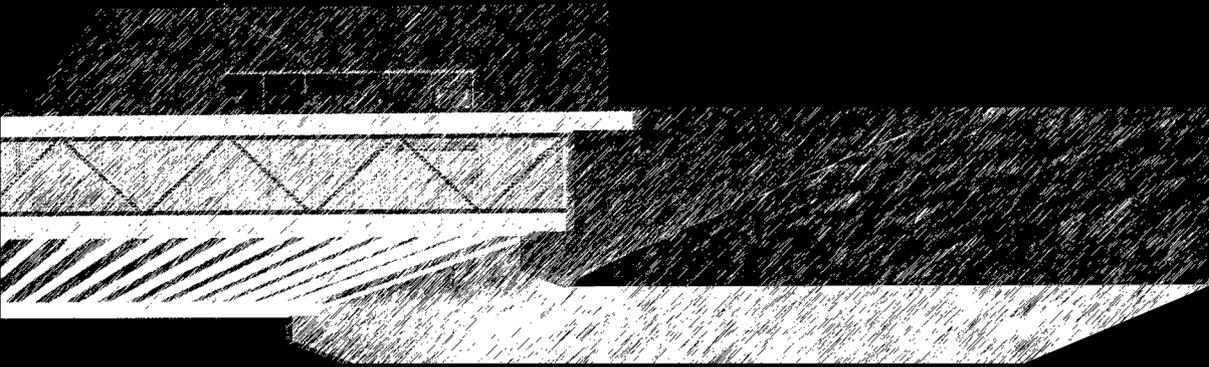


Hotel e Centro Interpretativo da Pedreira
Sustentabilidade na Arquitetura:
Origem dos materiais.



ISCTE IUL

Instituto Universitário de Lisboa

José M. Caetano. Outubro, 2016

Vertente prática

Hotel e Centro Interpretativo da Pedreira

Trabalho teórico submetido como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura.

Vertente teórica

Sustentabilidade na Arquitetura: Influência da origem dos materiais no impacte ambiental de soluções construtivas.

Trabalho teórico submetido como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura.

José Caetano

Tutor

Doutor Pedro Pinto
Prof. Auxiliar do ISCTE-IUL

Orientador

Doutor Vasco Rato
Prof. Auxiliar do ISCTE-IUL

Agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem incentivo e acompanhamento de várias pessoas que, de um modo ou de outro, foram fundamentais.

Desde logo, quero mostrar o meu apreço aos docentes Dr. Pedro Pinto e Dr. Vasco Rato pelo acompanhamento e conhecimento transmitido ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas de curso e instituição de ensino pelo apoio e condições que me foram disponibilizados.

Ao Eng.º Paulo Partidário e ao Eng.º Paulo Martins, da DGEG, o inestimável apoio prestado nomeadamente no que diz respeito ao funcionamento e aos dados da ferramenta URBILCA.

À Vanessa Fortunato, colega de curso, pelo inestimável apoio nesta aventura.

Aos meus amigos André Vital, Carlos Ávila, João Soares e Tiago Andrade pela motivação, alegrias e experiências.

Aos meus irmãos e à minha mãe que, apesar de longe, nunca faltaram no afeto, na atenção, na confiança, nos conselhos e nos sacrifícios imensuráveis.

E, por fim mas não por ultima, Cátia Raposo pelo companheirismo, pela paciência e pela coragem de acompanhar-me nesta jornada.

Índice Geral

Vertente prática

Hotel e Centro Interpretativo da Pedreira
p. 2-42

Vertente teórica

Sustentabilidade na Arquitetura: Origem dos materiais
p. 44-130

Vertente prática

Hotel e Centro Interpretativo da Pedreira

Tutor

**Doutor Pedro Pinto
Prof. Auxiliar do ISCTE-IUL**

TRIENAL DE LISBOA

Concurso Universidades

Concurso que integra a programação da Trienal de Arquitetura de Lisboa 2016.

“Sines - Indústria e estrutura Portuária”

No âmbito da unidade curricular de Projeto Final de Arquitetura do 2º ciclo do MIA, é apresentado o programa do concurso pela Trienal de Lisboa 2016 como tema da vertente de projeto a desenvolver no ano letivo de 2015/2016.

Os objetivos do concurso visam

a consolidação da cidade de Sines, em Portugal, através da conservação e renovação das características e condições locais.

O programa aborda temas específicos do local como a forte presença de infraestruturas industriais e portuárias, a habitação, os limites entre cidade e zonas industriais e o impacto das atividades económicas na região.



SINES História

Fig. 1 - Cartaz promocional de Sines
Fig. 2 - Pintura ilustrativa de atividades na praia. Imagens cedidas pela trienal no âmbito do "Concurso Universidades".



“Sines - do latim *Sinus*, seio acolhedor”

A ocupação deste local deve-se á silhueta costeira, em forma de baía, protegida dos ventos e marés do norte. Outrora lugar de uma pequena povoação de Celtas e Púnicos, este território cresce exponencialmente durante a ocupação do império romano como cidade portuária.

No séc. XIV, depois de várias fases de ocupação efémeras por parte de Visigodos e Mouros, Sines é elevado a cidade por D. Pedro I na condição de ser ali construído um castelo para proteção da costa.

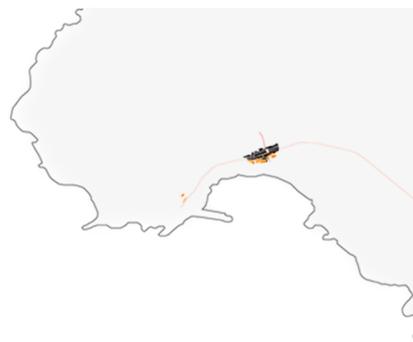
Ainda nos séculos XV e XVI, a relação

da cidade com o mar é cimentada a quando a implementação de uma escola naval italiana para a formação de engenheiros navais e construção de embarcações.

No início séc. XX, a cidade reafirma-se na geografia nacional através da ligação com o restante país pelas linhas ferroviárias. Desta forma, a pequena cidade piscatória e portuária compartilha agora, as características necessárias para os desenvolvimentos industriais que acontecem ainda no final do século. Complexos tais como a refinaria de produtos petrolíferos em 1978, a central termoelétrica em 1979 e a construção do terminal de contentores - Terminal XXI.

SINES

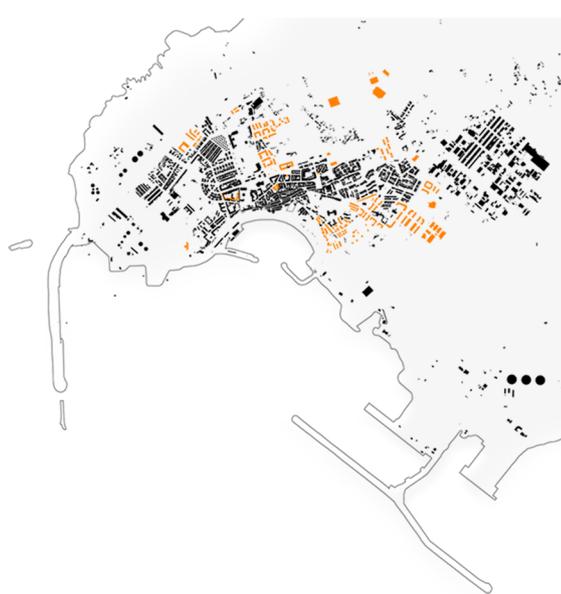
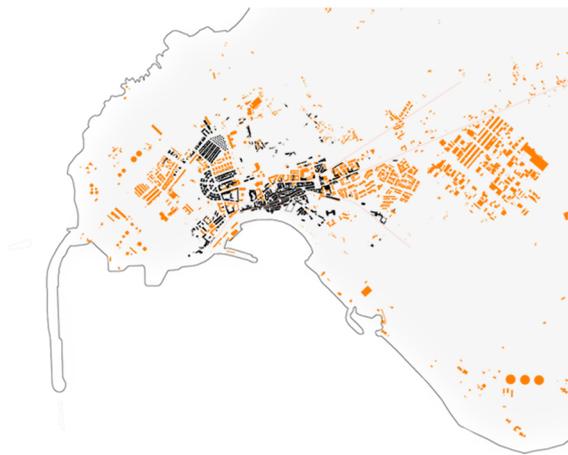
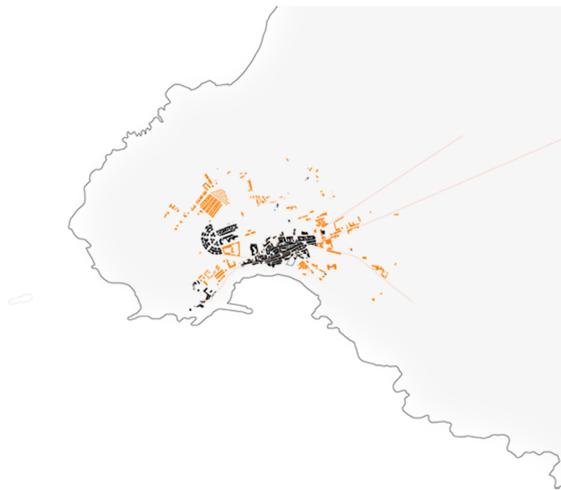
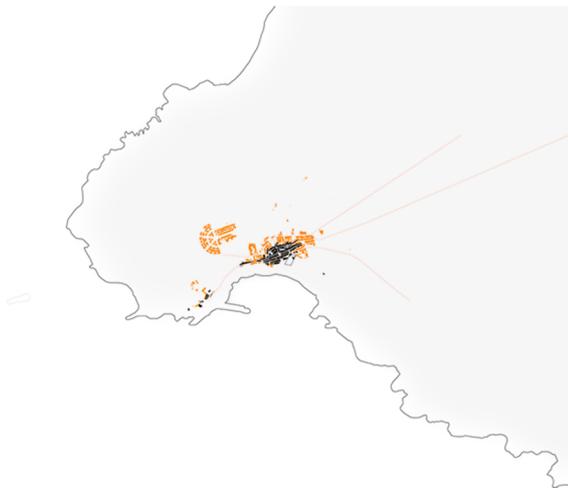
Evolução



Des. 1 - Séc. XIV | Des. 2 - Séc. XIV
Des. 3 - Séc. XV | Des. 4 - Séc. XVIII



Fig. 3 e 4 - Cartografia dos séc. XIV e XVIII. Cedidas pela trienal no âmbito do “Concurso Universidades”



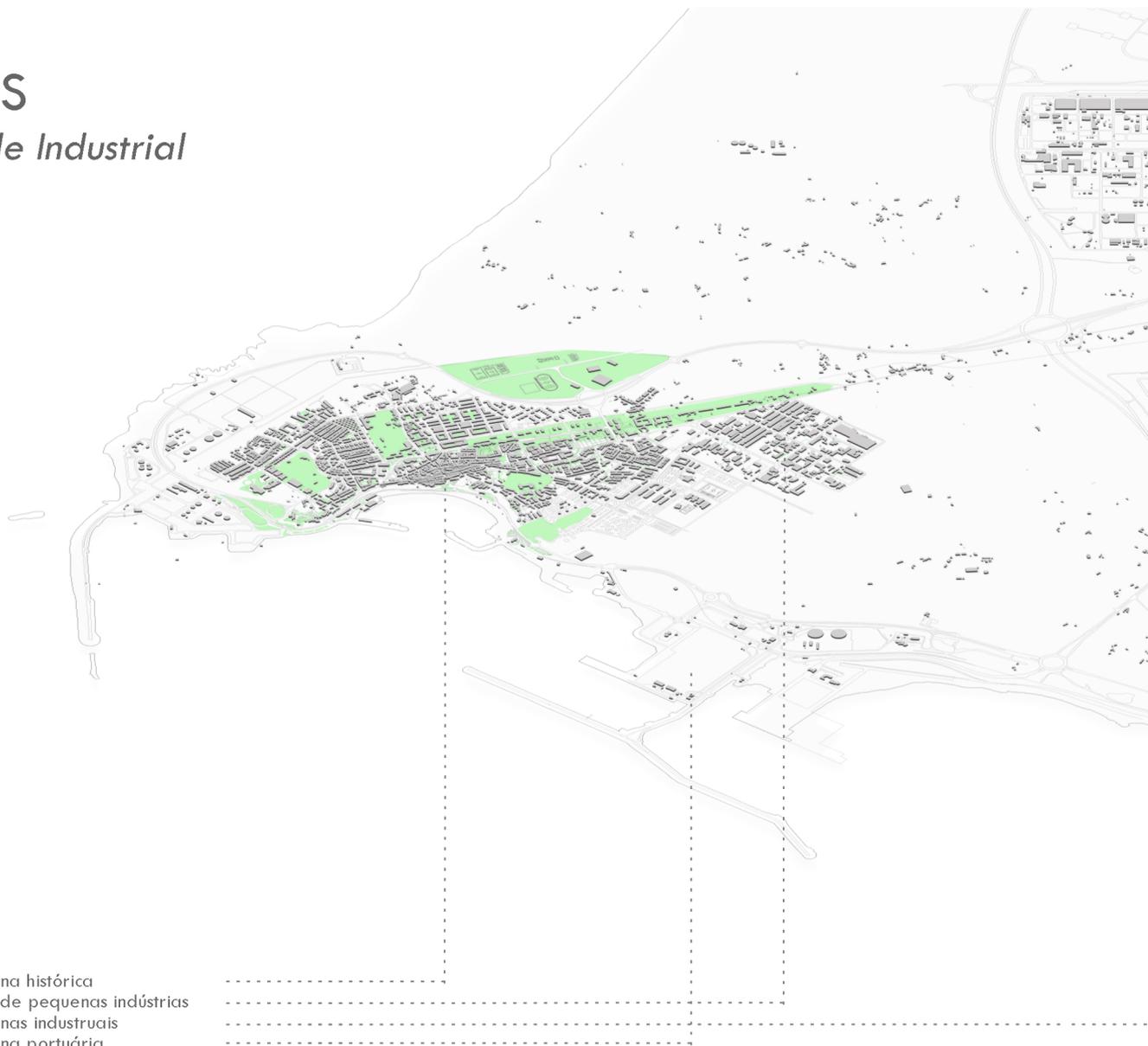
Des. 5 - 1900-40 | Des. 6 -1941-71
Des. 7 - 1972-00 | Des. 8 - 2001-15



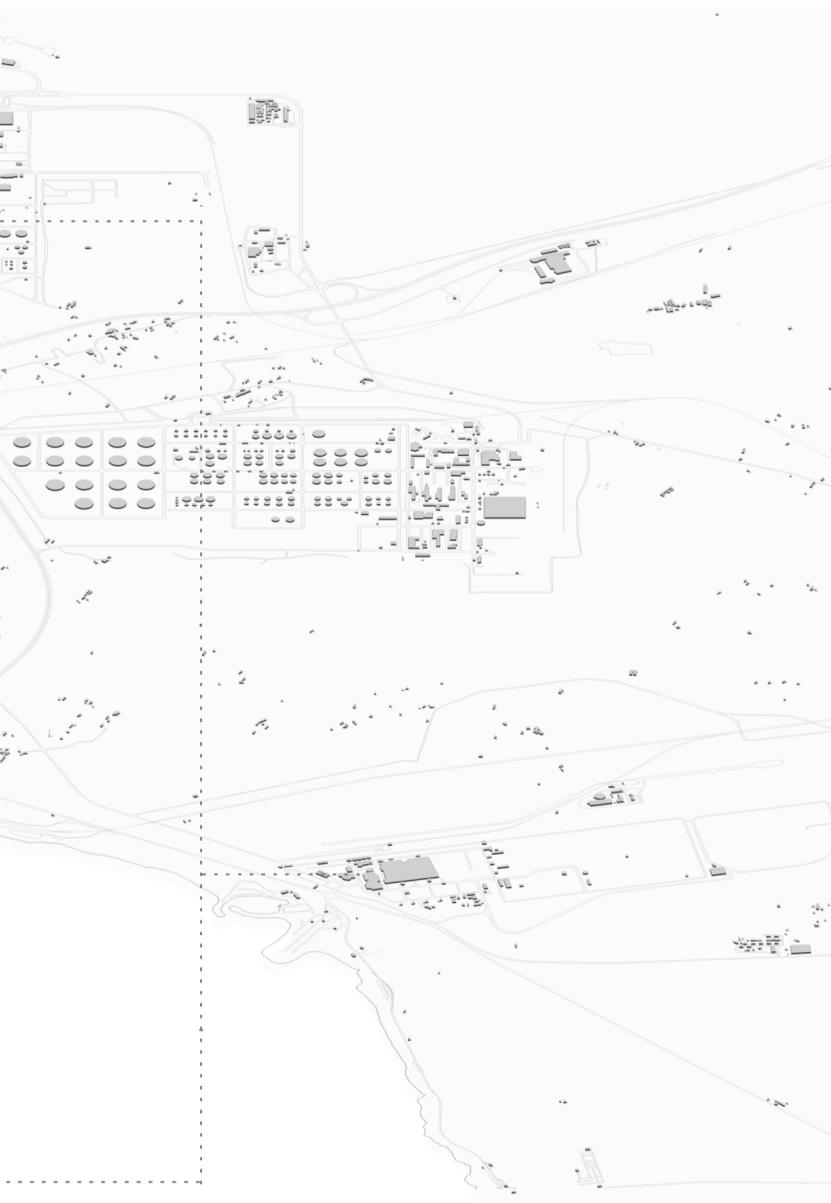


SINES

Cidade Industrial



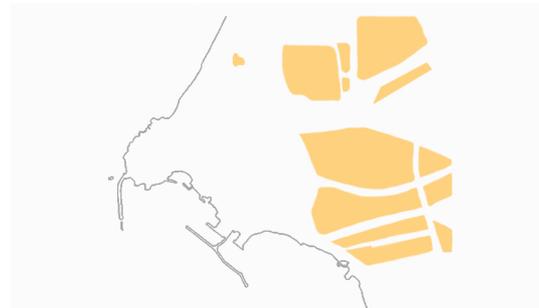
- Zona 1 - Zona histórica
- Zona 2 - Z. de pequenas indústrias
- Zona 3 - Zonas industriais
- Zona 4 - Zona portuária



Zona 1 - Zona histórica



Zona 2 - Z. de pequenas indústrias



Zona 3 - Zonas industriais



Zona 4 - Zona portuária

Estratégia Geral

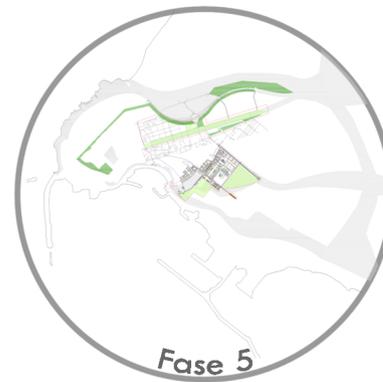
PROPOSTA DE GRUPO

*André Farias | André Martins
José Caetano | Vanessa Fortunato*

INTERVENÇÃO

Estratégia Geral

Fase 1 - Corredores de proteção ecológica | **Fase 2** - Introdução dos corredores na cidade | **Fase 3** - Vias e programas para a requalificação da cidade e limites | **Fase 4** - Reinterpretação dos planos previstos | **Fase 5** - Reflorestação de proteção ao impacte industrial.



Sines - Limites e espaços

A proposta geral engloba uma crítica aos planos de urbanização propostos pela Câmara de Sines, quer ao seu desenho, quer á distribuição da carga edificatória proposta.

Propõe-se a criação de espaços verdes e edifícios chaves que se interligam através de vias que atravessam a cidade. São criados dois eixos estruturantes com diferentes identidades que pretendem estruturar o crescimento da cidade previsto.

A norte da cidade é prolongado um corredor verde já existente que visa não só a qualificação desta zona e a valorização dos terrenos a ser urbanizados, mas também uma forte permeabilidade da zona histórica.

A nascente, revelou-se pertinente repensar o limite da cidade onde as diferenças de cotas são mais significativas. Pretende-se implantar edificado que reutilize o espaço expectante através da hotelaria, da ciência e da cultura e tirar proveito do forte fator de paisagem.

Ligação norte – Permear o acesso à zona dunar e praia.

Corredores de proteção ecológica e costeira.

Requalificação - De espaços expectantes e centro da cidade.

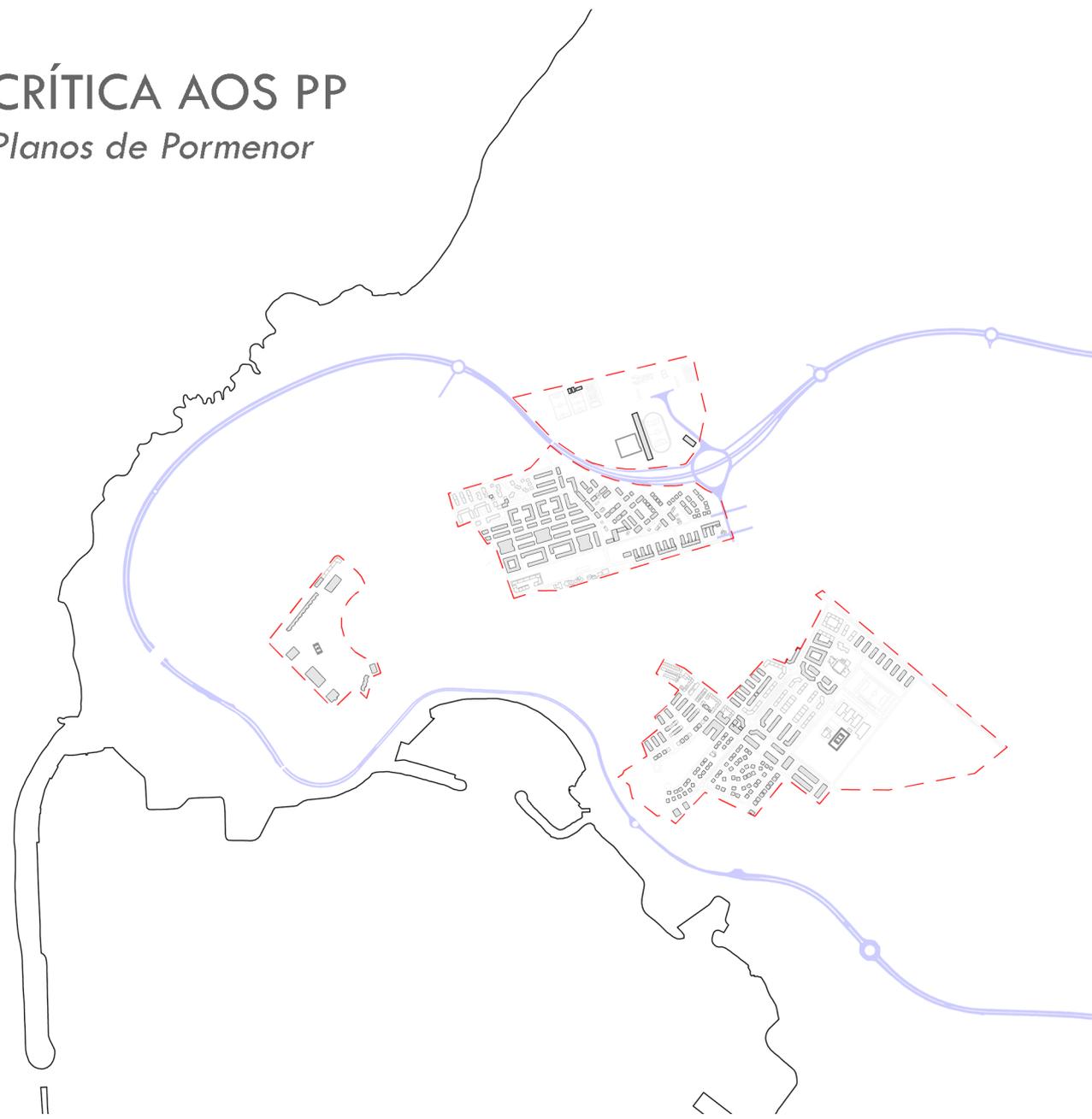
Vias de impulso – Ligar os pontos chave da cidade e consolidar com novos programas pertinentes.

Reflorestação – Proteção ao impacto das indústrias via aérea.

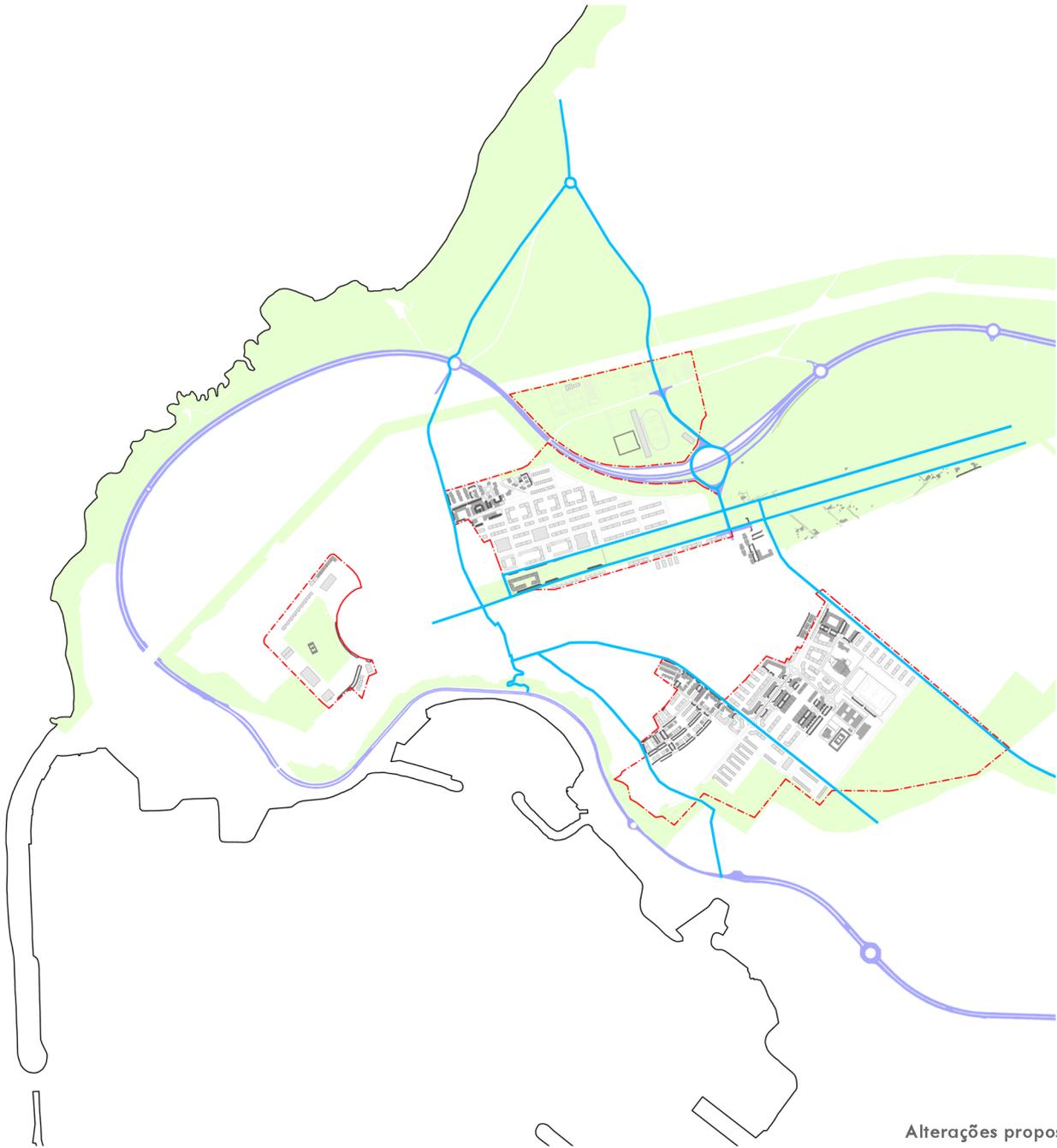
Planta Síntese - Estratégia Geral

CRÍTICA AOS PP

Planos de Pormenor



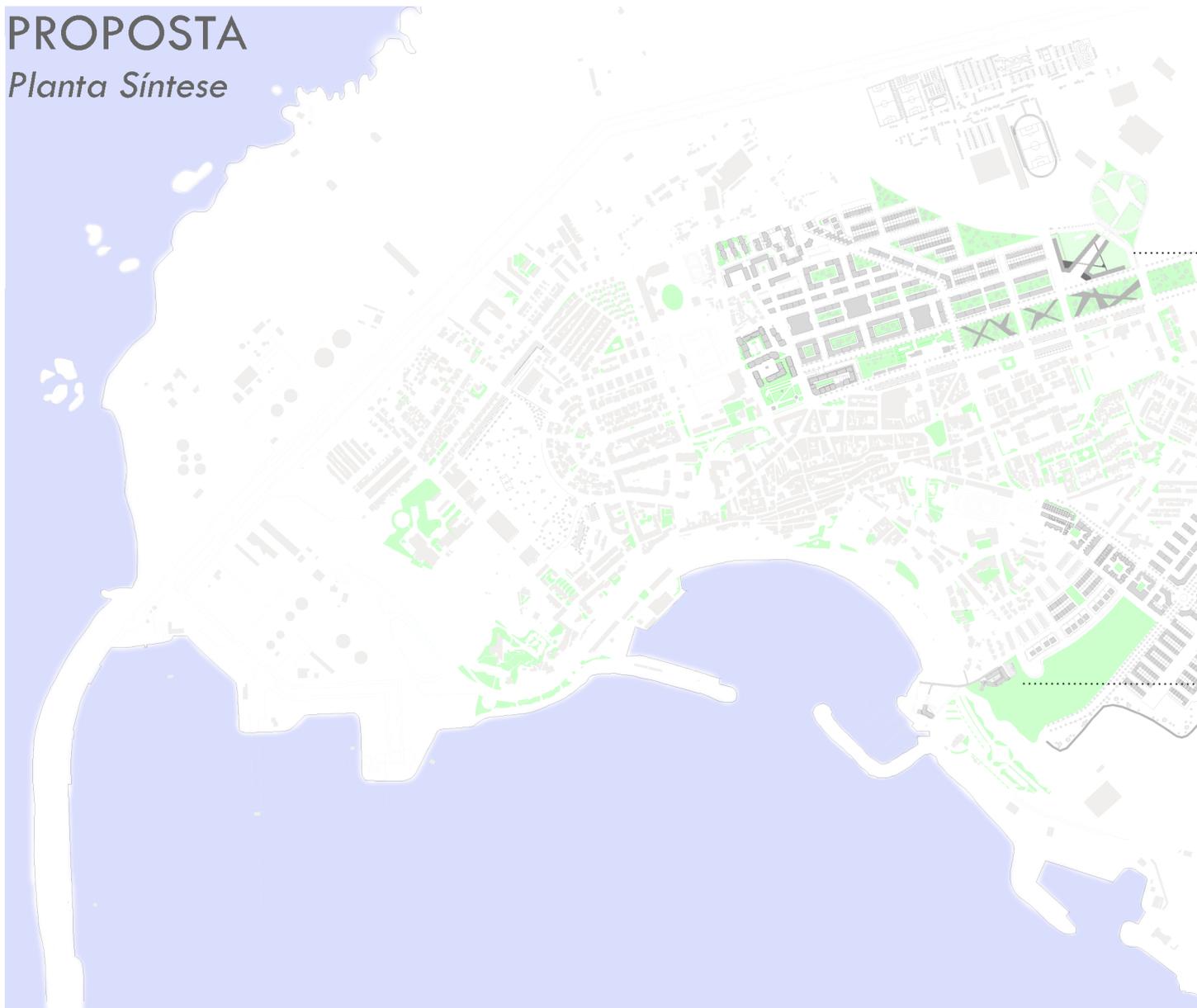
Planos existentes



Alterações propostas

PROPOSTA

Planta Síntese



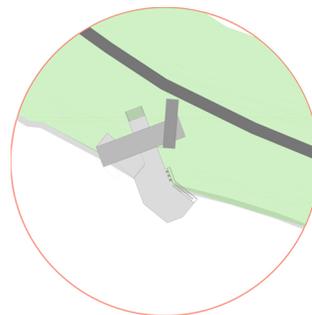


PROGRAMAS

Intervenções estratégicas



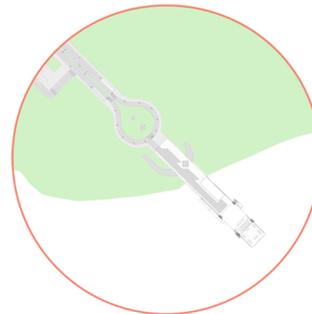
Hotel W - Ligação
com a área desportiva



Hotel executivo -
Co-working.



