

27 de Outubro de 2006, Feira da Concreta, Porto

LSK Jornada Técnica

utilização de produtos em aço enformados a frio na construção

www.cmm.pt



cmm

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

A SUSTENTABILIDADE DO AÇO E DAS ESTRUTURAS METÁLICAS

Helena Gervásio



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

- **Introdução**
- A sustentabilidade do aço
- A sustentabilidade das estruturas metálicas
- Análise comparativa aço-betão: casos práticos
- Observações finais



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

“O **Desenvolvimento Sustentável** visa satisfazer as necessidades da sociedade actual sem comprometer as necessidades das gerações futuras”



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

A **Construção Sustentável** resulta da aplicação dos princípios do **Desenvolvimento Sustentável** ao ciclo global da construção, desde a extracção das matérias primas, passando pelo planeamento, projecto e construção de edifícios e infraestruturas, até à sua demolição final e gestão dos resíduos dela resultantes.

Chrisna du Plessis – *Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries*

LSK Jornada Técnica

utilização de produtos em aço enformados a frio na construção

www.cmm.pt



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE

Construção Sustentável

Sustentabilidade Ecológica

Sustentabilidade Económica

Sustentabilidade Social

- Manutenção
- Análise de riscos
- Custos de ciclo de vida

- Satisfação
- Emprego
- Qualidade do ar no interior de edifícios

Eco- sistema

- Emissões
- Poluentes
- Utilização de terras
- Desperdícios

Saúde e bem estar

- Toxicidade de materiais construtivos
- Poluentes
- Qualidade do ar no interior de edifícios

Recursos Naturais

- Optimização dos recursos, energia, solos
- Reciclagem



C M M

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

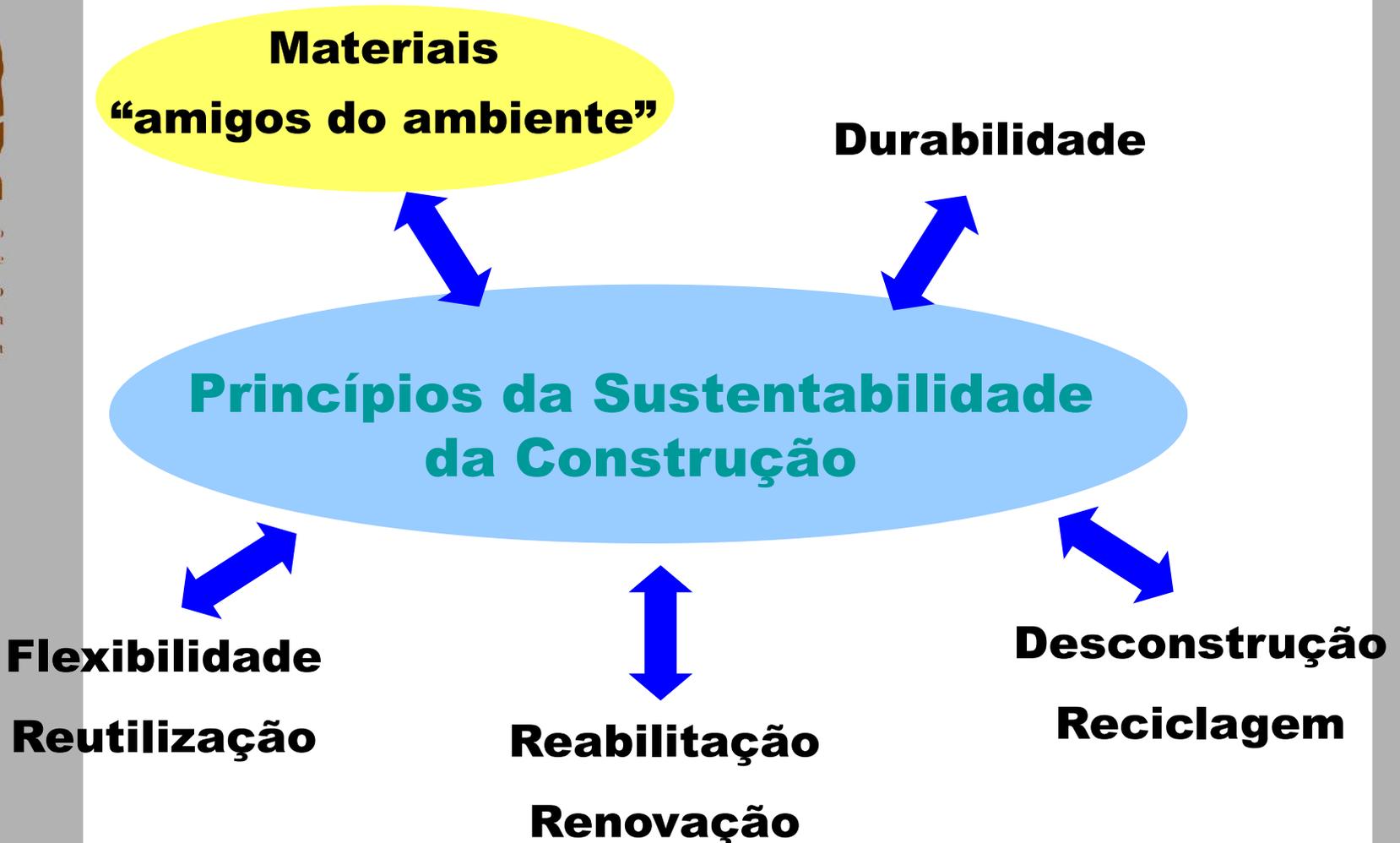
PRINCIPAIS ASPECTOS QUE AFECTAM A SUSTENTABILIDADE DO SECTOR DA CONSTRUÇÃO

- **Materiais de construção “amigos do ambiente”**
- **Eficiência energética em edifícios**
- **Gestão de desperdícios da construção e/ou demolição**



