento, o algoritmo foi calibrado para múltiplos compartimentos em edifícios residenciais, fazendo uso dos fatores de correção aplicados para as quatro principais componentes do balanço térmico do edifício e também para os parâmetros dinâmicos adimensionais.

Por último, na secção 4.2, o algoritmo calibrado obtido é validado aplicando-o a um caso de estudo (edifício residencial com dois pisos) e comparando os resultados com os obtidos através de uma análise dinâmica avançada, utilizando o *DesignBuilder / EnergyPlus*.

3.3.4.1 Verificação da precisão no âmbito da EN 15265

Esta secção apresenta algumas das verificações realizadas de forma a averiguar a precisão do algoritmo mensal, utilizando 12 casos de teste (Quadro 3.21) preconizados na EN 15265 (2007) para um compartimento de escritórios (Fig. 3.13). Esta norma utiliza uma divisão de referência com elementos envidraçados orientados a oeste, que é analisado sobre diferentes condições de fronteira, diversos ganhos internos e solares, e dois tipos de aquecimento/arrefecimento: contínuo e intermitente. Para cada um dos doze casos considerados, a norma providencia resultados de referência para as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento para uma localização específica (Trappes, França), para onde são também prescritos dados climáticos horários para a temperatura exterior e radiação solar.

Quadro 3.21: Casos de teste preconizados na EN 15265 (2007) para validação do cálculo das necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento utilizando métodos dinâmicos

Informativo	Obrigatório	Obrigatório
Teste 1 Caso de referência	Teste 5 = Teste 1 +	Teste 9 = Teste 5 +
Teste 2 Elevada inércia térmica	Teste 6 = Teste 2 +	Teste 10 = Teste 6 +
Teste 3 Sem ganhos internos	Teste 7 = Teste 3 +	Teste 11 = Teste 7 +
Teste 4 Sem proteção solar	Teste 8 = Teste 4 +	Teste 12 = Teste 8 +

AVAC

Intermitente

(apenas

8h00-18h00 de

2ª a 6ª feira)

Cobertura

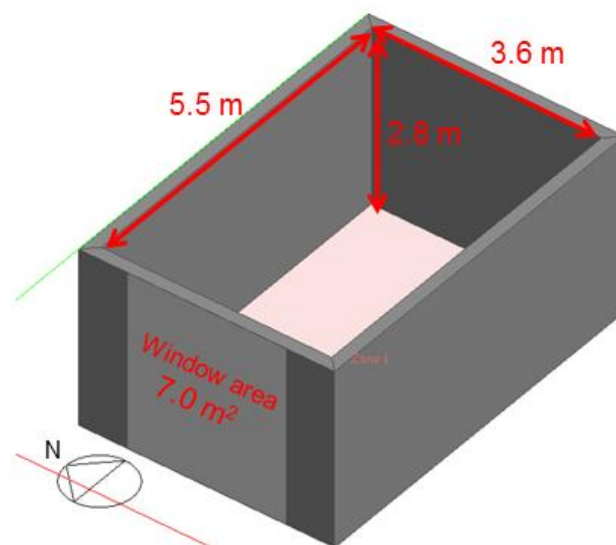
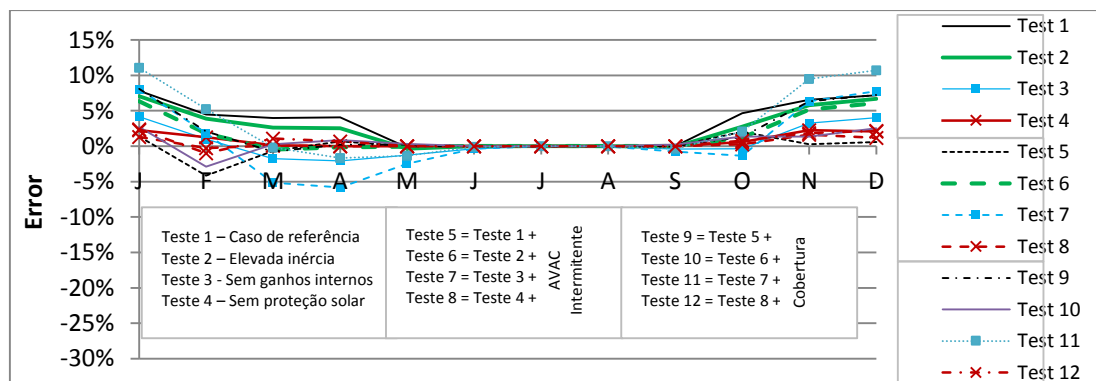
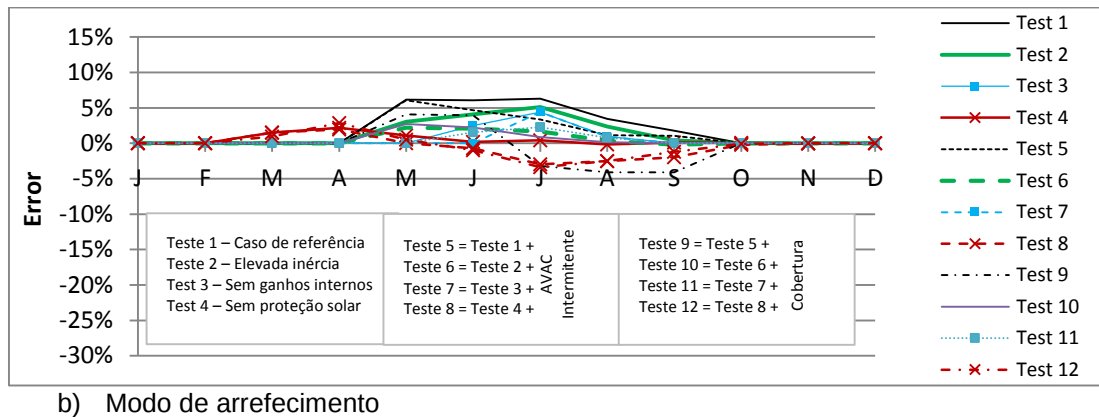


Fig. 3.13: Geometria do compartimento de escritório preconizado pela EN 15265

Dada a importância da precisão das diversas parcelas que fazem parte do balanço térmico e não sendo estas fornecidas pela norma EN 15265, os casos de teste foram também calculados no programa de simulação dinâmica, *DesignBuilder*, que utiliza o algoritmo de simulação energética do *EnergyPlus*. O compartimento de teste foi totalmente definido no programa de simulação dinâmica e no algoritmo mensal para estimar a energia necessária. A Fig. 3.14 ilustra os erros obtidos com a metodologia mensal em regime quase permanente tendo como referência os resultados da simulação dinâmica obtidos pelo *EnergyPlus* e calculados como uma percentagem do total das necessidades energéticas anuais. O erro máximo mensal é inferior a 12%, como ilustrado na Fig. 3.14. O erro é superior nos meses de Verão e de Inverno, nos modos de arrefecimento e aquecimento, respetivamente.



a) Modo de aquecimento



b) Modo de arrefecimento

Fig. 3.14: Erro do algoritmo mensal em regime quase permanente – resultados de referência: EnergyPlus (método dinâmico horário)

3.3.4.2 Fatores de calibração

A metodologia mensal em regime quase permanente inclui várias simplificações quando comparada com simulações dinâmicas avançadas (com base em dados horários). Alguns parâmetros contribuem diretamente para essas diferenças:

- (i) A utilização dos fatores dinâmicos mensais, $\eta_{H,gn,m}$ e $\eta_{C,ls,m}$, assumidos constantes e independentes dos dados climáticos e do horário de ocupação, dentro de cada zona climática;
- (ii) Os vários termos de energia, Q_{tr} , Q_{ve} , Q_{int} e Q_{sol} , são calculados para temperaturas interiores constantes, conforme definido pelos set-points para as estações de aquecimento e arrefecimento.

Adicionalmente, os dados climáticos, os horários de ocupação e o *layout* do edifício têm também influência indireta nos parâmetros mencionados anteriormente.

Consequentemente, apesar da boa concordância do cálculo mensal em regime quase permanente relativamente aos casos de teste preconizados na norma EN 15265, o desempenho real dos edifícios com *layouts* mais complexos, condições de operação e climas diferentes, podem divergir significativamente dos resultados obtidos com a metodologia simplificada. Isto é reconhecido na ISO 13790, em que são citadas possíveis diferenças entre 50% a 150%, proporcionando assim um procedimento para a determinação dos fatores de utilização mensais (Anexo I da ISO 13790).

Para minimizar a possível dispersão de resultados, novos fatores de correção foram definidos e calibrados para melhorar as estimativas dos vários termos energéticos: (i) transferência de calor por condução; (ii) transferência de calor por ventilação; (iii)

ganhos de calor internos; (iv) ganhos solares, tal como demonstrado nas equações (3.60) a (3.62),

$$H_{tr,adj,c} = f_{tr} \cdot H_{tr,adj} \rightarrow Q_{tr,m} = H_{tr,adj,c} \cdot (\theta_{int,sec,H} - \theta_e) \cdot t$$

Eq. (3.60)

$$H_{ve,adj,c} = f_{ve} \cdot H_{ve,adj} \rightarrow Q_{ve,m} = H_{ve,adj,c} \cdot (\theta_{int,sec,H} - \theta_e) \cdot t$$

Eq. (3.61)

$$Q_{gn} = f_{int} \cdot Q_{int,m} + f_{sol} \cdot Q_{sol,m}$$

Eq. (3.62)

onde, $H_{tr,adj,c}$ é a transferência de calor por transmissão corrigida; f_{tr} é o coeficiente de correção para a transmissão de calor; $H_{ve,adj,c}$ é a transferência de calor por ventilação corrigida; f_{ve} corresponde ao coeficiente de correção de transferência de calor por ventilação; f_{int} é o coeficiente de correção para os ganhos internos; e f_{sol} é o coeficiente de correção para ganhos solares, excluindo a radiação térmica para o céu.

É de referir, que foram calibrados fatores de correção distintos para cada zona climática. Para além dos fatores de correção já mencionados para as quatro componentes da transferência de calor, os parâmetros adimensionais a_{H0} , τ_{H0} , a_{C0} e τ_{C0} , foram também calibrados para cada zona climática.

Dado que o algoritmo mensal visa a previsão das necessidades energéticas do edifício, em vez de se focar em apenas num compartimento, tal como preconizado na EN 15265 (2007), todas as calibrações foram realizadas para um novo conjunto de casos de teste baseados nas características típicas de um edifício (tipo apartamento) como ilustrado na Fig. 3.15.

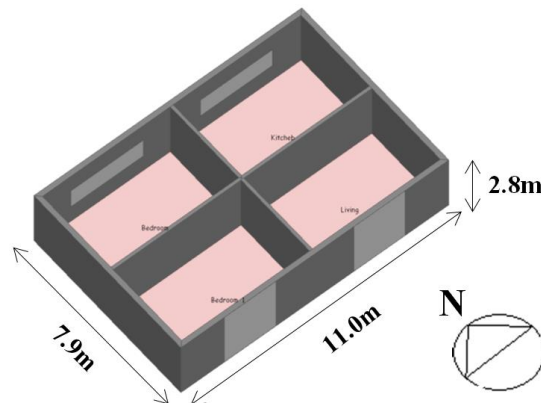


Fig. 3.15: Exemplo de um edifício tipo utilizado nos casos de teste para calibrar o algoritmo mensal

Estes casos de teste utilizam as mesmas propriedades térmicas preconizadas nos casos de teste da EN 15265 (2007) (ver Quadro 3.22), mas com diferentes condições de fronteira (paredes e cobertura não adiabáticas) e área útil (79.2 m²). A ventilação foi considerada constante e igual a 1.0 renovação horária.

Quadro 3.22 – Propriedades térmicas da envolvente para calibração dos casos de teste

Elemento	Valor de U [W/m ² .K]	K_m [J/m ² .K]
Parede exterior	0.493	81297
Parede interior	-	9146
Cobertura	0.243	6697
Piso	-	63380

Uma alteração importante introduzida nos modelos de calibração está relacionada com a ocupação e os horários de funcionamento dos sistemas, uma vez que os casos de teste da EN 15265 (2007) são baseados num compartimento utilizado como escritório. Assim, os horários de ocupação e os respetivos ganhos de calor foram obtidos a partir da ISO 13790 (2008) para edifícios residenciais, tal como apresentado anteriormente no Quadro 3.13.