C.J.M.S - Centro de
Investigação



**Hotel e centro
interpretativo** - Pedreira

Projeto individual

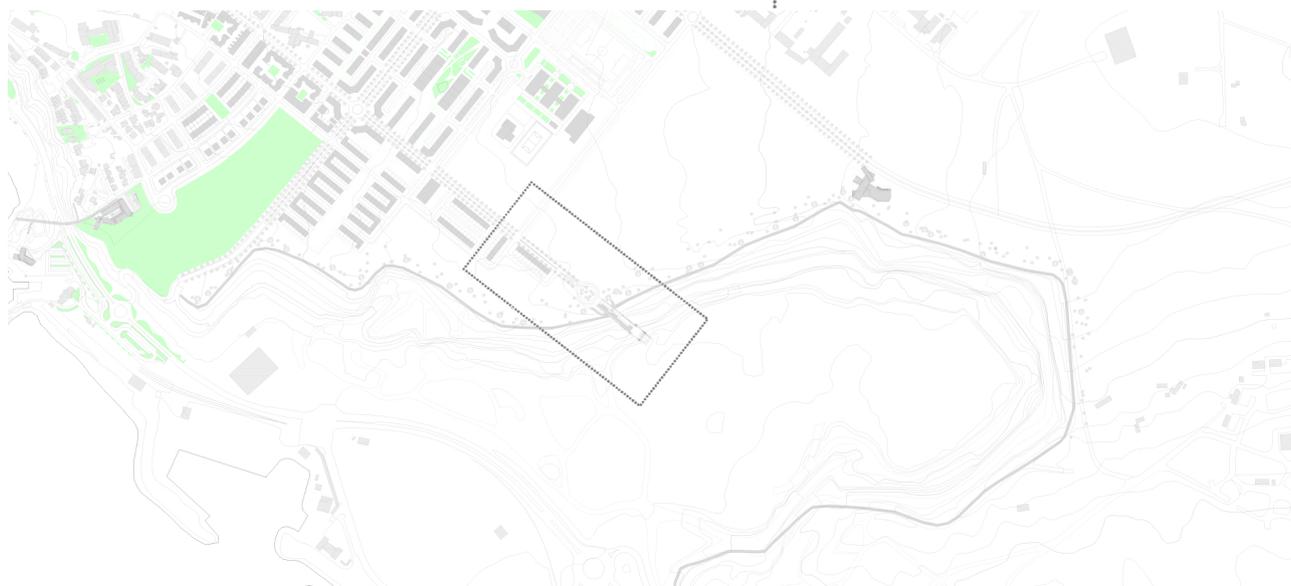
**HOTEL E CENTRO
INTERPRETATIVO**

PEDREIRA

Localização



Fig. 5 - Fotografia aérea de Sines.



Implantação - Esc.: 1:15 000 ⌚



CONCEITO

Memória Descritiva

No contexto da estratégia geral, implementar um edificado dentro dos limites da pedreira, vem sugerir a ocupação desta pela cidade e dar de novo uso a este lugar.

O programa proposto nesta intervenção visa, em primeira estância, planear a ocupação e transformação da pedreira através do centro interpretativo, ao mesmo tempo que dá a conhecer à comunidade local e geral. Para complementar esta intenção, o programa hoteleiro assume as características necessárias.

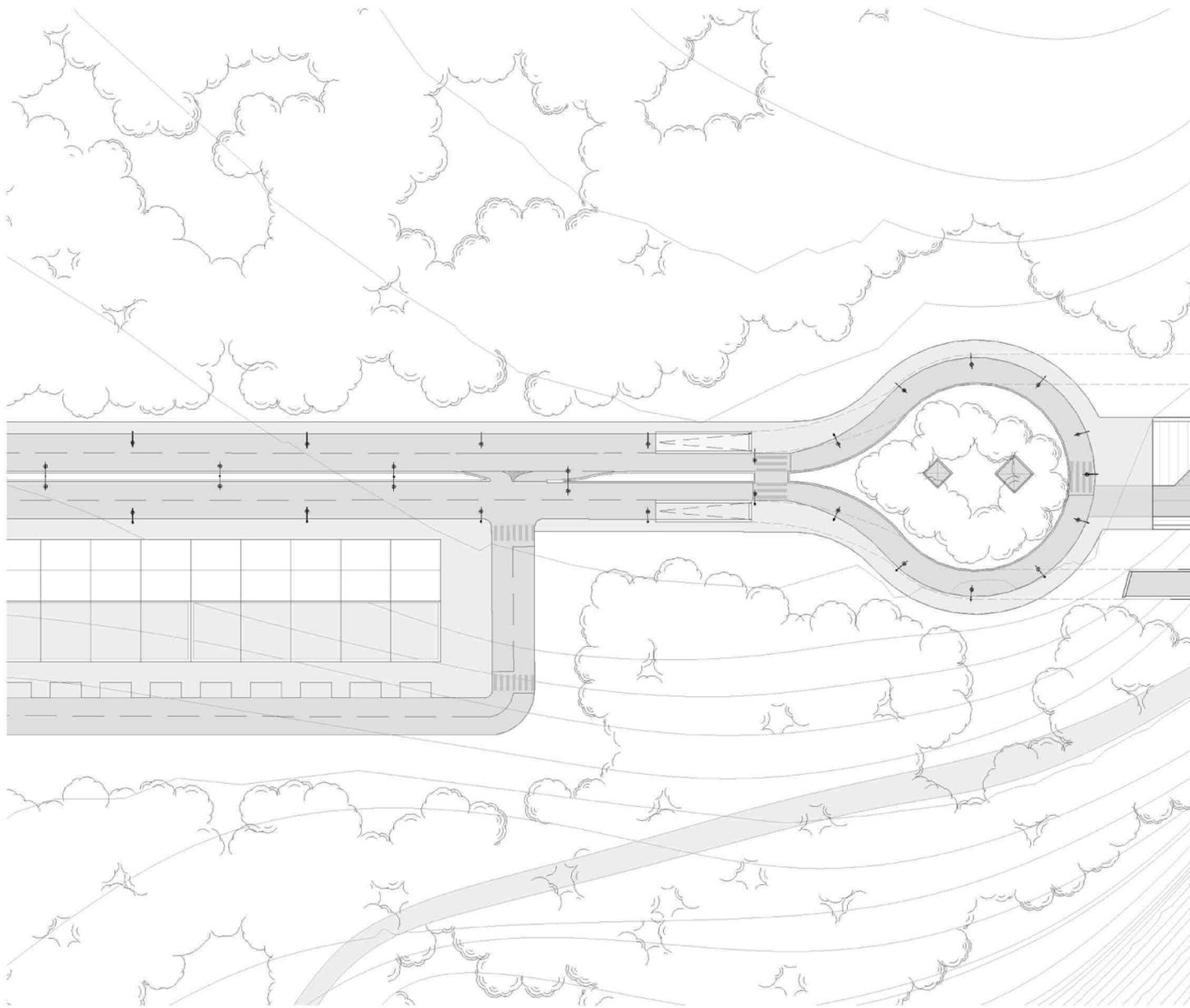
O potencial paisagístico deste lugar é também um fator a ter em consideração. Desde a imensa cratera deixada pela expansão do porto até a toda a indústria e infraestrutura adjacente ao local pode ser explorado, já que, esta é uma cidade industrial.

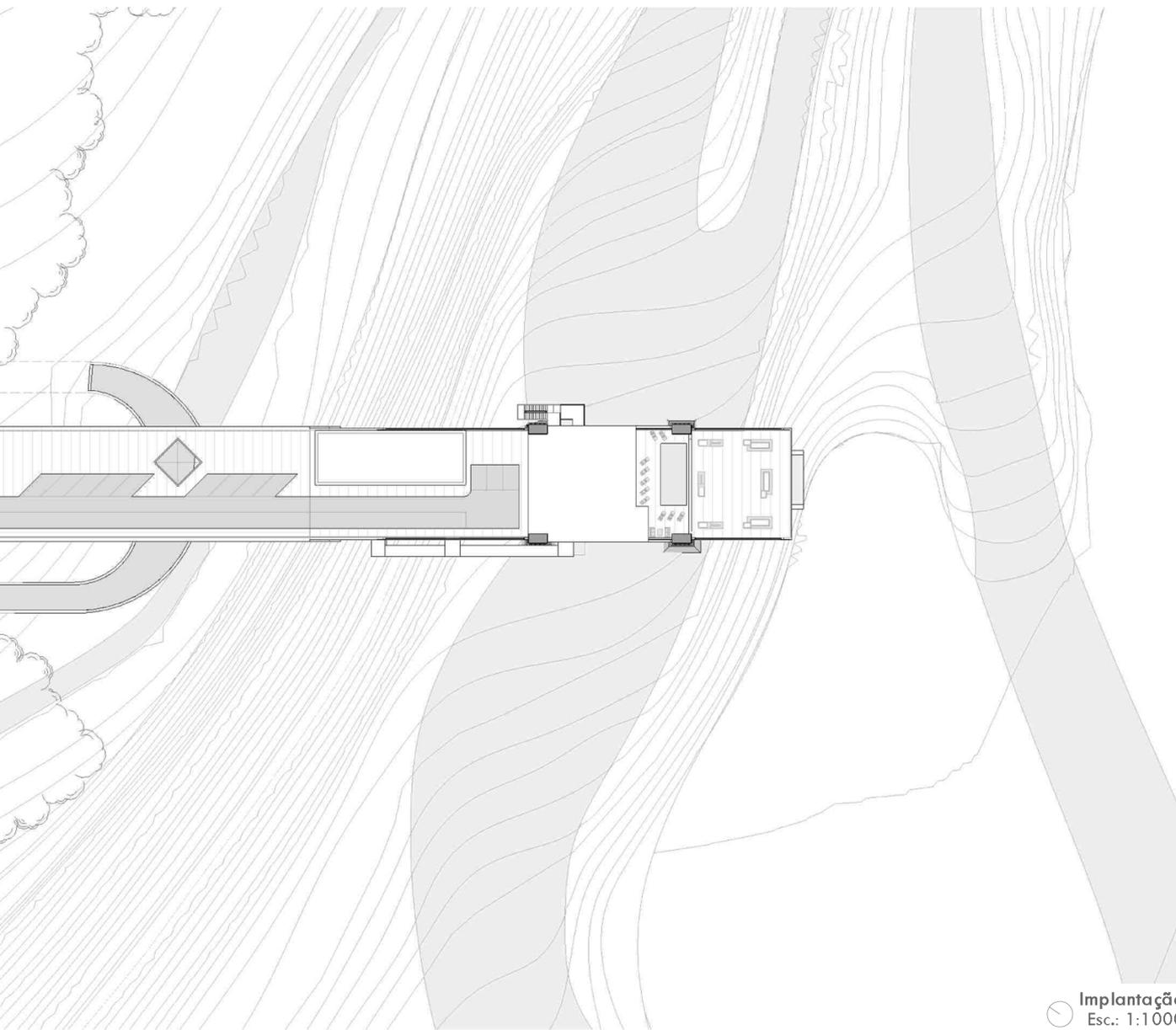
Dado à relação íntima entre a pedreira e o porto, a reinterpretação das estruturas portuárias foi o subtema explorado. As gruas que se encontram no porto, classe “*Post Panamax*”, têm função de mover os contentores entre a costa e os navios e, de certa forma, é possível extrapolar para o objetivo do projeto. Além disso, é uma solução que responde à diferença de cotas verificadas.

O Hotel e Centro Interpretativo da Pedreira insere-se no “Concurso Universidades” realizado pela Trienal de Lisboa 2016. O projeto tenciona questionar os limites da cidade e a fronteira física consequência da escavação necessária para a construção do porto de contentores XXI.

Onde hoje é a ferida enorme na topografia local, foi outrora campos agrícolas e existia também um caminho que conectava a cidade de Sines com Porto Covo. Se, por um lado, o aumento da atividade e do espaço portuário beneficia e viabiliza a cidade económica e demograficamente, por outro é necessário acautelar o impacto que as indústrias têm sobre o local de modo que não comprometa a integridade e salubridade da região.

IMPLANTAÇÃO

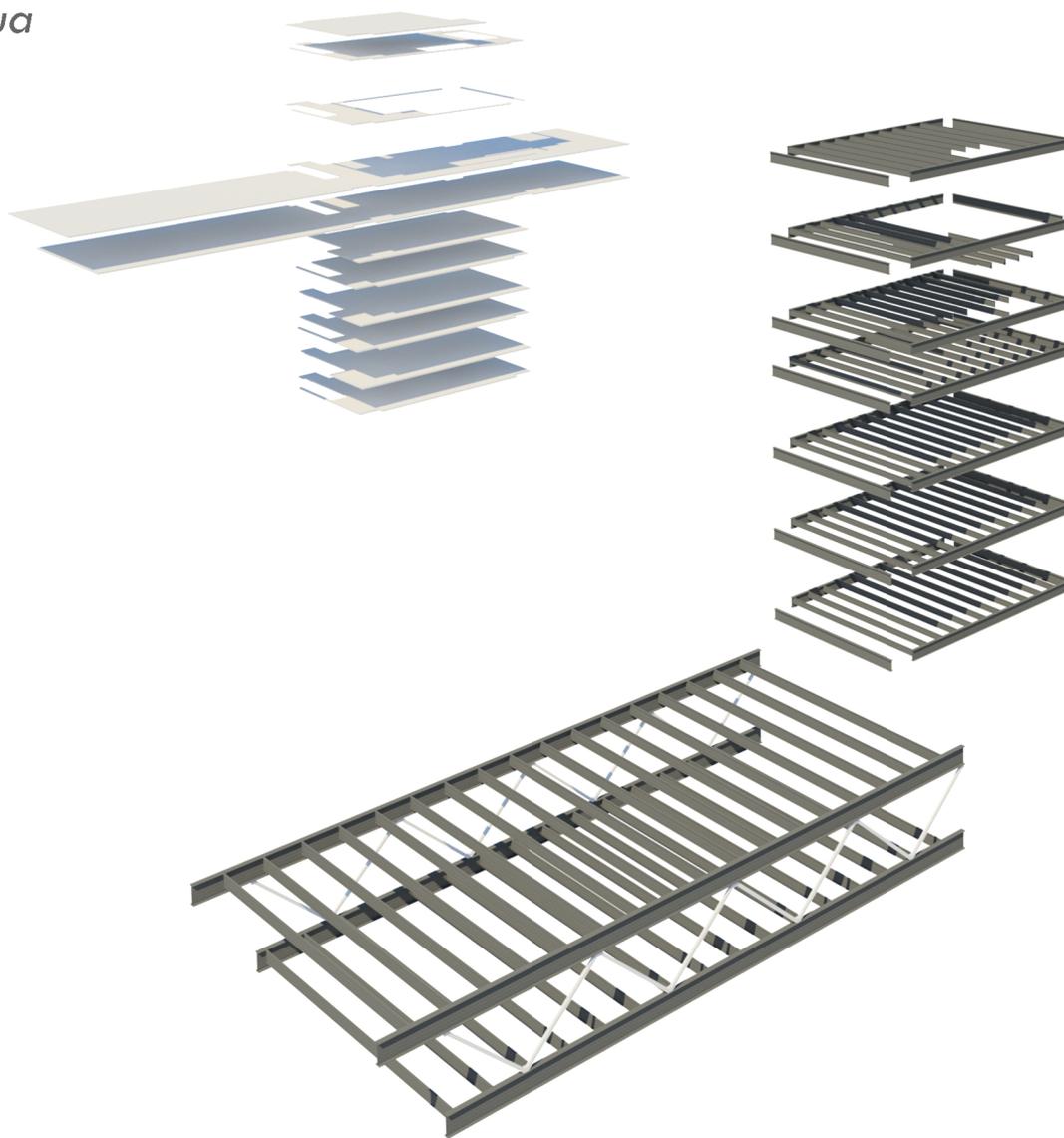


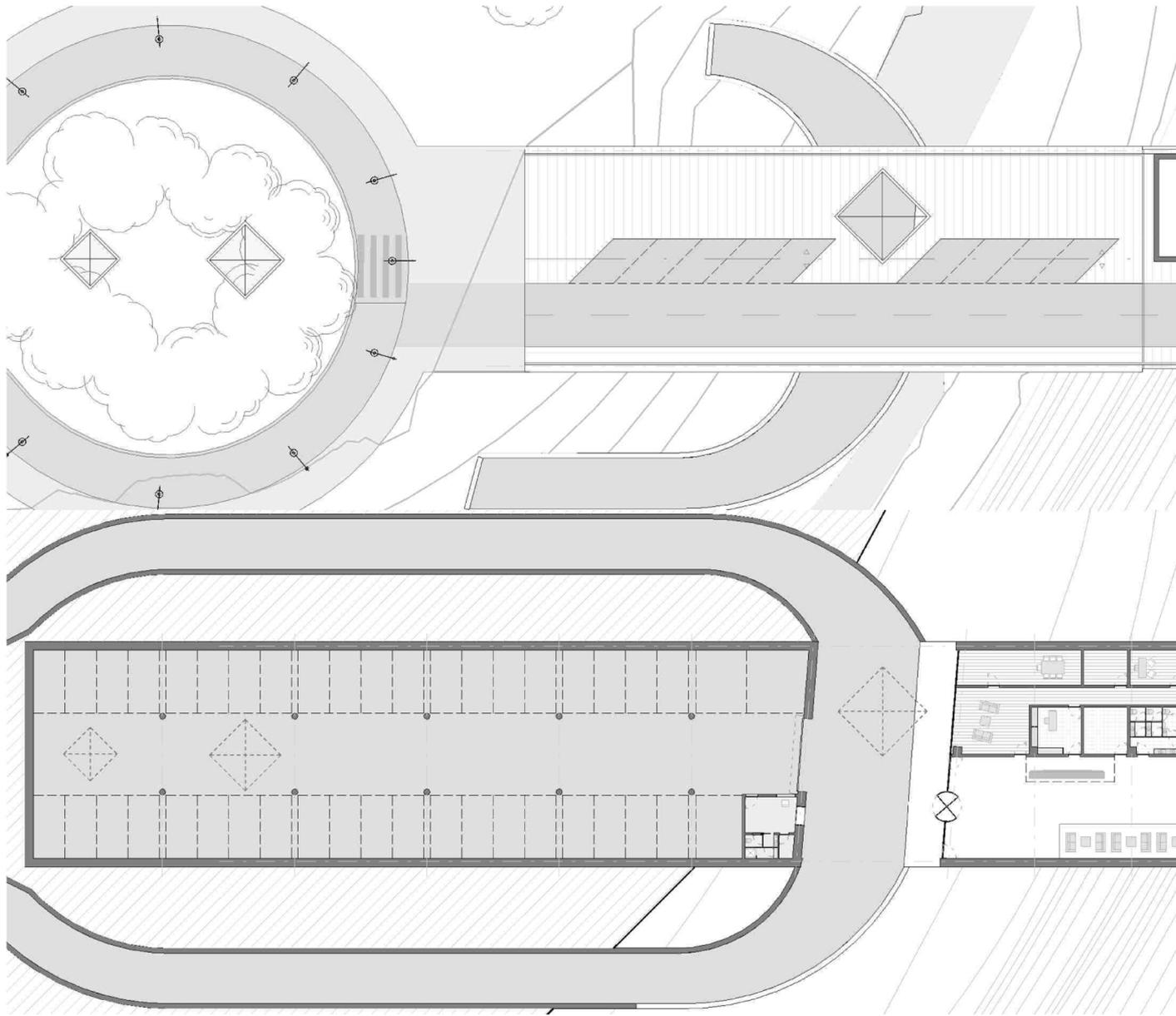


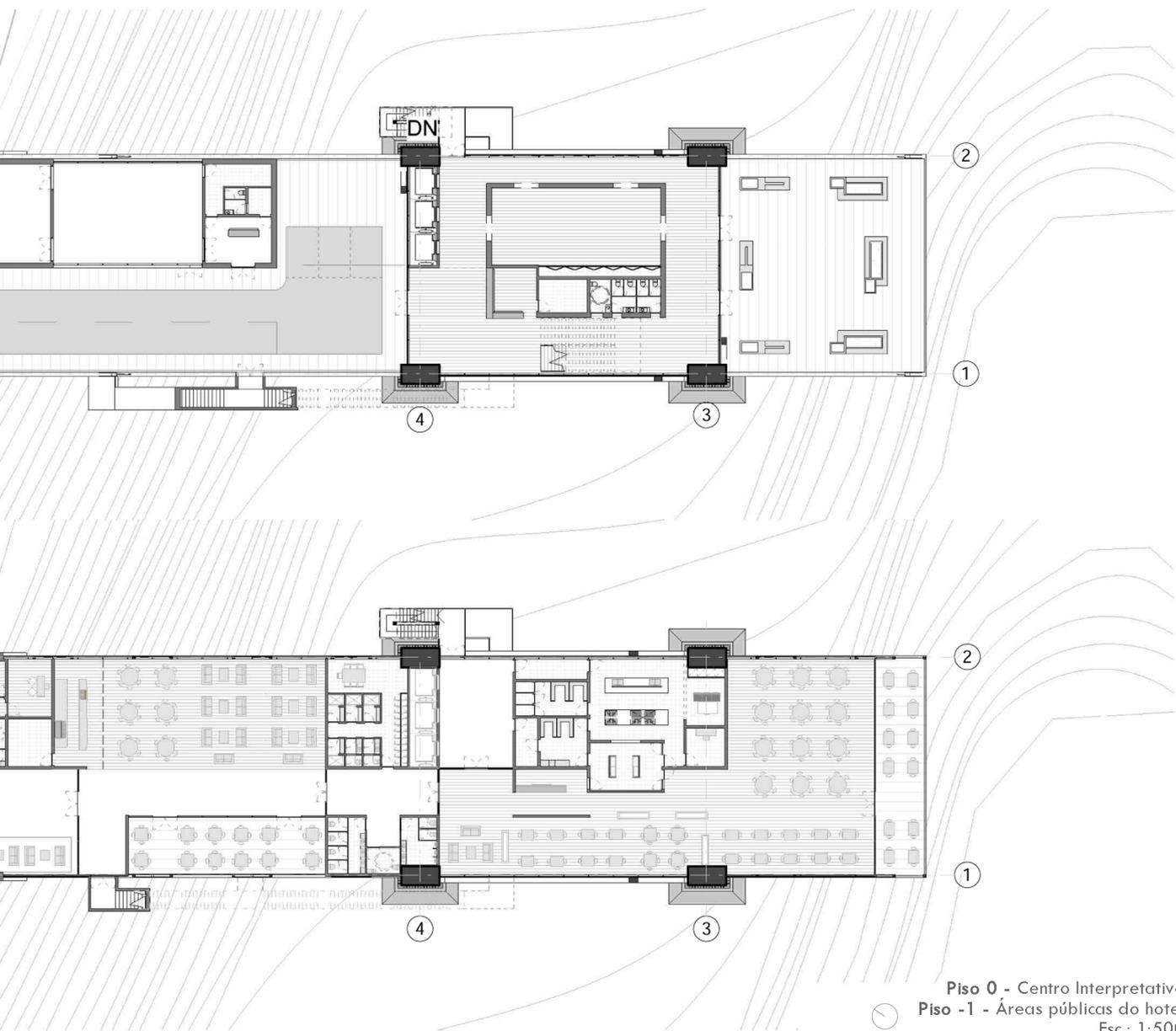
Implantação
Esc.: 1:1000

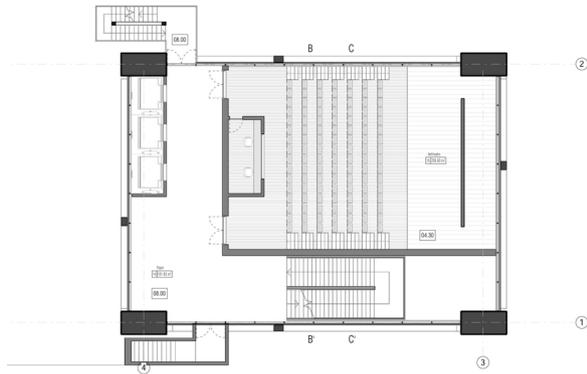
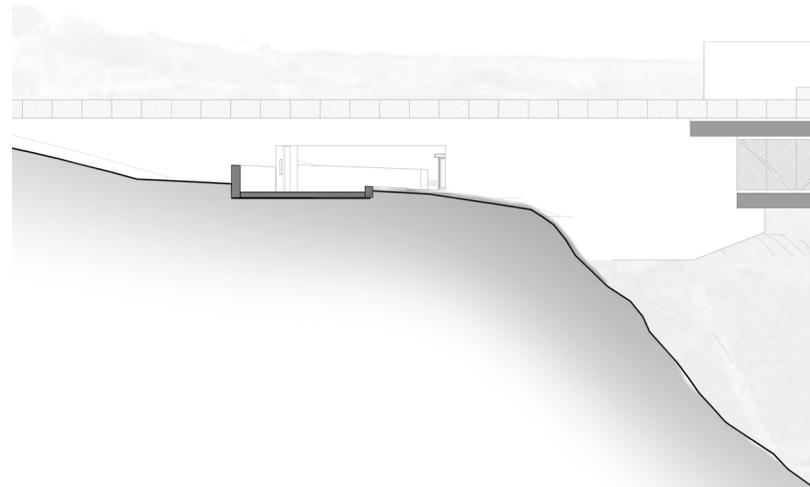
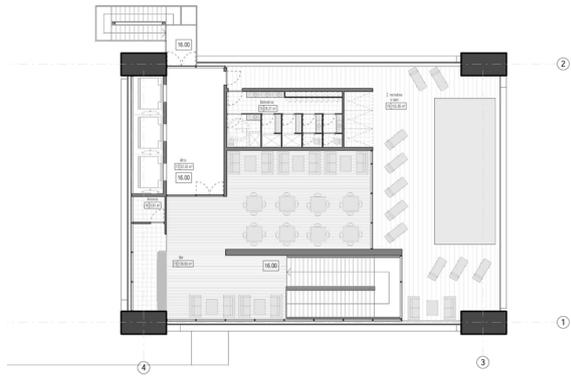
ESTRUTURA

Grua



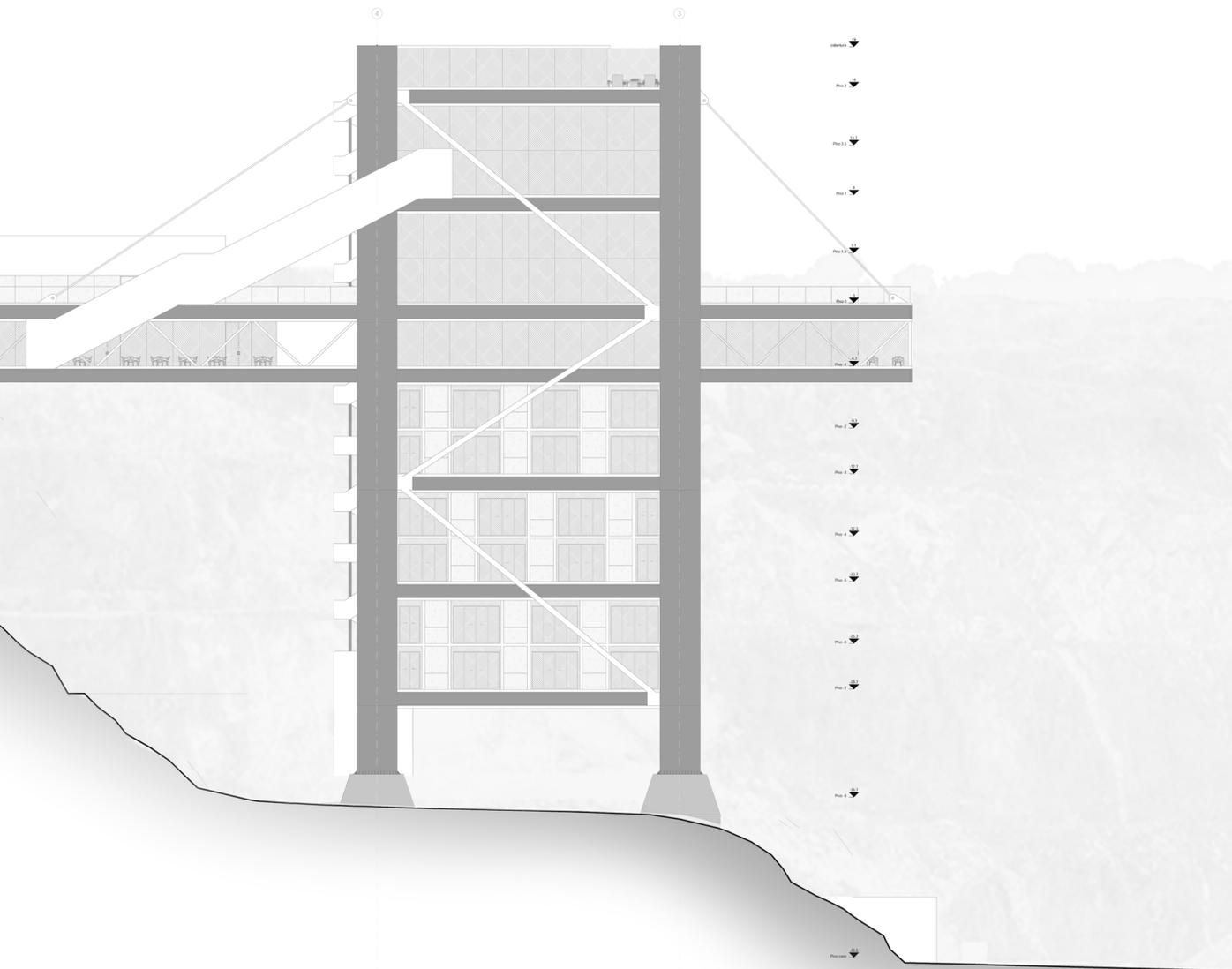




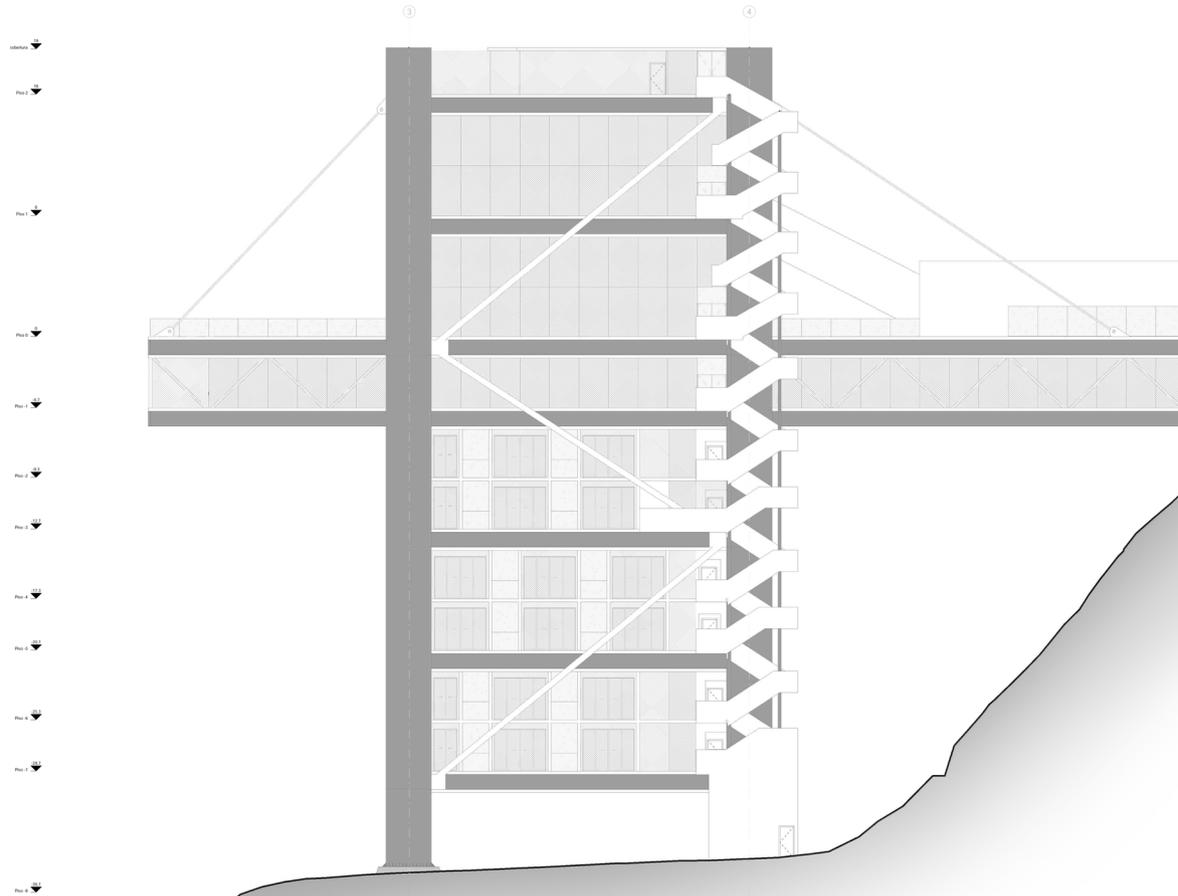


Piso 2 - Lounge e Piscina
 Piso 1 - Auditório
 Esc.: 1:500

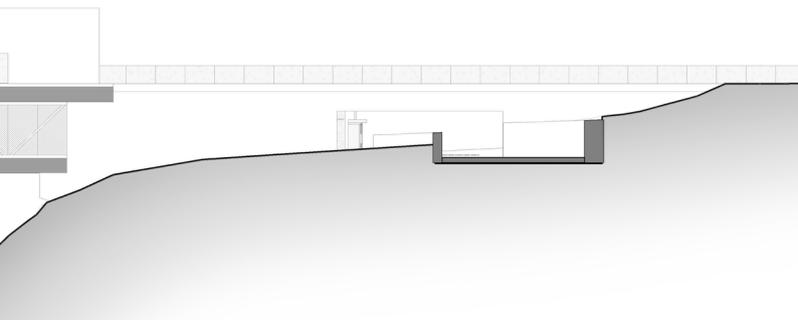




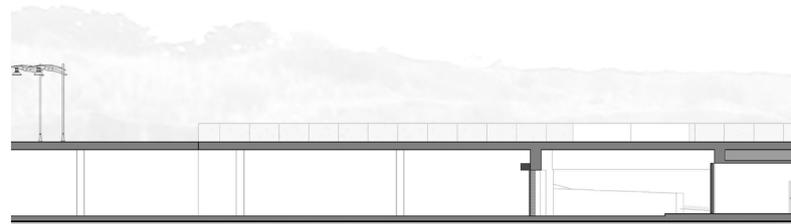
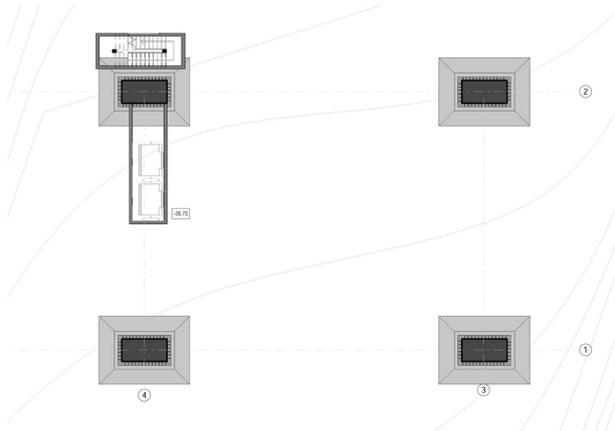
Algado Sul
Esc.: 1:500