C M M

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista





c m m

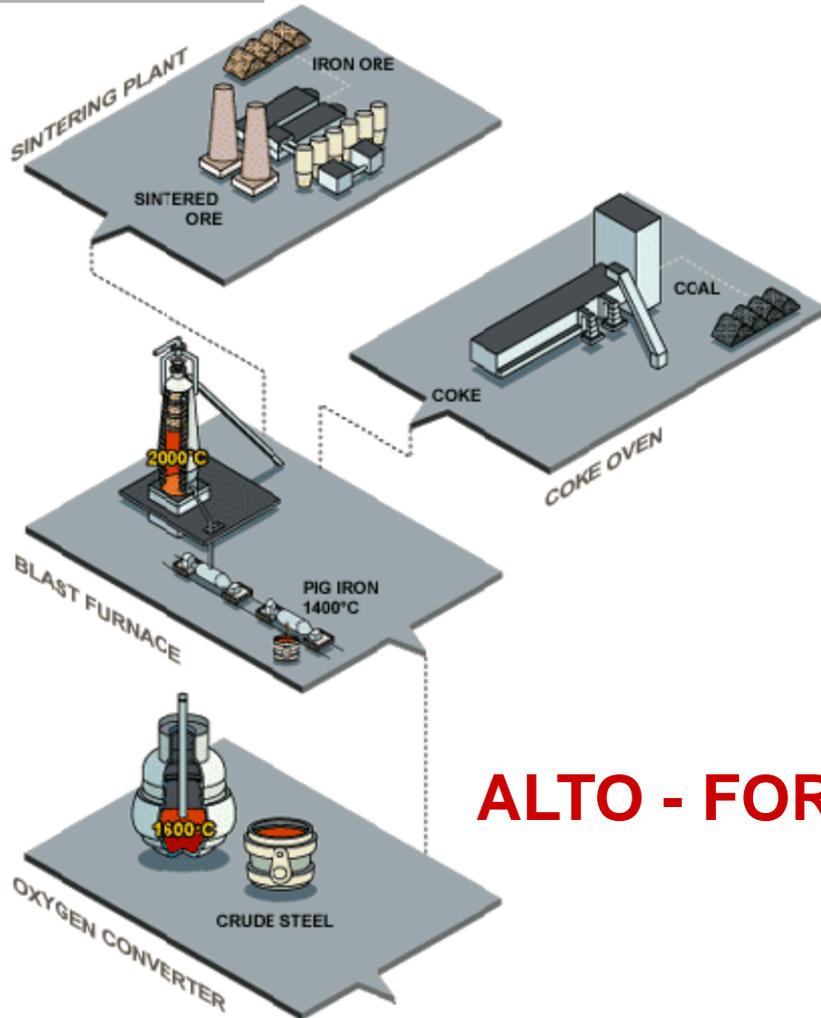
Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

- Introdução
- **A sustentabilidade do aço**
- A sustentabilidade das estruturas metálicas
- Análise comparativa aço-betão: casos práticos
- Observações finais

LSK Jornada Técnica

utilização de produtos em aço enformados a frio na construção





ALTO - FORNO

- ❑ Estação de sinterização ⇒ preparação dos minérios de ferro ⇒ **sínter**
- ❑ Forno de coque ⇒ preparação do **coque**
- ❑ **Alto-forno** ⇒ extracção do ferro dos minérios de ferro ⇒ **ferro gusa**
($\text{CO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$)
- ❑ Queima de substâncias não desejáveis ⇒ **injecção de oxigénio puro** ⇒ **aço bruto**



Processos de **refinação** e **gradação**



c m m

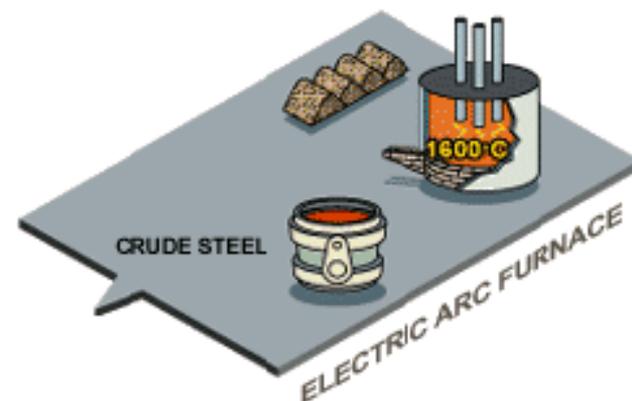
Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

FORNO DE ARCO ELÉCTRICO

- ❑ Forno de arco eléctrico ⇒ fundição da **sucata**
- ❑ Injecção de **oxigénio** ⇒ aceleração da fundição e queima do carbono.