Dada a importância das zonas envidraçadas para os ganhos solares e perdas de calor por transmissão, foram estudadas diferentes relações entre as áreas de paredes e de pavimento, conforme apresentado no Quadro 3.23. Foram também estudados os cenários com e sem dispositivos de sombreamento no processo de calibração.

Quadro 3.23 – Principais variáveis dos casos de teste para calibração do algoritmo

Test case	GFR [%]	NGWR [%]	SGWR [%]	Dispositivos de sombreamento
T1	35	36	54	ON
T2				OFF
T3	25	20	40	ON
T4				OFF
T5	15	12	24	ON
T6				OFF

GFR: glazing to floor ratio;
NGWR: north-oriented glazed to wall ratio;
SGWR: south-oriented glazed to wall ratio.

Todos os casos de teste foram realizados para cinco zonas climáticas: (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; e (v) Dfc. Os fatores de calibração foram obtidos minimizando o erro para cada subconjunto de casos de teste para cada zona climática, que em alguns casos chegaram às 500 simulações. A Fig. 3.16 mostra os erros obtidos com

e sem os fatores de calibração para a zona climática Dfb, mostrando um decréscimo do erro de 43% para menos de 2%.

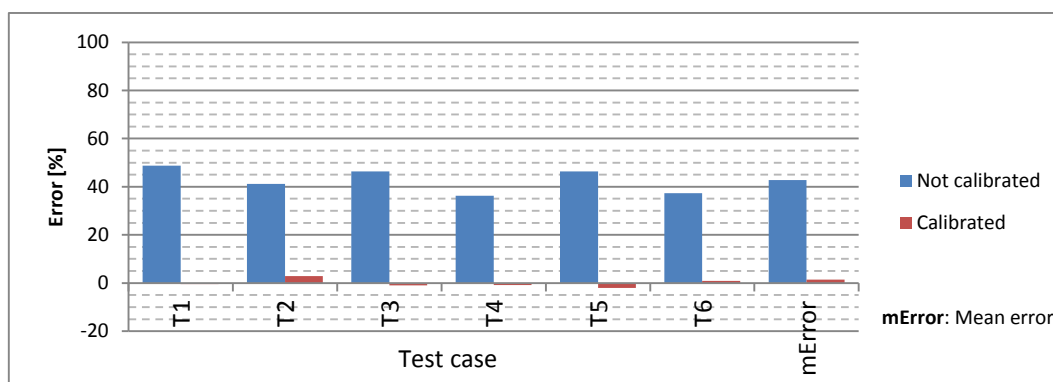


Fig. 3.16: Melhoria da precisão do método mensal da ISO 13790 para a zona climática Dfb com a introdução de fatores de calibração: energia total anual para aquecimento e arrefecimento

A Fig. 3.17 ilustra resumidamente as melhorias observadas para as cinco zonas climáticas analisadas. É interessante verificar que sem as correções, a precisão do método é inferior nas zonas climáticas mais frias, o erro mais elevado ocorreu para a zona climática Dfc e o erro mais baixo ocorre na zona climática Csb. O método mensal apresenta uma menor precisão na estimativa das necessidades energéticas para os meses mais frios, uma vez que as comparações com o método dinâmico, mostram que os ganhos são utilizados de uma maneira mais eficiente para o aquecimento do espaço, do que o considerado no método simplificado. Este efeito é ainda mais relevante e evidente quando os ganhos solares são menores. Considerando os fatores de calibração obteve-se um erro máximo inferior a 10%.

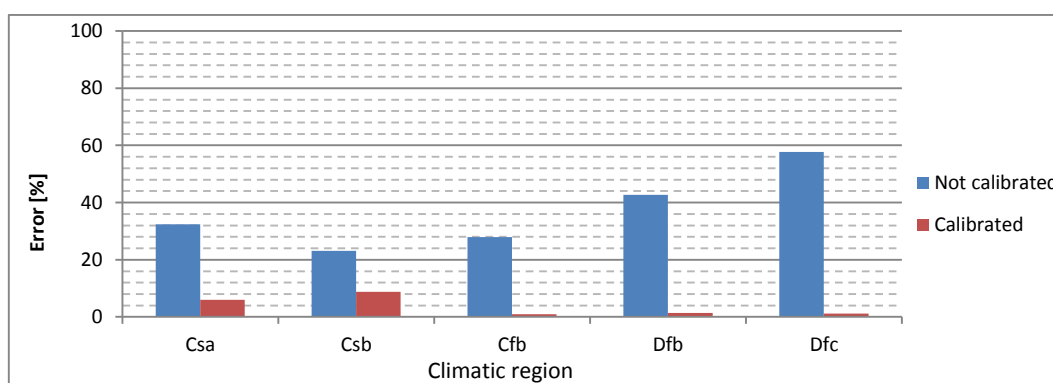


Fig. 3.17: Erros médios do método mensal calibrado e não calibrado

Note-se que houve uma tendência de erro diferente com e sem dispositivos de sombreamento. Por esta razão, os fatores de calibração são diferentes para dois

casos. O Quadro 3.24 e Quadro 3.25 apresenta os fatores de correção quando os dispositivos de sombreamento estão ativados ou não, respetivamente.

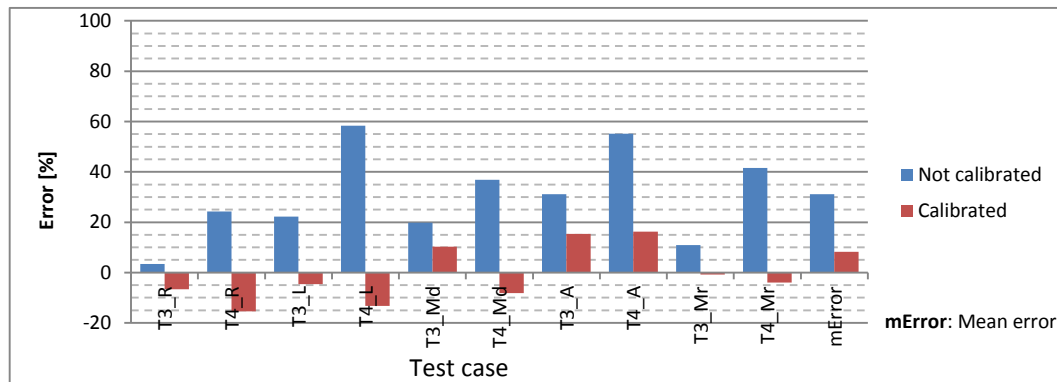
Quadro 3.24 – Fatores de calibração obtidos com os dispositivos de sombreamento ativados

Dispositivos de sombreamento ativados												
	Modo aquecimento						Modo de arrefecimento					
Região	a_{H0}	τ_{H0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}	a_{C0}	τ_{C0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}
Csa	1.00	15.67	1.00	1.00	0.90	0.93	1.20	15.00	1.07	1.00	0.83	0.90
Csb	1.33	15.00	1.00	1.07	0.97	0.93	1.10	15.00	1.03	1.10	0.97	1.00
Cfb	1.33	15.00	0.93	0.83	1.10	1.07	1.30	15.00	1.00	1.00	1.00	1.03
Dfb	1.30	14.67	0.83	0.90	1.25	1.25	1.00	15.00	1.07	1.07	0.97	1.00
Dfc	1.25	14.33	0.83	0.83	1.17	1.50	1.00	15.00	1.00	1.00	1.00	1.00

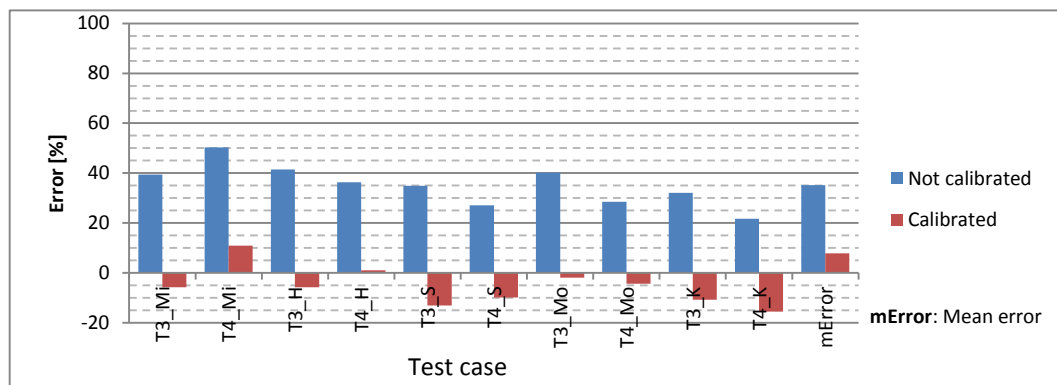
Quadro 3.25 – Fatores de calibração obtidos com os dispositivos de sombreamento não ativados

Dispositivos de sombreamento não ativados												
Região	a_{H0}	τ_{H0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}	a_{C0}	τ_{C0}	Q_{tr}	Q_{ve}	Q_{sol}	Q_{int}
Csa	0.93	15.00	1.00	1.00	1.03	1.03	1.25	15.00	1.17	1.33	0.83	0.90
Csb	1.13	15.00	1.00	0.97	1.03	1.00	0.93	15.00	1.08	1.17	0.87	0.87
Cfb	1.17	15.00	1.00	0.93	1.00	1.03	1.08	15.00	1.08	1.33	0.90	0.87
Dfb	1.33	15.00	0.93	0.87	1.17	1.10	1.20	15.00	1.00	1.00	0.83	0.90
Dfc	1.50	14.00	0.80	0.80	1.07	1.20	1.00	15.00	1.17	1.17	0.92	0.90

Dado que o algoritmo mensal implementado permite considerar diferentes modos de ativação dos dispositivos de sombreamento no Inverno e no Verão, os fatores de calibração do Quadro 3.24 foram implementados no modo de arrefecimento e os apresentados no Quadro 3.25 para o modo de aquecimento. Os fatores de calibração foram aplicados nos casos de teste 3 e 4 (25% de relação entre envidraçados e área de piso, Quadro 3.23) localizados em cinco cidades de zonas climáticas Csa e Dfb, de forma a avaliar o erro obtido quando se utiliza um clima para cada localização. A Fig. 3.18 mostra que o erro obtido varia em função do local, tal como era esperado. Os erros mais elevados ocorreram para as cidades de Atenas (16,2%) e Kiev (15,5%), para as zonas climáticas Csa e Dfb, respetivamente. No entanto, o erro médio é inferior a 10% para as duas zonas climáticas (Csa: 8.2% e Dfb:7.9%).



a) R:Roma; L: Lisboa; Md: Madrid; A: Atenas; Mr: Marselha



b) Mi: Minsk; H: Helsinki; S: Estocolmo; Mo: Moscovo; K: Kiev

Fig. 3.18: Verificação da precisão da calibração para diferentes cidades das zonas climáticas:
a) Csa; b) Dfb

4 VALIDAÇÃO DAS METODOLOGIAS ADOTADAS

A validação das metodologias adotadas e descritas nas seções anteriores é apresentada neste capítulo. Foi realizado um caso de estudo com a utilização das metodologias simplificadas e os resultados são comparados com os resultados provenientes de metodologias mais avançadas. As análises avançadas foram realizadas utilizando os programas comerciais *GaBi 6* (2012) e *DesignBuilder* (2012), para avaliação do ciclo de vida e quantificação energética, respetivamente.

4.1 Validação da metodologia das macro-componentes

A validação da metodologia das macro-componentes é baseada num caso de estudo referente a um edifício residencial de dois pisos, em Portugal. Os resultados apresentados pela metodologia adotada são comparados aos obtidos por uma análise avançada utilizando o programa *GaBi*. A análise é realizada ao nível do edifício.

4.1.1 Descrição do caso de estudo

O edifício é uma casa residencial de dois andares, unifamiliar, e localizada em Coimbra (Portugal). As fachadas e plantas do edifício estão ilustrados na Fig. 4.1 e Fig. 4.2, respetivamente.