Algado Norte
Esc.: 1:500

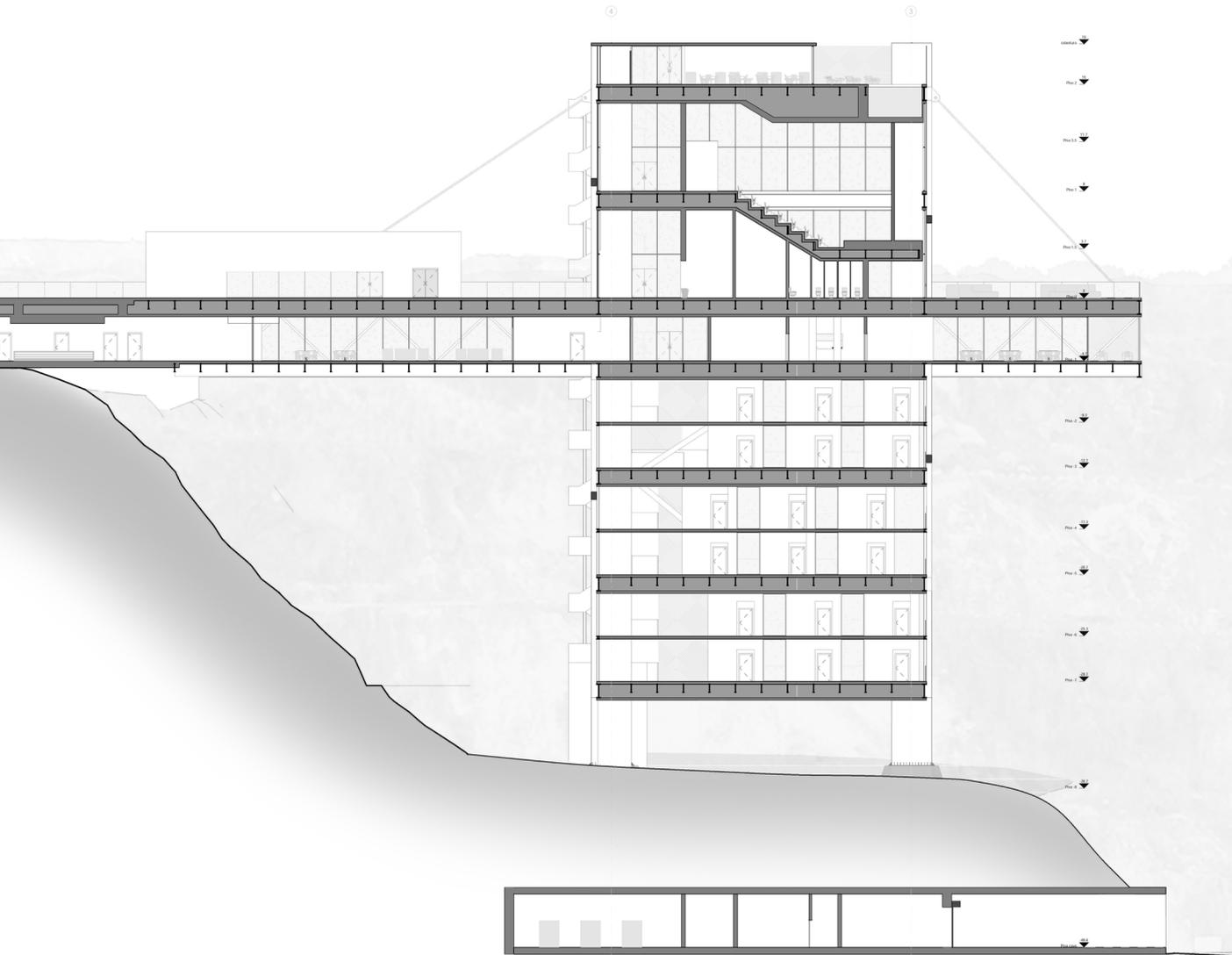


○
 Piso -2, -4, -6
 Piso -3, -5, -7
 Pisos de quartos
 Esc.: 1:500

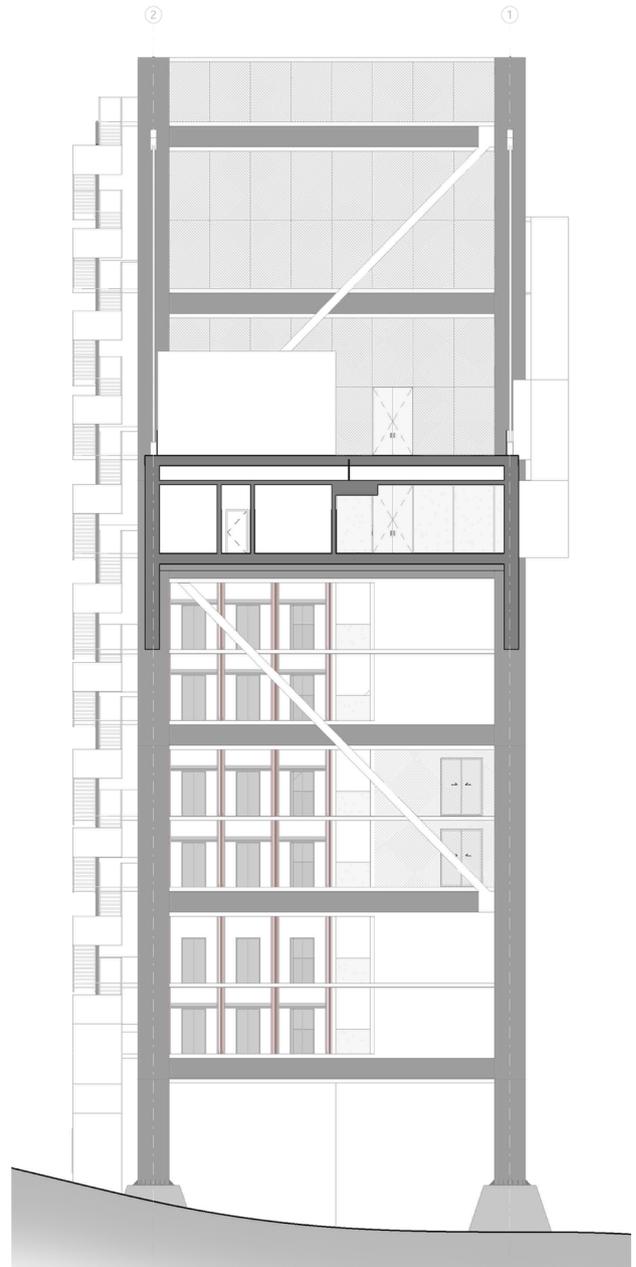
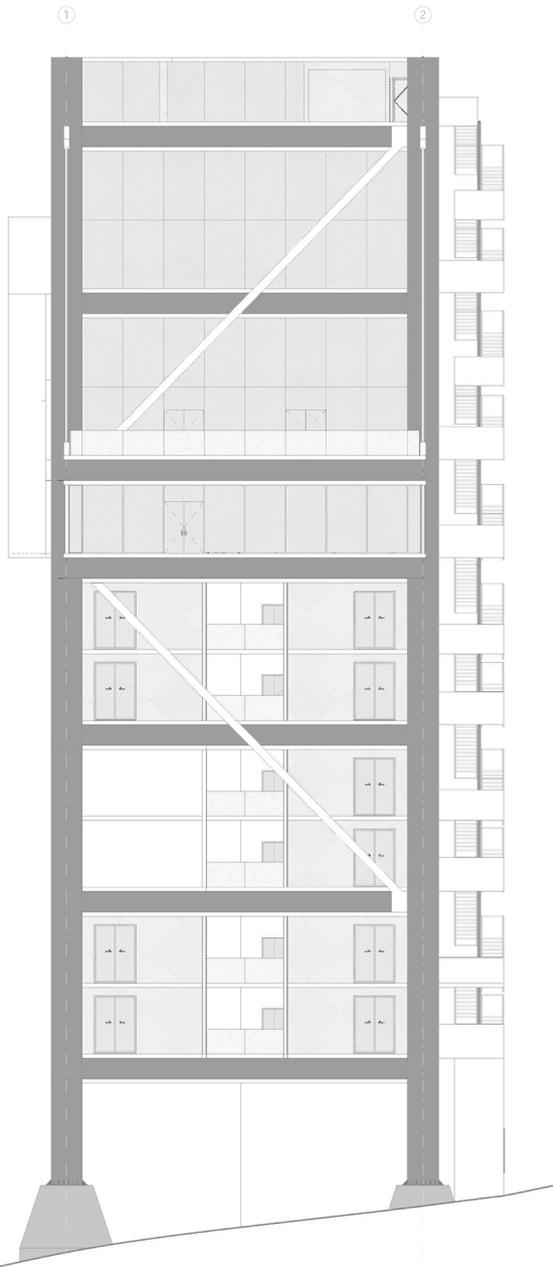


Piso -8 - Zona exterior
 Piso cave - Zona técnica
 Esc.: 1:500

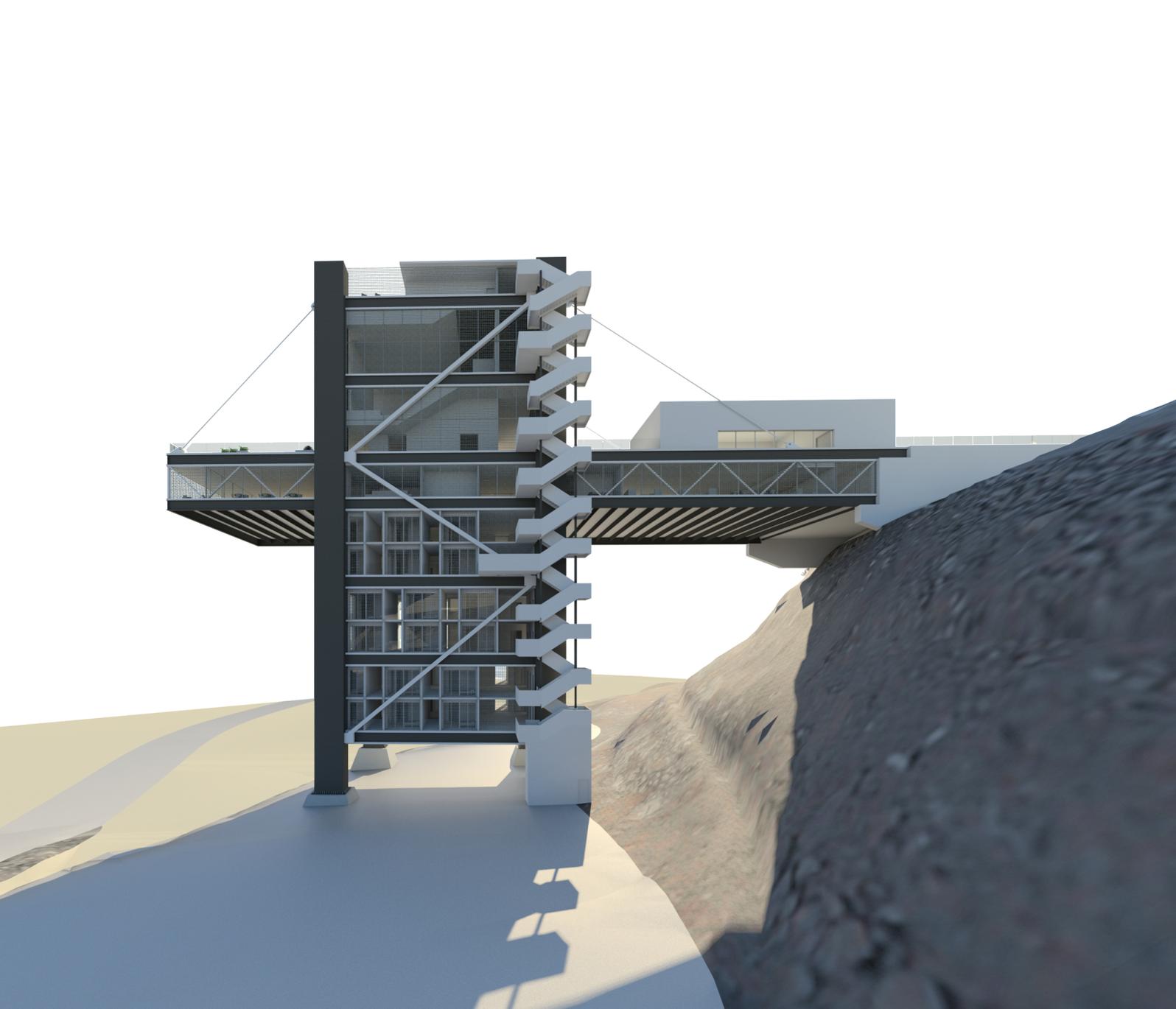


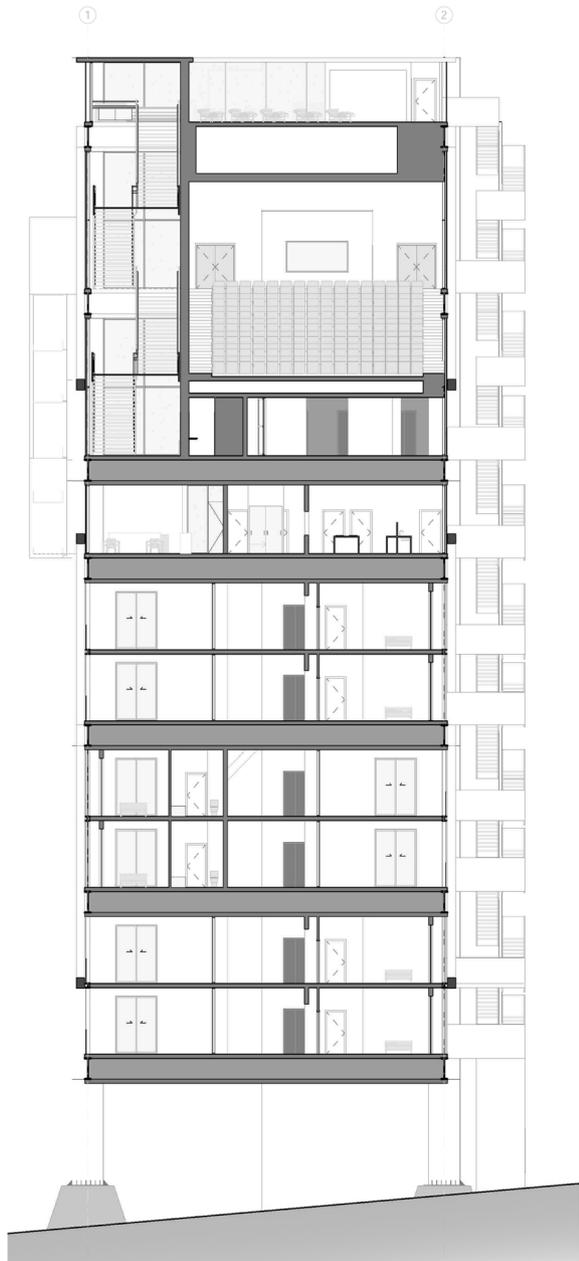


Corte A, A'
Esc.: 1:500

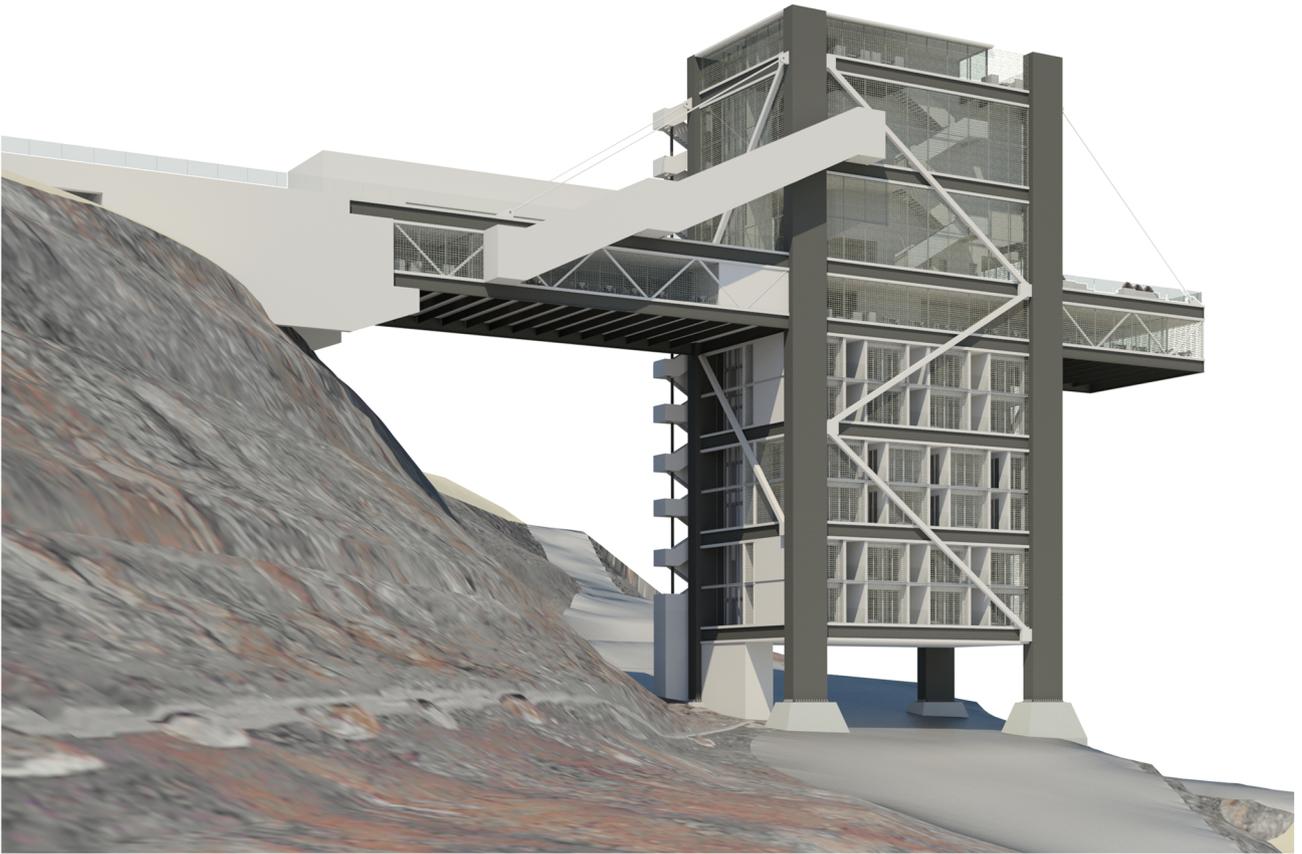


Alçado Nascente | Alçado Poente
Esc.: 1:500

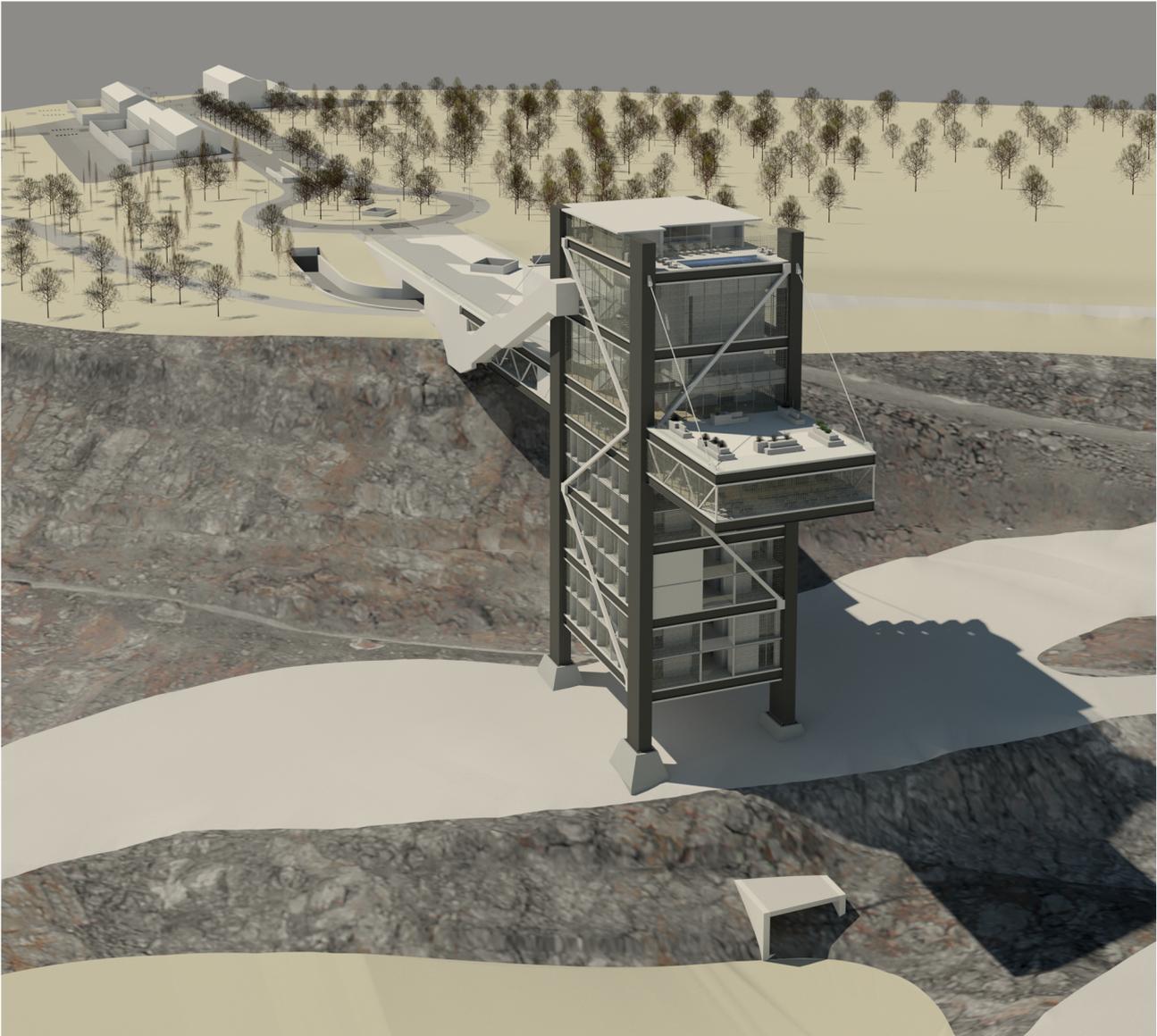




Corte B, B' | Corte C, C'
Esc.: 1:500

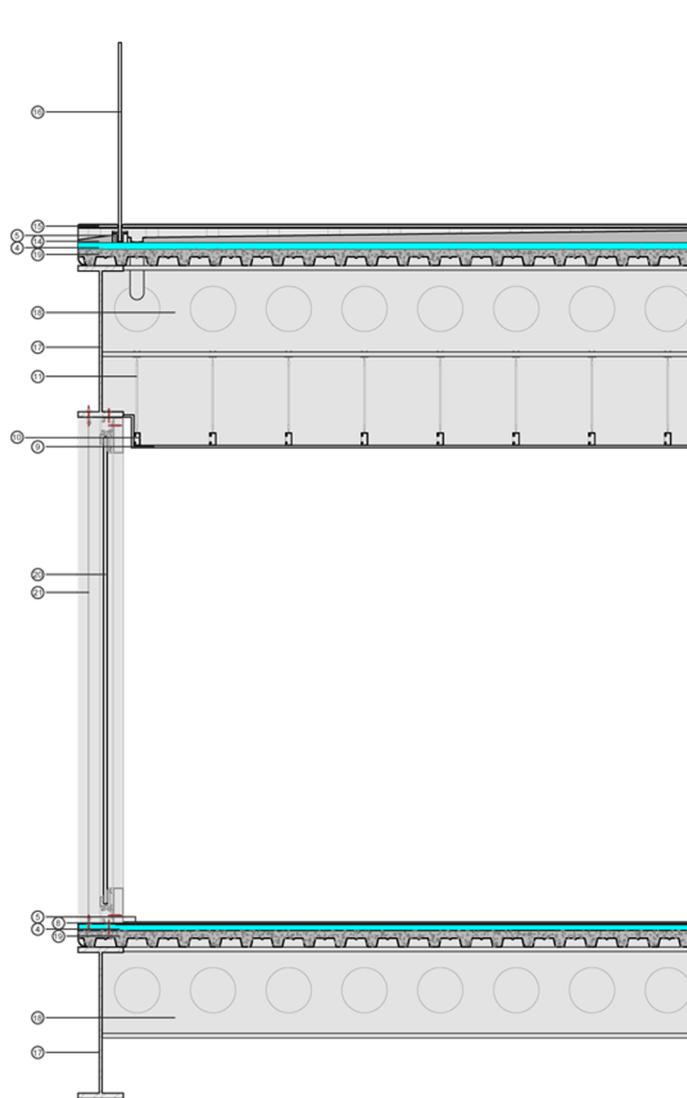
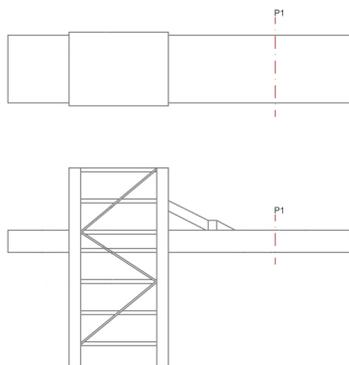






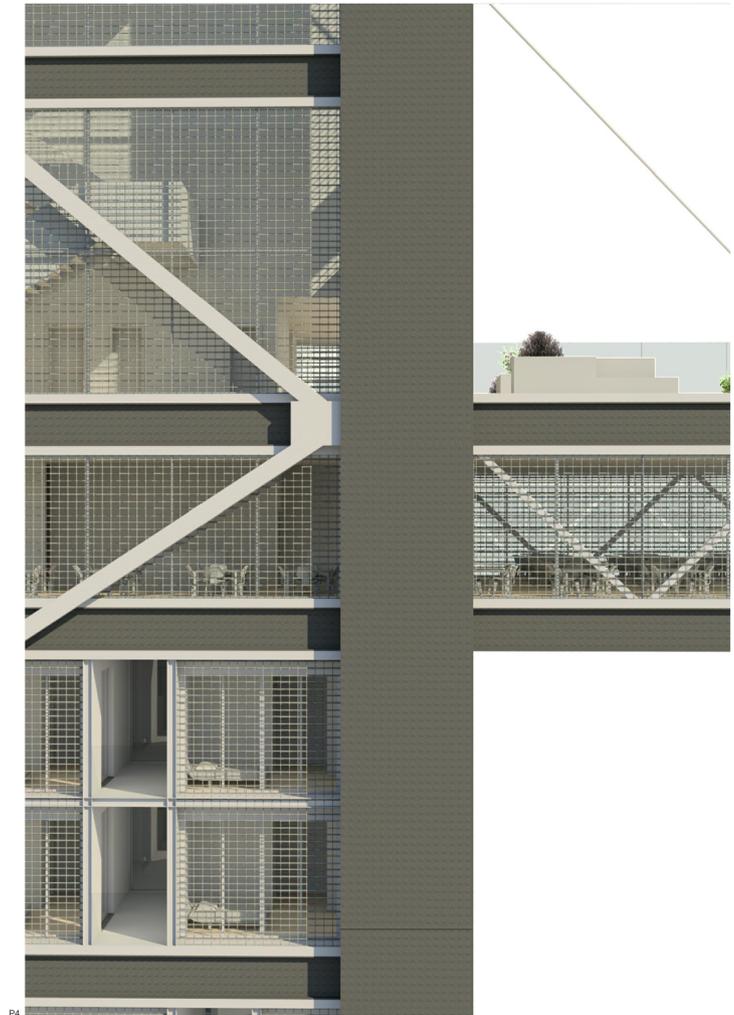
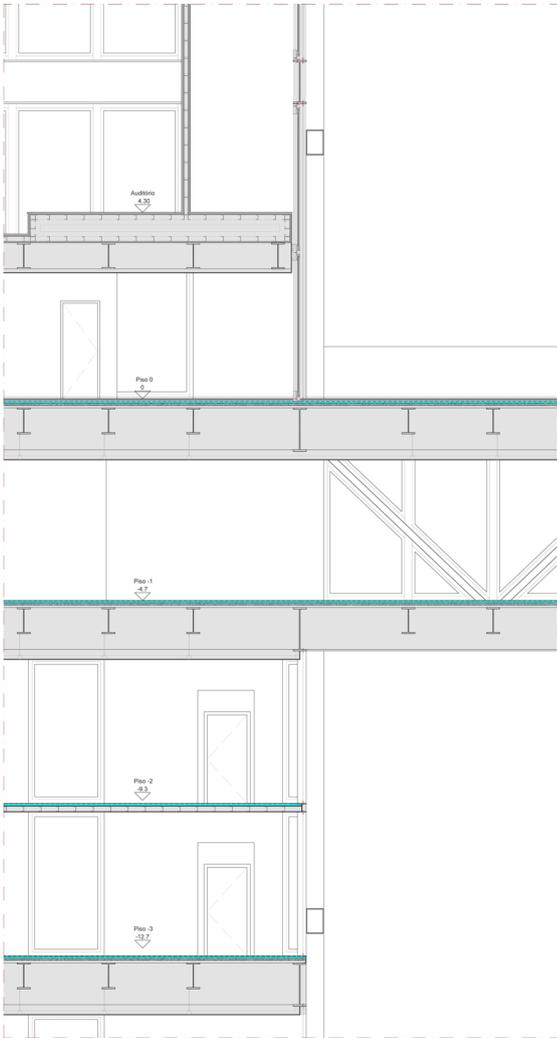
PORMENOR

Construtivo



P1

- 1 - Solo compacto;
- 2 - Enrocamento - brita;
- 3 - Manta geotéxtil - camada de filtração;
- 4 - Isolamento térmico XPS 40 mm;
- 5 - Membrana Impermeabilizante;
- 6 - Laje de assentamento em betão 0,42 m;
- 7 - Betonilha de regularização e assentamento 0,04 m;
- 8 - Pavimento em madeira 0,01m;
- 9 - Tecto falso, tipo "PLADUR" 0,015 m;
- 10 - Perfis metálicos em U, subestrutura para tecto falso;
- 11 - Varões de rosca M10 e suportes de fixação;
- 12 - Perfis em U metálicos;
- 13 - Laje fujiforme em betão 0,30 \ 0,80 m;
- 14 - Betonilha de regularização e escoamento;
- 15 - Pavimento exterior tipo "Deck" 0,02m;
- 16 - Guarda de vidro temperado 1,95x1,25m;
- 17 - Estrutura principal - perfil HEB 1000;
- 18 - Estrutura secundária - perfil IPE 600;
- 19 - Laje colaborante 0,10 m;
- 20 - Vão com vidro temperado de 0,025m, caixilho fixo em aço;
- 21 - Rede em aço inox electrosoldada;



Vertente teórica

Sustentabilidade na Arquitetura:

Influência da origem dos materiais no impacto ambiental de soluções construtivas.

Orientador:

Doutor Vasco Rato,
Professor Auxiliar, ISCTE-IUL

Resumo

Este trabalho insere-se num processo de simplificação de metodologias e análise de avaliação de ciclo de vida (ACV) e pretende contribuir para a criação de uma ferramenta prática, rápida e eficaz de avaliação de sustentabilidade em arquitetura.

O objetivo deste estudo, através da análise de dezasseis soluções construtiva, visa avaliar a influência da proveniência dos materiais no impacte ambiental.

Neste, verifica-se que as soluções construtivas de parede simples de tijolo têm o menor impacte, seguidas pelas paredes duplas e, por fim, as paredes que na sua constituição contêm betão.

No entanto, a pertinência da escolha do material com menor impacte ambiental é maior nas soluções construtivas de paredes duplas de tijolo, seguidas de paredes simples de tijolo e, por fim, paredes que na sua constituição contêm betão.

Conclui-se ainda que, a seleção dos materiais com menor impacte, está diretamente relacionada a massa superficial útil e o seu significado relativo na solução construtiva.

Palavras-chave: Soluções construtivas, Ciclo de vida, Impacte ambiental, Origem dos materiais.

Abstract

This work is part of a process of simplification of methodologies and valuation analysis of life cycle (LCA) and aims to contribute to the creation of a practical tool, fast and effective assessment of sustainability in architecture.

The aim of this study through sixteen constructive solutions analysis aims to evaluate the influence of the source of materials on environmental impact.

In this, it appears that the constructive solutions of simple brick wall have the least impact, followed by double walls and, finally, the walls containing concrete in its constitution.

However, the relevance of the choice of material with less environmental impact is greater in the constructive solutions of double brick walls, followed by simple brick walls and finally walls which contain in their constitution concrete.