Processos de **refinação e graduação**

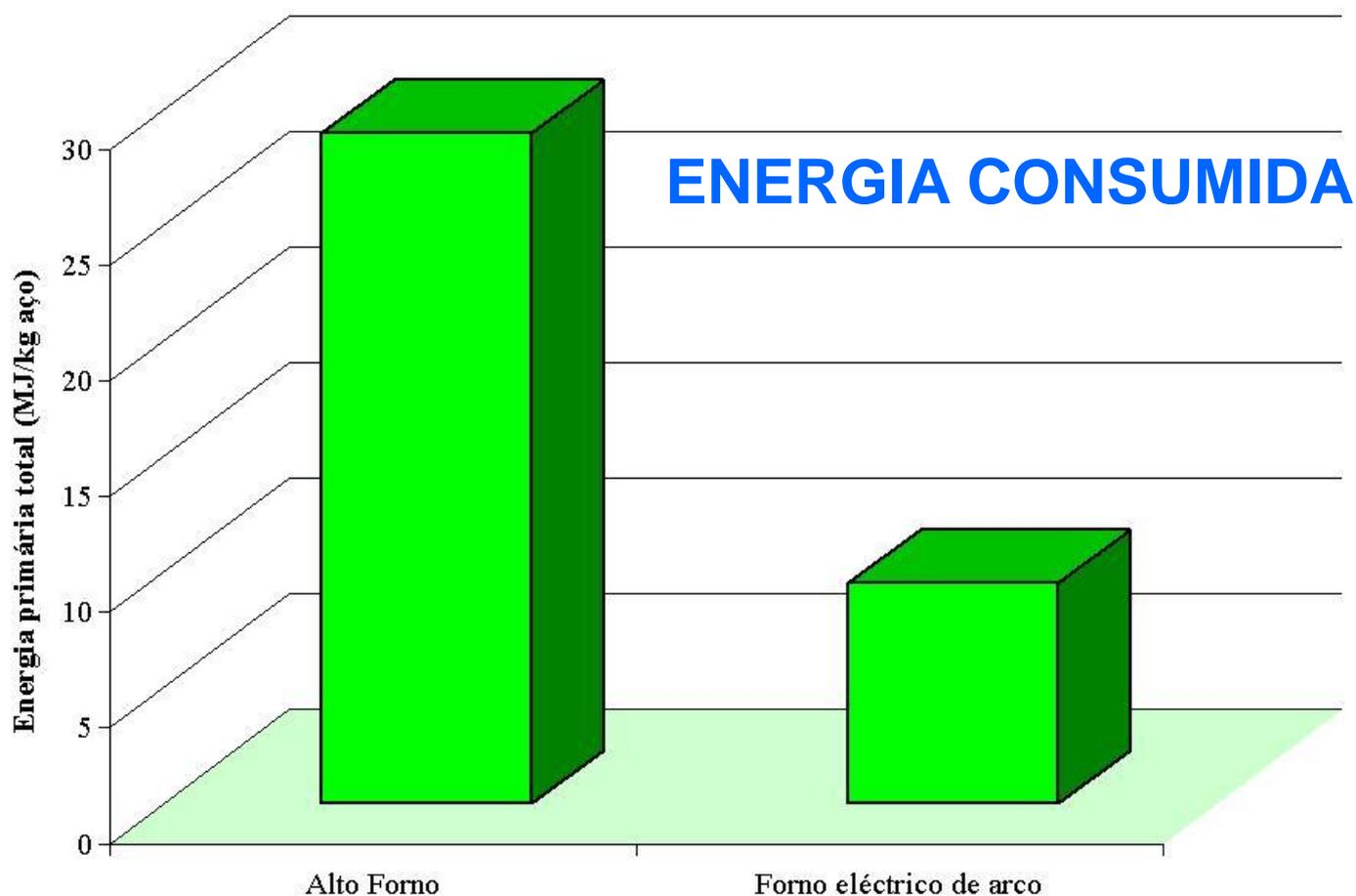




cmm

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

IMPACTOS AMBIENTAIS

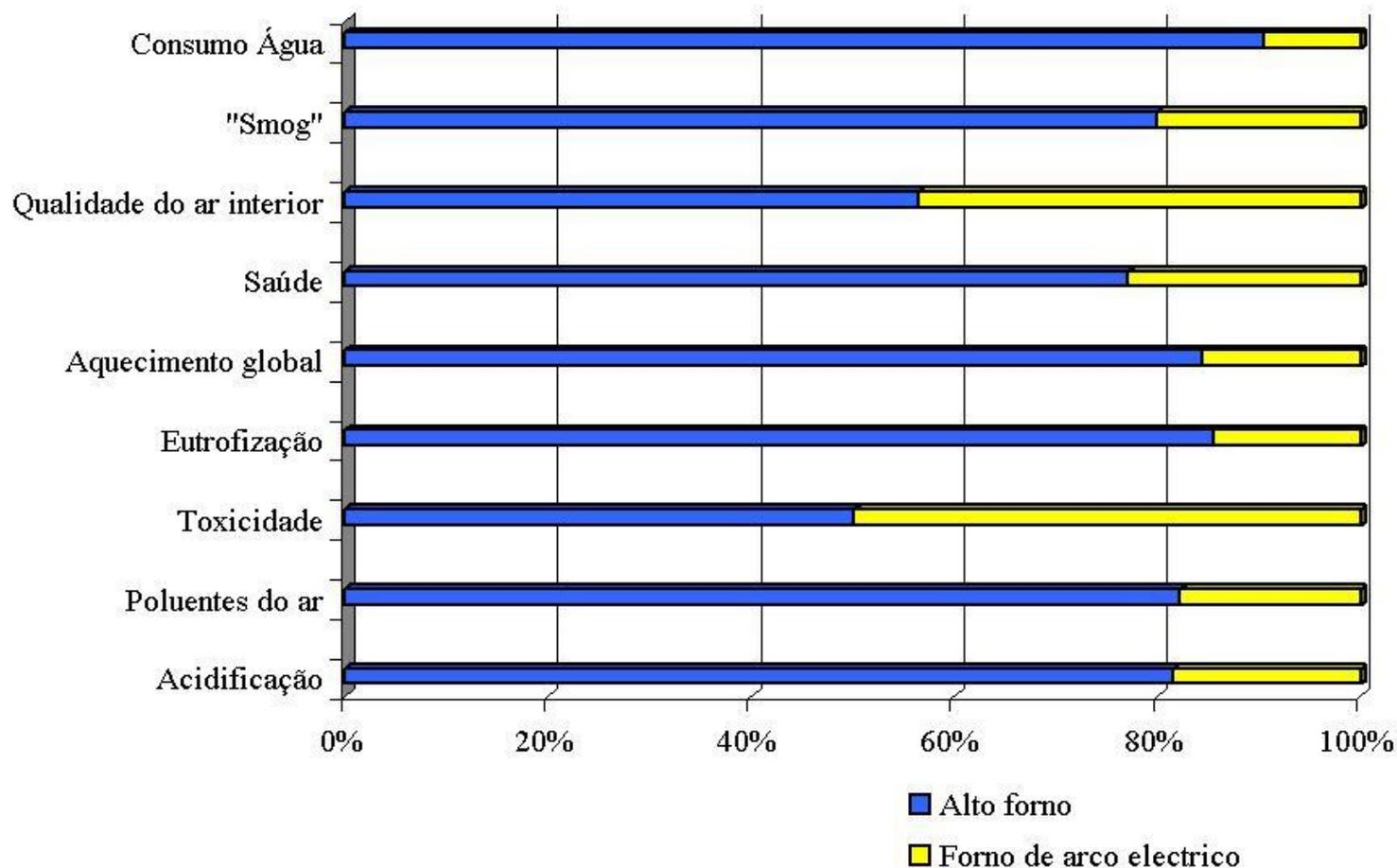




cmm

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

IMPACTOS AMBIENTAIS

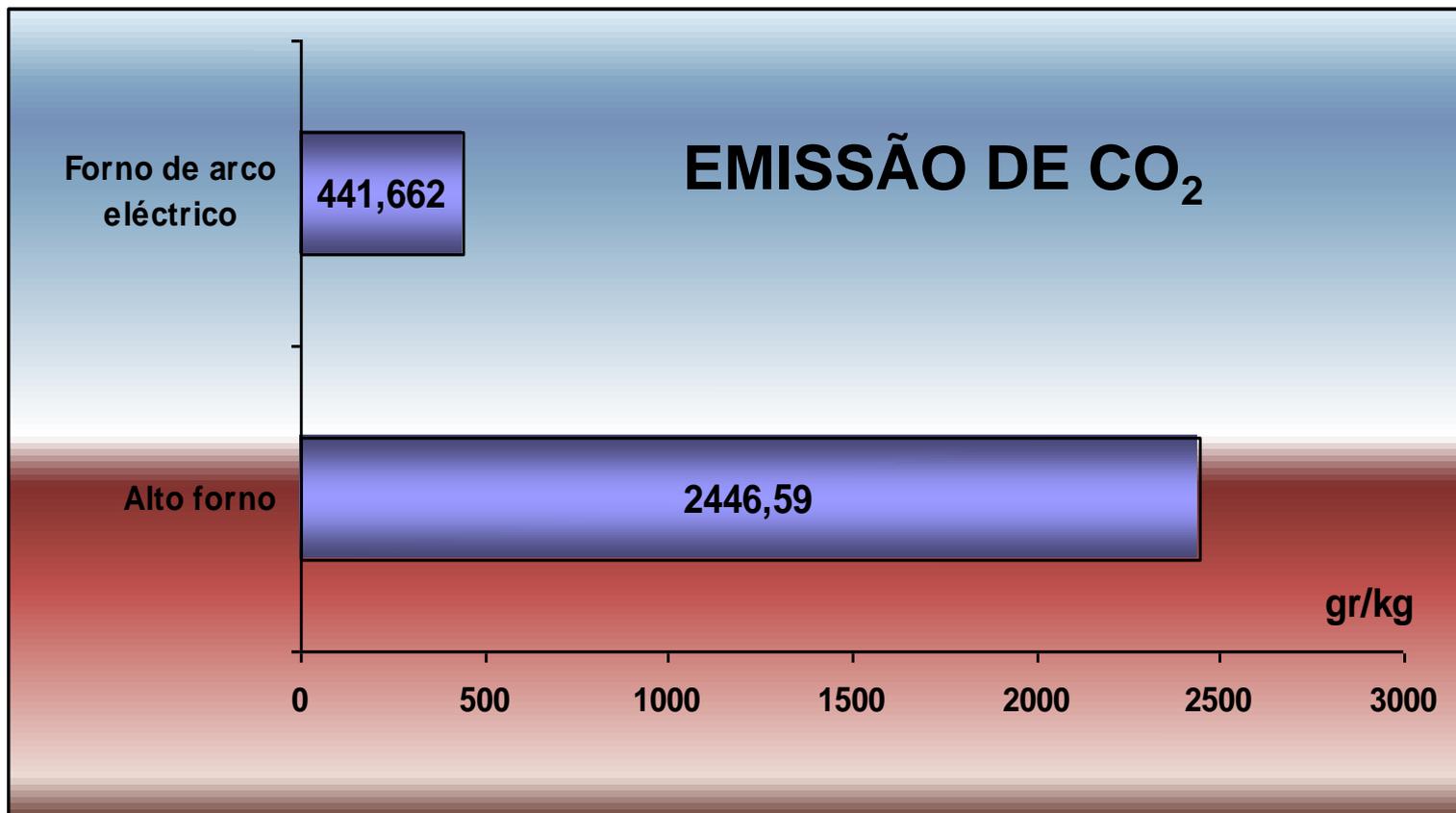




c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

IMPACTOS AMBIENTAIS

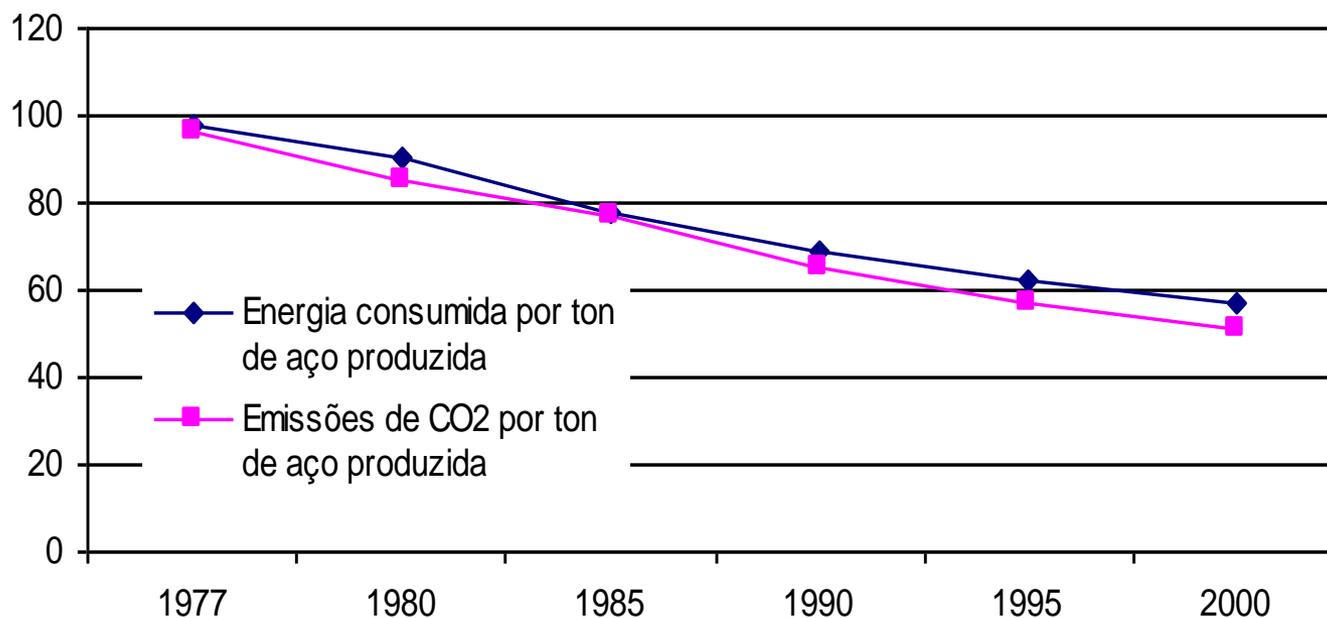




cmm

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

Indústria do aço na União Europeia entre 1970 e 2000





c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

- Introdução
- A sustentabilidade do aço
- **A sustentabilidade das estruturas metálicas**
- Análise comparativa aço-betão: casos práticos