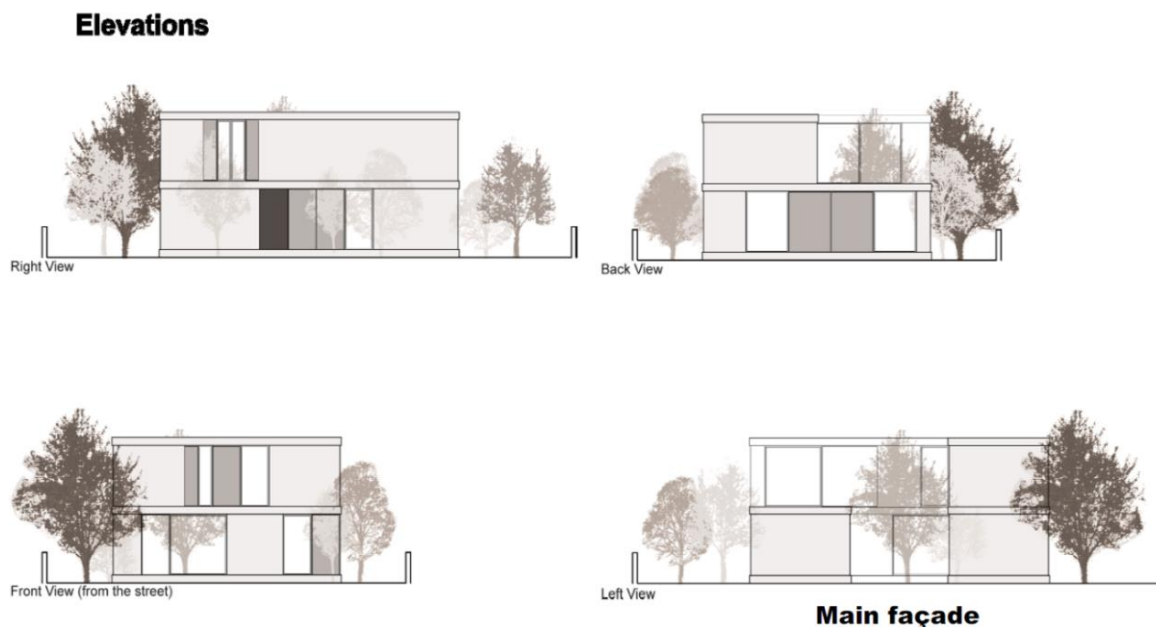


Fig. 4.1: Fachadas do edifício

A área total de construção é de cerca de 202.00 m², com 100.8 m² no piso térreo e 100.8 m² no primeiro andar (20.2 m² de terraço). A altura total do edifício é de 6 metros.

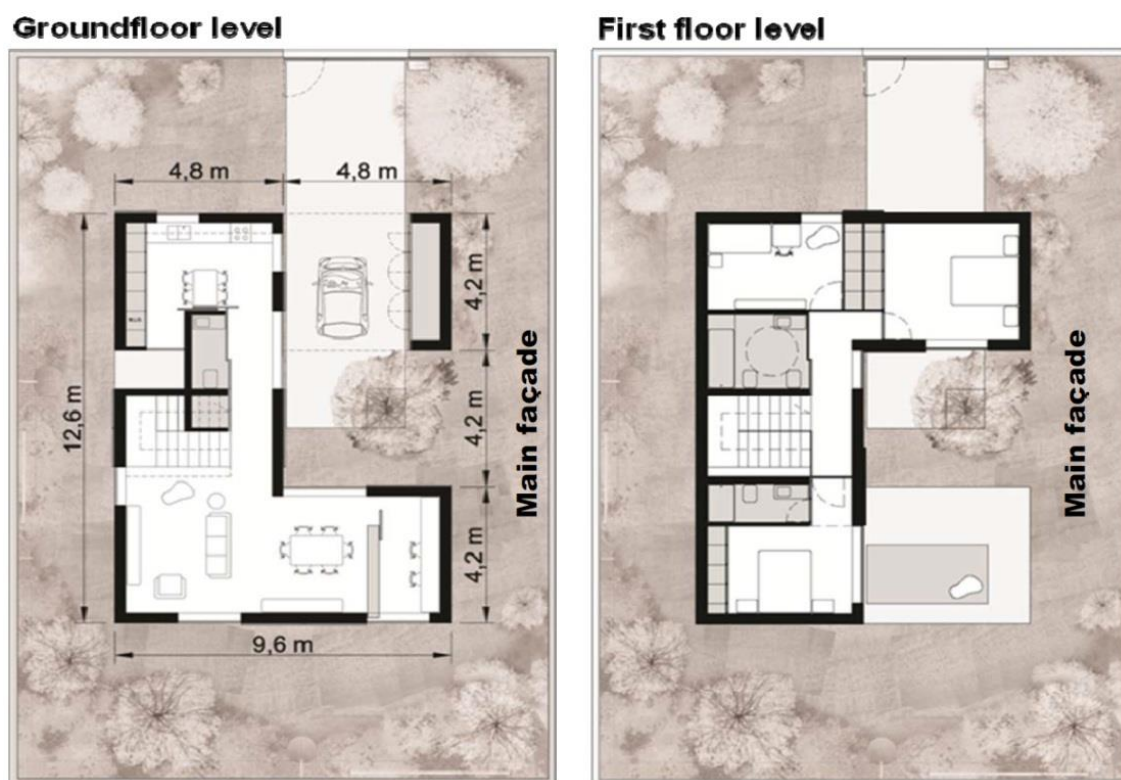


Fig. 4.2: Plantas do edifício

As áreas de envidraçados de cada fachada são também fornecidas. O Quadro 4.1 sintetiza as áreas da envolvente do edifício.

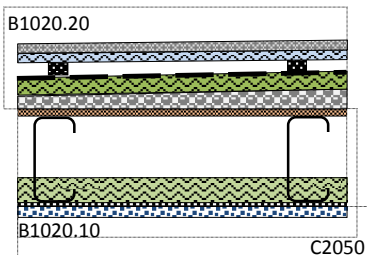
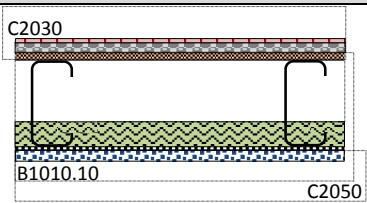
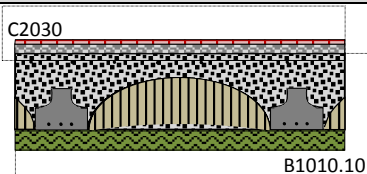
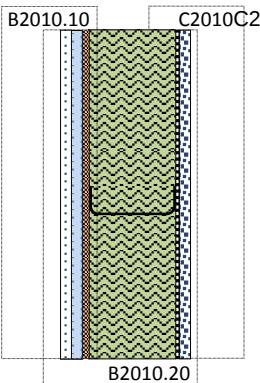
Quadro 4.1 : Áreas das paredes e envidraçados na fase preliminar

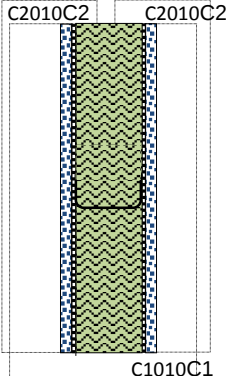
	Norte [m ²]	Este [m ²]	Sul [m ²]	Oeste [m ²]	TOTAL [m ²]
Paredes	41.3	49.9	38.3	60.4	189.9
Envidraçados	13.0	17.3	15.6	4.3	50.2

4.1.2 Seleção das macro-componentes

Para realizar a avaliação do ciclo de vida do edifício foram selecionadas macro-componentes para os principais elementos do edifício, nomeadamente para a superestrutura, envolvente exterior e interiores, as quais são indicadas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2: Seleção das macro-componentes

	Referência da Macro-componente	Camadas de materiais	Espessura [mm] Densidade de [kg/m²]	Valor de U [W/m².K]	Km [J/m².K]			
Cobertura								
	B1020.20 Pavimento da cobertura, lajes e acabamentos	Laje de cimento	30 mm	0.37 ^(*)	13435			
		Laje de XPS	30 mm					
		Caixa-de-ar	30 mm					
		Membrana impermeável	1.63 kg/m²					
		XPS	0 mm					
		Betonilha de betão	40 mm					
	B1020.10 Piso de cobertura estrutural	OSB	18 mm					
		Caixa-de-ar	80 mm					
		Lã-de-rocha	120 mm					
		Aço leve	17 kg/m²					
		Gesso cartonado	15 mm					
	C2050 Acabam. do teto	Pintura	0.125 kg/m²					
	Piso interior							
	C2030 Pavimento	Azulejos cerâmico	31 kg/m²	-	61062			
		Betonilha de betão	13 mm					
	B1010.10 Piso Interior estrutural	OSB	18 mm					
		Caixa-de-ar	160 mm					
		Lã-de-rocha	40 mm					
		Aço leve	14 kg/m²					
		Gesso cartonado	15 mm					
	C2050 Acabamentos do teto	Pintura	0.125 kg/m²					
	Piso térreo							
		C2030 Pavimento	Azulejos cerâmico			31 kg/m²	0.599	65957
Betonilha de betão			13 mm					
B1010.10 Piso Interior estrutural		Laje de betão pré-fabricado	180 mm					
		XPS	40 mm					
		Parede exterior						
	B2010.10 Acabamentos exteriores	ETICS	13.8 kg/m²	0.29 ^(*)	13391			
	B2010.20 Construção das paredes exteriores	OSB	13 mm					
		Lã-de-rocha	120 mm					
		Aço leve	15 kg/m²					
		Gesso cartonado	15 mm					
	C2010 Acabamentos das paredes interiores	Pintura	0.125 kg/m²					

Parede interior					
	C2010 Acabamentos das paredes interiores	Pintura	0.125 kg/m ²	-	26782
	C1010 Paredes interiores	Gesso cartonado	15 mm		
		Lã-de-rocha	60 mm		
		Aço leve	10 kg/m ²		
		Gesso cartonado	15 mm		
	C2010 Acabamentos das paredes interiores	Pintura	0.125 kg/m ²		

(*) Valores corrigidos para as pontes térmicas

4.1.3 Aplicação da metodologia das macro-componentes

De acordo com a geometria do edifício e pela utilização das macro-componentes seleccionadas (indicadas no Quadro 4.2), os cálculos ambientais foram realizados para todo o edifício, considerando uma vida útil de 50 anos. Os resultados são indicados na Fig. 4.3, considerando os módulos definidos na EN 15978. Este gráfico representa a contribuição de cada módulo por categoria de impacto. Como é observado a partir do gráfico, a fase de produção de materiais (módulo A1-A3) domina todas as categorias ambientais (com contribuições superiores a 60%).

A fase de utilização (modulo B4) e a reciclagem e recuperação de materiais (modulo D) têm uma contribuição significativa para a maioria das categorias ambientais, seguida da fase de fim de vida (módulos C2 – C4). A Fig. 4.3 permite observar que são obtidos valores negativos para o modulo D, indicando que para esta solução em particular, são obtidos créditos devido à reciclagem e/ou recuperação dos materiais depois da demolição do edifício.

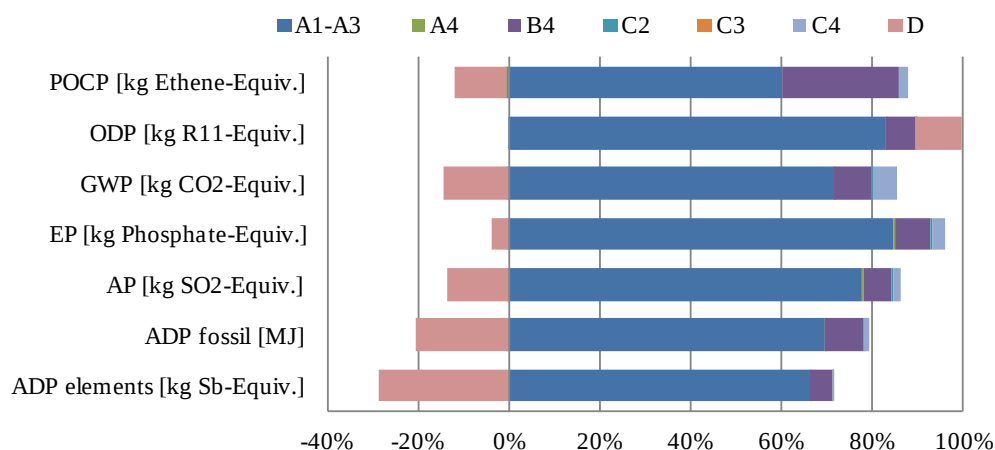


Fig. 4.3: Contribuição de cada módulo por categoria ambiental

Os resultados para cada categoria ambiental estão sintetizados no Quadro 4.3.