It also concludes that the selection of materials with less impact, is directly related to the useful surface mass and their relative significance in the constructive solution.

Keywords: Construction assemblies, Life cycle, Environmental impact, Origin of materials.

I - Índice

1 – Introdução.....	45
1.1 – Enquadramento	45
1.2– Objetivos.....	48
1.3 – Estrutura do trabalho	49
2 – Ciclo de vida ambiental de soluções construtivas.....	50
2.1 - Definições do ciclo de vida (ACV).....	50
2.2 – Processos de análise do ciclo de vida ambiental.....	51
2.3 – Ferramentas de cálculo.....	60
2.4 – Base de dados	61
2.5 - Síntese.....	62
3 – Metodologia de análise	64
3.1 – Introdução.....	64
3.2 – Estudos anteriores	64
3.3 – Soluções construtivas e seleção de informação	65
3.4 – Método de Cálculo e de análise	71

4 – Resultados.....	77
5 – Análise de resultados.....	82
5.1 – Paredes Simples:.....	82
5.2 – Paredes Duplas:.....	84
6 - Conclusão.....	86
7 - Bibliografia.....	88
8 Anexos.....	94
A – Tabelas dos valores de materiais expressos nas DAP.....	95
B – Gráficos e tabelas das Soluções construtivas.....	98

II – Índice de figuras

Figura 1 - Estrutura geral de ACV. Fonte: ISO 14040 (ISO 14040, 2006) (ISO 14044, 2006)	52
Figura 2 - Esquema do sistema e limites da avaliação do ciclo de vida. Fonte: (Dixit, et al., 2012) (Adaptado)	59
Figura 3 - Exemplo de gráfico de valores normalizados (solução n° 64)	74
Figura 4 - Exemplo de gráfico de valores normalizados integrados (solução n° 64).	75
Figura 5 - Exemplo de gráfico de valores absolutos (solução n° 64).....	75
Figura 6 - Exemplo de tabela de comparação do significado relativo dos materiais numa solução construtiva (solução n° 64)	76

III – Índice de Quadros

Quadro 1 - Normas do Comité Europeu de Normalização - CEN. Fonte: Eurima (Adaptado)	56
Quadro 2 - Fazes do Ciclo de Vida. Fonte: CEN/TC 350, EN 15978 (Adaptado)....	58

IV – Índice de tabelas

Tabela 1 - Soluções construtivas selecionadas.....	66
Tabela 2 - DAP de betões.....	68
Tabela 3 - DAP de tijolos.....	68
Tabela 4 - DAP de argamassas.....	69
Tabela 5 - Melhores materiais por solução construtiva.....	78
Tabela 6 - Classificação das soluções.....	81

V – Glossário de siglas

ACV / LCA – Avaliação do ciclo de vida;

AICV / LCIA - Avaliação do impacto do ciclo de vida;

BEES - *Building for Environmental and Economic Sustainability*;

BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Method*;

CEN - Comité Europeu de Normalização;

DAP / EPD – Declaração ambiental de produto;

ETIC – *External Thermal Insulation Composite System*;

GEE – Gases de efeito estufa;

ICE – *Inventory of Carbon and Energy*

ISO – Organização Internacional de Normalização;

LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*;

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

NREL – *National Renewable Energy Laboratory's*;

PAEE - Plano de Ação para a Eficiência Energética;

UE 28 – União europeia constituída por 28 países

1 – Introdução

1.1 – Enquadramento

No panorama do mundo atual, a preocupação com o impacto que a atividade humana tem no meio ambiente demonstra-se cada vez mais preponderante através de dados e observações que até há poucas gerações eram desconhecidos (Houghton, et al., 2001).

Fatores como o aumento da população mundial, a evolução das tecnologias, a produção em massa e a emissão de gases que contribuem para o efeito de estufa (GEE), simultaneamente com a desflorestação, extração e mineração de recursos não renováveis, têm vindo a contribuir, em grande escala, para as alterações climáticas e todas as suas consequências ao nível do desenvolvimento sustentável sendo os setores da construção e indústria os maiores responsáveis (Ramesh, et al., 2010).

Os edifícios, em todo o seu ciclo de vida, representam 40% a 50% das emissões de GEE (Ramesh, et al., 2010) e cerca de 24% da extração de matéria-prima (Bribián, et al., 2011). No setor energético, os edifícios são responsáveis pelo uso de 30% a 40% da energia primária (Ramesh, et al., 2010), contabilizando a energia **incorporada** (energia necessária para a extração e fabricação dos materiais e para a construção e reabilitação dos edifícios) e a energia **operacional** (energia necessária para a utilização e a manutenção do edifício).

Em Portugal, devido à escassez de recursos fósseis, a energia é obtida principalmente por importação ou produzida por centrais termoelétricas, embora a componente obtida a partir de fontes renováveis tenha vindo a aumentar significativamente nos últimos anos. Aquelas centrais dão origem a emissões de GEE para a atmosfera e a um custo económico elevado (Torgal & Jalali, 2011). A dependência energética do país na importação de recursos fósseis tem vindo a diminuir gradualmente quando comparado com a forte aposta em energias renováveis. Não só Portugal reduziu a dependência energética (79.4% em 2012 comparado com 88.8% em 2005) como aumentou a capacidade de produção de energias renováveis (como exemplo, a energia eólica teve um aumento de produção de energia de 1.773 GWh em 2005 para 10.260 GWh em 2012) (DGEG, 2016).

Ainda no contexto nacional, o fraco investimento em sistemas com elevada eficiência térmica e energética entre outros, na maioria dos edifícios, aumenta o gasto de energia nos vários tipos de uso como a climatização, a iluminação e o aquecimento de águas.

Na perspetiva de precaver as consequências num futuro próximo com o conceito de Desenvolvimento Sustentável descrito no relatório de Brundtland, *Our Common Future* - 1987, e de cumprir metas como o PNAEE (Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética) (DGEG, 2016), a avaliação dos materiais e de soluções construtivas para uma melhor eficiência energética, considerando energia incorporada e energia operacional, bem como as emissões associadas, permitindo o cálculo global do seu impacto ambiental, mostra-se indispensável (Bribián, et al., 2011).

Investigações recentes mostram que a energia operacional representa 80% a 85% do total do ciclo de vida de um edifício convencional, enquanto a energia incorporada representa 10% a 20% (Ramesh, et al., 2010) (Sharma, et al., 2011). Por edifício convencional entende-se toda a construção onde a escolha dos materiais e técnicas de construção cumprem os requisitos mínimos de conforto térmico, estrutural e funcionalidade. Noutro tipo de edifícios, projetados com características específicas para atingir elevados níveis de eficiência térmica e energética, esta relação equilibra-se ou pode até inverter-se.

No contexto atual, como a maior parte dos edifícios são convencionais e comportam um valor de energia operacional elevado em comparação com a energia incorporada, é necessário proceder à redução do gasto de energia operacional para diminuir o seu impacto global. A redução da energia incorporada deve ser analisada atendendo que a redução da energia operacional promove o aumento do significado da energia incorporada (Ramesh, et al., 2010).

Têm sido apresentadas comparações entre edifícios autossuficientes do ponto de vista energético, edifícios com desempenho energético aperfeiçoado e edifícios convencionais com o intuito de comparar a importância relativa da energia operacional e incorporada com o impacto global dos edifícios (Sartori & Hestnes, 2007) (Winther & Hestnes, 1999).

Os resultados demonstram que do ponto de vista da ACV, os edifícios de baixo consumo energético, cujo objetivo é a redução da energia operacional, podem ser mais eficientes devido à introdução de medidas passivas e ativas. O aumento efetivo da

energia incorporada e da sua importância relativa não se mostra significativo quando comparado com a redução da energia operacional.

No entanto, no caso dos edifícios autossuficientes que produzem energia no local a partir de fontes renováveis (não necessitando deste modo de energia obtida a partir de fontes fósseis), o aumento de energia incorporada é tão significativo que pode, por vezes, ultrapassar o impacto global dos outros tipos de edifícios. Nestes casos, o aumento substancial da energia incorporada é a consequência da utilização de materiais que, para cumprirem requisitos máximos de eficiência térmica e energética, são extremamente processados, ou seja, comportam individualmente um valor de energia incorporada elevado (Sartori & Hestnes, 2007).

Pressupõe-se, no entanto, que um maior investimento em soluções construtivas que garantem conforto térmico reduz o valor da energia operacional, o impacto no ambiente e também os custos associados. Esta melhoria ambiental verifica-se apesar do aumento do impacto associado à energia incorporada, porque o balanço final é favorável (Dixit, et al., 2012).

1.2– Objetivos

O objetivo deste estudo, elaborada para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura, visa em avaliar a influência da proveniência dos materiais no impacto ambiental de soluções construtivas.

Pretende-se avaliar a variabilidade inerente à origem dos materiais no seu contributo relativo para o impacto de uma solução construtiva conforme o fabricante, tendo em conta os valores de energia e de carbono incorporados expressos nas Declarações ambientais de Produto (DAP) e perceber onde e quais os materiais mais preponderantes. Esta análise insere-se num processo de simplificação de metodologias e análise de avaliação de ciclo de vida (ACV) e pretende contribuir para a criação de uma ferramenta prática, rápida e eficaz de avaliação de sustentabilidade em arquitetura. A utilização de métodos simplificados e de cálculo rápido mostra-se mais preponderante na fase de planeamento já que, em teoria, um projeto que incorpore no início esta preocupação terá posteriormente menos constrangimentos entre as várias áreas de projeto.

1.3 – Estrutura do trabalho

O presente trabalho, em primeira estância, no capítulo 2, apresenta o levantamento realizado sobre avaliação do ciclo de vida de edifícios e produtos bem como as normas e entidades reguladoras.

Em seguida, no capítulo 3, são identificados os processos e as decisões necessárias para a recolha e tratamento de informação, equações e cálculo de impacto das soluções construtivas.

Por fim, o capítulo 4 apresenta os resultados obtidos, enquanto o quinto capítulo os analisa e discute. No sexto capítulo são apresentadas as conclusões.

2 – Ciclo de vida ambiental de soluções construtivas

2.1 - Definições do ciclo de vida (ACV)

“Quando as avaliações do ciclo de vida foram desenvolvidas na década de 60, foram motivadas por dificuldades económicas da época.” (Williams, 2009).

Na construção, devido aos inúmeros materiais e processos desenvolvidos, é necessário categorizar e padronizar métodos de avaliação de sustentabilidade de edifícios de modo a melhor informar as decisões e detetar possibilidades de melhorias na eficácia e no impacto nos setores económico, social e ambiental (Cabeza, et al., 2013).

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é definida como sendo uma metodologia objetiva para analisar e quantificar os impactes ambientais dos materiais, edifícios e serviços durante o seu ciclo de vida usando a abordagem “berço ao túmulo” (*cradle to grave*) (ISO 14040, 2006). Um estudo de ACV, quantifica o fluxo de energia e materiais usados em cada fase do ciclo, bem como de resíduos e emissões resultantes, desde a extração de matérias-primas, transportes e fabricação até à construção/consumo, uso, manutenção, demolição e/ou reciclagem de resíduos (Cabeza, et al., 2013).

Na essência deste processo, o gasto maior ou menor de energia é um factor determinante para a caracterização do objeto que, por sua vez, auxilia a tomada de

decisão principalmente nas fases de projeto e anteprojeto como também na otimização e redução do impacto por parte de indústrias e outros sectores (Ramesh, et al., 2010).

2.2 – Processos de análise do ciclo de vida ambiental

A indústria da construção estende-se e abrange várias áreas que estão implícitas na construção. Todavia, não estão diretamente ligadas ou submissas ao mesmo tipo de legislação e princípios, enquanto o desenvolvimento e criação de novos materiais permite responder aos processos técnicos atuais, acrescem a um estudo de ACV dificuldades e entraves na homogeneização e tratamento da informação (Blengini & Carlo, 2010).

Face a esta realidade, várias normas são produzidas com o intuito de tornar possível a comparação de produtos nas várias categorias desde as questões técnicas, aos impactos e produção de resíduos.

A ACV, estabelecida internacionalmente através da Organização Internacional de Normalização (ISO) nas séries ISO 14040 e ISO 14044, apresenta padrões e orientações que vêm uniformizar a forma e métodos de avaliação (ISO 14040, 2006) (ISO 14044, 2006).

Um processo de ACV divide-se em quatro fases: (i) definição de objetivos e limites de análise, (ii) análise do inventário de entradas e saídas (fluxos) de materiais e energias, (iii) avaliação do impacto de todo o ciclo de vida de um determinado objeto de análise e (iv) a interpretação crítica de cada uma das fases anteriores (Williams, 2009) (fig. 1).

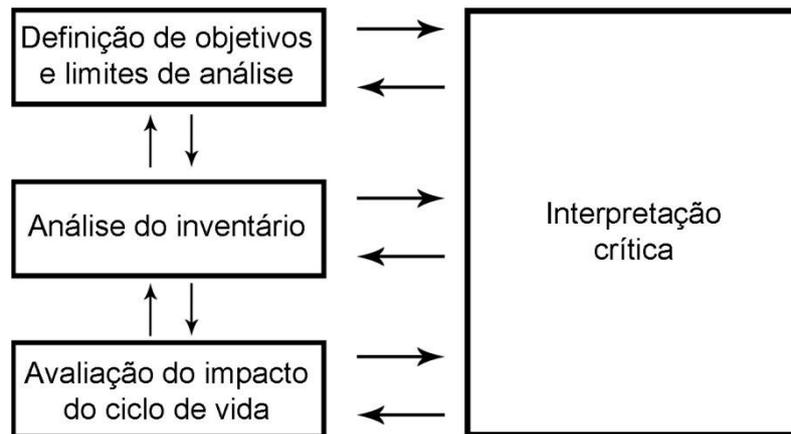


Figura 1 - Estrutura geral de ACV. Fonte: ISO 14040 (ISO 14040, 2006) (ISO 14044, 2006)

A definição de objetivos e limites de análise estabelece o ponto de partida num estudo de ACV determinando a unidade/objeto e o público-alvo (ISO 14040, 2006). Para o efeito, deverão ser considerados os parâmetros seguintes:

- Funções do sistema de produto ou de sistemas;
- Unidade funcional;

- Sistema de produto a estudar;
- Limites do sistema do produto;
- Procedimentos de divulgação;
- Tipos de impacte;
- Requisitos de dados;
- Pressupostos;
- Limitações do estudo;
- Requisitos da qualidade dos dados iniciais;
- Revisão crítica;
- Tipo e formatação de relatório adequado ao estudo.

Posteriormente, são definidos os limites de estudo e especificados os critérios de seleção de informação que deverão compor a ACV. Estes critérios deverão ser devidamente identificados e justificados (ISO 14040, 2006). Os requisitos que determinam a qualidade dos dados devem centralizar os objetivos e limites no estudo de ACV (ISO 14040, 2006). Para a comparação de sistemas, dever-se-á ter em consideração a uniformização dos dados (mesma unidade funcional e metodologias de ACV) de forma a assegurar a fidelização na interpretação dos resultados. Uma revisão crítica da ACV garante que esta cumpre os requisitos da metodologia ISO (ISO 14040, 2006).

Numa segunda etapa, realiza-se a recolha e sistematização de informação sobre o objeto nas várias fases do ciclo de vida. A este nível, são contabilizadas as entradas e

as saídas de energias, materiais e resíduos do sistema do produto. Este conjunto de entradas e saídas corresponde aos fluxos associados à obtenção do produto. A informação daí resultante constitui a base de dados para a avaliação do impacto do ciclo de vida (ISO 14040, 2006).

A informação para a avaliação do impacto de todo o ciclo de vida de um determinado objeto de análise é, posteriormente, categorizada para determinar um conjunto de indicadores de impacto ambiental (alterações climáticas, destruição da camada de ozono, toxicidade para o ecossistema, a formação de ozono fotoquímico, acidificação, eutrofização, escassez de recursos e uso do território). A relevância do impacto é subjetiva na medida em que depende do juízo do autor do estudo, dado que deste dependem os critérios de análise e os objetivos. Consequentemente, a interpretação dos resultados implica inevitavelmente um determinado grau de subjetividade. Deste modo, os pressupostos de avaliação devem transparecer ao longo do estudo (ISO 14040, 2006).

A interpretação crítica da informação obtida nas várias fases não é só crucial para a obtenção de dados consistentes, fidedignos e, ainda, obter conclusões para um estudo de ACV como também para identificar oportunidades de melhoria tanto nas especificidades técnicas do produto e na redução do seu impacto e aperfeiçoamento do *design* (Cabeza, et al., 2013).

O estudo de ACV contabiliza o objeto de análise como um todo. No caso de um edifício, serão analisados desde as fundações à cobertura, à área de propriedade

afetada, as infraestruturas bem como o próprio fim. Se o estudo for aplicado apenas a uma fração, componente ou característica, deverá estar adequadamente explícito e justificado (ISO 14040, 2006).

Apesar do estudo de ACV estar bem definido e a metodologia aceite como base científica, a sua aplicação na construção é penalizada pela falta de padronização na área. Veja-se que a própria comparação integral de estudos realizados por vários autores não é possível devido à variação dos limites e objetivos de análise (Blengini & Carlo, 2010).

No decorrer da evolução desta metodologia, o Comité Europeu de Normalização (CEN) redige e publica normas baseadas na metodologia de ACV cujo objetivo das avaliações dos impactes ambientais dos edifícios e dos produtos não constituam barreiras técnicas ao comércio europeu bem como para dar resposta à dificuldade de homogeneizar os estudos (CEN/TC, 2011).

O CEN/TC 350 tem como objetivo definir como avaliar a sustentabilidade de edifícios no âmbito das áreas de desempenho ambiental, social e económico. O conjunto de normas que constituem a EN 15643 reinterpreta e incorpora a metodologia de ACV num estudo concreto e estratificado de avaliação de sustentabilidade (Eurima, 2012) (Quadro 1).

EN 15643-1 Avaliação da sustentabilidade em edifícios - Enquadramento	
Enquadramento	EN 15643-2 Enquadramento para o desempenho ambiental
Edifício	EN 15978 Avaliação de desempenho ambiental
Produto	EN 15804 Declaração de produto

Quadro 1 - Normas do Comité Europeu de Normalização - CEN. Fonte: Eurima (Adaptado)

O quadro acima apresentado demonstra as várias escalas e limites de análise onde se pode verificar que as normas EN 15643-1 e EN 15643-2 definem as recomendações gerais enquanto a norma EN 15978 estabelece o método de cálculo de sustentabilidade e impacte ambiental de edifícios em todo o seu ciclo de vida suportados pelos dados apresentados nas declarações ambientais de produto (DAP). Neste processo, são descritos e contabilizados todos os elementos construtivos do edifício cumulativamente com todos os processos de construção e serviços intrínsecos (Quadro 2).

As DAP, sob a norma EN 15804 e/ou as séries ISO 14000, assumem a forma concentrada e direta da representação do impacte de um determinado produto com base no estudo de ACV, onde o limite de análise pode ser do “berço ao portão” (*cradle to gate*) ou do “berço ao túmulo” (*cradle to grave*). Este tipo de avaliação é essencial devido à diversidade de materiais, funções e objetivos, disponibilizando ao autor de um

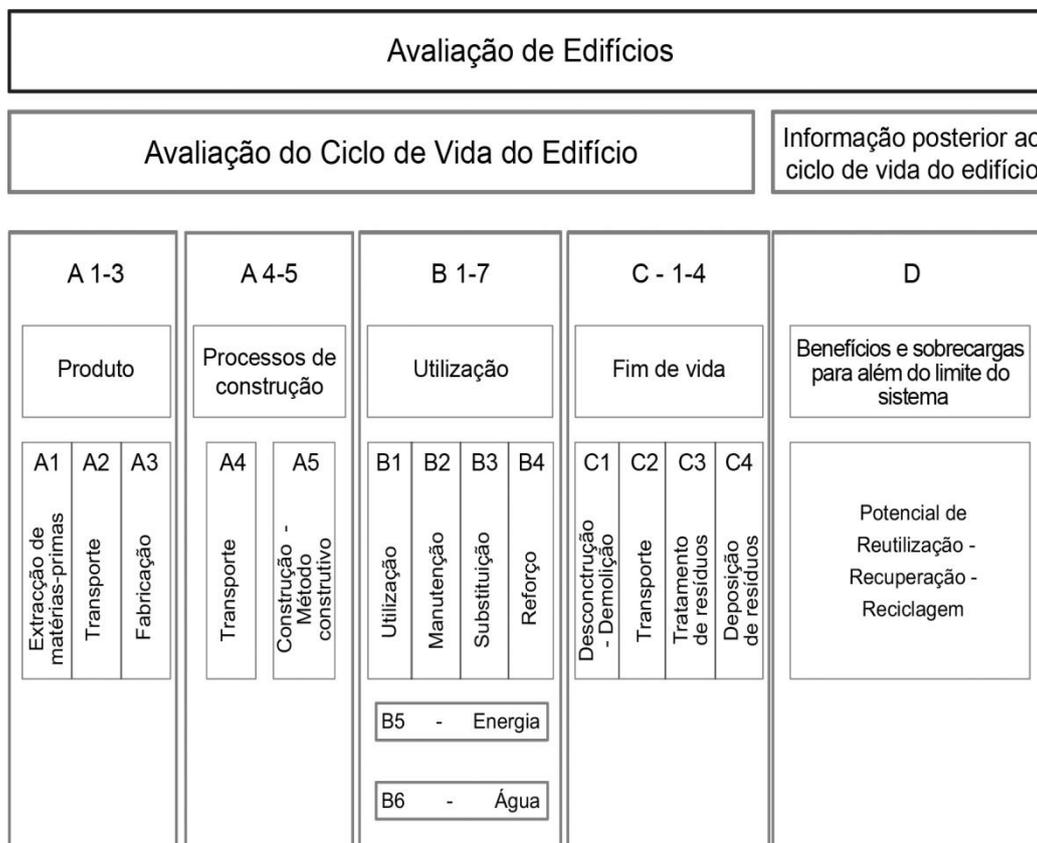
estudo de ACV, valores mensuráveis do impacto individual dos materiais. Estes documentos visam dar resposta à necessidade de criar modelos de padronização facilitando a comparação e interpretação de todos os materiais e/ou serviços possibilitando a uniformização e transversalidade dos dados.

Neste seguimento, as DAP comportam e demonstram, de forma sistemática, valores que quantificam os recursos, o uso de energia e/ou a eficiência, o potencial de aquecimento global, as emissões para o ar, o solo e a água, e a produção de resíduos. (ISO 14044, 2006).

A avaliação de sustentabilidade de edifícios, proposta pelo CEN/TC350 (Quadro 2), estratifica-se em quatro subgrupos de A a C abrangendo todo o ciclo de vida numa abordagem “berço-túmulo”. A esta avaliação, se for considerado o potencial de reciclagem, reutilização ou exportação de energia, um quinto grupo, D, é contabilizado.

A fase de produto (A 1-3) contabiliza a extração da matéria-prima e gasto de energia para a produção de um determinado produto, ou seja, formaliza as DAP (berço ao portão). Na fase de construção (A 4-5), é considerado o transporte dos materiais para o local de obra e todo o processo de construção.

A etapa seguinte (B 1-7) refere-se ao período de utilização do edificado onde, para além de assegurar a integridade estrutural e estética, são contabilizados os gastos de água e energia para iluminação, climatização e utilização de aparelhos em geral.



Quadro 2 - Fases do Ciclo de Vida. Fonte: CEN/TC 350, EN 15978 (Adaptado).

No fim de vida (C 1-4), considerando a não reutilização do edificado, é contabilizado o gasto de energia e o impacto para a demolição bem como o consequente tratamento de resíduos (berço ao túmulo).

Após o fim de vida de um edifício (D), os materiais podem ser reciclados e/ou reutilizados. Nesta fase, é considerado que parte da energia incorporada e o impacto dos materiais migram para outro sistema de um novo edifício ou outros objetos, reduzindo não só o impacto global do primeiro caso de análise como o impacto inicial do segundo.

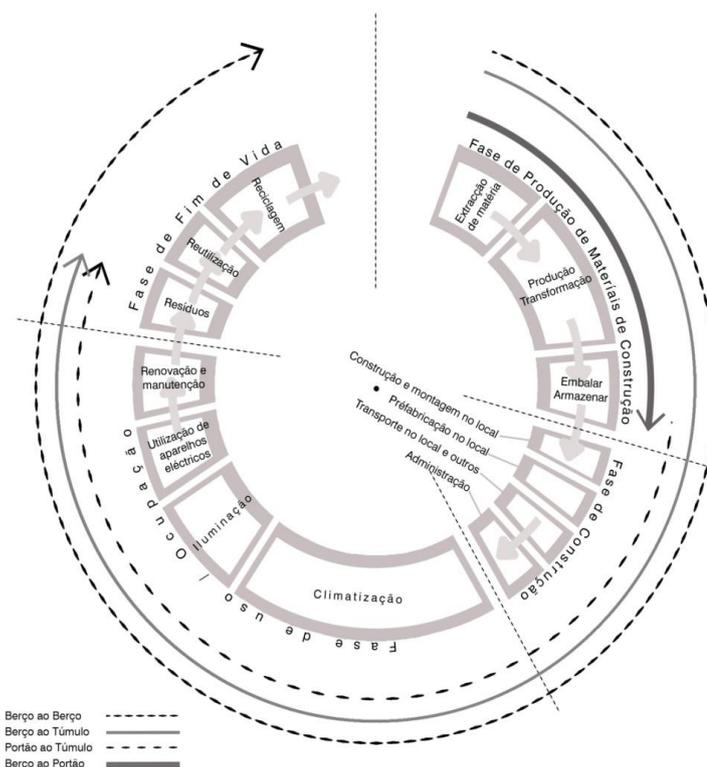


Figura 2 - Esquema do sistema e limites da avaliação do ciclo de vida. Fonte: (Dixit, et al., 2012) (Adaptado)

2.3 – Ferramentas de cálculo

Nas últimas décadas, vários programas informáticos e base de dados foram desenvolvidos para homogeneizar os processos de avaliação. Em semelhança com o estudo de ACV, estes programas têm pressupostos em comum e outros divergentes.

Enquanto alguns destes foram desenvolvidos com base nos critérios de ACV para o cálculo de sustentabilidade de edifícios e de materiais, outros têm uma perspetiva económica e/ou social mas, ambas, encerram a capacidade de avaliar materiais e soluções construtivas.

Vários autores (Cabeza, et al., 2013) mostram a distinção entre algumas destas ferramentas e propõem uma distinção em três níveis:

- Nível 1 - Ferramentas de comparação de materiais: BEES; NREL; SimaPro; Ganzheitliche Bilanzierung Integrated Assessment; Life Cycle Explorer.
- Nível 2 - Ferramentas de suporte de decisão de edifícios: Athena EcoCalculator; Envest; Sustainability Architecture.
- Nível 3 – Ferramentas de sistemas de avaliação de edifícios e organizações: Athena Impact Estimator; BREEAM; LEED

A apresentação dos resultados é também díspar entre ferramentas. Nalguns casos, a avaliação é realizada ao pormenor através de valores exatos de gastos e eficiência energética bem como emissões, entre outros aspetos, e apresentam um valor mensurável final que compreende todos os critérios de avaliação. Noutras situações, as avaliações

são parciais e os resultados são compilados e convertidos em classificações ou pontuações de sustentabilidade.

O cálculo analógico é também um processo utilizado mas mais moroso devido à capacidade, eficiência e eficácia dependerem essencialmente do autor. Embora os pressupostos e as metodologias (critérios de análise e forma de classificação de produtos e soluções construtivas) serem partilhados nos dois processos (digital e analógico), este está intimamente ligado com o/s autor/es pela estrutura do processo de recolha de informação, forma de cálculo e critérios de análise de resultados.

2.4 – Base de dados

Um estudo de ACV visa mensurar o impacto de um determinado alvo de análise. Após a estratificação do processo e determinação dos limites do estudo é necessário recolher os valores de impacto ambiental. O recurso a análises em laboratório da composição e do comportamento dos materiais, ensaios e levantamento de informação no mundo real, permitiu a criação de várias bases de dados sobre os produtos.

Entidades como o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), em Portugal, e outras instituições como universidades, corporações e associações pelo mundo, contribuem para que cada vez mais os materiais de construção sejam categorizados e classificados. Na Europa, apesar das diferenças de clima, tradições de construção e fatores económicos entre os vários países, subsiste a necessidade de homogeneizar a

categorização dos materiais através de critérios universais como a segurança, a qualidade e o impacto ambiental.

As DAP são documentos redigidos por entidades independentes através do levantamento e estudo da produção de um determinado produto onde é discriminado o respetivo impacto ambiental de forma clara e comparável com todo o processo de fabrico (desde a extração até ao momento de saída da fábrica).

2.5 - Síntese

As avaliações de sustentabilidade têm por base a apreciação dos materiais de construção, dos métodos construtivos, da ocupação dos edifícios e da disposição final de resíduos.

Por sua vez, os métodos de avaliação variam de acordo com o objeto e objetivos de análise sem colocar em causa as funcionalidades dos mesmos. Apesar da visão holística preferir a avaliação do objeto como um todo, verifica-se que esta visão mostra pouca relevância no enquadramento internacional o que se deve à diversidade climática, às tradições de construção, aos avanços tecnológicos na construção, à variabilidade na produção de materiais e à desigualdade económica. No entanto, revela-se que é possível projetar edifícios sustentáveis recorrendo a avaliações parciais dos seus componentes mais significativos para o impacto final.

No que diz respeito aos projetistas, arquitetos e engenheiros, a avaliação de sustentabilidade não deverá constituir um impasse na concepção de edifícios, mas apresentar-se como uma ferramenta adicional ao processo de aproximação dos edifícios a níveis sustentáveis.

3 – Metodologia de análise

3.1 – Introdução

O presente capítulo visa mostrar o processo e as decisões adotadas, de forma a atingir os objetivos específicos e gerais do tema de estudo.

A metodologia empregue baseia-se, em parte, em estudos realizados anteriormente com as devidas alterações fundamentais descritas nos subcapítulos seguintes.

O limite da análise concentra-se em paredes exteriores de edifícios com soluções construtivas comuns em Portugal.

3.2 – Estudos anteriores

Um estudo realizado anteriormente no ISCTE-IUL (Veludo, 2015) permite uma avaliação simplificada de soluções construtivas para paredes exteriores, tendo por base indicadores de desempenho funcional e ambiental onde são normalizados a partir de valores concretos de energia (EE [MJ/m²]) e carbono incorporados (EC [kgCO₂e/m²]), coeficiente de transmissão térmica (U [W/m².°C]) e massa térmica superficial útil (M_{tsu} [J/m².°C]). O extenso grupo de soluções construtivas analisadas compreende as várias combinações de materiais denominados pesados e as suas várias espessuras para a obtenção do melhor rácio entre a pegada ecológica e o desempenho dos materiais.

Este estudo tem por base o inventário ICE (*Inventory of Carbon and Energy*) (Hammond & Jones, 2008) da universidade de Bath no Reino Unido, onde não é considerado a variabilidade inerente à origem dos materiais, ou seja, este inventário permite a seleção da/s melhor/es solução/ões construtiva/s, conforme o objetivo de análise, através de valores médios de impacto ambiental e não de valores concretos dos vários fabricantes.

3.3 – Soluções construtivas e seleção de informação

O critério de seleção das soluções construtivas corresponde às combinações de materiais e processos construtivos mais empregues em Portugal.

Para a realização desta investigação são selecionadas dezasseis soluções construtivas (tabela 1) a partir do grupo de análise do trabalho anteriormente referido (Veludo, 2015) e, em cada solução construtiva, é alterado o tipo de betão, de tijolo e de argamassa conforme o fabricante (DAP) de modo a que, ao analisar os possíveis materiais aplicados por solução, seja evidenciado se de facto existe variabilidade significativa.

Tabela 1 - Soluções construtivas selecionadas		
Tipo	Nº	Descrição
Parede Simples	64	Reboco + Agl. de cortiça + Betão Armado
	75	Reboco + Agl. de cortiça + Tij. Térmico 19 + Reboco
	85	Reboco + Agl. de cortiça + Tijolo 20 + Reboco
	95	Reboco + Agl. de cortiça + Tij. Térmico 24 + Reboco
	105	Reboco + Agl. de cortiça + Tij. Térmico 29 + Reboco
Parede Dupla	116	Reboco + Tij. Térmico 14 + Cx. Ar + Agl. de cortiça + Tij. Maciço 11 + Reboco
	132	Reboco + Tijolo 15 + Cx. Ar + Agl. de cortiça + Tij. Maciço 11 + Reboco
	152	Reboco + Tij. Térmico 19 + Cx. Ar + Agl. de cortiça + Tij. Maciço 11 + Reboco
	176	Reboco + Tij. Térmico 19 + Cx. Ar + Agl. de cortiça + Tij. Térmico 14 + Reboco
	188	Reboco + Tij. Térmico 19 + Cx. Ar + Agl. de cortiça + Tijolo 15 + Reboco
	200	Reboco + Tijolo 20 + Cx. Ar + Agl. de cortiça + Tij. Maciço 11 + Reboco
	224	Reboco + Tijolo 20 + Cx. Ar + Agl. de cortiça + Tij. Térmico 14 + Reboco
	236	Reboco + Tijolo 20 + Cx. Ar + Agl. de cortiça + Tijolo 15 + Reboco
	296	Betão Armado + Cx. Ar + Agl. de cortiça + Tij. Maciço 11 + Reboco
	308	Betão Armado + Cx. Ar + Agl. de cortiça + Tij. Térmico 14 + Reboco
	320	Betão Armado + Cx. Ar + Agl. de cortiça + Tijolo 15 + Reboco

A tabela anterior regista as soluções selecionadas para estudo e a descrição dos seus componentes, a partir do grupo de análise do trabalho referenciado (Veludo, 2015).