- Observações finais



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista



RAPIDEZ DE EXECUÇÃO

➔ Pré-fabricação das componentes em fábrica



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

- ✓ Processo de construção mais eficiente
- ✓ Rapidez no processo de construção
- ✓ Minimização dos prejuizos da obra e estaleiro



CONSTRUÇÃO LIMPA



Montagem dos elementos em fábrica sob condições ambientais controladas



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

- ✓ Estaleiros com menos resíduos, maior limpeza, menos ruído
- ✓ Entrega dos produtos na altura da montagem em obra
- ✓ Redução do espaço de armazenamento necessário



PRESERVAÇÃO DO SOLO DE FUNDAÇÃO



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

➔ A construção metálica é geralmente mais leve

- ✓ Dimensões das fundações mais reduzidas
- ✓ Menos movimentação de terras
- ✓ Menos terras sobrantes
- ✓ Redução do tráfego de camionetas na obra





c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

LUMINOSIDADE E TRANSPARÊNCIA

- ✓ A elevada resistência do aço permite construções mais leves e com grandes superfícies envidraçadas

- ✓ Fachadas e coberturas mais transparentes
- ✓ Melhor gestão da luz natural
- ✓ Utilização da energia solar





c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

GRANDES ESPAÇOS

- ✓ Pilares esbeltos, lajes com reduzidas espessuras e fachadas mais leves
- ✓ A redução da altura entre pisos permite o aumento do nº de pisos