Quadro 4.3: Análise ambiental do ciclo de vida de um edifício

Categoria ambiental	TOTAL
ADPelements [kg Sb-Equiv.]	1.11E-01
ADP fossil [MJ]	4.38E+05
AP [kg SO ₂ -Equiv.]	1.35E+02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1.53E+01
GWP [kg CO ₂ -Equiv.]	3.54E+04
ODP [kg R11-Equiv.]	1.00E-03
POCP [kg Ethene-Equiv.]	3.71E+01

4.1.4 Comparação com análise detalhada do ciclo de vida

Nesta seção, a mesma moradia familiar é analisada tendo em consideração todos os detalhes do edifício e fases de ciclo de vida. A análise de ciclo de vida aqui apresentada preenche as lacunas da metodologia das macro-componentes descrita anteriormente, nomeadamente as fundações do edifício e a fase de construção (módulo A5). Foi realizada uma análise do ciclo de vida completa com o programa *GaBi 6* (2012).

As fundações do edifício são em betão armado e o primeiro nível do edifício tem uma elevação de 50 cm acima do chão. No fim de vida, o betão armado é reciclado assumindo as mesmas taxas de reciclagem.

A fase de construção (módulo A5) tem em consideração os seguintes processos: (i) a preparação do terreno (escavação do solo e transporte para depósito) e (ii) processo de construção (utilização de equipamento de construção para montagem da estrutura e uma empilhadora para levantamento dos painéis estruturais). O tempo de construção do edifício foi considerado igual a 1.5 meses.

Os resultados da análise de ciclo de vida, tendo em conta todas as fases do ciclo de vida, são apresentados na Fig. 4.4.

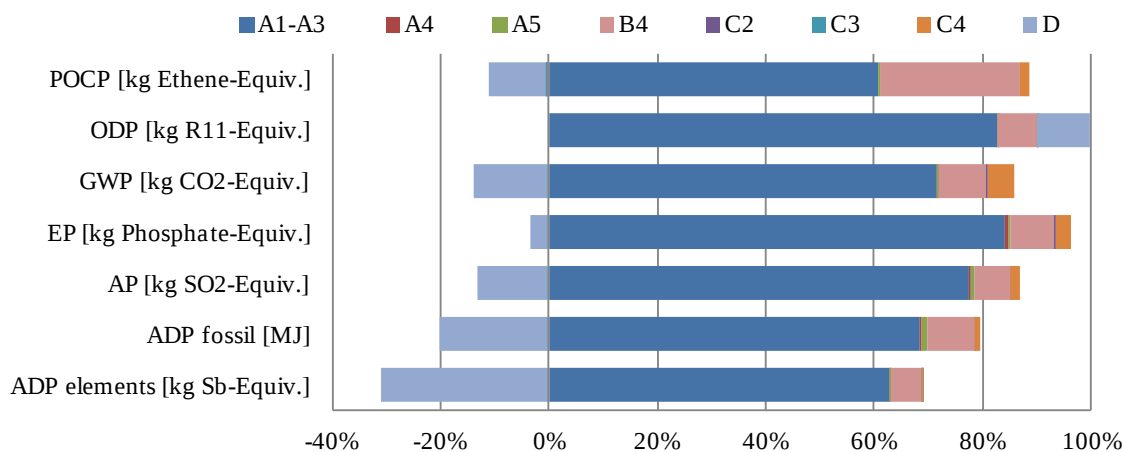


Fig. 4.4: Análise do ciclo de vida do edifício completo

A fase de produção de materiais (módulos A1-A3) domina todas as categorias de impacto (com contribuições superiores a 60%). A fase de construção (módulos A4-A5) tem uma importância pouco significativa, variando de 0% para as categorias de ODP, POCP e ADP_{elements} a cerca de 2.1% para a categoria ambiental ADP_{fossil}. A fase de utilização (módulo B4) e a reciclagem e recuperação de materiais (módulo D) tem uma contribuição significativa para a maioria dos impactos ambientais, seguida da fase de fim de vida (módulos C2-C4). Note-se que estas conclusões foram já observadas na metodologia simplificada, apesar das suas limitações. Por último, o erro relativo, para cada impacto, da metodologia em relação à análise completa é indicado no Quadro 4.4.

Quadro 4.4: Erro (%) para cada uma das categorias ambientais utilizando a metodologia das macro-componentes

ADP elements	ADP fossil	AP	EP	GWP	ODP	POCP
0.0%	-2.4%	-1.3%	-1.3%	-1.3%	-0.1%	-0.5%

Para a maioria das categorias ambientais o erro é desprezável. Naturalmente, a consideração de outros sistemas de construção pode levar a uma maior relevância da fase de construção.

Portanto, apesar das limitações da metodologia de macro-componentes, os resultados obtidos pela metodologia proposta são consistentes com os resultados obtidos por uma análise mais avançada do ciclo de vida.

4.2 Validação do cálculo das necessidades energéticas

A validação do cálculo das necessidades energéticas é baseada no mesmo caso de estudo. Nas seções seguintes, são descritos os dados de entrada e os procedimentos de cálculo.

Os resultados obtidos pela metodologia mensal adotada são comparados com os obtidos através uma análise dinâmica avançada, utilizando o software *DesignBuilder/EnergyPlus* (2012).

4.2.1 Dados climáticos e características térmicas do solo

O edifício está localizado em Coimbra, que pertence à zona climática Csb. A Fig. 4.5 apresenta a variação média mensal da temperatura exterior e da radiação solar total para cada orientação.

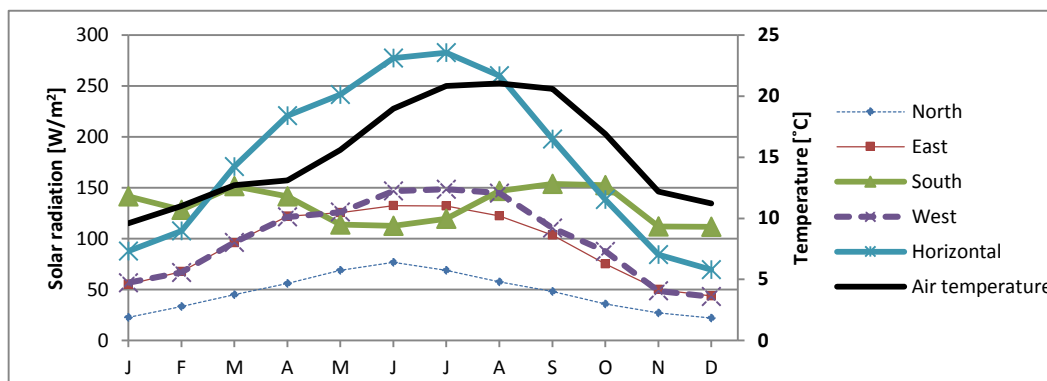


Fig. 4.5: Dados climáticos para Coimbra: radiação solar e temperatura do ar exterior

Considerou-se que o solo tem as características térmicas padrão definidas anteriormente no Quadro 3.10.

4.2.2 Dados relativos à ocupação do edifício

O horário de ocupação e o fluxo de calor devido às cargas internas (atividade dos ocupantes, equipamentos e iluminação) foram considerados com valores fornecidos pela ISO 13790 e apresentados anteriormente no Quadro 3.13. As temperaturas de conforto (ou set-points) são: 20°C para a estação de aquecimento e 25°C para a estação de arrefecimento.

4.2.3 Equipamentos do edifício

Foram utilizados os valores padrão indicados no Quadro 4.5 para a informação técnica e horário de funcionamento dos equipamentos do edifício (aquecimento, arrefecimento, ventilação e produção de AQS).

Quadro 4.5: Dados de entrada dos sistemas do edifício (valores padrão)

Serviços do edifício	Valores
Ar condicionado (Set-point 20°C – 25°C) ⁽¹⁾	COP Aquecimento = 4.0 COP Arrefecimento = 3.0
Produção de água quente sanitária ²	Eficiência: 0.9
Ventilação + taxa de infiltração ⁽³⁾ (Valores constantes)	0.6 ac/h (Modo aquecimento) 1.2 ac/h (Modo arrefecimento)

(1) da ISO13790 (2008) – Tabela G.12;

(2) de acordo com a EN 15316-3-1 (2007);

(3) depende da estanquicidade ao ar, da envolvente do edifício e das estratégias passivas de arrefecimento.

4.2.4 Vãos envidraçados e controlo dos dispositivos de sombreamento

As características e propriedades dos elementos envidraçados são as indicadas no Quadro 4.6. Neste caso, janela de vidro duplo com caixilharia em PVC.

Quadro 4.6: Propriedades óticas e térmicas dos elementos envidraçados (vidro+caixilharia)

Materiais	Valor de U [W/m ² .K]	SHGC
Caixilharia em PVC e duplo pano (8+6 mm, com caixa-de-ar de 14 mm)	2.597	0.780

As propriedades térmicas e óticas dos dispositivos de sombreamento são as consideradas no Quadro 4.7.

Quadro 4.7: Propriedades óticas e térmicas dos dispositivos de sombreamento

Elemento	Transmitância Solar	Reflexão Solar	R [m ² .K/W]	g _{gl+sh}
Persianas	0.02	0.80	0.260*	0.04**

*persiana e espaço de ar incluído (ISO 10077, 2006); **EN 13363-1, 2007.

4.2.5 Envolvente opaca

As características e propriedades dos elementos opacos das fachadas são baseadas nas macro-componentes selecionadas (Quadro 4.2).

A cor da envolvente opaca exterior do edifício influencia diretamente os ganhos solares. Foi considerado que o edifício tinha uma cor clara com um coeficiente de absorção de 0.4.

4.2.6 Resultados do desempenho energético do edifício

A energia necessária prevista pelo algoritmo mensal é de 651.3 kWh e 2195.0 kWh, por ano, para aquecimento e arrefecimento, respetivamente. Assim, a energia necessária por ano para aquecimento e arrefecimento é de 2846.3 kWh (23.0 kWh/m²) e para a produção de AQS tem o valor de 2642 kWh (21.3 kWh/m²).

A energia mensal necessária para aquecimento e arrefecimento do espaço interior está também indicada na Fig. 4.6.

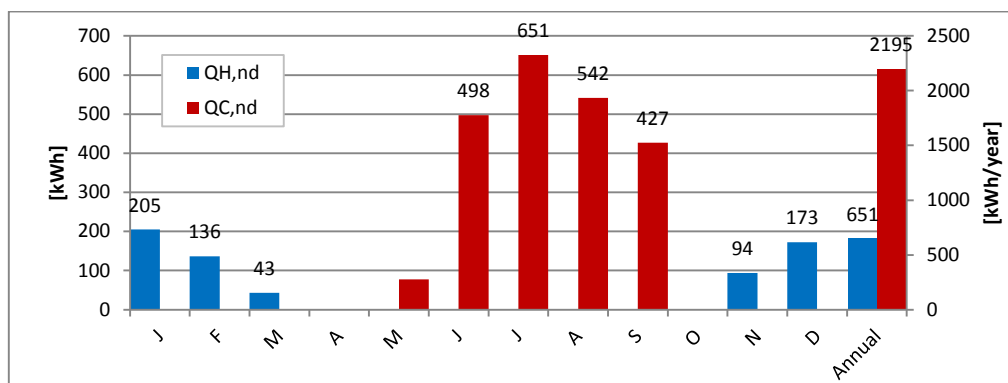


Fig. 4.6: Necessidade energética para aquecimento e arrefecimento de espaços (baseado no algoritmo mensal)

4.2.7 Comparação com simulação numérica avançada

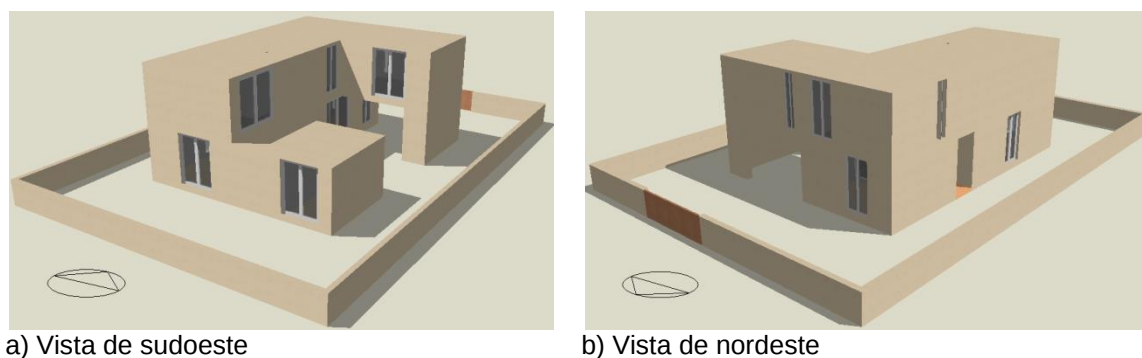
Foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos pelos algoritmos mensal e das simulações dinâmicas, com o objetivo de avaliar a precisão dos resultados obtidos pelo método simplificado mensal.