Nestas soluções encontram-se materiais como o betão armado, o tijolo maciço, furado de furação horizontal e furado de furação vertical (vulgarmente designado de tijolo térmico), argamassas de revestimento e assentamento compondo paredes simples ou duplas.

Para efeito de isolamento térmico, o aglomerado de cortiça é o material selecionado porém, mesmo que o seu impacte seja contabilizado nas soluções construtivas, o seu valor não será variável uma vez que o aglomerado de cortiça é um produto usado maioritariamente em Portugal e está declarado em poucos documentos com valores semelhantes de impacte.

Após a pesquisa sobre materiais de construção, verifica-se que, em Portugal, o uso das DAP para categorizar estes materiais encontram-se em fase embrionária. Deste modo, o recurso a informação de outros países mostra-se indispensável.

No entanto, para que a comparação seja possível, os valores têm de obedecer aos mesmos critérios de avaliação e à mesma forma de apresentação. Desta forma, a seleção das DAP está sujeita a que os materiais produzidos e as entidades autoras das declarações estejam circunscritos na União Europeia obedecendo aos mesmos processos de redação das DAP, segundo as normas ISO ou CEN.

É de salientar que, à realização de uma DAP, está obrigatoriamente associado, um custo significativo para os fabricantes contribuindo para que estes optem, por vezes, realizar estas avaliações em produtos exclusivos ou novos no mercado. Como tal, estes fatores determinam o acesso a um número reduzido de documentos disponíveis. Assim,

confirma-se a necessidade de regulamentar a criação e permitir o acesso a estas declarações para que os estudos de ACV sejam de facto ferramentas de uso rápido e concreto.

O conteúdo de uma DAP é, por norma, bastante completo e descritivo onde todas as fases de fabricação e materiais são discriminados ao pormenor sendo contabilizadas todas as formas de impacte nas suas unidades correspondentes como por exemplo a energia incorporada (MJ) e o carbono incorporado (CO₂).

Ao interpretar uma DAP, é necessário ter em atenção a unidade que representa a amostra do material, por exemplo m², m³ e kg ou Ton (tabelas 2, 3 e 4).

Tabela 2 - DAP de betões			
Nome da DAP	Número da DAP	Uni. Funcional	Código
Baton InformationsZentrum	EPD-IZB-20130431-IBG2-DE	m ³	B1
Velde Betong AS	NEPD-328-210-NO	m ³	B2
Tabela 3 - DAP de tijolos			
Nome da DAP	Número da DAP	Uni. Funcional	Código
THERMOPOR	(IBU)	m ³	T1
Ziegel	EPD-AMZ-20140244-ICG1-DE	m ³	T2
BDA Generic Brick	BREG EN EPD 000002	Ton	T3
Wienerberger AS	EPD-WIE-20130206-IAB1-EN	Ton	T4

Tabela 4 - DAP de argamassas			
Nome da DAP	Número da DAP	Uni. Funcional	Código
Weber	(IBU)	Kg	A1
SCHWENK Putztechnik GmbH & Co.	(IBU)	Kg	A2
Grupp GmbH & Co.	(IBU)	Kg	A3
BAUMIT GmbH	(IBU)	Kg	A4
BAUMIT GmbH	(IBU)	Kg	A5
Weber	NEPD00275E	Kg	A6
Weber	NEPD00290E	Kg	A7

As tabelas anteriores mostram as DAP selecionadas para análise, os respectivos números de registo e unidade funcional declarada. Por fim, a simplificação da informação em códigos para efeitos de sistematização do estudo.

Neste estudo, a unidade selecionada como unidade de cálculo é o m² uma vez que interessa perceber o impacte por solução construtiva e não por quantidade de material utilizado nessa mesma solução.

Importa referir ainda que, em alguns casos, como o betão e o tijolo, as DAP não comportam o impacte total do material na solução construtiva. Por exemplo, uma estrutura em betão exige a presença de um segundo material como o aço e o tijolo necessita de argamassa de assentamento. Em ambos os casos, não estão contabilizados

nas DAP. É necessário associar ao material primário a importância relativa destes materiais que são inerentes e indispensáveis para a coesão da solução construtiva em prol de resultados mais fidedignos e realistas.

Salienta-se que, nas soluções construtivas em que o isolamento térmico se encontra junto a uma das faces externas da parede, as argamassas são aplicadas sob o sistema ETIC, ou seja, adquirem uma menor espessura quando comparado com os métodos tradicionais.

Para o desenvolvimento desta análise, há a necessidade de ajustar, quando pertinente, estes fatores e ter em conta os processos construtivos para uma análise mais credível. Não só perceber que numa solução construtiva há materiais que requerem agentes ligantes ou subestruturas, como também converter cada unidade funcional para uma unidade transversal à análise.

No caso do betão armado, a contabilização do aço é realizada pela adição, aos valores do betão expressos nas DAP, dos valores de 1,63 MJ/kg e de 0,121 CO₂/kg, respetivamente para a determinação da energia e do carbono incorporados. Estes valores assumem os seguintes pressupostos: a massa volúmica do aço é de 7860 kg/m³ e os varões de aço ocupam 2% do volume da peça de betão armado; para completar este processo, são considerados os valores unitários e os fatores de modificação indicados no ICE da universidade de Bath (Hammond & Jones, 2008).

Quanto às argamassas, primeiro é necessário determinar a proporção de tijolo e argamassa numa alvenaria. Para o efeito, é necessário encontrar os valores relativos à

massa superficial útil de alvenaria de tijolo, incluindo as juntas, e o peso respeitante a cada tijolo. Esta informação pode ser consultada através do *Manual de Alvenaria de Tijolo* (Sousa & Silva, 2000).

Destas, resultam as proporções de cada material presente numa alvenaria de tijolo e são utilizadas como ponderadores para calcular os valores de energia e carbono incorporados nas alvenarias considerando os dois materiais.

3.4 – Método de Cálculo e de análise

No desenvolvimento deste estudo, a informação é tratada e analisada em várias fases. Após o tratamento da informação referida no capítulo anterior, é contabilizado o impacte ambiental das soluções construtivas selecionadas através dos seus materiais constituintes.

Para o efeito, é utilizado o formato de uma folha de cálculo produzida em MSExcel onde são introduzidos os valores de massa volúmica, espessura, energia e carbono incorporado por unidade de massa.

O processo de cálculo para determinar o valor de impacte ambiental por metro quadrado de parede, é depois realizado a partir das expressões a seguir indicadas (Veludo, 2015).

A energia incorporada superficial (por m² de camada), EE_s (MJ/m²), é obtida através da equação (1):

$$EE_s = \sum_i (M_{si} \cdot EE_i) \quad (1)$$

Onde,

M_{si} : Massa Superficial da camada i (kg/m²);

EE_i : Energia incorporada por unidade de massa na camada i (MJ/kg).

Para o cálculo de carbono incorporado por m² de camada, EC_s (kgCO₂e/m²), é obtido através da equação (2):

$$EC_s = \sum_i (M_{si} \cdot EC_i) \quad (2)$$

Onde,

EC_i : Carbono incorporado por unidade de peso da camada i (kgCO₂e/kg).

A massa superficial, M_s (kg/m²) é calculada através da equação (3):

$$M_s = e \cdot \rho \quad (3)$$

Onde,

e : Espessura (m);

ρ : Massa volúmica (kg/m³)

De seguida, é necessário normalizar os valores encontrados pelas equações acima referenciadas para a mesma escala de análise pois, as unidades e amplitude de valores não permitem ainda a comparação direta. Com isto, o valor normalizado \bar{P}_i de cada parâmetro de cada solução construtiva é obtido através da equação (4) (Diaz-Balteiro, 2004):

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{*i}}{P_i^* - P_{*i}} \quad \forall_i \quad (4)$$

Onde,

P_i : Valor do parâmetro i ;

P_{*i} : Pior valor de cada parâmetro i do conjunto de combinações de materiais em cada solução;

P_i^* : Melhor valor de cada parâmetro i do conjunto de combinações de materiais em cada solução.

Após obter os valores normalizados resultantes das equações anteriores, são realizados gráficos para evidenciar os produtos com melhor classificação nos parâmetros de análise (EE e EC) em cada tipo de parede (fig. 3). Ainda com estes valores, é realizado um segundo gráfico onde a pontuação individual é combinada em um parâmetro de avaliação que permite encontrar os materiais com a melhor pontuação integrada, ou seja, o material que, podendo não ter a melhor pontuação nos parâmetros de análise individualmente, tem a melhor pontuação através da soma da pontuação de energia e carbono incorporado (fig. 4).

As formas de classificação explícitas anteriormente, têm o propósito de encontrar os melhores produtos conforme os tipos de fabricante mas, para perceber as diferenças entre os mesmos, é necessário a realização de um novo gráfico onde, os valores apresentados são valores absolutos de impacto para cada solução construtiva (fig. 5). Estes têm o propósito de verificar a variabilidade entre produtos e comprovar a avaliação dos gráficos normalizados.

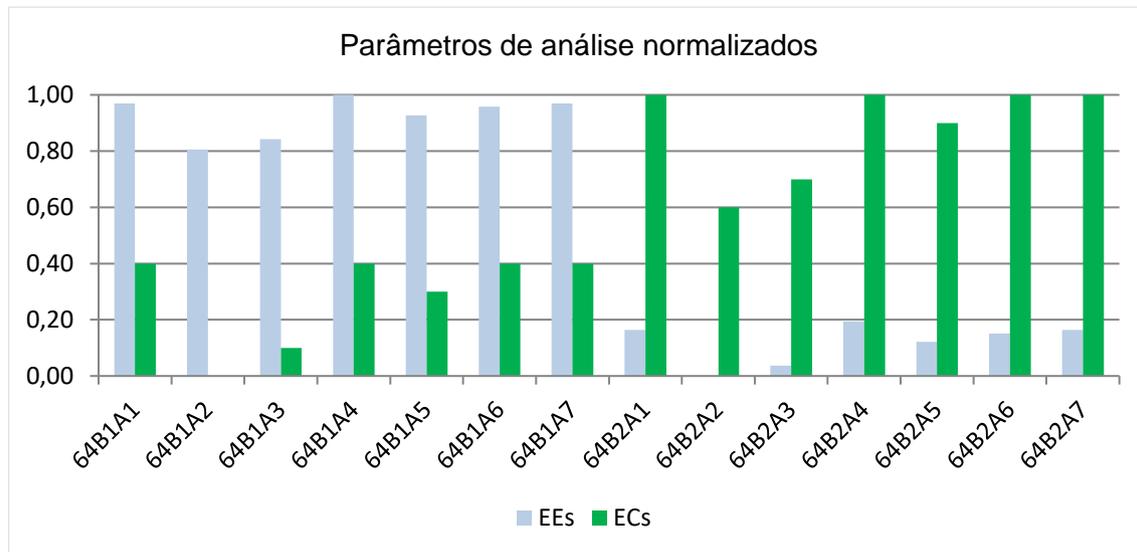


Figura 3 - Exemplo de gráfico de valores normalizados (solução n° 64)

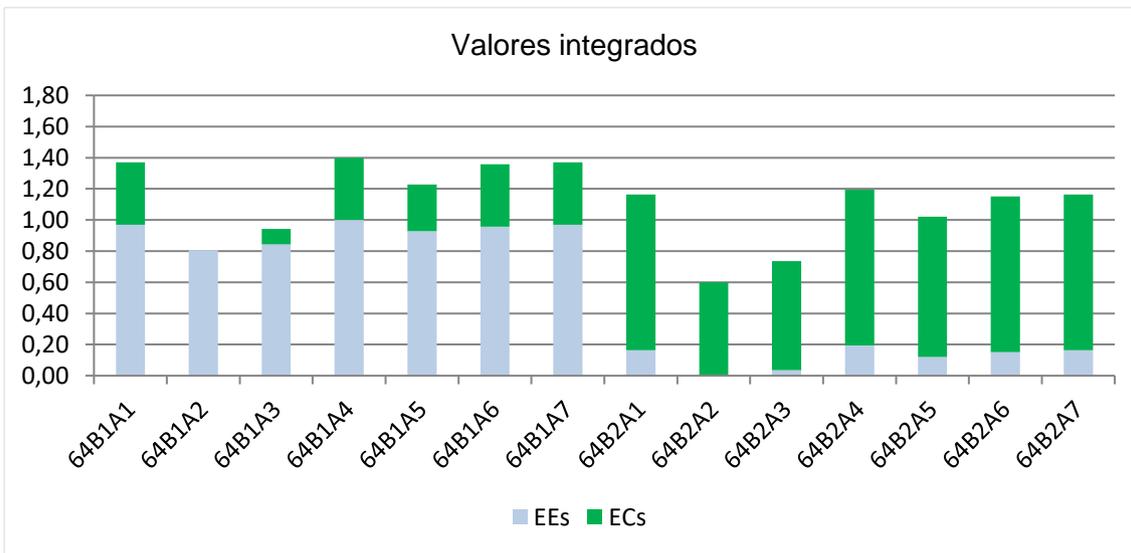


Figura 4 - Exemplo de gráfico de valores normalizados integrados (solução nº 64)

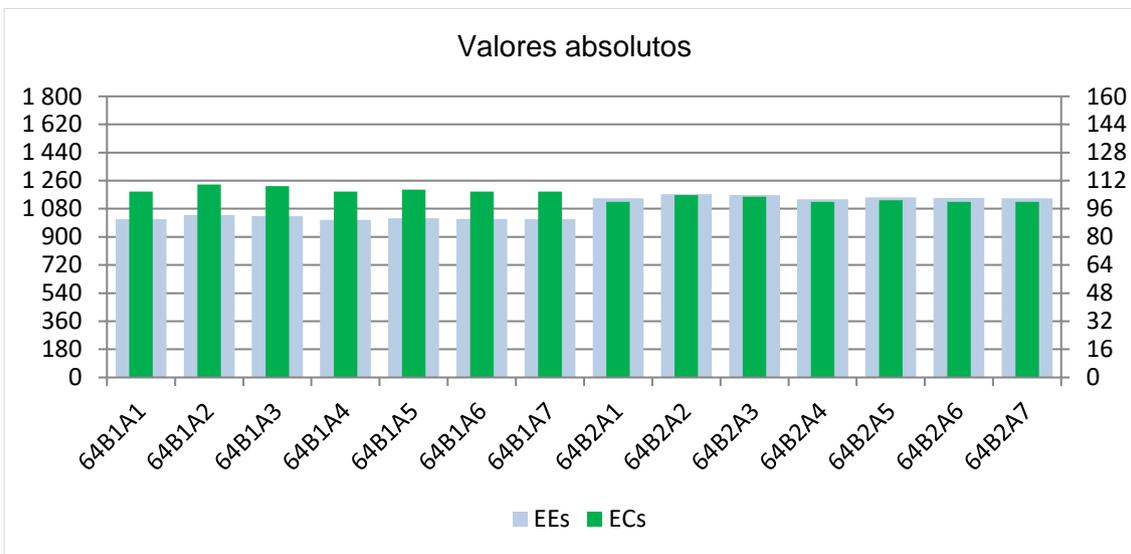


Figura 5 - Exemplo de gráfico de valores absolutos (solução nº 64)

A apresentação dos resultados e a respetiva análise, apresentados nos capítulos seguintes, resultam de uma análise conjunta e integrada destes gráficos por cada tipo de solução construtiva. O conjunto total de gráficos é apresentado em anexo (anexo B).

Paralelamente, é realizada uma comparação de significado relativo através da massa superficial de cada elemento constituinte das soluções construtivas. Esta análise dispõe-se em a verificar a relação entre o significado relativo dos materiais e o seu contributo no impacte ambiental global das paredes (fig. 6). O conjunto total de tabelas semelhantes é apresentado em anexo (anexo B).

Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,005	9,5	1,9
Agl. de cortiça	0,06	6,9	1,4
Betão armado	0,20	480	96,7
Total	0,265	496,4	100

Figura 6 - Exemplo de tabela de comparação do significado relativo dos materiais numa solução construtiva (solução n° 64)

4 – Resultados

Neste capítulo, é apresentada a melhor combinação de materiais de fabricantes diferentes, por solução construtiva, de acordo com a avaliação ponderada de energia e carbono incorporado e valores integrados (tabela 5). Apresenta-se também, a classificação das soluções analisadas através dos valores absolutos de impacto ambiental (tabela 6).

Quanto aos materiais, no que diz respeito às argamassas, é evidente que A4 é o material de eleição e está presente em todas as combinações analisadas.

No caso do tijolo, independentemente da solução construtiva, o padrão é evidente. O tijolo com menor valor de EE é o T1 mas, com menor valor de EC, destaca-se o T3. No entanto, o tijolo T2 apresenta os melhores valores integrados, mesmo que nos parâmetros individuais, não atinja a melhor pontuação ponderada.

Nas soluções construtivas com betão, o padrão é semelhante, onde o tipo de betão B1 tem menor valor de EE e o tipo B2 tem menor valor de EC. Nos valores integrados, B1 obtém a melhor classificação.

Tabela 5 - Melhores materiais por solução construtiva				
	Nº	Energia Incorporada	Carbono Incorporado	Integrado
Paredes Simples	64	B1A4	B2A4	B1A4
	75	A4T1	A4T3	A4T2
	85	A4T1	A4T3	A4T2
	95	A4T1	A4T3	A4T2
	105	A4T1	A4T3	A4T2
Paredes Duplas	116	A4T1	A4T3	A4T2
	132	A4T1	A4T3	A4T2
	152	A4T1	A4T3	A4T2
	176	A4T1	A4T3	A4T2
	188	A4T1	A4T3	A4T2
	200	A4T1	A4T3	A4T2
	224	A4T1	A4T3	A4T2
	236	A4T1	A4T3	A4T2
	296	B1A4T1	B2A4T3	B1A4T2
	308	B1A4T1	B2A4T3	B1A4T2
	320	B1A4T1	B2A4T3	B1A4T2

A tabela acima apresenta a melhor combinação de materiais conforme os tipos de fabricantes por solução construtiva. Exemplo: B1 refere-se ao fabricante com a respetiva DAP “Baton InformationsZentrum” (tabelas 2, 3 e 4).

De acordo com o anteriormente mencionando, verifica-se que os materiais que apresentam as melhores pontuações, nos tipos de paredes analisados, são, de facto, os materiais com menor pegada ecológica e melhores valores de EE e EC registados nas DAP analisadas (anexo A1).

Dito isto, é necessário averiguar a amplitude entre os valores absolutos de impacte ambiental das combinações de materiais e perceber se a variação é de facto significativa (anexo B – gráficos de valores absolutos).

Solução construtiva N° 64:

Apesar da pontuação assimétrica entre a avaliação ponderada dos parâmetros de análise, o gráfico de valores absolutos mostra que a variação não é significativa. Por meio de uma análise de sensibilidade, entre os vários tipos de argamassa para um tipo de betão, regista-se que a contribuição oscila apenas 1% e 2% nos valores de EE e EC respetivamente (anexo B1).

Soluções construtivas N° 75, 85, 95, 105:

No caso das paredes simples de tijolo, a amplitude do intervalo de diferenças no universo dos valores absolutos é mais evidente. Para cada tipo de tijolo, a contribuição de cada tipo de reboco pode representar um desvio padrão até 14% (EE) e 18% (EC) (anexos B2 a B5). A solução com menor impacte ambiental é a n° 85 (tabela 6).

Soluções Construtivas N° 116, 132, 152, 176, 188, 200, 223, 236:

O padrão anteriormente identificado para as paredes simples de tijolo é encontrado nas soluções de parede dupla. No entanto, verifica-se que os valores são, de modo geral, mais elevados registando o acréscimo no impacte que pode atingir os 30% (EE) e 33% (EC), quando comparado com as paredes simples (anexo B6 a B13).

Por outro lado, existem situações inversas como é o caso das soluções n° 116, 132 e 200 que apresentam valores menores de impacte do que a solução 105 (parede simples de tijolo). Neste conjunto, a melhor solução é a n° 116 (tabela 6)

Soluções Construtivas N° 296, 308, 320:

O sistema construtivo de parede dupla com betão e tijolo são, de facto, as soluções que comportam maior impacte ambiental onde se verificar um aumento até de 61% (EE) e 55% (EC), em relação às paredes duplas de tijolo.

Ao comparar as paredes simples e duplas de betão, é perceptível que, na última, a existência de mais materiais na solução construtiva aumenta a amplitude de diferenças entre os valores absolutos. Porém, neste caso, a variabilidade é menor do que as paredes duplas de tijolo (anexos B14 a B16). A melhor solução é a n° 296 (tabela 6).

Tabela 6 - Classificação das soluções				
Classificação	Nº S.C.	EE (MJ/m³)	EC (CO ₂ /m²)	M. superficial útil (kg/m²)
1	85	333	31	190,50
2	75	358	35	207,16
3	95	454	45	257,06
4	116	474	46	275,51
5	132	481	48	282,70
6	200	540	52	305,75
7	105	552	55	309,96
8	152	565	55	322,41
9	224	581	55	324,86
10	236	588	57	332,05
11	176	606	59	341,52
12	188	613	60	348,71
13	64	1008	106	496,40
14	296	1214	126	612,05
15	308	1256	129	631,16
16	320	1262	131	638,35

A tabela acima expõe a classificação das soluções construtivas analisadas com base nos valores absolutos de impacto ambiental por m² de solução. Paralelamente a este, está representado também o total de massa superficial útil de cada tipo de parede.

5 – Análise de resultados

Neste capítulo, as observações anteriormente verificadas são analisadas através dos gráficos de pontuação ponderada, integrada e de valores absolutos de cada solução (anexo B).

Através da tabela 5, confirma-se que a melhor combinação de materiais não é diferente entre as soluções construtivas, no entanto, há variação em função dos parâmetros de análise.

5.1 – Paredes Simples:

Comparando os tipos de betão analisados, verifica-se que o betão B1 tem a melhor classificação mas, em relação ao carbono, a fonte energética é mais poluente. O tipo de betão B2 tem melhor classificação no carbono, apesar do maior valor de EE, o que significa que a energia incorporada na fabricação deste material é proveniente de fontes menos poluentes ou, por outro lado, há uma maior contribuição por parte das fontes renováveis. O critério de seleção do tipo de betão, para este caso, pode estar relacionado com o preço dos materiais ou em premiar o fabricante que causa menor impacto ao nível das emissões de carbono.

No conjunto de soluções construtivas de paredes simples de tijolo, as argamassas têm uma contribuição de valor absoluto reduzida mas significativa na pontuação final de cada solução construtiva. Apesar de não representar o elemento que mais contribui no

impacte total entre as paredes simples analisadas, o exercício de selecionar o material com menor impacte é mais relevante para o tijolo.

Contudo, quanto menor for a contribuição do tijolo maior será o significado relativo das argamassas nas soluções e, com isso, o seu contributo no impacte global da solução construtiva.

Nota-se que a importância relativa do reboco está diretamente relacionada com a diferença entre a massa superficial útil dos materiais predominantes.

Este facto é passível de ser verificado por meio da análise percentual dos materiais analisados. No caso da solução nº 64, os valores do significado relativo entre a argamassa e o betão é de 1,9% e 96,7% respetivamente. No caso das restantes parede simples, a percentagem varia entre os 12,3% e 20% para as argamassas e 76% e 85.5% para o tijolo (anexo B – Quadros do significado relativo dos materiais na solução).

No contexto da análise, ainda é possível averiguar que a solução construtiva com menor impacte (solução nº 85) apresenta o material predominante com menor massa superficial útil (tijolo furado 0,20cm – 145,6 Kg/m²), o que conseqüentemente contribui para um menor significado relativo na solução construtiva (76%).

Avalia-se ainda, que a solução construtiva nº 85 apresenta um valor menor de massa superficial útil total (190,5 Kg/m²) quando comparado com as cinco soluções de

paredes simples analisadas (anexo B – Quadros do significado relativo dos materiais na solução).

5.2 – Paredes Duplas:

No conjunto de paredes duplas, como o próprio nome indica, estas têm maior número de elementos na sua composição que, por sua vez, podem contribuir para o aumento do impacte global das soluções. Este incremento pode ser explicado pelo número de materiais na solução como também, pela variação da espessura do reboco conforme o processo construtivo (revestimento sob o sistema ETIC).

É ainda possível observar que as três soluções duplas de tijolo (soluções nº 116, 132 e 200) têm um valor de impacte ambiental menor que uma solução de parede simples (solução nº 105). Este aspeto avalia-se quando comparadas as massas superficiais úteis das mesmas (tabela 6).

No entanto, ao comparar paredes simples e duplas com o mesmo material, as últimas comportam sempre um impacte superior. Só quando a variação na comparação se tratar de materiais e fabricantes diferentes, é que uma solução de parede dupla pode, efetivamente, compreender um valor menor de pegada ecológica.

Através da comparação de paredes simples e duplas, percebe-se que tanto a massa superficial útil como a variação dos fabricantes determinam a avaliação da solução. Enquanto a primeira se traduz no valor de impacte ambiental por metro quadrado (m²)

de solução e indica o significado de cada material, o segundo parâmetro, indica que, em alguns casos, de acordo com o objetivo pretendido da solução construtiva, há diferenças entre materiais de diferentes fabricantes.

Este estudo evidencia também que, quanto maior o número de constituintes nas paredes, menores serão os valores máximos de desvio padrão; isto significa que, apesar de existirem elementos muito predominantes nas soluções construtivas, a diferença do significado relativo dos materiais diminui.

Por fim, para uma parede dupla, pode-se concluir que a escolha do material deve compreender tanto o impacto ambiental efetivo dos elementos construtivos como a soma da massa superficial útil dos próprios materiais.

6 - Conclusão

As dezasseis soluções construtivas analisadas, incluindo a variação resultante da origem dos materiais considerados, permitiram concluir que a pertinência da seleção dos materiais com menor impacte está diretamente relacionada com a massa superficial útil e o seu significado relativo na solução construtiva. Assim, quanto menor a importância relativa dos elementos predominantes, maior será a contribuição dos restantes materiais e, com isso, o seu impacte.

Enquanto a diferença entres os materiais não se apresentar significativa, o critério de seleção poderá estar relacionado com características alheias a esta análise.

Em síntese, no respeito o impacte ambiental, verifica-se que as soluções construtivas de parede simples de tijolo têm o menor impacte, seguidas pelas paredes duplas e, por fim, as paredes que na sua constituição contêm betão.

No entanto, a pertinência da escolha do material com menor impacte ambiental é maior nas soluções construtivas de paredes duplas de tijolo, seguidas de paredes simples de tijolo e, por fim, paredes que na sua constituição contêm betão.

7 – Bibliografia

Ashby, M. B. N. & B. C., 2011. *The CES EduPack Eco Audit Tool- A White Paper*, Cambridge: Granta Design.

Blengini, G. A. & Carlo, T. D., 2010. The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. 42(Energy and Buildings).

Bribián, I. Z., Capilla, A. V. & Usón, A. A., 2011. Life cycle assessment of buildings materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. 46(Building and environment).

Cabeza, L. F. et al., 2013. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. 29(Renewable and Sustainable Energy Reviews).

CEN/TC, 3., 2011. EN 15978:2011. *Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method*, 30 Novembro.

DGEG, 2016. *Política Energética*. [Online]
Available at: <http://www.dgeg.pt/>
[Acedido em 02 07 2016].

Diaz-Balteiro, L. & R. C., 2004. In a search of a natural systems sustainability index.. 49(Ecological economics), pp. 401-405.

Dixit, M. F.-S. J. L. S. & C. C., 2012. Need for an embodied energy measurement protocol for buildings. *A review paper, Issue Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 3730-3743.

Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S. & Culp, C. H., 2012. Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper. 16(*Renewable and Sustainable Energy Reviews*).

Eurima, E. I. M. A., 2012. *Environmental Assessment of Construction Works and Products*, Bruxelles, Bélgica: s.n.

Hammond, G. P. & Jones, C. I., 2008. *Embodied energy and carbon in construction materials. Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, s.l.: s.n.

Houghton, J. et al., 2001. *Climate Change 2001: the scientific basis*, Cambridge, United Kingdom: Press Syndicate of the University of Cambridge.

ISO 14040, I. O. f. S., 2006. ISO 14040 - Environmental Management. *Life Cycle Assessment - Principals and Framework*, Issue LCA.

ISO 14044, I. O. f. S., 2006. ISO 14044 - Environmental Management. *Life Cycle Assessment - Principals and Framework*, Issue LCA.

Ramesh, T., Prakash, R. & Shukla, K. K., 2010. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Elsevier*, 42(*Energy and Buildings*), pp. 1592-1600.

Sartori, I. & Hestnes, A. G., 2007. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review. 39(Energy and Buildings).

Sharma, A. et al., 2011. Life cycle assessment of buildings: A review. 15(Renewable and Sustainable Energy Reviews).

Sousa, A. & Silva, R. M., 2000. *Manual de Alvenaria de Tijolo*. Coimbra: Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica.

Torgal, F. & Jalali, S., 2011. *Energia incorporada em materiais de construção versus energia operacional*, Portugal: s.n.

UE, 2006. *Summaries of EU Legislation*. [Online]
Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=URISERV%3A127064>
[Acedido em 09 Dezembro 2015].

UE, 2., 1990-2015. *eurostat*. [Online]
Available at: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>
[Acedido em 11 12 2015].

UNEP, 2010. *Sustainable Buildings & Climate Initiative, Common Carbon Metric – Protocol for Measuring Energy Use and Reporting Greenhouse Gas Emissions from Building Operations*, Paris: UNEP-SBCI.

Veludo, S. C., 2015. *Sustentabilidade na arquitectura: escolhas projectuais mais eficientes: metodologia simplificada de cálculo de avaliação de ciclo de vida de paredes exteriores convencionais com base no seu desempenho ambiental e funcional.*, Lisboa: s.n.

Williams, A. S., 2009. *Life Cycle Analysis: A Step by Step Approach*, Illinois: ISTC Reports.

Winther, B. N. & Hestnes, A. G., 1999. Solar versus green: the analysis of a Norwegian Row House. 66(Solar energy).

8 Anexos

A – Tabelas dos valores de materiais expressos nas DAP

Tabela A 1 - Valores de DAP - Betão				
Código	Esp. (m)	M. volúmica (Kg/m ³)	Energia incorporada (MJ/Kg)	Carbono incorporado (CO ₂ /Kg)
B1	0,20	2400	2,074	0,218
B2	0,20	2350	2,401	0,21

Tabela A 2 - Valores de DAP - Argamassa e cortiça				
Código	Esp. (m)	M. volúmica (Kg/m ³)	Energia incorporada (MJ/Kg)	Carbono incorporado (CO ₂ /Kg)
A1	0,015/0,005*	1900	1,323	0,155
A2	0,015/0,005*	1900	4,079	0,584
A3	0,015/0,005*	1900	3,462	0,432
A4	0,015/0,005*	1900	0,714	0,098
A5	0,015/0,005*	1900	2,055	0,248
A6	0,015/0,005*	1900	1,5439	0,177
A7	0,015/0,005*	1900	1,2352	0,163
Cortiça	0,06	115	0,769	0,017

Tabela A 3 - Valores de DAP - Tijolo				
Código	Esp. (m)	M. volúmica (Kg/m ³)	Energia incorporada (MJ/Kg)	Carbono incorporado (CO ₂ /Kg)
T1	0,11	875	1,586	0,275
	0,15	817	1,572	0,272
	0,20	728	1,607	0,279
	0,14	824	1,595	0,277
	0,19	854	1,586	0,275
	0,24	884	1,577	0,273
	0,29	914	1,569	0,271
T2	0,11	875	2,008	0,191
	0,15	817	1,969	0,193
	0,20	728	2,063	0,189
	0,14	824	2,032	0,19
	0,19	854	2,008	0,191
	0,24	884	1,985	0,192
	0,29	914	1,961	0,193

Sustentabilidade na Arquitetura: origem dos materiais

Código	Esp. (m)	M. volúmica (Kg/m ³)	Energia incorporada (MJ/Kg)	Carbono incorporado (CO ₂ /Kg)
T3	0,11	875	2,668	0,166
	0,15	817	2,591	0,169
	0,20	728	2,776	0,162
	0,14	824	2,714	0,164
	0,19	854	2,668	0,166
	0,24	884	2,622	0,168
	0,29	914	2,576	0,17
T4	0,11	875	4,158	0,271
	0,15	817	3,995	0,268
	0,20	728	4,385	0,275
	0,14	824	4,255	0,272
	0,19	854	4,158	0,271
	0,24	884	4,06	0,269
	0,29	914	3,963	0,267

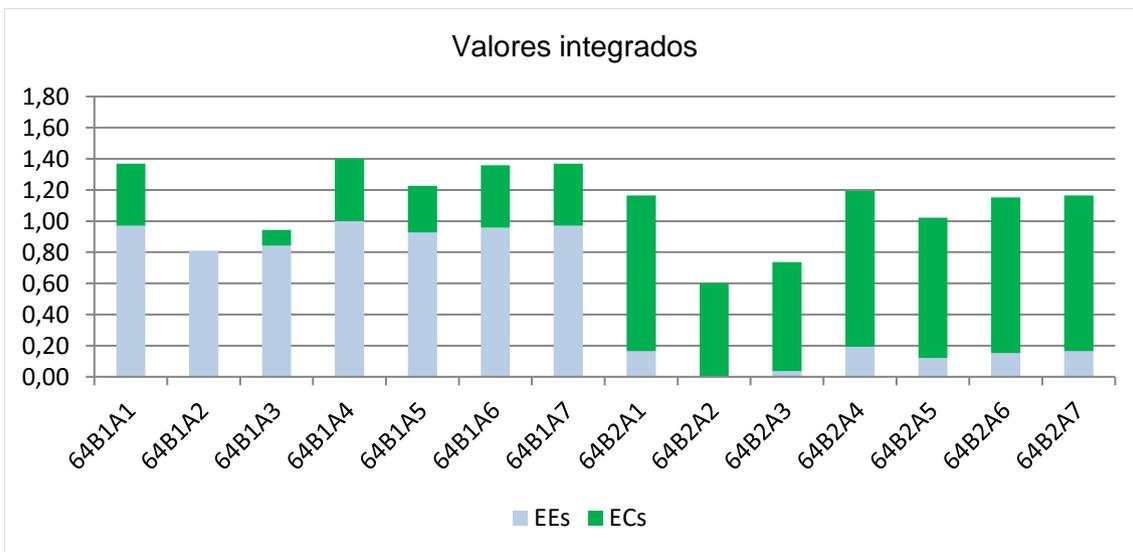
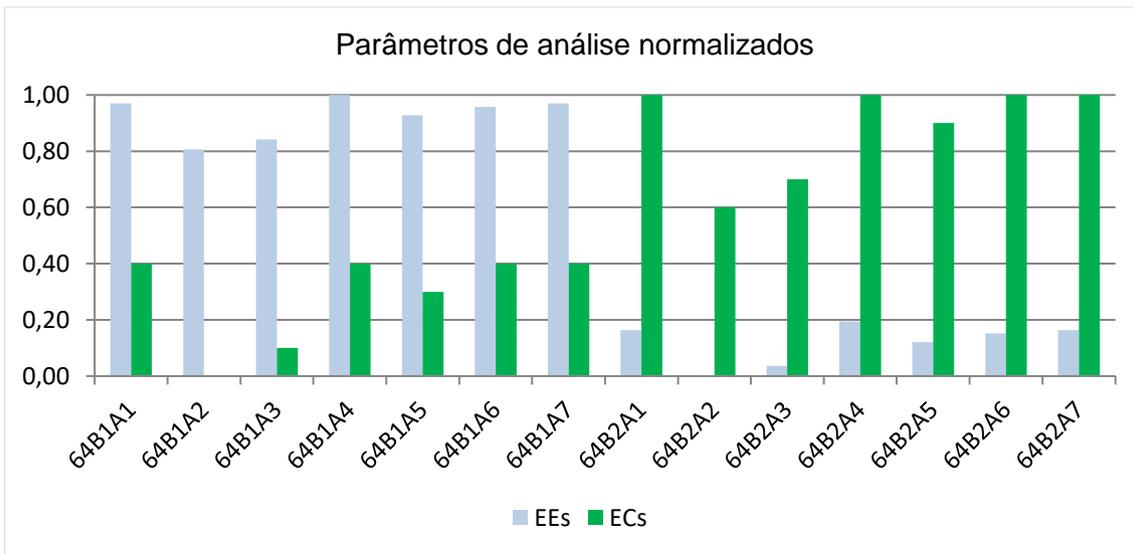
As tabelas anteriores mostram os valores dos parâmetros de análise por material e fabricante (DAP) e as suas respectivas dimensões e massa volúmica.