- ✓ Espaços amplos sem obstáculos interiores



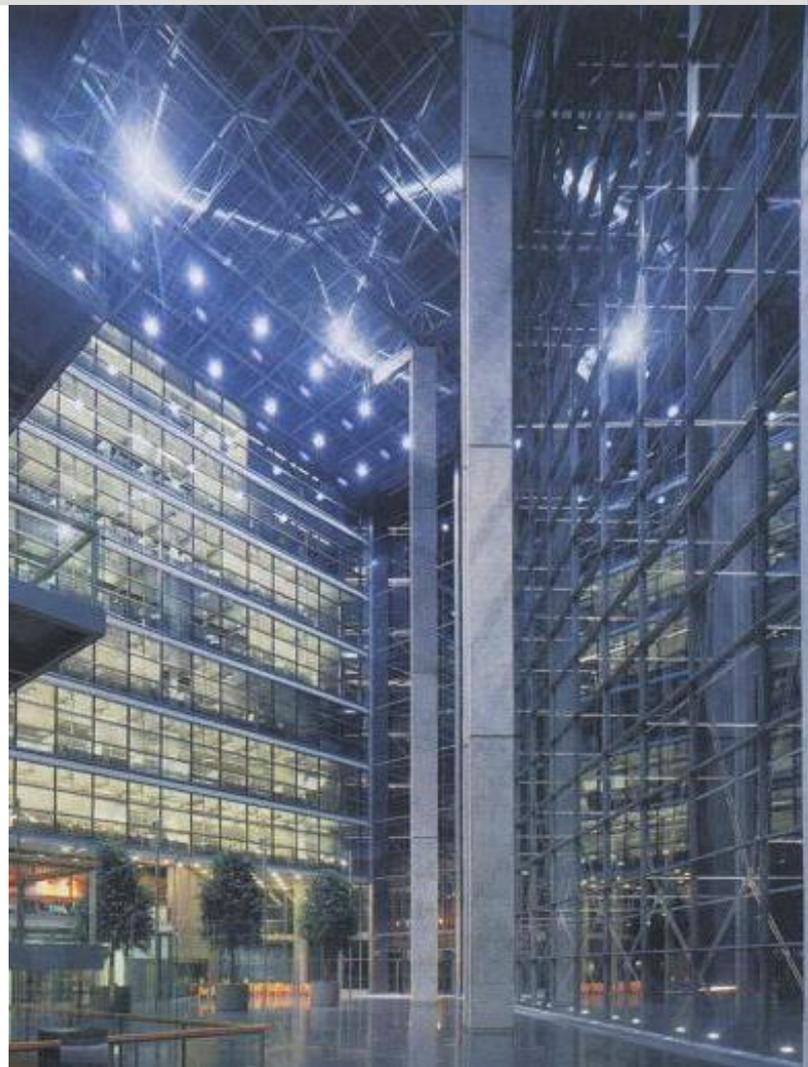
FLEXIBILIDADE E ADAPTABILIDADE



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

- ✓ Liberdade da imaginação na concepção da obra
- ✓ Facilidade de modificação ou extensão da estrutura de forma a adaptar-se a novos requisitos funcionais ou estilos de vida



RESISTÊNCIA SÍSMICA

www.cmm.pt

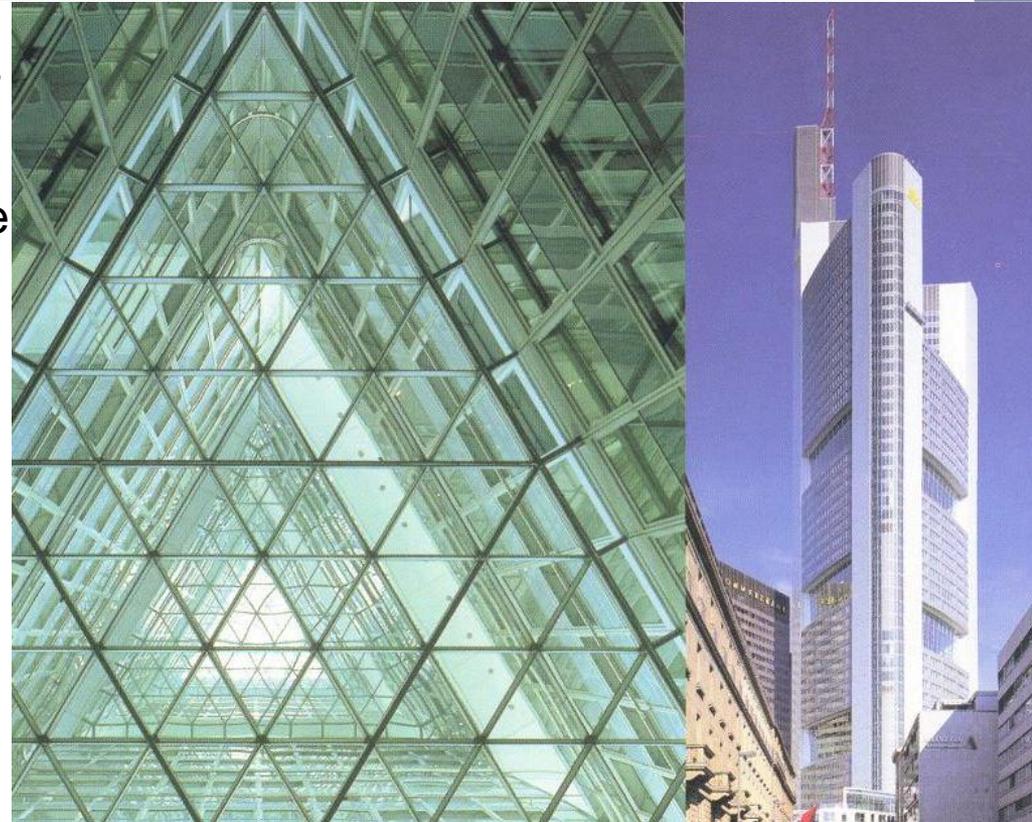


c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

✓ As propriedades naturais do aço (ductilidade) conferem-lhe uma grande resistência a estados de tensões não contabilizados

✓ A conservação da estabilidade estrutural depois de um sismo permite salvar muitas vidas



✓ Menor quantidade de entulho, menor poluição, maior facilidade de reparação e aumento da vida de serviço do edifício

LONGEVIDADE E DURABILIDADE



cmm

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

✓ Protecção da construção metálica contra a corrosão (pintura ou galvanização)

✓ Garantia de durabilidade de estruturas expostas

✓ Estruturas interiores não necessitam de protecção



INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

www.cmm.pt



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

- ✓ Facilidade na instalação de sistemas de isolamento térmico e acústico
- ✓ Facilidade na instalação de equipamentos e infra-estruturas (redes de águas, electricidade e ar condicionado)



LIGAÇÃO COM OUTROS MATERIAIS

- ✓ Fácil adaptação a outros materiais (vidro, madeira, alvenaria, etc)

www.cmm.pt



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

- ✓ Fácil adaptação a diversos estilos de arquitectura



REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

- ✓ Fácil reabilitação e/ou reconstrução de estruturas existentes



- ✓ Facilita a adição de novos elementos construtivos (escadas, varandas, etc)