4.2.7.1 Modelo de simulação dinâmica

A simulação dinâmica do comportamento térmico do edifício foi realizada utilizando o programa DesignBuilder (2012). Os dados relativos às condições climáticas são os mesmos que os utilizados na metodologia simplificada. No entanto, nestas simulações dinâmicas, em vez de valores mensais de temperatura exterior e de radiação solar, foram utilizados valores horários para todos os parâmetros climáticos.

A modelação tridimensional permite simular toda a arquitetura do edifício tal como ilustrado anteriormente na Fig. 4.1 e Fig. 4.2. A Fig. 4.1 ilustra duas perspetivas exteriores do modelo utilizado na simulação dinâmica em DesignBuilder. Neste modelo foram consideradas dez zonas térmicas diferentes, de acordo com a compartimentação interior do edifício (Fig. 4.8):

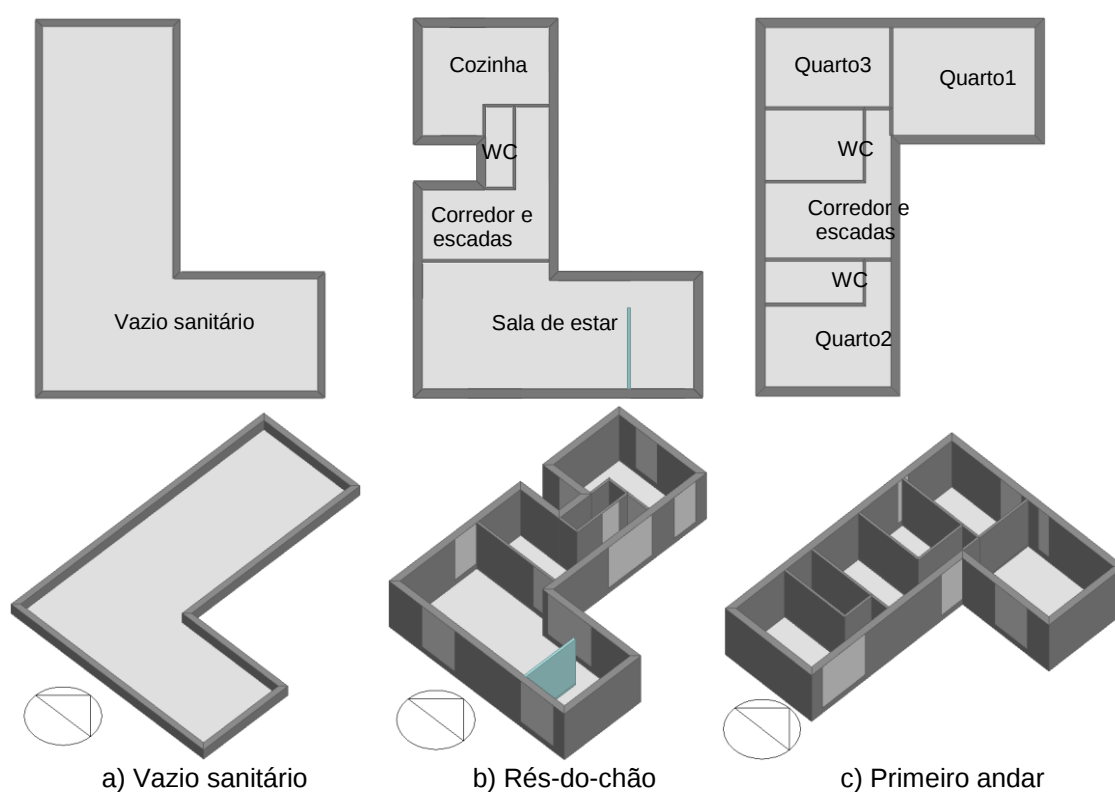
- (i) vazio sanitário que foi modelado como um espaço não condicionado;
- (ii) três zonas no rés-do-chão;
- (iii) cinco zonas térmicas no primeiro andar;
- (iv) uma área comum a ambos os pisos, que inclui os corredores e a caixa de escadas.



a) Vista de sudoeste

b) Vista de nordeste

Fig. 4.7: Perspetivas do modelo 3D do edifício



a) Vazio sanitário

b) Rés-do-chão

c) Primeiro andar

Fig. 4.8: Layout dos vários pisos

Os elementos construtivos considerados neste modelo são iguais aos descritos anteriormente para elementos opacos (Quadro 4.2), envidraçados (Quadro 4.6) e dispositivos de sombreamento (Quadro 4.7). Também foi considerada a mesma estratégia para o controlo dos dispositivos de sombreamento das janelas. Adicionalmente, o horário de ocupação, a ventilação/infiltrações, as eficiências e os horários de funcionamento do equipamento de ar condicionado são também os mesmos da análise anterior.

A comparação gráfica entre as necessidades energéticas mensais e anuais, para aquecimento e arrefecimento, calculadas nas duas metodologias, é mostrada na

Fig. 4.9. A energia necessária, por ano, para aquecimento e arrefecimento do edifício, obtida por simulações dinâmicas é de 932.4 kWh e 2133.3 kWh, respetivamente; levando a uma necessidade energética total de 3065.7 kWh por ano (24.8 kWh/m²).

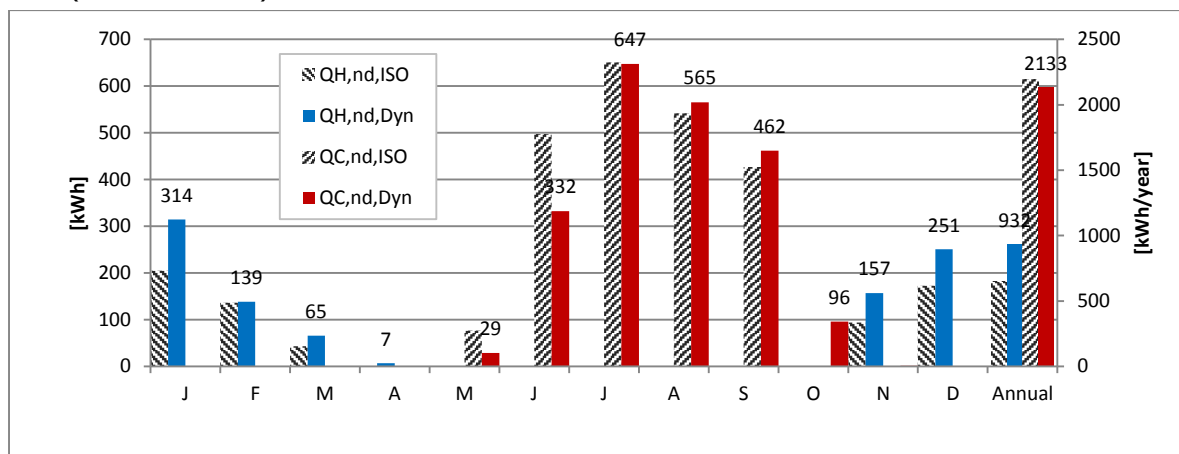


Fig. 4.9: Necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento do edifício: Simulações dinâmicas (Dyn) vs Algoritmo mensal (ISO)

Como pode ser observado da Fig. 4.9, os valores das necessidades energéticas calculadas pela metodologia simplificada (método mensal) mostram uma boa concordância com os obtidos pela simulação dinâmica. Ao comparar as necessidades energéticas totais (aquecimento e arrefecimento) do algoritmo mensal (2846.3 kWh/ano) com a simulação dinâmica, o erro é de -7.2%.

4.3 Considerações finais

As duas metodologias simplificadas que foram apresentadas neste documento (análise de ciclo de vida baseada em macro-componentes e método mensal em regime quase permanente para cálculo da energia operacional em edifícios), evitam a utilização de ferramentas complexas de ACV (que usualmente exigem experiência nesta área), proporcionando assim uma redução substancial no tempo necessário para realizar este tipo de avaliação.

A validação das duas metodologias foi baseada na comparação entre análises avançadas realizadas com os programas *GaBi 6* (2012) e *DesignBuilder* (2012), para avaliação do ciclo de vida e quantificação energética, respetivamente.

A comparação dos resultados para os dois tipos de análises, permite concluir que a precisão de ambas é bastante razoável.

REFERÊNCIAS

Blendspace <https://www.blendspace.com/lessons/hMYwDSTKeg6ssQ/essential-question-how-can-i-protect-this-environment> (last accessed in 2013).

CPA, 2012. Construction Product Association “A guide to understanding the embodied impacts of construction products” [ISBN 978-0-9567726-6-4]

DesignBuilder software v3.0.0.105, www.designbuilder.co.uk/, 2012

EERE-USDoE, Energy Efficiency and Renewable Energy Website from the United States Department of Energy: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6 (last accessed March 2014)

EN 13363-1. (2007). Solar protection devices combined with glazing - Part 1: Simplified method. CEN - European Committee for Standardization.

EN 15193, (2007) Thermal performance of buildings - Energy requirements for lighting, CEN – European Committee for Standardization.

EN 15265, (2007) Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods - General criteria and validation procedures. CEN - European Committee for Standardization.

EN 15316-3-1, (2007) Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 3.1 Domestic hot water systems, characterisation of needs (tapping requirements), CEN – European committee for Standardization.

EN 15643-1. 2010. Sustainability of construction works — Sustainability assessment of buildings — Part 1: General framework. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 15804. 2012. Sustainability of Construction Works — Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN 15978. 2011. Sustainability of Construction Works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

EN ISO 13786, (2007) Thermal performance of building components - Dynamic thermal characteristics - Calculation methods, CEN – European Committee for Standardization.

EN ISO 6946, (2007) Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method, CEN – European Committee for Standardization.

EPA. U.S. Environmental protection Agency. Climate change. (<http://www.epa.gov/climatechange/>) (last accessed in 19/09/2009).

EPD.http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/prob_solutions/images/smog_cause_eng.jpg

Forsberg, A., von Malmberg F. 2004. Tools for environmental assessment of the built environment. In: Building and Environment, 39, pp. 223-228.

GaBi 6 (2012). Software-System and Databases for Life Cycle Engineering. Version 5.56. PE International AG, Leinfelden-Echterdingen, Germany

GaBi databases 2006. PE INTERNATIONAL GmbH; LBP-GaBi, University of Stuttgart: GaBi

Software System, Leinfelden-Echterdingen / Germany, 2009.

Gervásio, H., Martins, R., Santos, P., Simões da Silva, L., “A macro-component approach for the assessment of building sustainability in early stages of design”, *Building and Environment* 73 (2014), pp. 256-270, DOI information: 10.1016/j.buildenv.2013.12.015.

Google Earth Software Website: www.google.co.uk/intl/en_uk/earth/ (last accessed January 2014).

Gorgolewski, M. (2007) Developing a simplified method of calculating U-values in light steel framing. *Building and Environment*, 42(1), 230–236.

Guinée, J.B.; Gorée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp.

Heijungs, R., Guinée, J., Huppes, G., Lankreijer, R., Udo de Haes, H., Sleeswijk, A., Ansems, A., Egges, P., van Duin, R. and de Goede, H. 1992. Environmental Life Cycle Assessment of products. Guide and Backgrounds. CML. Leiden University. Leiden

Howard N, Edwards S and Anderson J. 1999. Methodology for environmental profiles of construction materials, components and buildings. BRE Report BR 370. Watford. (<http://www.bre.co.uk/service.jsp?id=52>)

Huijbregts, M. 2001. Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment. PhD. Thesis. University of Amsterdam. The Netherlands.

IEA. 2001. LCA methods for buildings. Annex 31 – Energy-related environmental impact of buildings. International Energy Agency.

IPCC. 2007. Fourth Assessment Report – Climate Change 2007. IPCC, Geneva, Switzerland

ISO 10077, (2006) Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 1: General, ISO - International Organization for Standardization.