*Espessura da argamassa alterna conforme o material a que está empregue, ou seja 0,015 m quando está associada ao tijolo e 0,005 m quando está associada ao isolamento térmico.

B – Gráficos e tabelas das Soluções construtivas

Os gráficos seguintes mostram a pontuação normalizada, integrada e valores absolutos de impacto ambiental de cada combinação de material por solução construtiva. Para além dos gráficos, está presente uma tabela que mostra o significado relativo de cada elemento construtivo em percentagem conforme a sua massa superficial útil.

B1 - Solução construtiva nº 64



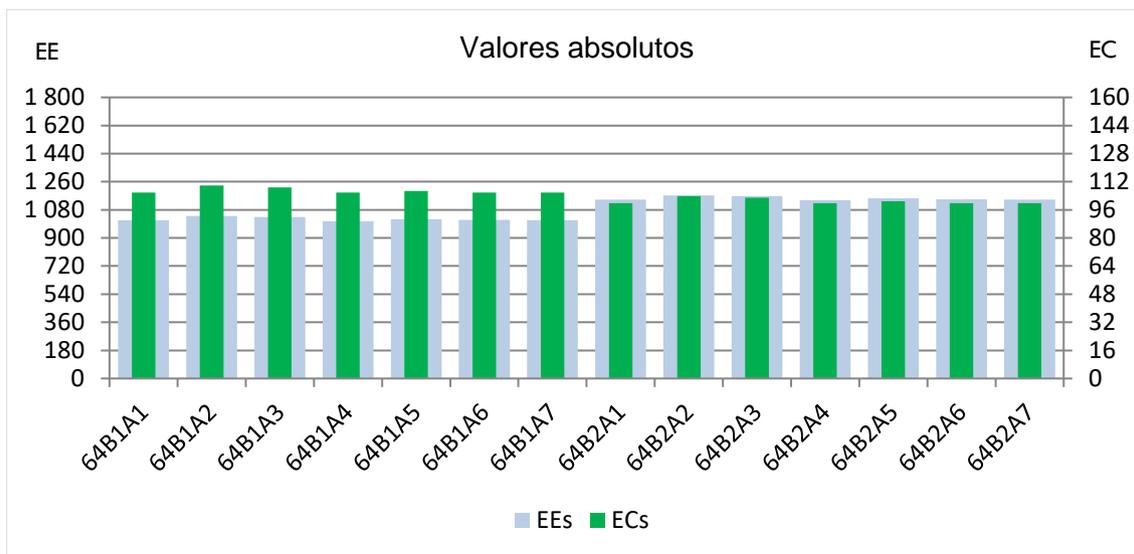
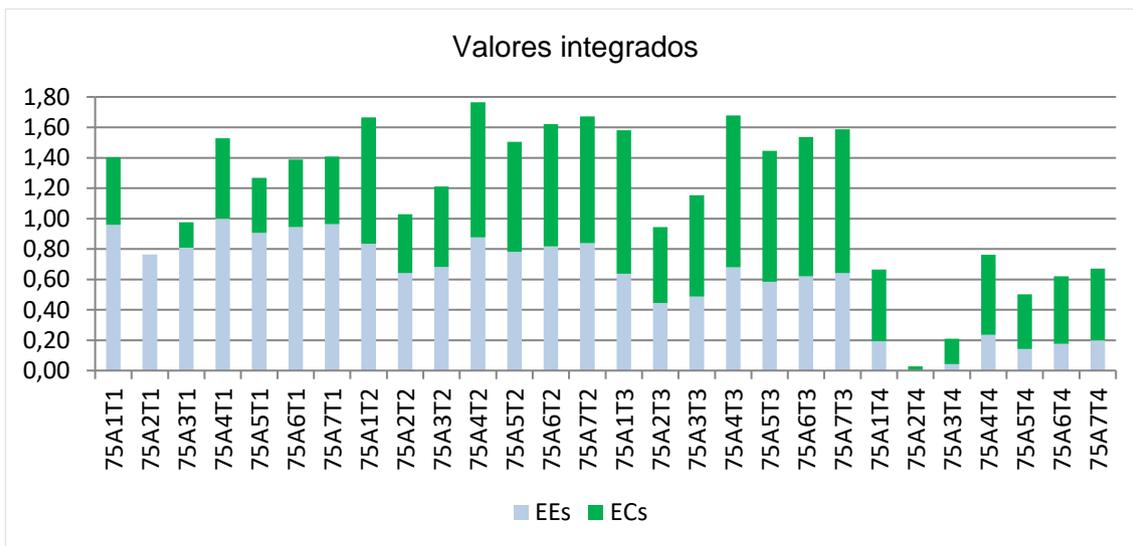
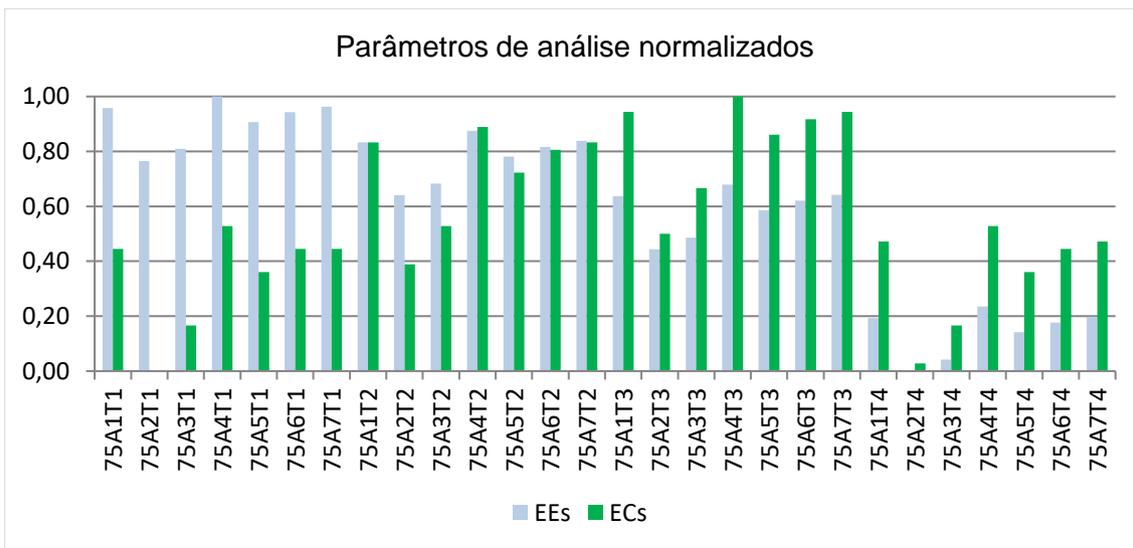


Tabela B 1 - Significado relativo dos materiais na solução n° 64

Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,005	9,5	1,9
Agl. de cortiça	0,06	6,9	1,4
Betão armado	0,20	480	96,7
Total	0,265	496,4	100

B2 - Solução construtiva nº 75



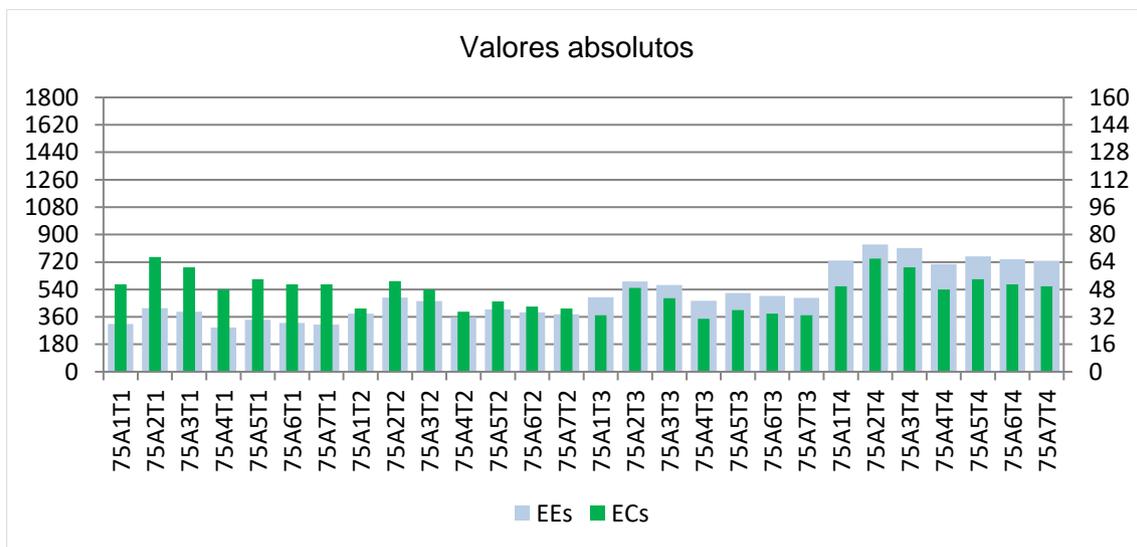
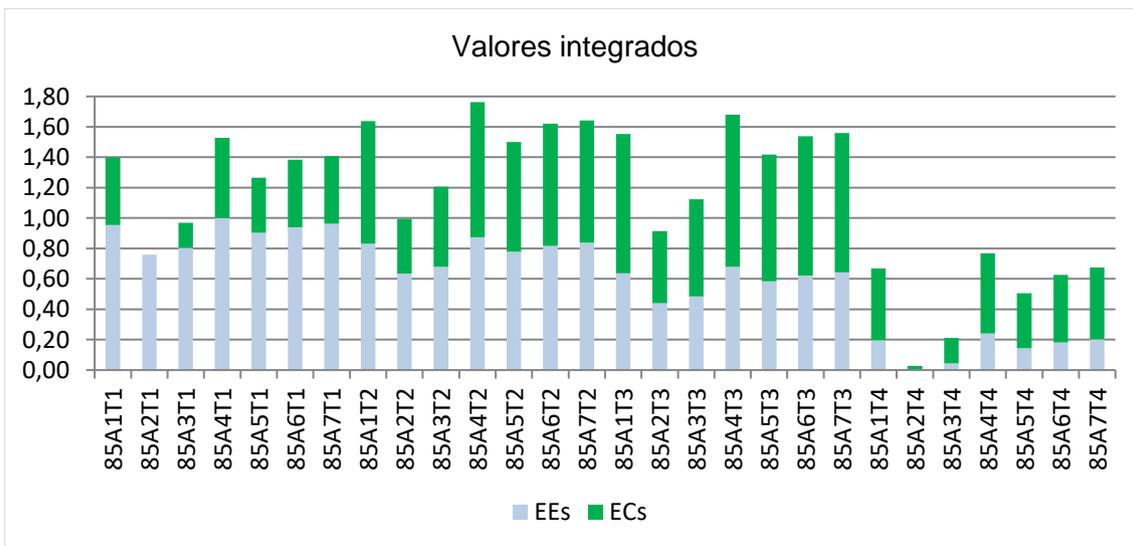
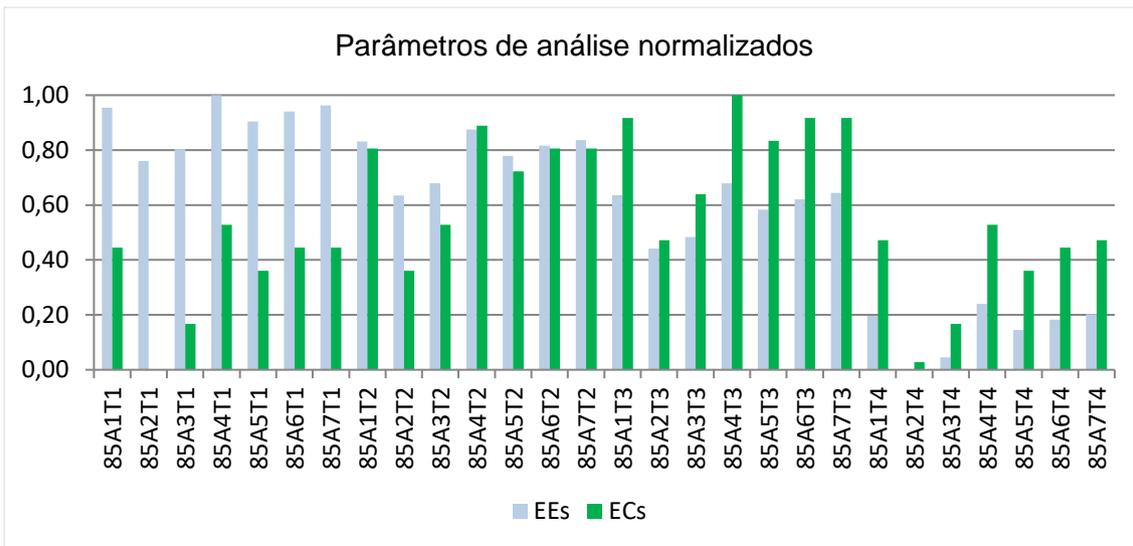


Tabela B 2 -Significado relativo dos materiais na solução n° 75

Material	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,005	9,5	4,6
Agl. de cortiça	0,06	6,9	3,3
Tij. térmico	0,19	162,26	78,3
Reboco	0,015	28,5	13,8
Total	0,27	207,16	100

B3 - Solução construtiva nº 85



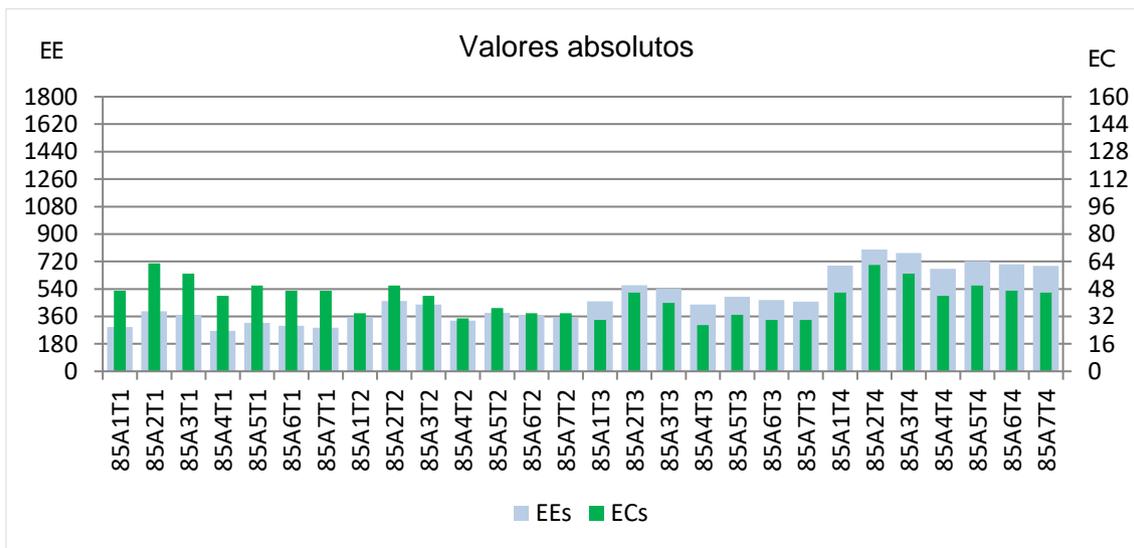
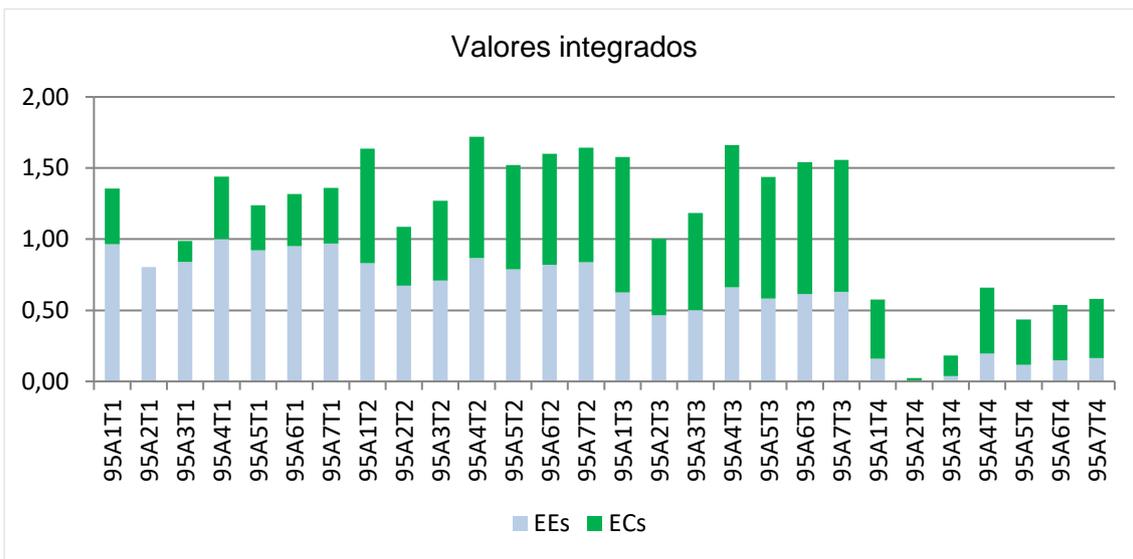
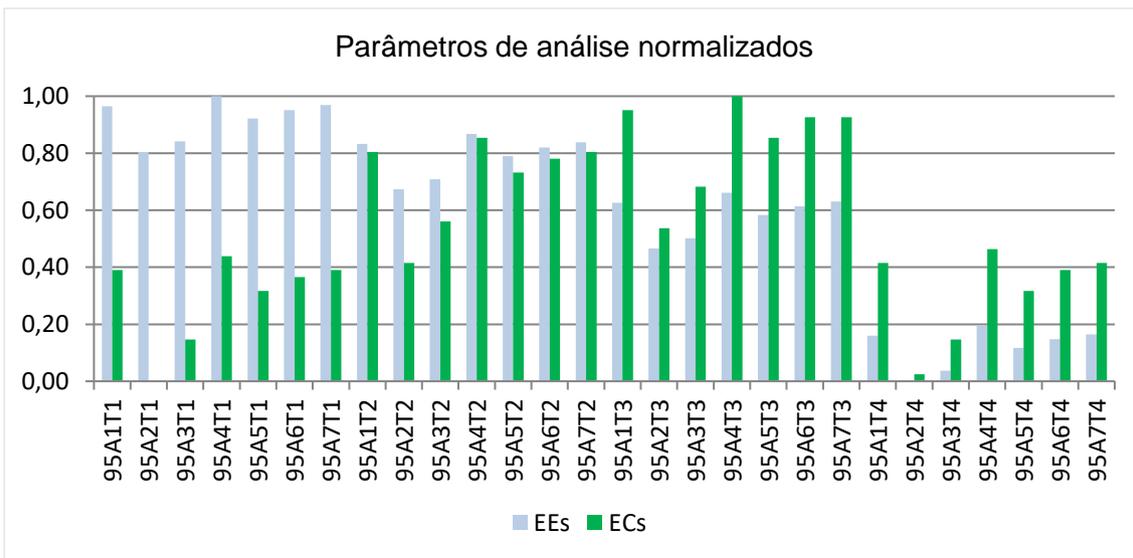


Tabela B 3 - Significado relativo dos materiais na solução n° 85

Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,005	9,5	5
Agl. de cortiça	0,06	6,9	3,6
Tijolo furado	0,20	145,6	76,4
Reboco	0,015	28,5	15
Total	0,28	190,5	100

B4 - Solução construtiva nº 95



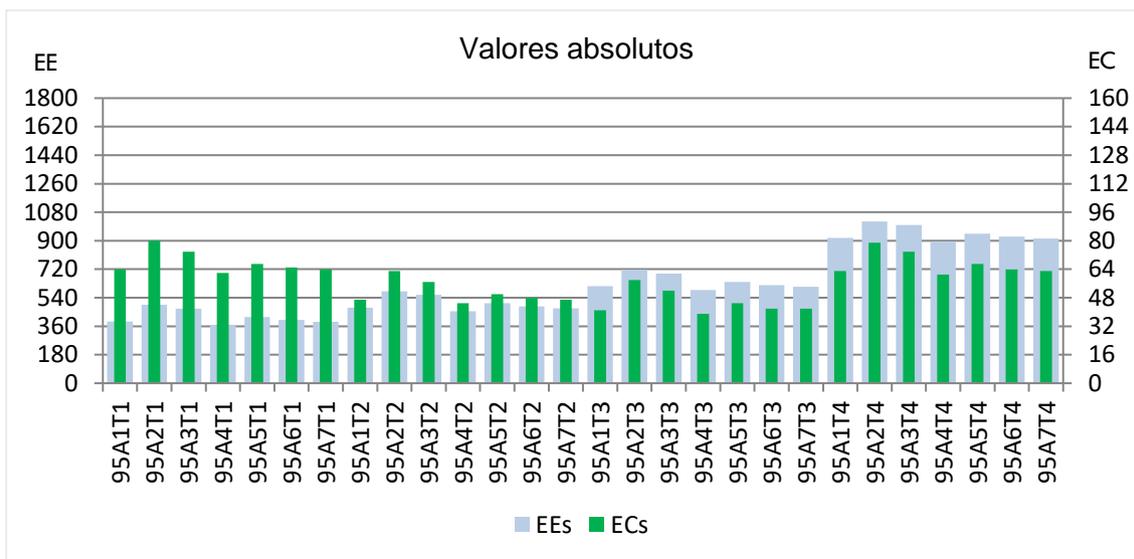
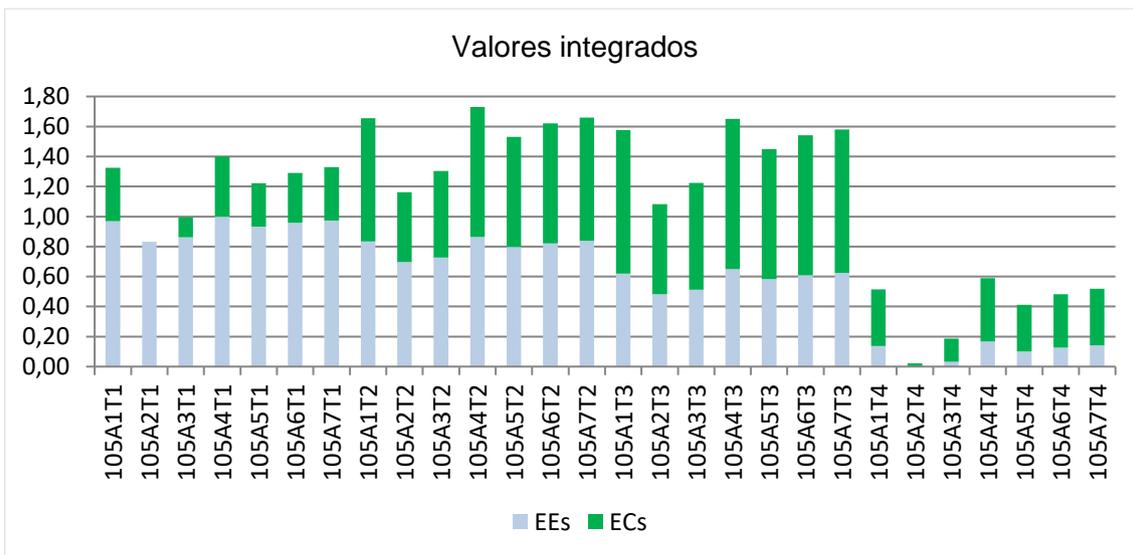
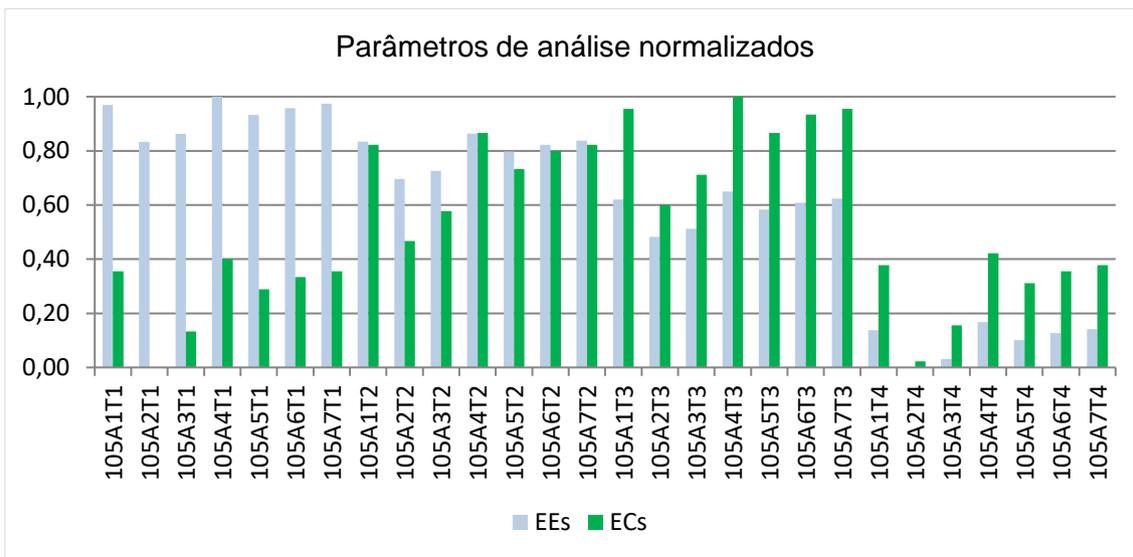


Tabela B 4 - Significado relativo dos materiais na solução nº 95

Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,005	9,5	3,7
Agl. de cortiça	0,06	6,9	2,7
Tij. térmico	0,24	212,16	82,5
Reboco	0,015	28,5	11,1
Total	0,32	257,06	100

B5 - Solução construtiva nº 105



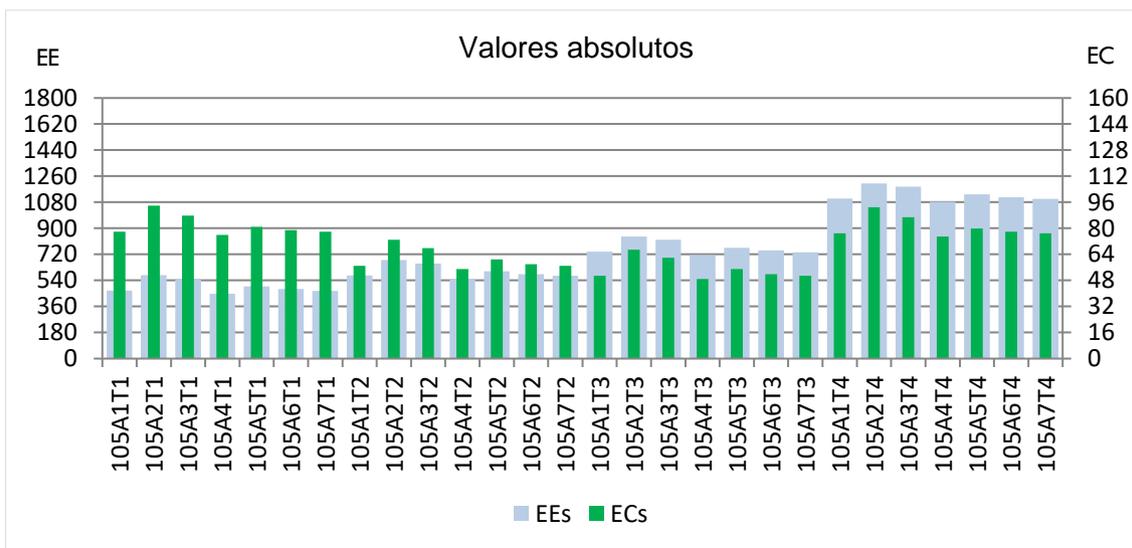
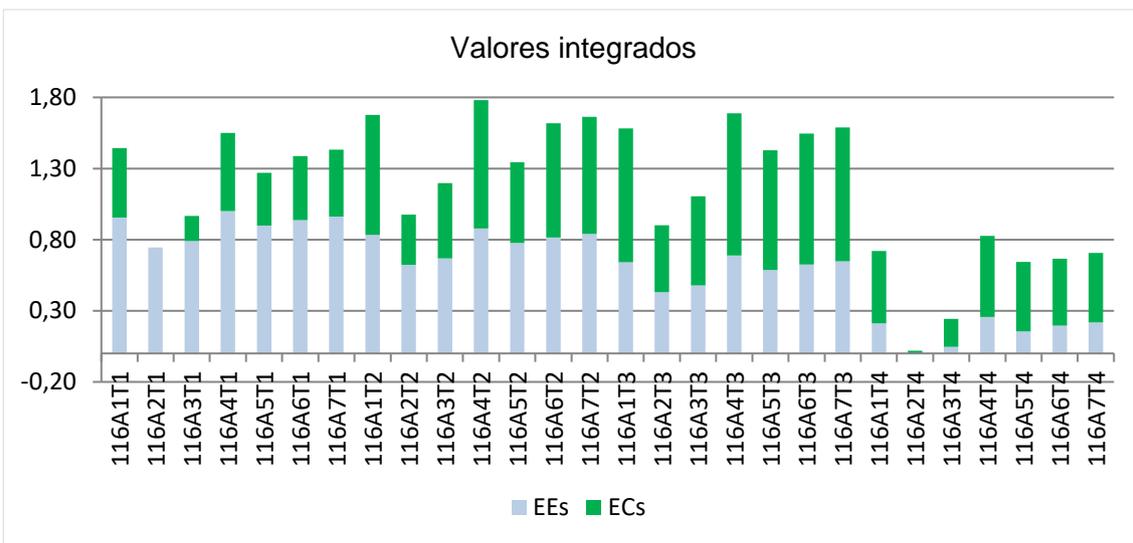
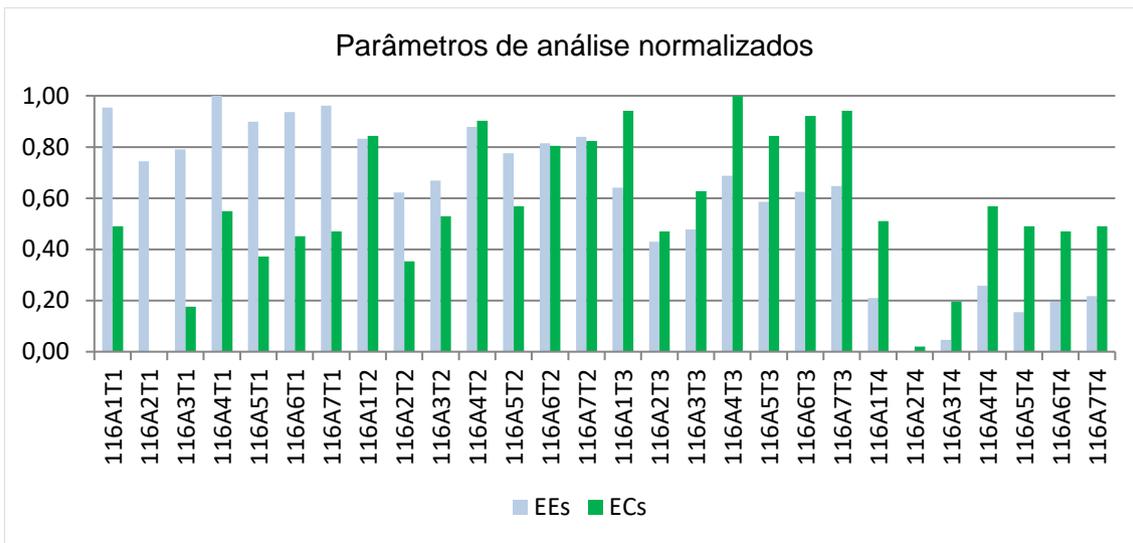