RECONSTRUÇÃO

- ✓ Construção de estruturas temporárias (parques de estacionamento, recintos de feiras, etc)



- ✓ Remoção de estruturas não utilizadas e reconstrução em sítios onde necessárias

RECICLAGEM

- ✓ O aço pode ser reciclado inúmeras vezes sem perder qualquer uma das suas qualidades





c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

- Introdução
- A sustentabilidade do aço
- A sustentabilidade das estruturas metálicas
- **Análise comparativa aço-betão: casos práticos**
- Observações finais



c m m

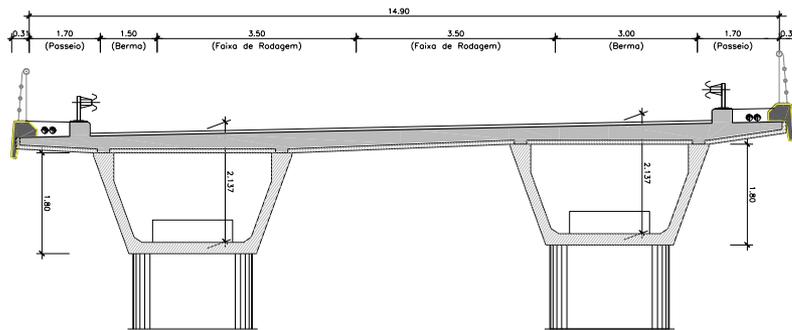
Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

Caso Prático: Viaduto

- ❑ Análise comparativa entre duas soluções estruturais alternativas do ponto de vista da sustentabilidade;
- ❑ Ambas as estruturas são dimensionadas de acordo com os respectivos Eurocódigos estruturais, de forma a desempenharem a mesma performance estrutural e com as mesmas margens de segurança;
- ❑ Determinação do sistema estrutural que apresente a melhor **performance ambiental** ao longo do seu **ciclo de vida**.

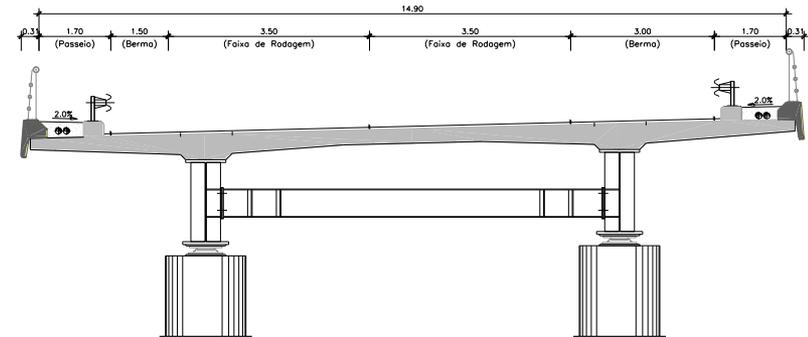
SECÇÕES TRANSVERSAIS DO VIADUTO

Solução em betão pré-esforçado



- ❑ Vigas em U pré-esforçadas, betão C50/60;
- ❑ Laje betonada “in situ” (20 cm), betão C35/40;
- ❑ Altura total – 2.20 m;

Solução mista aço-betão



- ❑ Vigas em I em aço *Corten* S355;
- ❑ Laje pré-fabricada (20 - 40 cm), betão C35/40;
- ❑ Altura total – 2.40 m;