ISO 13370, (2007) Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods, ISO - International Organization for Standardization.

ISO 13789, (2007) Thermal performance of buildings - Transmission and ventilation heat transfer coefficients - Calculation method, ISO - International Organization for Standardization.

ISO 13790, (2008) Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling, CEN – European committee for Standardization.

ISO 14025. 2006. Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures

ISO 14040. 2006. Environmental management – life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.

ISO 14044. 2006. Environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Jönsson Å. 2000. Tools and methods for environmental assessment of building products - methodological analysis of six selected approaches. In: *Building and Environment*, 35, pp. 223-238.

Kellenberger D. 2005. Comparison and benchmarking of LCA-based building related environmental

assessment and design tools. EMPA Dubendorf, Technology and Society Laboratory, LCA group.

Kortman J, van Ejwik H, Mark J, Anink D, Knapen M. 1998. Presentation of tests by architects of the LCA-based computer tool EcoQuantum domestic. Proceedings of Green Building Challenge 1998. Vancouver, Canada (<http://www.ivambv.uva.nl/uk/producten/product7.htm>)

Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B and Rubel F (2006) World map of Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3): 259–263.

LCI, 2001. World Steel Life Cycle Inventory. Methodology report 1999/2000. International Iron and Steel Institute. Committee on Environmental Affairs, Brussels.

Lippiatt, B. 2002. Building for environmental and economical sustainability. Technical manual and user guide (BEES 3.0). National Institute of Standards and Technology (NIST). Report NISTIR 6916. (<http://www.bfrl.nist.gov/oea/software/bees.html>).

RCCTE (2006) Portuguese code of practice for thermal behaviour and energy efficiency of residential buildings. Decreto-Lei n.80/2006. Regulamento das Características Térmicas dos Edifícios (in Portuguese:). Lisboa, Portugal: Diário da República.

Reijnders L., van Roekel A. 1999. Comprehensiveness and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings. In: *Journal of Cleaner Production*, 7, pp. 221-225.

Santos P., Gervásio H., Simões da Silva L., & Gameiro A. (2011). Influence of climate change on the energy efficiency of light-weight steel residential buildings. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 28, 325–352.

Santos P., Simões da Silva L., & Ungureanu V. 2012. *Energy Efficiency of Light-weight Steel-framed Buildings*. European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), Technical Committee 14 - Sustainability & Eco-Efficiency of Steel Construction, ISBN 978-92-9147-105-8, N. 129, 1st edition.

SB_Steel, 2014. Sustainable Building Project in Steel. Draft final report. RFSR-CT-2010-00027. Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel

Steel Recycling Institute. <http://www.recycle-steel.org/construction.html> (last accessed in 31/08/2009)

The energy library. <http://theenergylibrary.com/node/324>

Trusty WB, Associates. 1997. Research guidelines. ATHENATM Sustainable Materials Institute. Merrickville. Canada. (<http://www.athenasmi.ca/about/lcaModel.html>)

UNEP, 2004. Why take a life cycle approach? United Nations Publication. ISBN: 92-807-24500-9

UniFormat™: A Uniform Classification of Construction Systems and Assemblies (2010). The Construction Specification Institute (CSI), Alexandria, VA, and Construction Specifications Canada (CSC), Toronto, Ontario. ISBN 978-0-9845357-1-2.

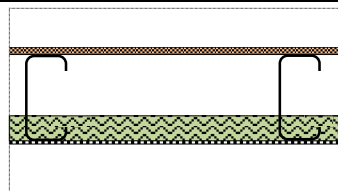
Werner, F. 2005. Ambiguities in decision-oriented life cycle inventories – The role of mental models and values. Doi 10.1007/1-4020-3254-4. Springer Netherlands

Wikipedia, 2013a. http://en.wikipedia.org/wiki/Marine_pollution

Wikipedia, 2013b. http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_resource

Worldsteel organization. <http://www.worldsteel.org/index.php> (last accessed in 31/08/2009)

ANEXO 1 – BASE DE DADOS DOS MACRO-COMPONENTES

B1010.10 Piso interior estrutural					
B1010.10.1a	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Incineração	80	
	Caixa-de-ar (mm)	160			
	Lã-de-rocha (mm)	40	Reciclagem	80	
	Gesso cartonado (mm)	15	Reciclagem	80	
	LWS (kg/m2)	14	Reciclagem	90	
B1010.10.1a - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,83E-05	1,76E-09	1,54E-09	3,37E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,48E+02	6,54E-01	5,72E-01	1,31E+00	-3,35E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,70E-01	2,11E-04	1,83E-04	5,74E-04	-4,45E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,41E-02	4,86E-05	4,20E-05	8,79E-05	-1,01E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,12E+01	4,71E-02	4,12E-02	3,86E-01	-1,46E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,65E-07	8,25E-13	7,21E-13	7,21E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,53E-02	-6,89E-05	-5,95E-05	1,49E-04	-1,07E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.92 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 33121 J/m².K.

Informação adicional**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

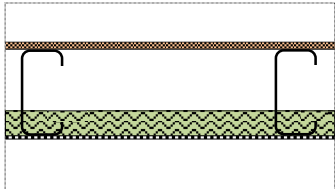
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
OSB	PE International	Alemanha	2008
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
Aço leve (LWS)	Worldsteel	Mundial	2007
Lã-de-rocha	PE International	Europa	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração OSB	PE International	Alemanha	2008
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem de aço	Worldsteel	Mundial	2007

B1010.10 Piso interior estrutural					
B1010.10.1b	Materiais	espessura/ densidade	Cenário De Fim de vida	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Incineração	80	
	Caixa-de-ar (mm)	160	-	-	
	EPS (mm)	40	Incineração	80	
	Gesso cartonado (mm)	15	Reciclagem	80	
	LWS (kg/m2)	14	Reciclagem	90	
B1010.10.1b - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,75E-05	1,53E-09	1,34E-09	3,80E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,36E+02	5,70E-01	5,00E-01	1,37E+00	-3,57E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,30E-01	1,84E-04	1,60E-04	6,24E-04	-5,26E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,54E-03	4,24E-05	3,68E-05	1,00E-04	-1,48E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	4,68E+01	4,11E-02	3,60E-02	2,48E+00	-1,63E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	8,21E-07	7,19E-13	6,31E-13	6,98E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	3,55E-02	-6,01E-05	-5,20E-05	1,42E-04	-1,12E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.92 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 33121 J/m².K.

Informação adicional**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

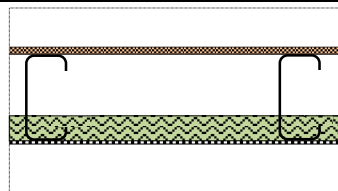
Processo - LCA	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
OSB	PE International	Alemanha	2008
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
Aço leve (LWS)	Worldsteel	Mundial	2007
EPS	PE International	Europa	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do OSB	PE International	Alemanha	2008
Incineração do EPS	PE International	Europa	2011
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B1010.10 Piso interior estrutural					
B1010.10.1c	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Incineração	80	
	Caixa-de-ar (mm)	160			
	XPS (mm)	40	Incineração	80	
	Gesso cartonado (mm)	15	Reciclagem	80	
	LWS (kg/m2)	14	Reciclagem	90	
B1010.10.1c - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,81E-05	1,56E-09	1,37E-09	4,42E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,75E+02	5,78E-01	5,07E-01	1,54E+00	-3,70E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,33E-01	1,87E-04	1,62E-04	7,16E-04	-5,74E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,73E-03	4,30E-05	3,73E-05	1,17E-04	-1,77E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	4,79E+01	4,16E-02	3,65E-02	3,78E+00	-1,72E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,64E-07	7,29E-13	6,40E-13	7,61E-11	1,75E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,49E-02	-6,09E-05	-5,28E-05	1,54E-04	-1,15E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.92 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 33121 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

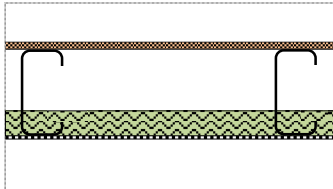
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
OSB	PE International	Alemanha	2008
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
Aço leve (LWS)	Worldsteel	Mundial	2007
XPS	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do OSB	PE International	Alemanha	2008
Incineração do XPS	PE International	Europa	2011
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B1010.10 Piso interior estrutural					
B1010.10.1d	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Incineração	80	
	Caixa-de-ar (mm)	160			
	PUR (mm)	40	Incineração	80	
	Gesso cartonado (mm)	15	Reciclagem	80	
	LWS (kg/m2)	14	Reciclagem	90	
B1010.10.1d - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	4,65E-05	1,56E-09	1,37E-09	4,48E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	6,19E+02	5,78E-01	5,07E-01	1,76E+00	-3,57E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,37E-01	1,87E-04	1,62E-04	1,43E-03	-5,26E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	4,30E-05	3,73E-05	3,06E-04	-1,48E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,18E+01	4,16E-02	3,65E-02	2,59E+00	-1,63E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,65E-07	7,29E-13	6,40E-13	8,46E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,37E-02	-6,09E-05	-5,28E-05	1,90E-04	-1,12E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.92 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 33121 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

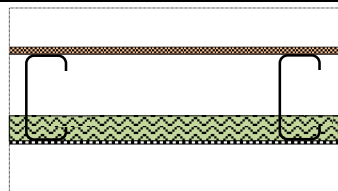
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
OSB	PE International	Alemanha	2008
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
Aço leve (LWS)	Worldsteel	Mundial	2007
PUR	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Process	Data source	Geographical coverage	Date
Incineração do OSB	PE International	Alemanha	2008
Incineração do PUR	PE International	Europa	2011
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B1010.10 Piso interior estrutural					
	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	OSB (mm)	18	Incineração	80	
	Caixa-de-ar (mm)	160			
	Cortiça (mm)	40	Reciclagem	80	
	Gesso cartonado (mm)	15	Reciclagem	80	
	LWS (kg/m2)	14	Reciclagem	90	
B1010.10.1e - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,72E-05	1,64E-09	1,43E-09	3,09E-08	-1,96E-04
ADP fossil [MJ]	5,04E+02	6,09E-01	5,32E-01	1,21E+00	-3,35E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,35E-01	1,97E-04	1,70E-04	5,26E-04	-4,45E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,13E-02	4,53E-05	3,91E-05	8,06E-05	-1,01E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	4,75E+01	4,38E-02	3,83E-02	3,54E-01	-1,46E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	7,64E-07	7,68E-13	6,71E-13	6,61E-11	1,76E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,27E-02	-6,42E-05	-5,54E-05	1,37E-04	-1,07E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.92 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 33121 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

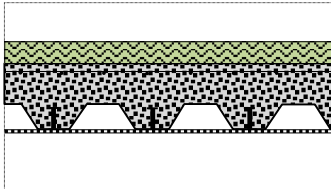
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
OSB	PE International	Alemanha	2008
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
Aço leve (LWS)	Worldsteel	Mundial	2007
Cortiça	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do OSB	PE International	Alemanha	2008
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B1010.10 Piso interior estrutural					
B1010.10.2a	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	PE (mm)	20	Incineração	80	
	Betão (kg/m2)	410	Reciclagem	70	
	Armaduras (kg/m2)	8.24	Reciclagem	70	
	Chapa aço (kg/m2)	11.10	Reciclagem	70	
	Gesso cartonado (mm)	15	Reciclagem	80	
	Aço estrutural (kg/m2)	40	Reciclagem	90	
B1010.10.2a - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,61E-04	2,08E-08	1,81E-08	1,26E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,56E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,90E+01	-3,44E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	3,93E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,14E-02	-9,22E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,65E-02	5,73E-04	4,96E-04	3,28E-03	-2,77E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	1,51E+02	5,56E-01	4,86E-01	1,58E+01	-3,67E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,88E-06	9,73E-12	8,51E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,27E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,54E-03	-1,90E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 1.36 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 118865 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