Tabela B 5 - Significado relativo dos materiais na solução n° 105

Material	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,005	9,5	3
Agl. de cortiça	0,06	6,9	2,2
Tij. térmico	0,29	265,06	85,5
Reboco	0,015	28,5	9,3
Total	0,37	309,96	100

B6 - Solução construtiva nº 116



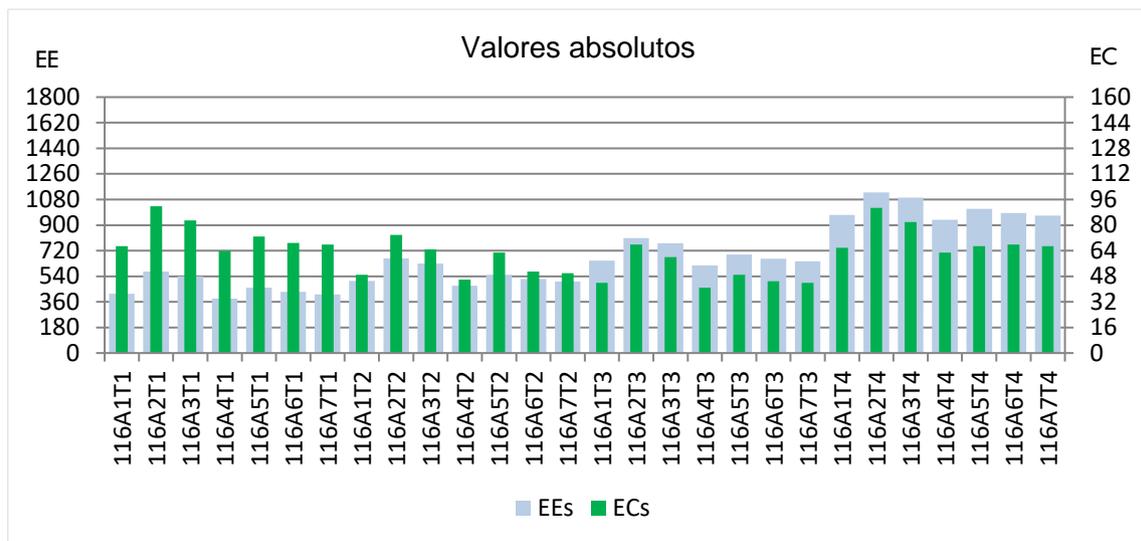
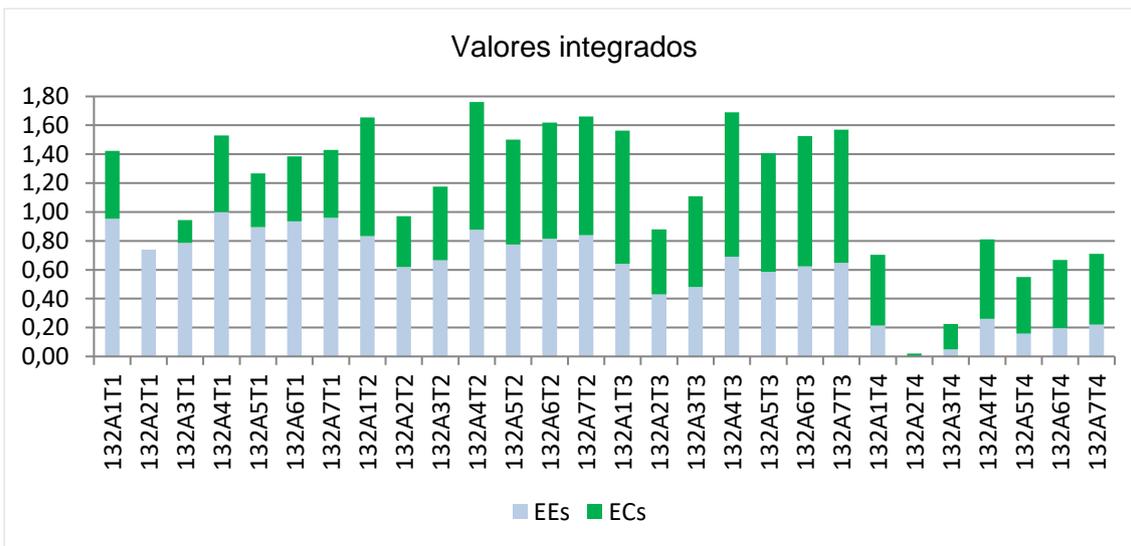
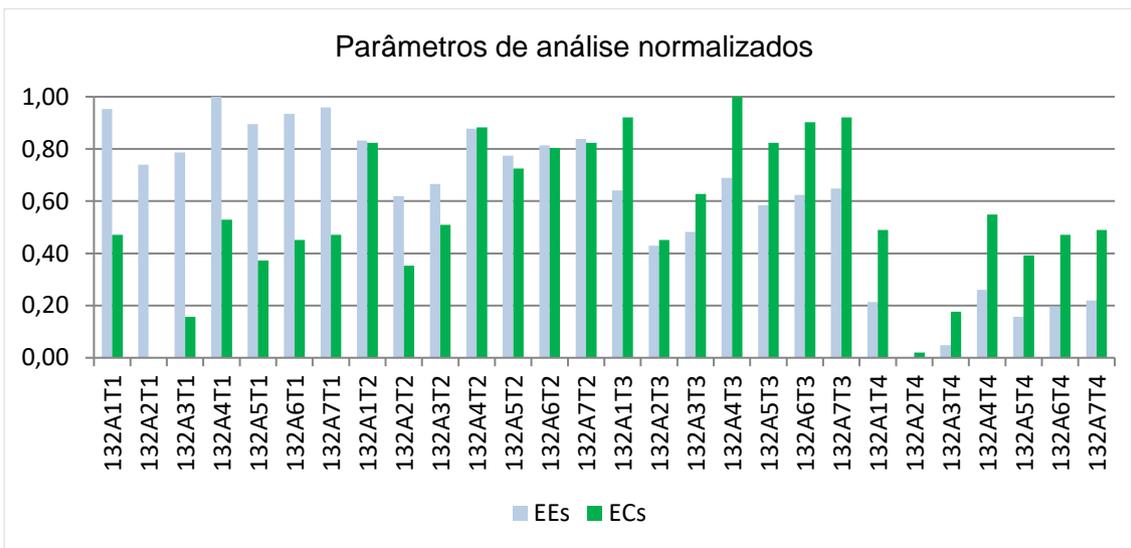


Tabela B 6 - Significado relativo dos materiais na solução nº 116

Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,015	28,5	10,3
Tij. térmico	0,14	115,36	41,9
C. ar	0,05	-	-
Agl. de cortiça	0,06	6,9	2,5
Tij. maciço	0,11	96,25	35
Reboco	0,015	28,5	10,3
Total	0,39	275,51	100

B7 - Solução construtiva nº 132



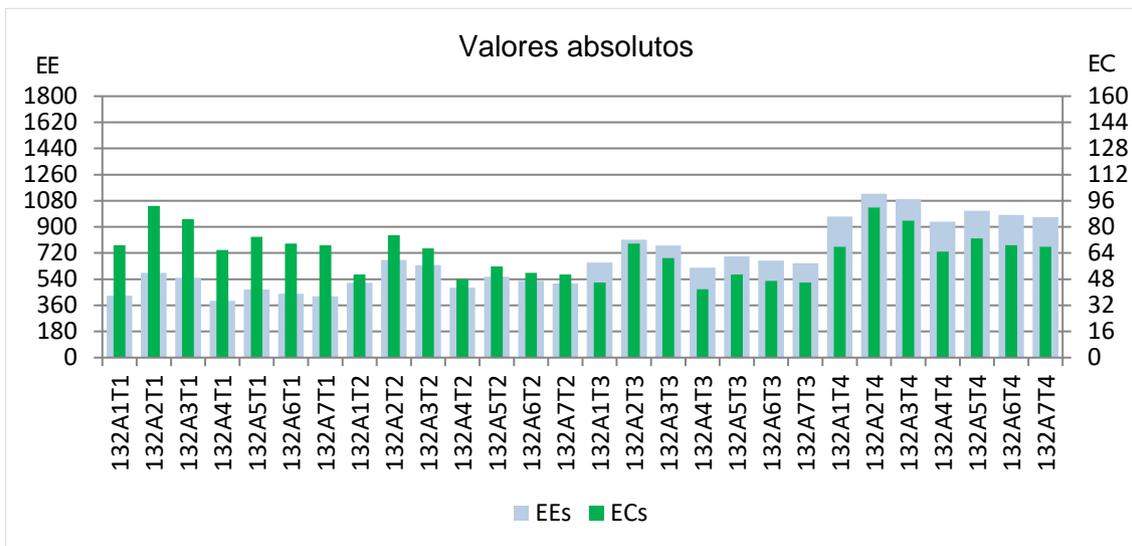
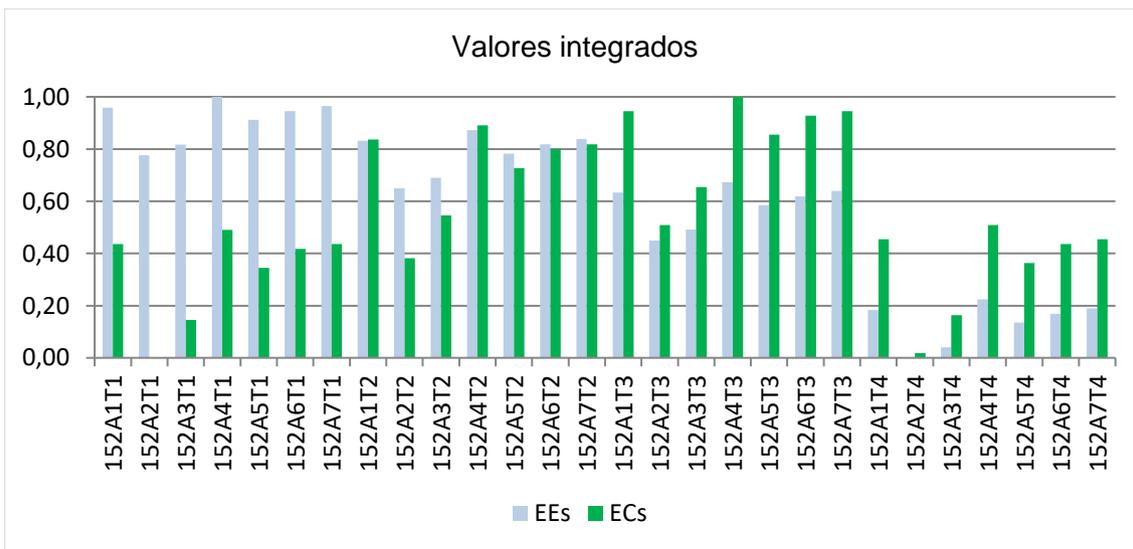
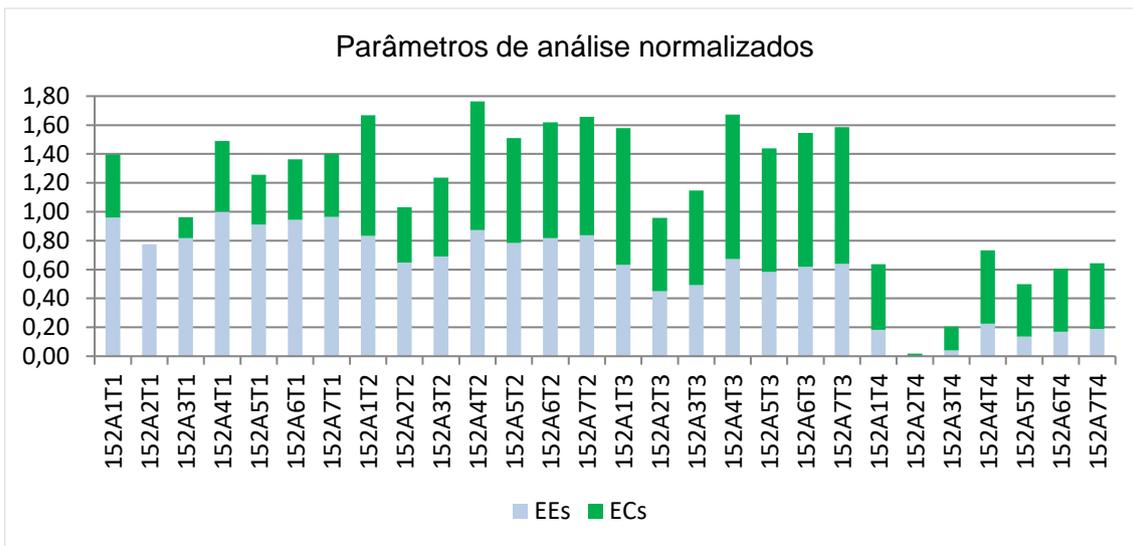


Tabela B 7 - Significado relativo dos materiais na solução n° 132

Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,015	28,5	10,05
Tij. furado	0,15	122,55	43,3
C. ar	0,05	-	-
Agl. de cortiça	0,06	6,9	2,4
Tij. maciço	0,11	96,25	34
Reboco	0,015	28,5	10,05
Total	0,40	282,7	100

B8 - Solução construtiva nº 152



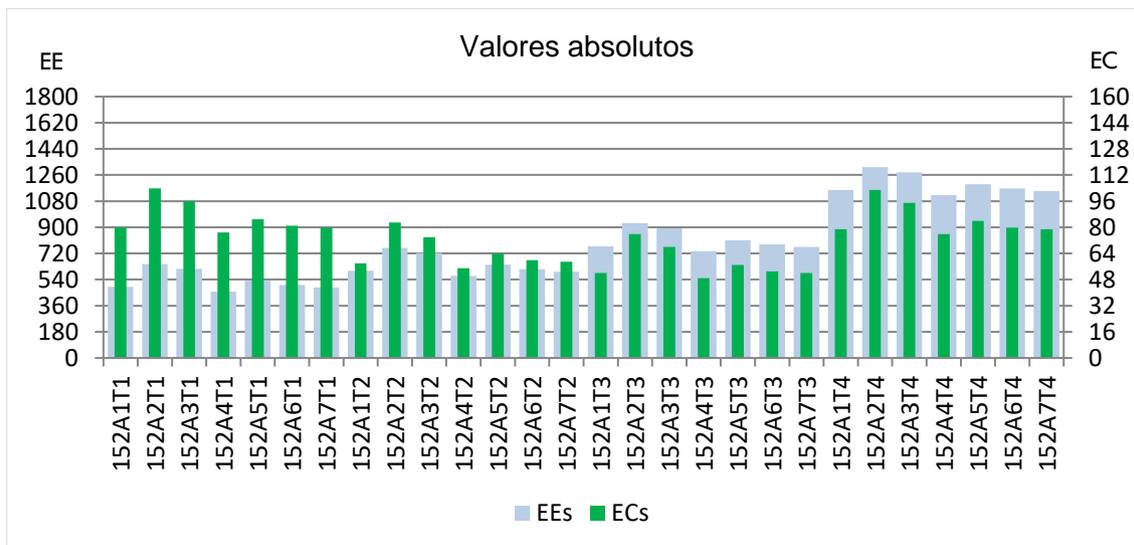
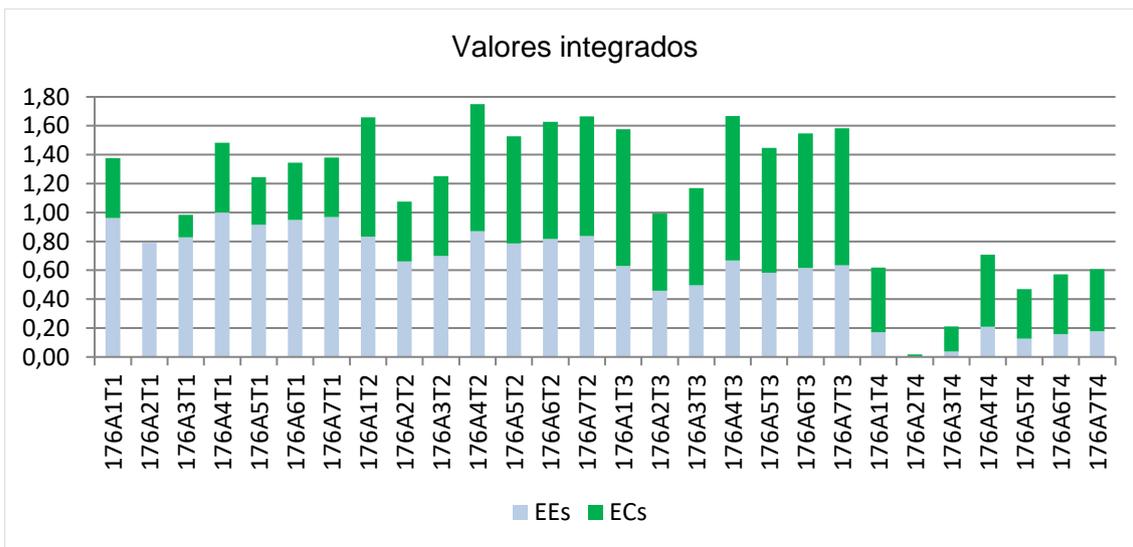
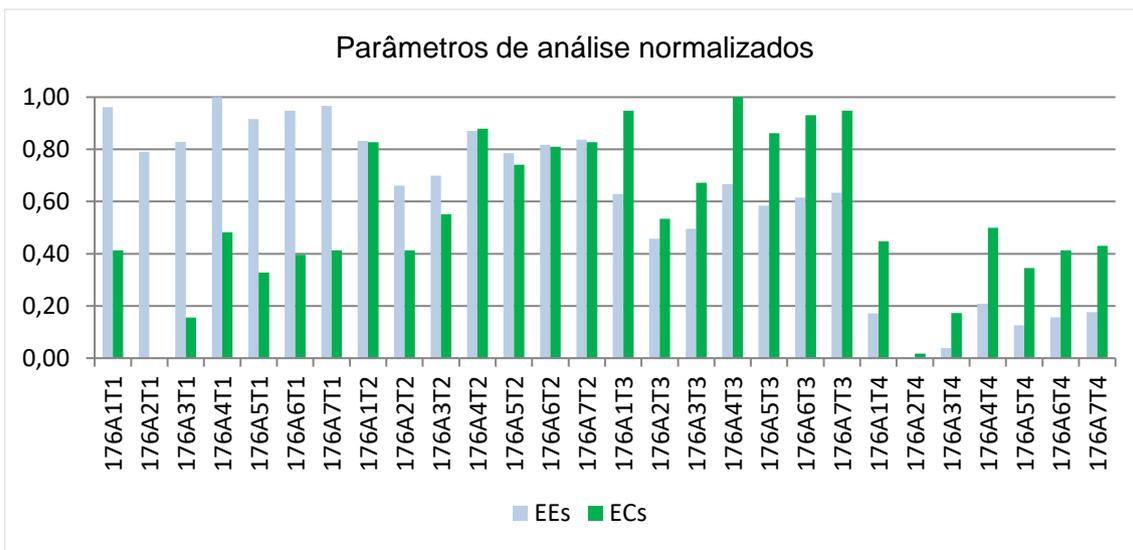
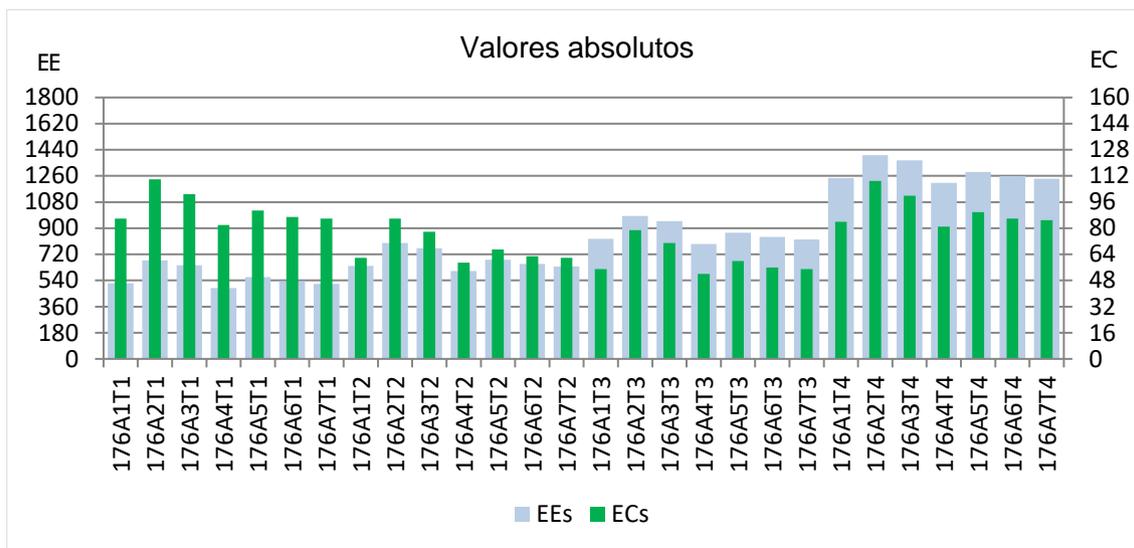


Tabela B 8 - Significado relativo dos materiais na solução nº 152

Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,015	28,5	8,8
Tij. térmico	0,19	162,26	50,3
C. ar	0,05	-	-
Agl. de cortiça	0,06	6,9	2,2
Tij. maciço	0,11	96,25	29,9
Reboco	0,015	28,5	8,8
Total	0,44	322,41	100

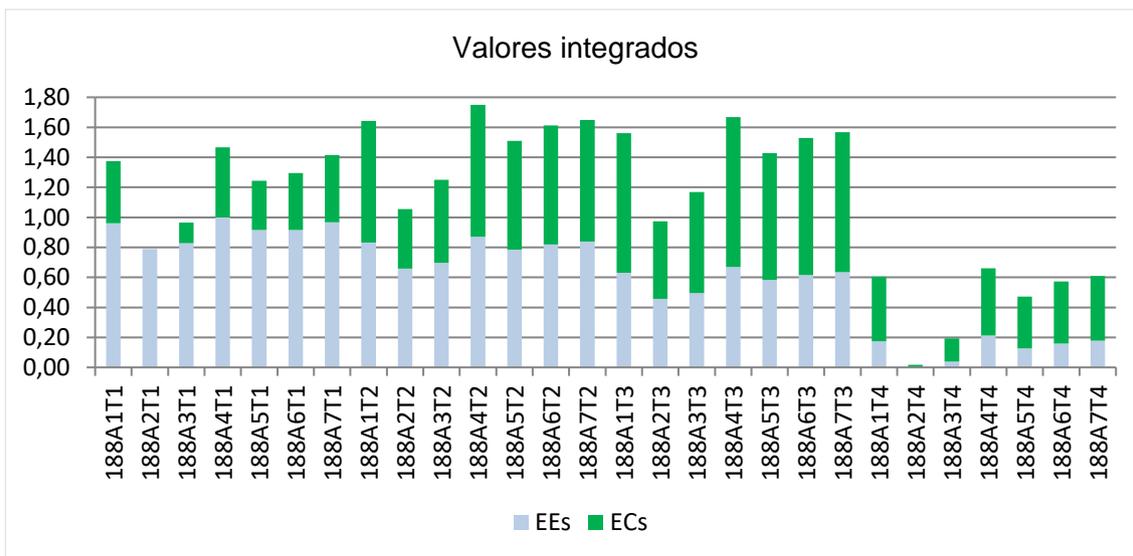
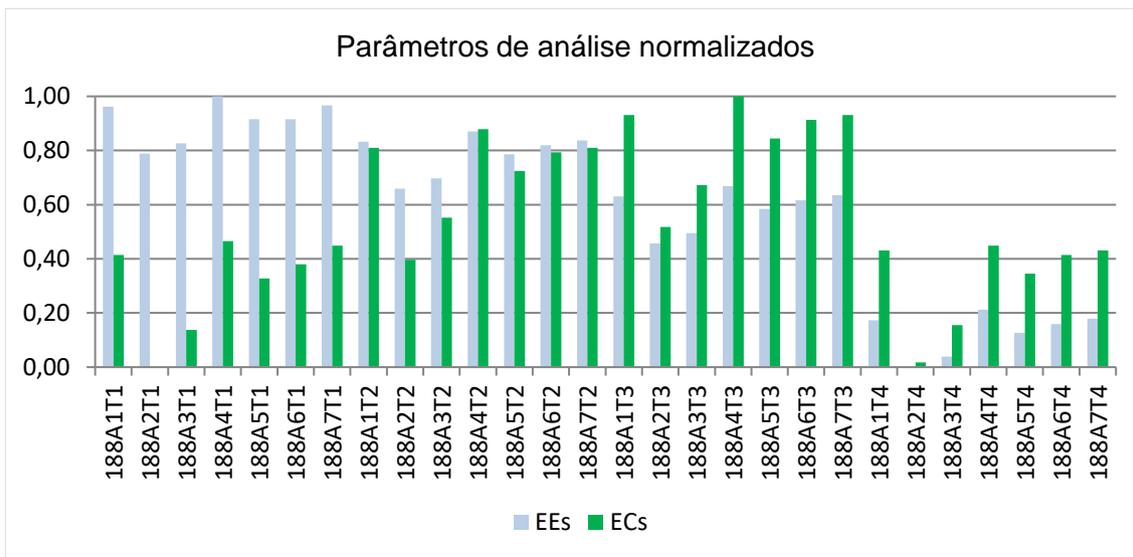
B9 - Solução construtiva nº 176

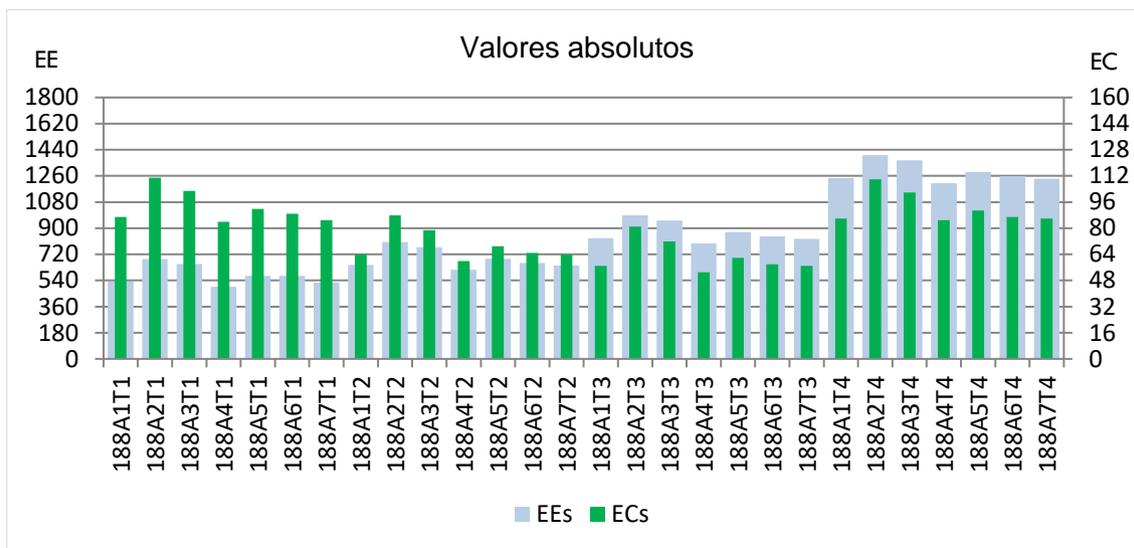




Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,015	28,5	8,3
Tij. térmico	0,19	162,26	47,5
C. ar	0,05	-	-
Agl. de cortiça	0,06	6,9	2,1
Tij. térmico	0,14	115,36	33,8
Reboco	0,015	28,5	8,3
Total	0,47	341,52	100

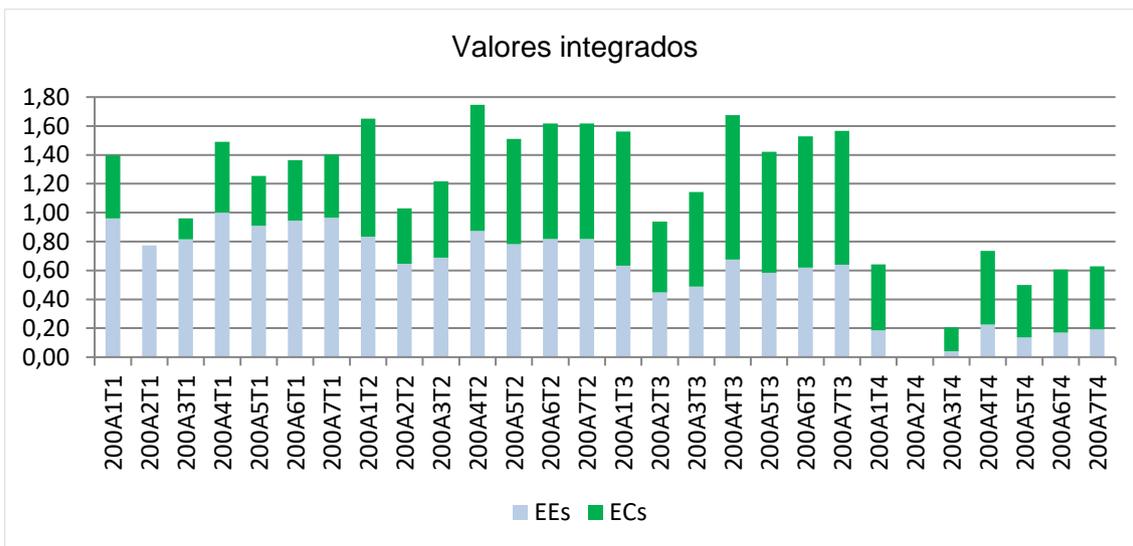
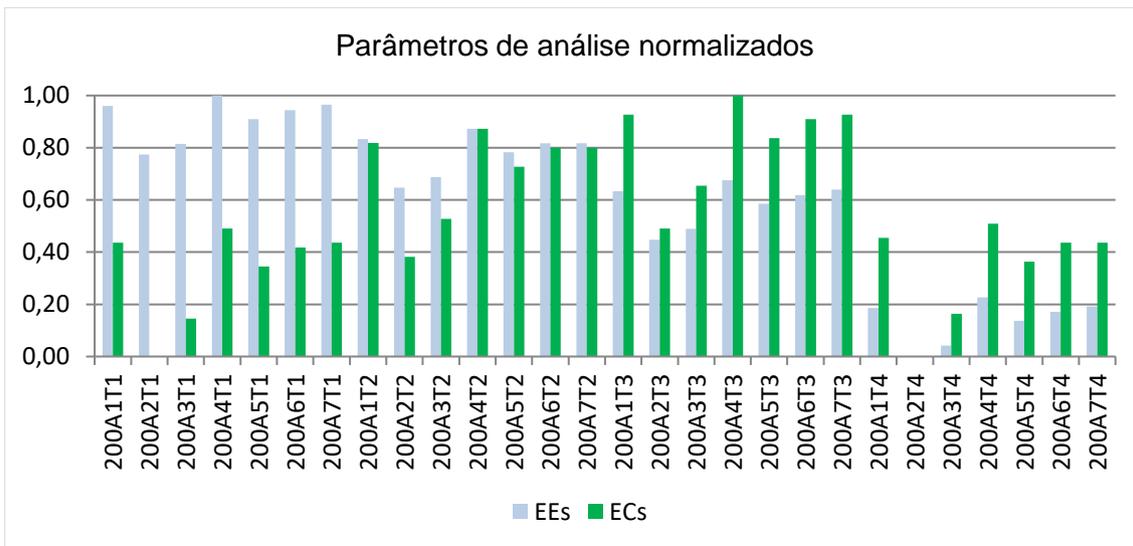
B10 - Solução construtiva nº 188





Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,015	28,5	8,2
Tij. térmico	0,19	162,26	46,5
C. ar	0,05	-	-
Agl. de cortiça	0,06	6,9	2
Tij. furado	0,15	122,55	35,1
Reboco	0,015	28,5	8,2
Total	0,48	348,71	100