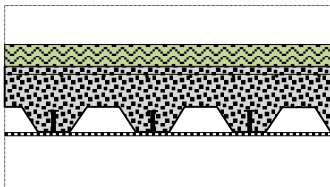
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Betão	PE International	Alemanha	2011
Armaduras	Worldsteel	Mundial	2007
Chapas de aço	Worldsteel	Mundial	2007
Aço estrutural	Worldsteel	Mundial	2007
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
PE	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do PE	PE International	Europa	2011
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B1010.10 Piso interior estrutural					
B1010.10.2b	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	EPS (mm)	20	Incineração	80	
	Betão (kg/m2)	410	Reciclagem	70	
	Armaduras (kg/m2)	8.24	Reciclagem	70	
	Chapa de aço (kg/m2)	11.10	Reciclagem	70	
	Gesso cartonado (mm)	15	Reciclagem	80	
	Aço estrutural (kg/m2)	40	Reciclagem	90	
B1010.10.2b - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,81E-08	1,26E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,54E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,89E+01	-3,37E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	3,92E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,13E-02	-8,94E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,64E-02	5,73E-04	4,96E-04	3,27E-03	-2,61E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	1,50E+02	5,55E-01	4,86E-01	1,54E+01	-3,62E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,91E-06	9,73E-12	8,50E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,92E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,53E-03	-1,88E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 1.36 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 118865 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

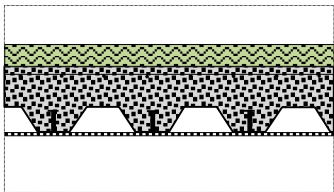
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Betão	PE International	Alemanha	2011
Armaduras	Worldsteel	Mundial	2007
Chapas de aço	Worldsteel	Mundial	2007
Aço estrutural	Worldsteel	Mundial	2007
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
EPS	PE International	Europa	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do EPS	PE International	Europa	2011
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B1010.10 Piso interior estrutural					
B1010.10.2c	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	XPS (mm)	20	Incineração	80	
	Betão (kg/m2)	410	Reciclagem	70	
	Armaduras (kg/m2)	8.24	Reciclagem	70	
	Chapa de aço (kg/m2)	11.10	Reciclagem	70	
	Gesso cartonado (mm)	15	Reciclagem	80	
	Aço estrutural (kg/m2)	40	Reciclagem	90	
B1010.10.2c - LCA					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,82E-08	1,26E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,56E+03	7,71E+00	6,74E+00	4,90E+01	-3,43E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	3,94E-01	2,49E-03	2,16E-03	2,14E-02	-9,19E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,65E-02	5,74E-04	4,96E-04	3,28E-03	-2,75E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	1,51E+02	5,56E-01	4,86E-01	1,60E+01	-3,66E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,88E-06	9,73E-12	8,51E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,39E-02	-8,13E-04	-7,01E-04	5,54E-03	-1,89E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 1.36 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 118865 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

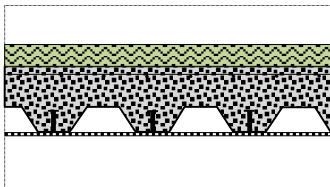
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Betão	PE International	Alemanha	2011
Armaduras	Worldsteel	Mundial	2007
Chapas de aço	Worldsteel	Mundial	2007
Aço estrutural	Worldsteel	Mundial	2007
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
XPS	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do XPS	PE International	Europa	2011
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B1010.10 Piso interior estrutural					
B1010.10.2d	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	Cortiça (mm)	20	Reciclagem	80	
	Betão (kg/m2)	410	Reciclagem	70	
	Armaduras (kg/m2)	8.24	Reciclagem	70	
	Chapa de aço (kg/m2)	11.10	Reciclagem	70	
	Gesso cartonado (mm)	15	Reciclagem	80	
	Aço estrutural (kg/m2)	40	Reciclagem	90	
B1010.10.2d - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-4,62E-04	2,08E-08	1,82E-08	1,25E-06	-3,32E-04
ADP fossil [MJ]	1,52E+03	7,73E+00	6,76E+00	4,88E+01	-3,26E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	3,95E-01	2,50E-03	2,16E-03	2,13E-02	-8,54E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	3,73E-02	5,75E-04	4,97E-04	3,26E-03	-2,37E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	1,51E+02	5,57E-01	4,87E-01	1,43E+01	-3,53E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	1,88E-06	9,75E-12	8,53E-12	2,68E-09	1,04E-06
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,28E-02	-8,15E-04	-7,03E-04	5,53E-03	-1,86E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 1.36 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 118865 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

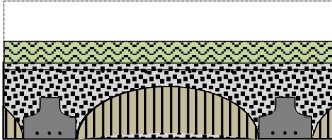
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Betão	PE International	Alemanha	2011
Armaduras	Worldsteel	Mundial	2007
Chapas de aço	Worldsteel	Mundial	2007
Aço estrutural	Worldsteel	Mundial	2007
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
Cortiça	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B1010.10 Piso interior estrutural					
B1010.10.3a	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	PE (mm)	20	Incineração	80	
	Betão (kg/m2)	455.4	Reciclagem	70	
	Armaduras (kg/m2)	21.17	Reciclagem	70	
B1010.10.3a - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,27E-05	2,07E-08	1,81E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,37E+02	7,68E+00	6,71E+00	5,31E+01	-4,99E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	1,62E-01	2,48E-03	2,15E-03	2,32E-02	-1,80E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,12E-02	5,71E-04	4,94E-04	3,55E-03	-7,25E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,42E+01	5,53E-01	4,84E-01	1,70E+01	-5,44E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,64E-07	9,69E-12	8,47E-12	2,91E-09	3,61E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,23E-02	-8,09E-04	-6,98E-04	6,00E-03	-2,31E-03

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 1.27 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 82365 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

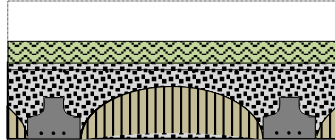
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Betão	PE International	Alemanha	2011
Armaduras	Worldsteel	Mundial	2007
PE	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007
Incineração do PE	PE International	Europa	2011

B1010.10 Piso interior estrutural					
	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	EPS (mm)	20	Incineração	80	
	Betão (kg/m2)	455.4	Reciclagem	70	
	Armaduras (kg/m2)	21.17	Reciclagem	70	
B1010.10.3b - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,38E-05	2,07E-08	1,81E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,18E+02	7,68E+00	6,71E+00	5,30E+01	-4,24E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	1,61E-01	2,48E-03	2,15E-03	2,31E-02	-1,52E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,11E-02	5,71E-04	4,93E-04	3,55E-03	-5,61E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,36E+01	5,53E-01	4,83E-01	1,66E+01	-4,87E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,93E-07	9,68E-12	8,46E-12	2,90E-09	3,61E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,87E-02	-8,09E-04	-6,98E-04	6,00E-03	-2,14E-03

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 1.27 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 82365 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

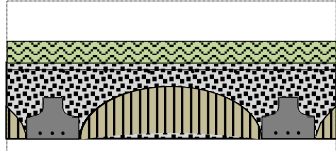
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Betão	PE International	Alemanha	2011
Armaduras	Worldsteel	Mundial	2007
EPS	PE International	Europa	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por camião	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007
Incineração do EPS	PE International	Europa	2011

B1010.10 Piso interior estrutural					
B1010.10.3c	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	XPS (mm)	20	Incineração	80	
	Betão (kg/m2)	455.4	Reciclagem	70	
	Armaduras (kg/m2)	21.17	Reciclagem	70	
B1010.10.3c - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,35E-05	2,07E-08	1,81E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,37E+02	7,68E+00	6,71E+00	5,31E+01	-4,89E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	1,63E-01	2,48E-03	2,15E-03	2,32E-02	-1,77E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,12E-02	5,71E-04	4,94E-04	3,56E-03	-7,04E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,42E+01	5,53E-01	4,84E-01	1,72E+01	-5,37E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,64E-07	9,69E-12	8,47E-12	2,91E-09	3,61E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,35E-02	-8,09E-04	-6,98E-04	6,01E-03	-2,28E-03

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 1.27 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 82365 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

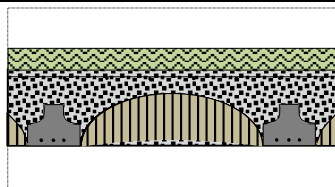
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Betão	PE International	Alemanha	2011
Armaduras	Worldsteel	Mundial	2007
XPS	PE International	Europa	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007
Incineração do XPS	PE International	Europa	2011

B1010.10 Piso interior estrutural					
B1010.10.3d	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	Cortiça (mm)	20	Reciclagem	80	
	Betão (kg/m2)	455.4	Reciclagem	70	
	Armaduras (kg/m2)	21.17	Reciclagem	70	
B1010.10.3d - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	-5,40E-05	2,07E-08	1,83E-08	1,36E-06	-1,09E-05
ADP fossil [MJ]	6,02E+02	7,69E+00	6,80E+00	5,29E+01	-3,17E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	1,64E-01	2,49E-03	2,18E-03	2,31E-02	-1,12E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,19E-02	5,72E-04	5,00E-04	3,54E-03	-3,22E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,40E+01	5,54E-01	4,90E-01	1,55E+01	-4,05E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	2,64E-07	9,71E-12	8,58E-12	2,90E-09	3,62E-08
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,24E-02	-8,11E-04	-7,07E-04	6,00E-03	-1,91E-03

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 1.27 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 82365 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

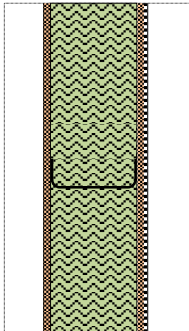
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Betão	PE International	Alemanha	2011
Armaduras	Worldsteel	Mundial	2007
Cortiça	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B2010.20 Parede exterior					
B2010.20.1a	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	OSB (mm)	13	Incineração	80	
	Lã-de-rocha (mm)	120	Reciclagem	80	
	Gesso cartonado (mm)	15	Aterro		
	LWS (kg/m2)	15	Reciclagem	90	
B1010.20.1a - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,06E-05	2,19E-09	1,92E-09	4,32E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	7,09E+02	8,14E-01	7,12E-01	1,68E+00	-3,05E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	2,65E-01	2,63E-04	2,28E-04	7,35E-04	-4,81E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	2,41E-02	6,05E-05	5,23E-05	1,13E-04	-1,17E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	6,50E+01	5,86E-02	5,13E-02	4,94E-01	-1,73E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,43E-07	1,03E-12	8,98E-13	9,24E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	3,27E-02	-8,58E-05	-7,40E-05	1,91E-04	-1,13E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.52 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 13391 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

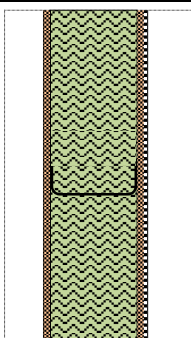
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
OSB	PE International	Alemanha	2008
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
Aço (LWS)	Worldsteel	Mundial	2007
Lã-de-rocha	PE International	Europa	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do OSB	PE International	Alemanha	2008
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B2010.20 Parede exterior					
B2010.20.1b	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	OSB (mm)	13	Incineração	80	
	EPS (mm)	120	Incineração	80	
	Gesso cartonado (mm)	15	Aterro		
	LWS (kg/m2)	15	Reciclagem	90	
B1010.20.1b - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,82E-05	1,93E-09	1,62E-09	5,61E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	6,75E+02	7,18E-01	6,00E-01	1,84E+00	-3,70E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,44E-01	2,32E-04	1,92E-04	8,87E-04	-7,24E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,03E-02	5,34E-05	4,41E-05	1,50E-04	-2,60E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,18E+01	5,17E-02	4,33E-02	6,79E+00	-2,22E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	8,13E-07	9,05E-13	7,57E-13	8,54E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	6,33E-02	-7,57E-05	-6,24E-05	1,70E-04	-1,27E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.52 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 13391 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

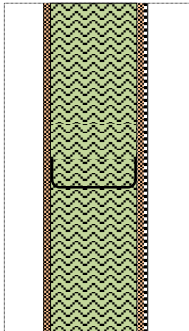
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
OSB	PE International	Alemanha	2008
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
Aço leve (LWS)	Worldsteel	Mundial	2007
EPS	PE International	Europa	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do OSB	PE International	Alemanha	2008
Incineração do EPS	PE International	Europe	2011
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B2010.20 Parede exterior					
B2010.20.1c	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	OSB (mm)	13	Incineração	80	
	XPS (mm)	120	Incineração	80	
	Gesso cartonado (mm)	15	Aterro		
	LWS (kg/m2)	15	Reciclagem	90	
B1010.20.1c - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,99E-05	2,24E-09	1,84E-09	7,46E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	7,89E+02	8,33E-01	6,85E-01	2,36E+00	-4,08E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,53E-01	2,69E-04	2,19E-04	1,16E-03	-8,70E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	6,20E-05	5,04E-05	2,01E-04	-3,46E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,52E+01	6,00E-02	4,94E-02	1,07E+01	-2,52E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,41E-07	1,05E-12	8,65E-13	1,04E-10	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	3,16E-02	-8,79E-05	-7,13E-05	2,06E-04	-1,36E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.52 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 13391 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

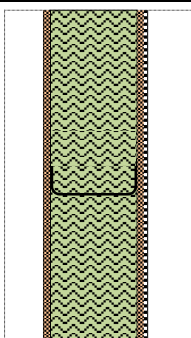
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
OSB	PE International	Alemanha	2008
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
Aço leve (LWS)	Worldsteel	Mundial	2007
XPS	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do OSB	PE International	Alemanha	2008
Incineração do XPS	PE International	Europa	2011
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B2010.20 Parede exterior					
B2010.20.1d	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	OSB (mm)	13	Incineração	80	
	PUR (mm)	120	Incineração	80	
	Gesso cartonado (mm)	15	Aterro		
	LWS (kg/m2)	15	Reciclagem	90	
B1010.20.1d - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	8,52E-05	2,24E-09	1,84E-09	7,64E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	9,22E+02	8,33E-01	6,85E-01	3,02E+00	-3,70E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,66E-01	2,69E-04	2,19E-04	3,30E-03	-7,23E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,43E-02	6,20E-05	5,04E-05	7,68E-04	-2,60E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	6,70E+01	6,00E-02	4,94E-02	7,11E+00	-2,22E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,44E-07	1,05E-12	8,65E-13	1,30E-10	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,81E-02	-8,79E-05	-7,13E-05	3,15E-04	-1,27E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.52 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 13391 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

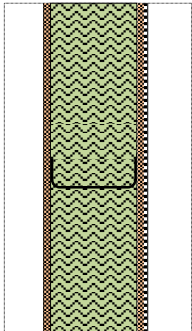
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
OSB	PE International	Alemanha	2008
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
Aço leve (LWS)	Worldsteel	Mundial	2007
PUR	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do OSB	PE International	Alemanha	2008
Incineração do PUR	PE International	Europa	2011
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B2010.20 Parede exterior					
B2010.20.1e	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	OSB (mm)	13	Incineração	80	
	Cortiça (mm)	120	Reciclagem	80	
	Gesso cartonado (mm)	15	Aterro		
	LWS (kg/m2)	15	Reciclagem	90	
B1010.20.1e - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,72E-05	3,49E-09	1,60E-09	3,48E-08	-2,10E-04
ADP fossil [MJ]	5,78E+02	1,30E+00	5,94E-01	1,36E+00	-3,05E+02
AP [kg SO2-Equiv.]	1,60E-01	4,19E-04	1,90E-04	5,92E-04	-4,81E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,55E-02	9,64E-05	4,37E-05	9,07E-05	-1,17E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	5,39E+01	9,34E-02	4,28E-02	3,98E-01	-1,73E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	6,40E-07	1,64E-12	7,49E-13	7,44E-11	3,41E-07
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,50E-02	-1,37E-04	-6,17E-05	1,54E-04	-1,13E-02

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.52 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 13391 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

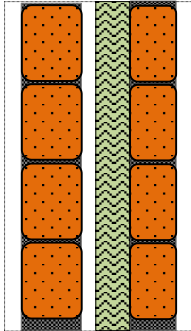
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
OSB	PE International	Alemanha	2008
Gesso cartonado	PE International	Europa	2008
Aço leve (LWS)	Worldsteel	Mundial	2007
Cortiça	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do OSB	PE International	Alemanha	2008
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Reciclagem do aço	Worldsteel	Mundial	2007

B2010.20 Parede exterior					
B2010.20.2a	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	Parede de tijolo (mm)	11	Aterro		
	Caixa-de-ar (mm)	0			
	Lã-de-rocha (mm)	60	Reciclagem	80	
	Parede de tijolo (mm)	11	Aterro		
B1010.20.2a - ACV					
		A1-A3	A4	C2	C4
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	4,00E-06	1,37E-08	1,20E-08	1,55E-06
	ADP fossil [MJ]	6,11E+02	5,10E+00	4,46E+00	6,05E+01
	AP [kg SO2-Equiv.]	1,33E-01	1,65E-03	1,43E-03	2,64E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,58E-02	3,79E-04	3,28E-04	4,04E-03
	GWP [kg CO2-Equiv.]	8,12E+01	3,67E-01	3,21E-01	1,78E+01
	ODP [kg R11-Equiv.]	3,62E-09	6,43E-12	5,62E-12	3,32E-09
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	1,21E-02	-5,37E-04	-4,64E-04	6,86E-03

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.40 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 17400 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

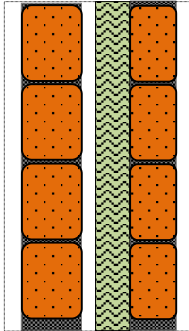
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Tijolo	PE International	Alemanha	2011
Lã-derocha	PE International	Europa	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Aterro de materiais inertes	PE International	Germany	2011

B2010.20 Parede exterior					
B2010.20.2b	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	Parede de tijolo (mm)	11	Aterro		
	Caixa-de-ar (mm)	0			
	EPS (mm)	60	Incineração	80	
	Parede de tijolo (mm)	11	Aterro		
B1010.20.2b - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,81E-06	1,34E-08	1,17E-08	1,56E-06	-4,49E-08
ADP fossil [MJ]	5,94E+02	4,97E+00	4,35E+00	6,06E+01	-3,21E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	7,23E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,65E-02	-1,22E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	8,96E-03	3,70E-04	3,20E-04	4,06E-03	-7,17E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,46E+01	3,58E-01	3,13E-01	2,09E+01	-2,46E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	8,86E-08	6,27E-12	5,48E-12	3,31E-09	-4,97E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	2,74E-02	-5,24E-04	-4,52E-04	6,85E-03	-7,02E-04

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.40 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 17400 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

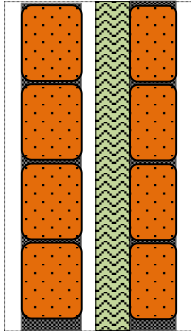
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Tijolo	PE International	Alemanha	2011
EPS	PE International	Europa	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do EPS	PE International	Europa	2011
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011

B2010.20 Parede exterior					
B2010.20.2c	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	Parede de tijolo (mm)	11	Aterro		
	Caixa-de-ar (mm)	0			
	XPS (mm)	60	Incineração	80	
	Parede de tijolo (mm)	11	Aterro		
B1010.20.2c - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,64E-06	1,34E-08	1,17E-08	1,57E-06	-7,18E-08
ADP fossil [MJ]	6,51E+02	4,98E+00	4,36E+00	6,08E+01	-5,14E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	7,67E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,66E-02	-1,95E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	9,23E-03	3,71E-04	3,20E-04	4,09E-03	-1,15E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,63E+01	3,59E-01	3,14E-01	2,29E+01	-3,94E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	3,00E-09	6,29E-12	5,50E-12	3,32E-09	-7,96E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	1,15E-02	-5,25E-04	-4,53E-04	6,87E-03	-1,12E-03

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.40 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 17400 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

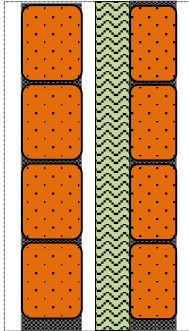
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Tijolo	PE International	Alemanha	2011
XPS	PE International	Europa	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do XPS	PE International	Europa	2011
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011

B2010.20 Parede exterior					
B2010.20.2d	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	Parede de tijolo (mm)	11	Aterro		
	Caixa-de-ar (mm)	0			
	PUR (mm)	60	Incineração	80	
	Parede de tijolo (mm)	11	Aterro		
B1010.20.2d - ACV					
	A1-A3	A4	C2	C4	D
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	3,13E-05	1,34E-08	1,17E-08	1,57E-06	-4,52E-08
ADP fossil [MJ]	7,17E+02	4,98E+00	4,36E+00	6,12E+01	-3,22E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	8,33E-02	1,61E-03	1,39E-03	2,77E-02	-1,21E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,09E-02	3,71E-04	3,20E-04	4,37E-03	-7,15E-04
GWP [kg CO2-Equiv.]	8,22E+01	3,59E-01	3,14E-01	2,11E+01	-2,46E+00
ODP [kg R11-Equiv.]	4,11E-09	6,29E-12	5,50E-12	3,34E-09	-4,99E-11
POCP [kg Ethene-Equiv.]	9,80E-03	-5,25E-04	-4,53E-04	6,92E-03	-7,02E-04

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.40 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 17400 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

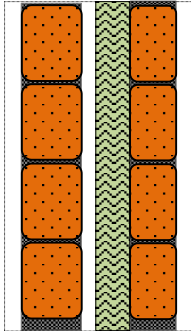
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Tijolo	PE International	Alemanha	2011
PUR	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Incineração do PUR	PE International	Europa	2011
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011

B2010.20 Paredes exterior					
B2010.20.2e	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)	
	Parede de tijolo (mm)	11	Aterro		
	Caixa-de-ar (mm)	0			
	Cortiça (mm)	60	Reciclagem	80	
	Parede de tijolo (mm)	11	Aterro		
B1010.20.2e - ACV					
		A1-A3	A4	C2	C4
	ADP elements [kg Sb-Equiv.]	2,27E-06	1,35E-08	1,18E-08	1,55E-06
	ADP fossil [MJ]	5,46E+02	5,03E+00	4,40E+00	6,03E+01
	AP [kg SO2-Equiv.]	8,06E-02	1,63E-03	1,41E-03	2,63E-02
	EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,16E-02	3,74E-04	3,23E-04	4,03E-03
	GWP [kg CO2-Equiv.]	7,57E+01	3,62E-01	3,17E-01	1,77E+01
	ODP [kg R11-Equiv.]	2,30E-09	6,35E-12	5,55E-12	3,31E-09
	POCP [kg Ethene-Equiv.]	8,25E-03	-5,30E-04	-4,57E-04	6,84E-03

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.40 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 17400 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

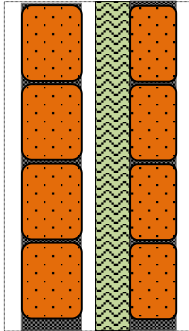
Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Tijolo	PE International	Alemanha	2011
Cortiça	PE International	Alemanha	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011

B2010.20 Parede exterior				
B2010.20.2f	Materiais	Espessura/ densidade	Cenário de Fim de vida	RR (%)
	Parede de tijolo (mm)	11	Aterro	
	Caixa-de-ar (mm)	0		
	Lã-de-vidro (mm)	60	Aterro	
	Parede de tijolo (mm)	11	Aterro	
B1010.20.2f - ACV				
	A1-A3	A4	C2	C4
ADP elements [kg Sb-Equiv.]	6,07E-04	1,35E-08	1,18E-08	1,55E-06
ADP fossil [MJ]	6,13E+02	5,01E+00	4,38E+00	6,05E+01
AP [kg SO2-Equiv.]	9,80E-02	1,62E-03	1,40E-03	2,67E-02
EP [kg Phosphate-Equiv.]	1,33E-02	3,73E-04	3,22E-04	5,07E-03
GWP [kg CO2-Equiv.]	7,81E+01	3,61E-01	3,16E-01	1,83E+01
ODP [kg R11-Equiv.]	3,81E-09	6,32E-12	5,53E-12	-3,92E-09
POCP [kg Ethene-Equiv.]	8,60E-03	-5,28E-04	-4,56E-04	7,01E-03

Equivalente funcional:

1 m² de laje estrutural do edifício, projetada para uma vida útil de 50 anos, com coeficiente de transmissão térmica de 0.40 W/m².K e inércia térmica (κ_m) de 17400 J/m².K.

Informação adicional:**Lista de dados utilizados nos Módulos A1-A3**

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Tijolo	PE International	Alemanha	2011
Lã-de-vidro	PE International	Europa	2011

Lista de dados utilizados nos Módulos A4 e C2 (assumindo distâncias de 20 km)

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Transporte por caminhão	PE International	Mundial	2011

Lista de dados utilizados no Módulo C4-D

Processo	Fonte de dados	Cobertura geográfica	Data
Aterro de materiais inertes	PE International	Alemanha	2011
Aterro da Lã-de-vidro	PE International	Alemanha	2010