B11 - Solução construtiva nº 200



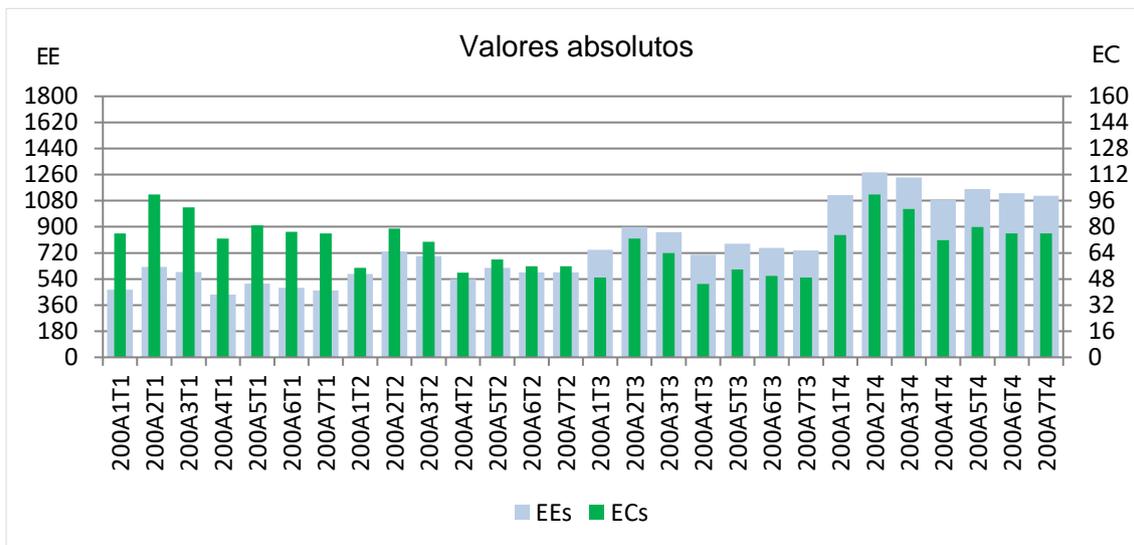
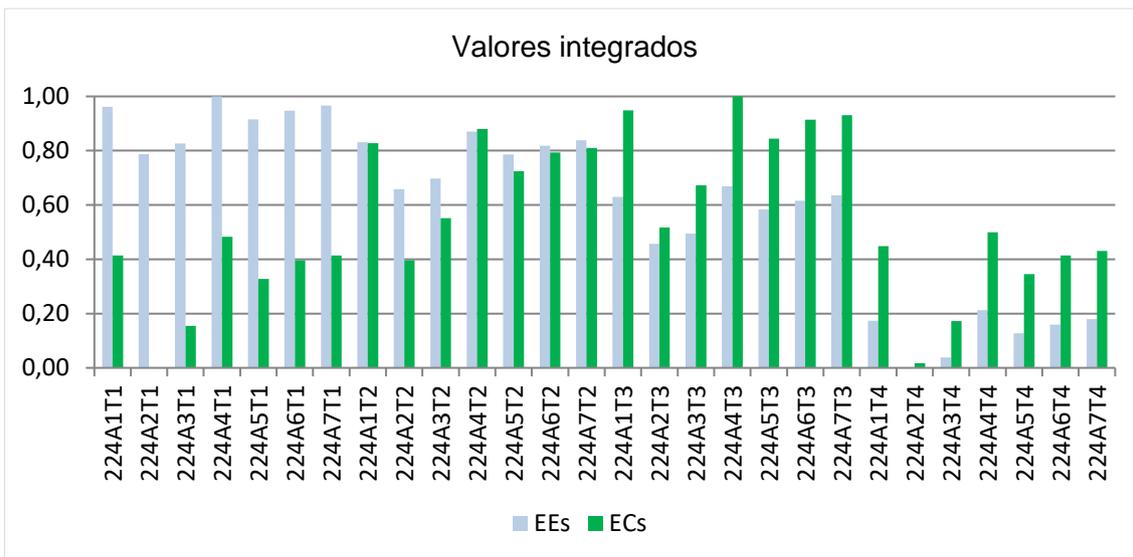
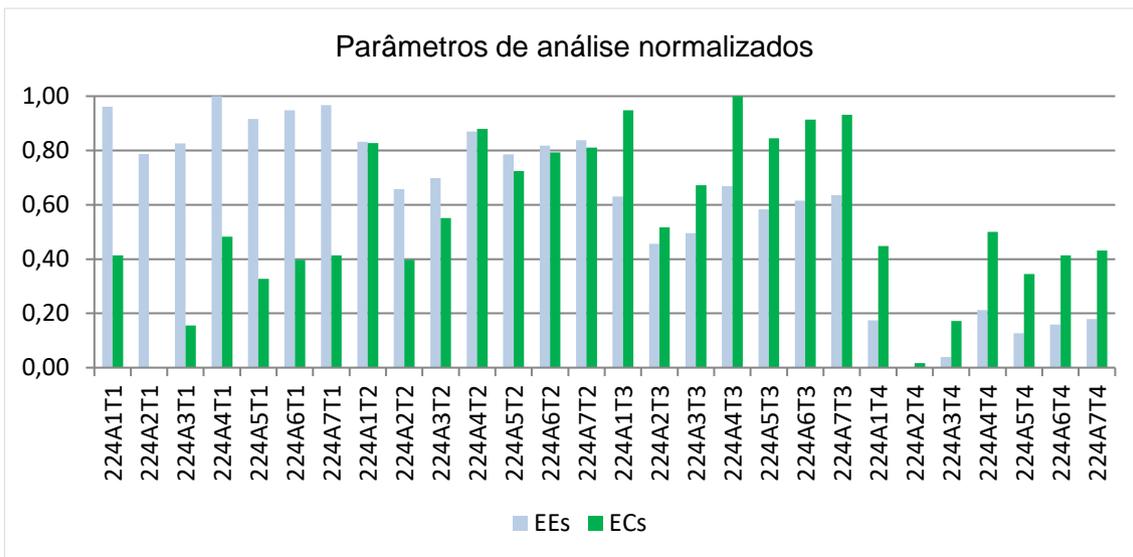


Tabela B 11 - Significado relativo dos materiais na solução n° 200

Materialis	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,015	28,5	9,3
Tij. furado	0,20	145,6	47,6
C. ar	0,05	-	-
Agl. de cortiça	0,06	6,9	2,3
Tij. maciço	0,11	96,25	31,5
Reboco	0,015	28,5	9,3
Total	0,45	305,75	100

B12 - Solução construtiva nº 224



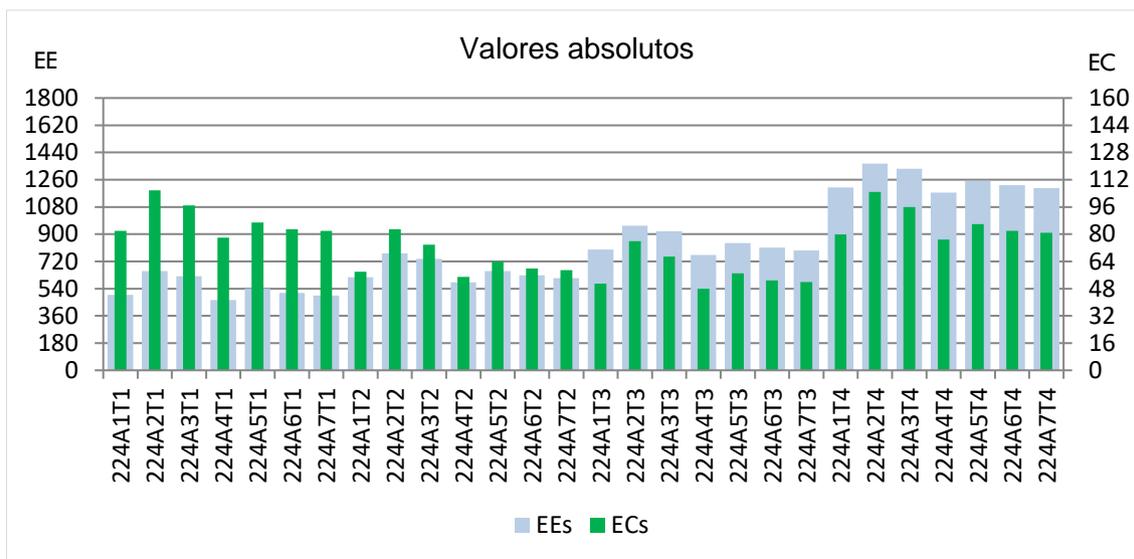
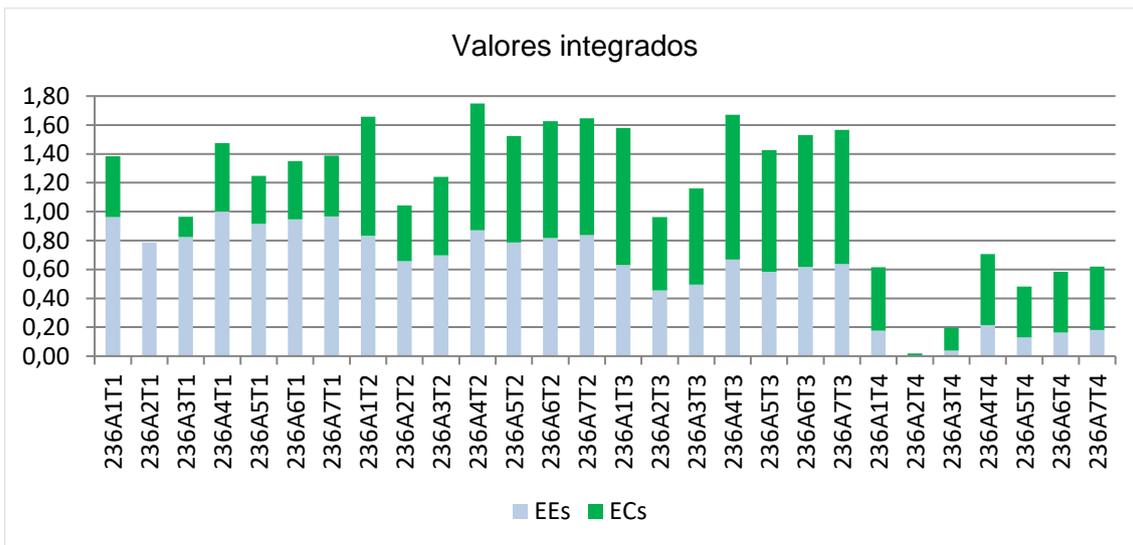
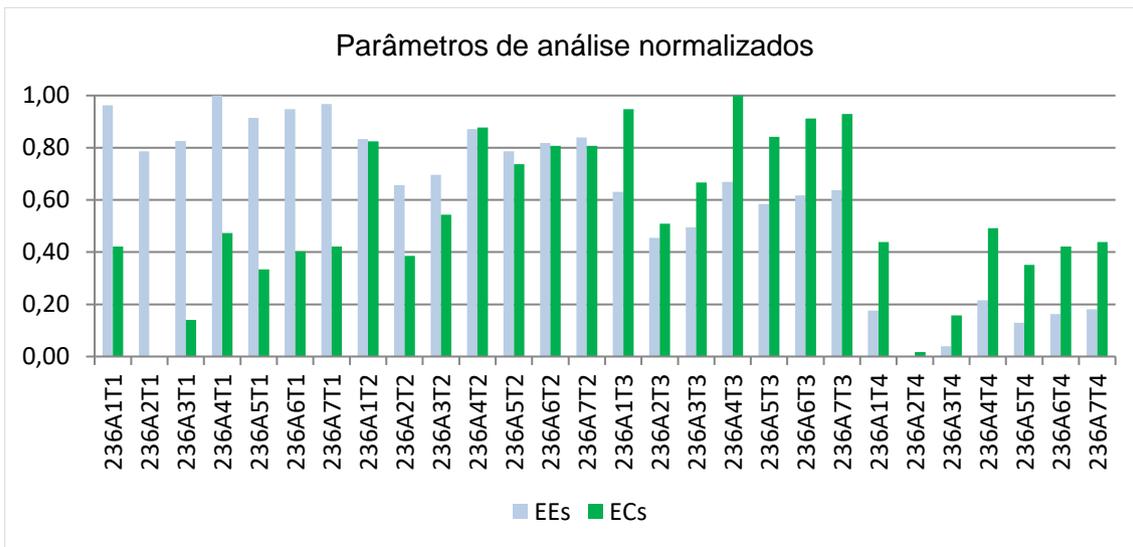


Tabela B 12 - Significado relativo dos materiais na solução nº 224

Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,015	28,5	8,8
Tij. furado	0,20	145,6	44,8
C. ar	0,05	-	-
Agl. de cortiça	0,06	6,9	2,1
Tij. térmico	0,14	115,36	35,5
Reboco	0,015	28,5	8,8
Total	0,48	324,86	100

B13 - Solução construtiva nº 236



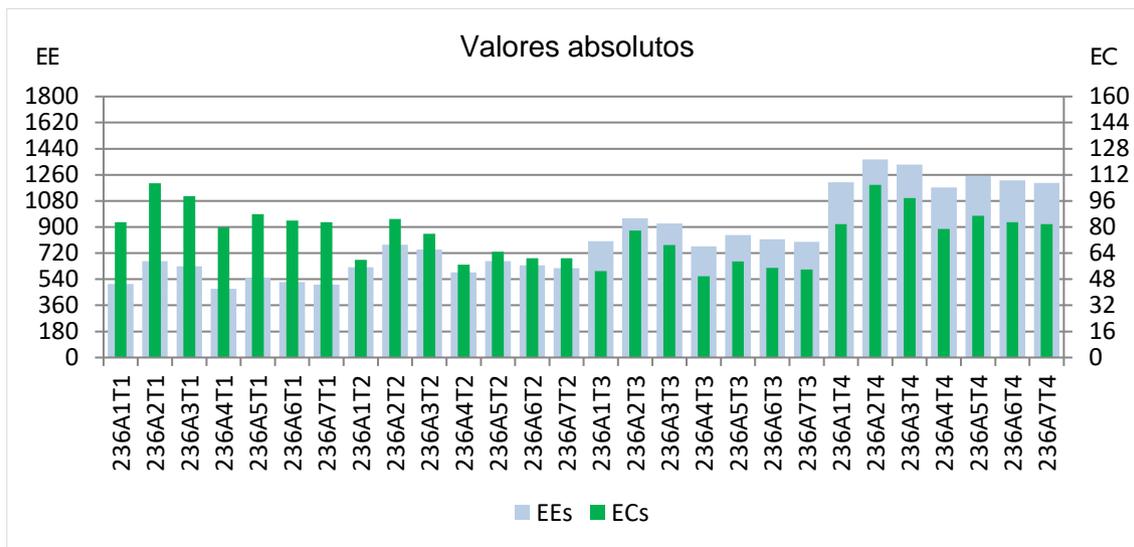
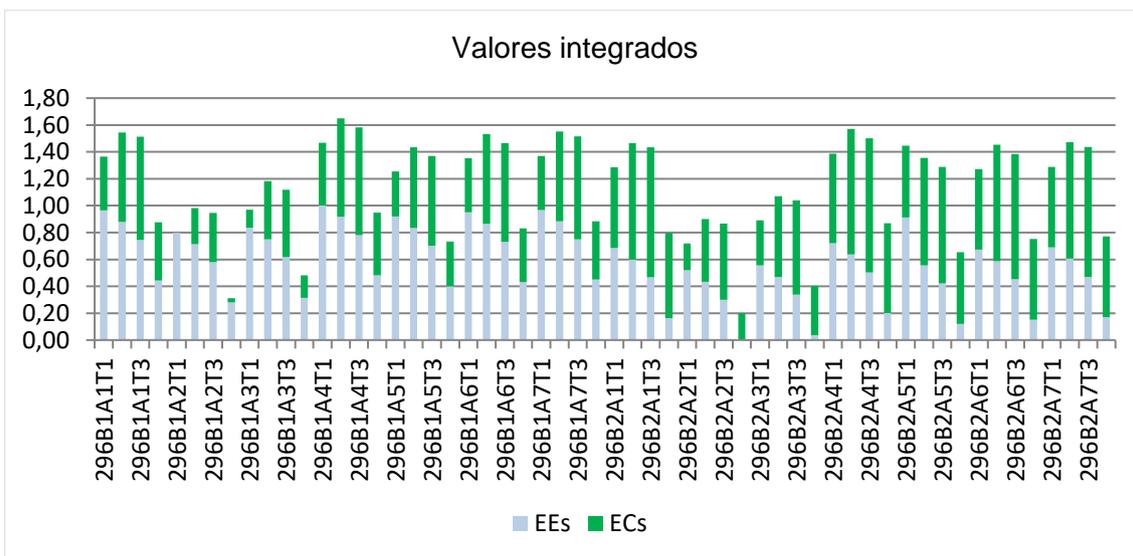
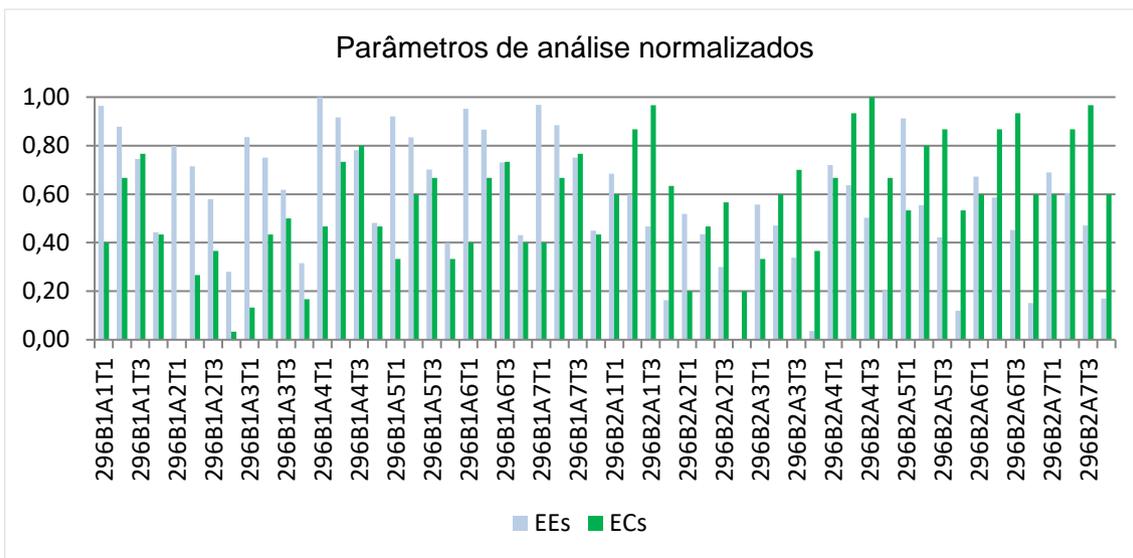


Tabela B 13 - Significado relativo dos materiais na solução n° 236

Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Reboco	0,015	28,5	8,6
Tij. furado	0,20	145,6	43,8
C. ar	0,05	-	-
Agl. de cortiça	0,06	6,9	2,1
Tij. furado	0,15	122,55	36,9
Reboco	0,015	28,5	8,6
Total	0,49	332,05	100

B14 - Solução construtiva nº 296



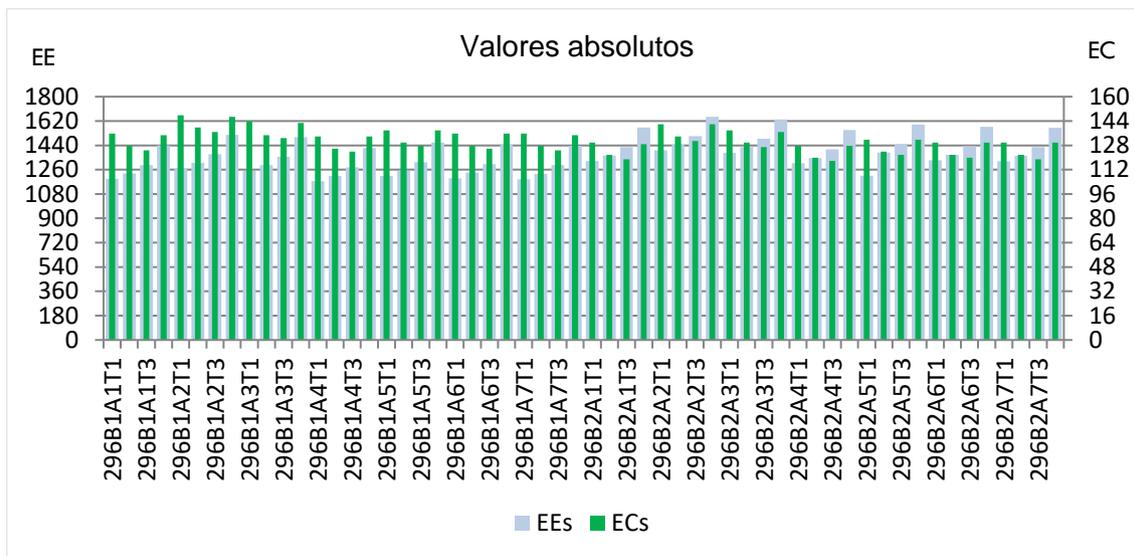
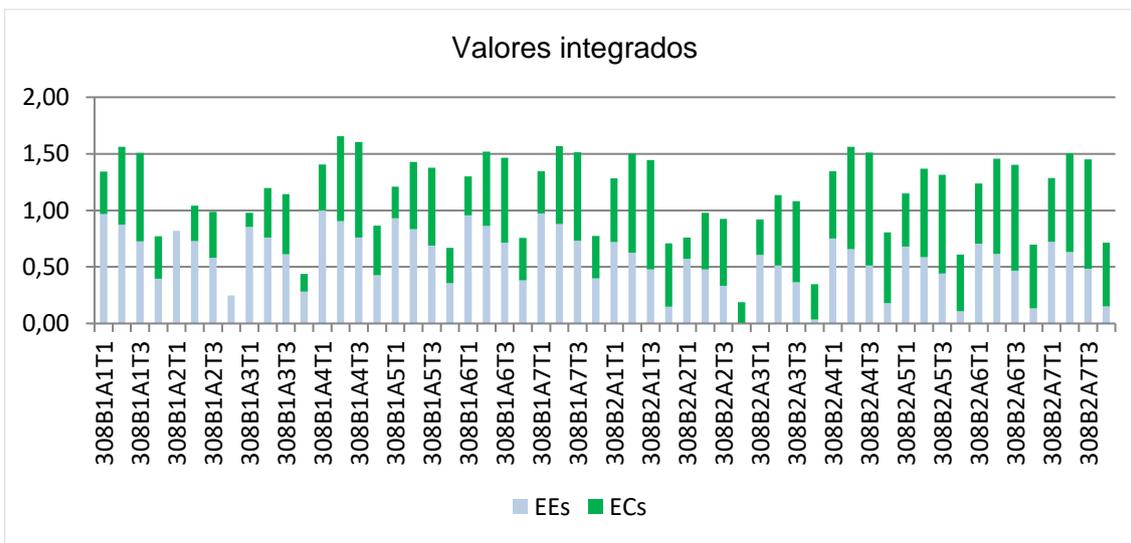
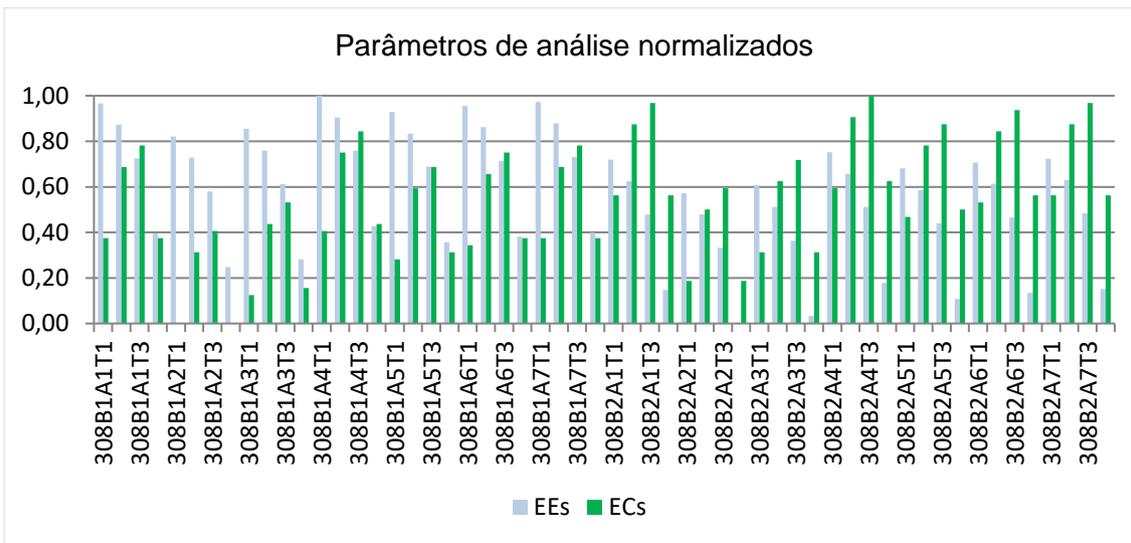


Tabela B 14 - Significado relativo dos materiais na solução n° 296

Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Betão armado	0,20	480	78,5
C. ar	0,05	-	-
Agl. de cortiça	0,06	6,9	1,1
Tij. maciço	0,11	96,25	15,7
Reboco	0,015	28,5	4,7
Total	0,435	611,65	100

B15 - Solução construtiva nº 308



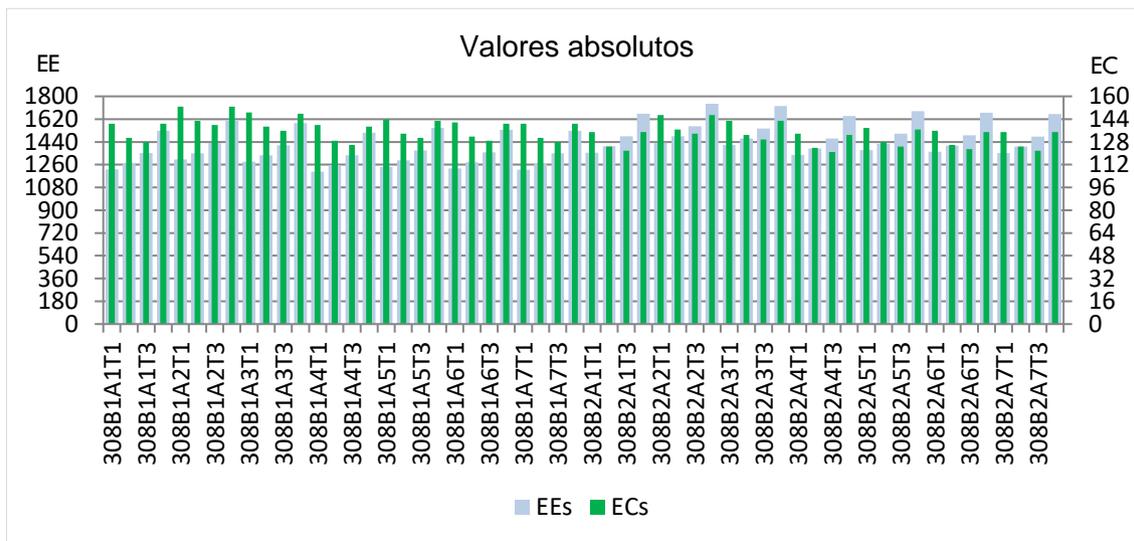
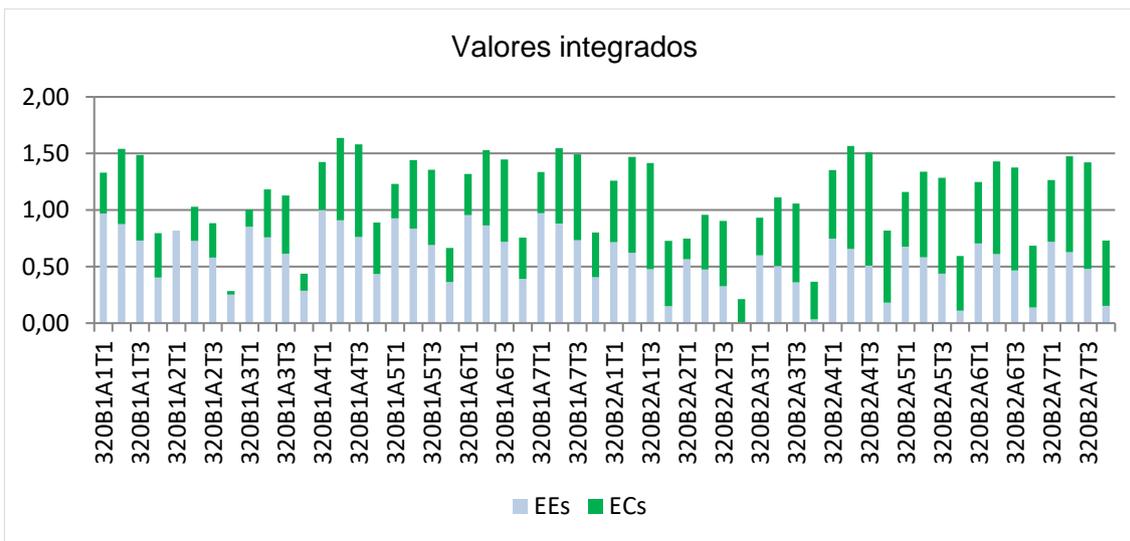
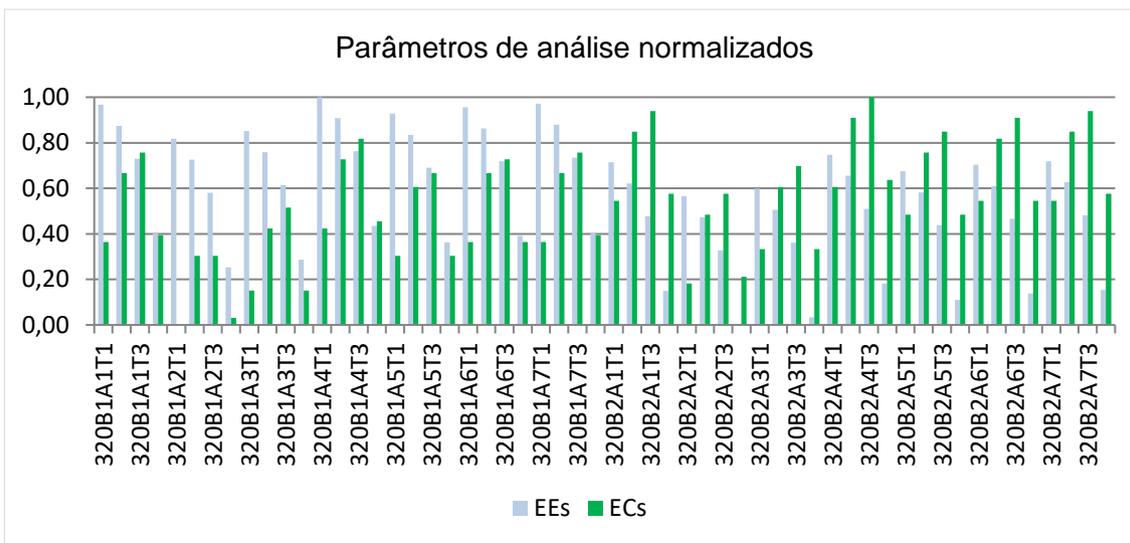


Tabela B 15 - Significado relativo dos materiais na solução n° 308

Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Betão armado	0,20	480	76,1
C. ar	0,05	-	-
Agl. de cortiça	0,06	6,9	1,1
Tij. térmico	0,14	115,36	18,3
Reboco	0,015	28,5	4,5
Total	0,465	630,76	100

B16 - Solução construtiva nº 320



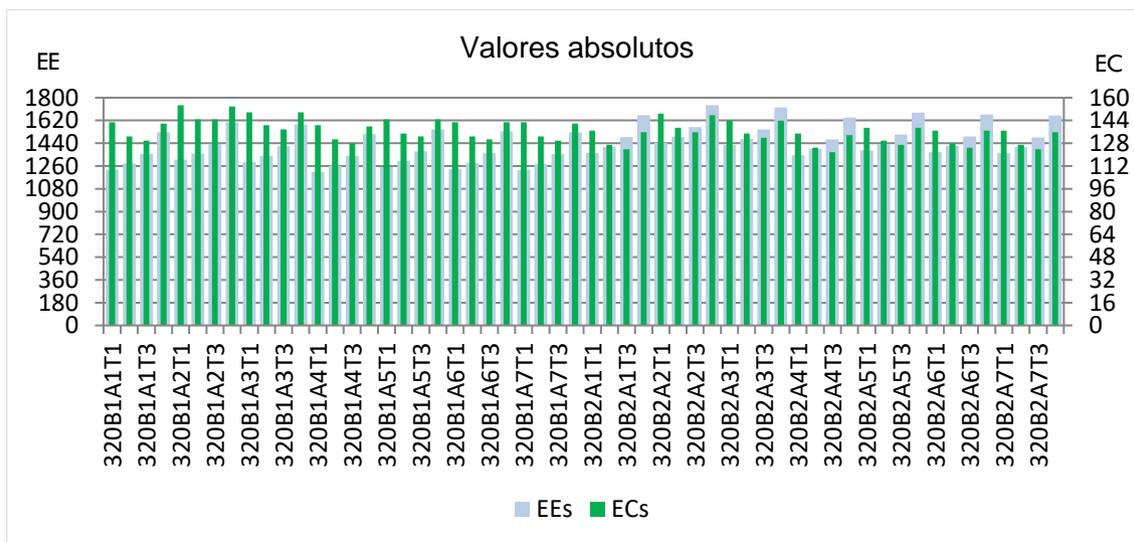


Tabela B 16 - Significado relativo dos materiais na solução n° 320

Materiais	Esp. (m)	M. superficial útil (kg/m ²)	M. superficial útil (%)
Betão armado	0,20	480	75,2
C. ar	0,05	-	-
Agl. de cortiça	0,06	6,9	1,1
Tij. furado	0,15	122,55	19,2
Reboco	0,015	28,5	4,5
Total	0,475	637,96	100