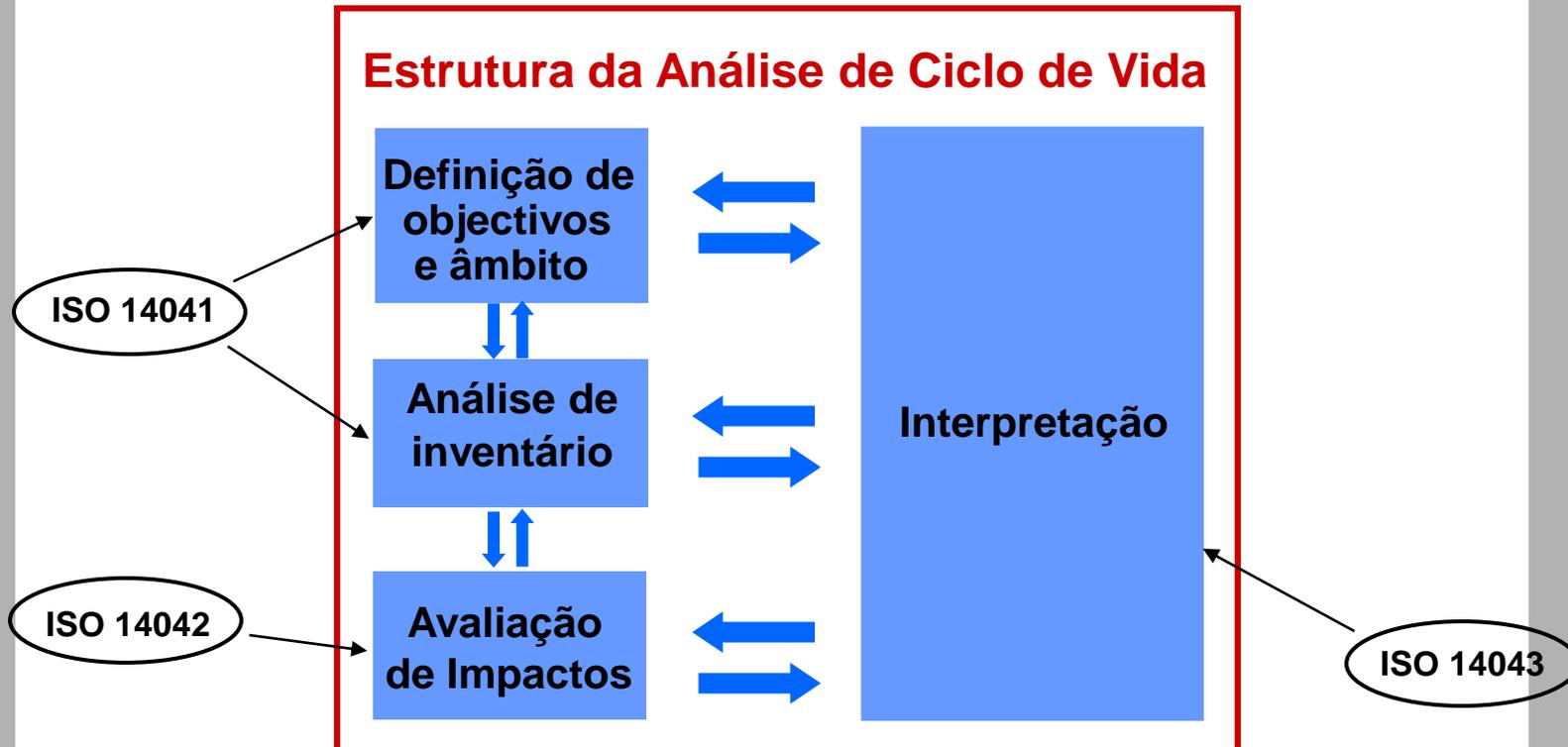


cmm

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

ANÁLISE AMBIENTAL DE CICLO DE VIDA

- O desempenho ambiental pode ser avaliado de acordo com o método de Análise de Ciclo de Vida definido nas normas **ISO - série 14040**

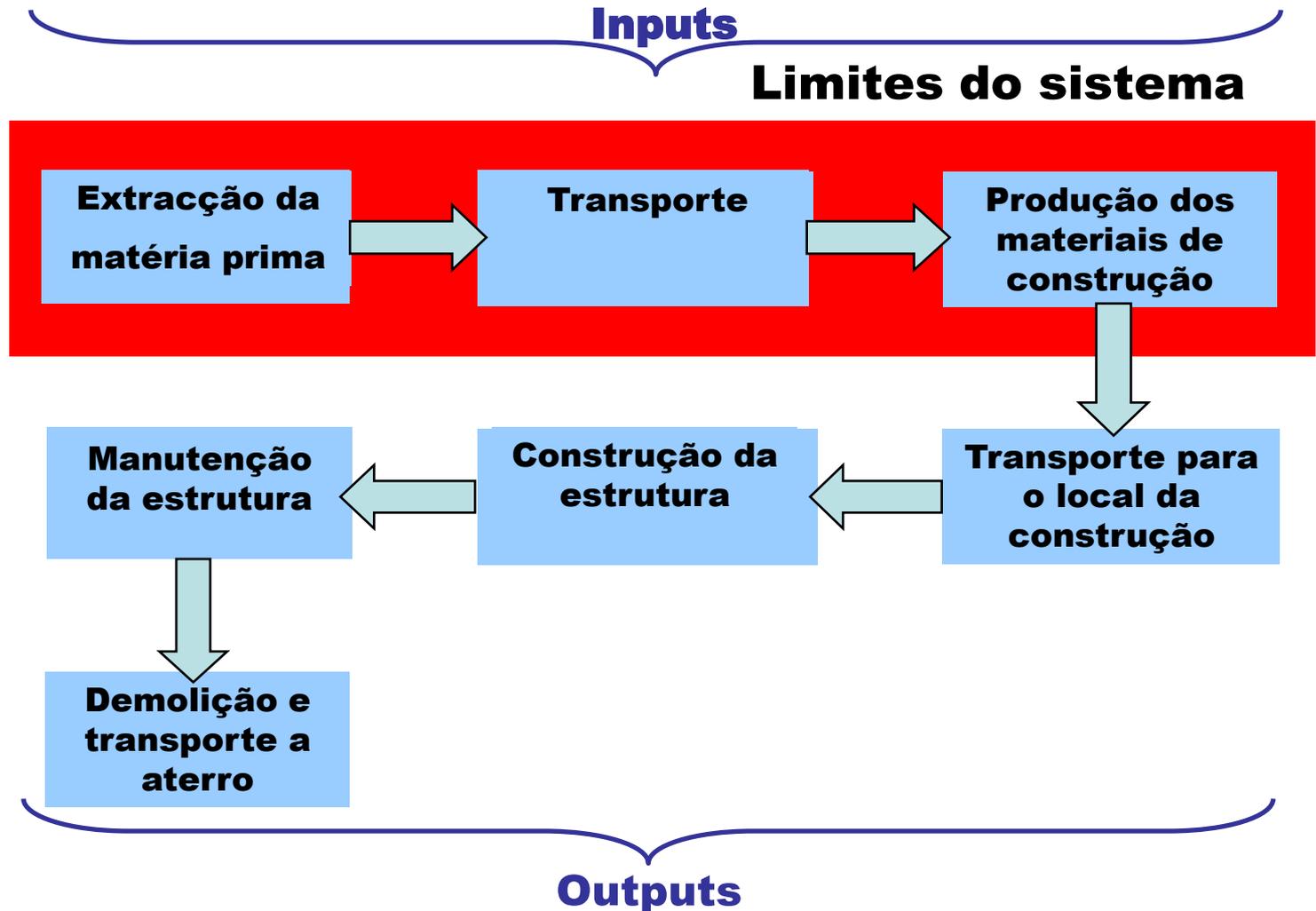




cmm

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

ANÁLISE AMBIENTAL DE CICLO DE VIDA



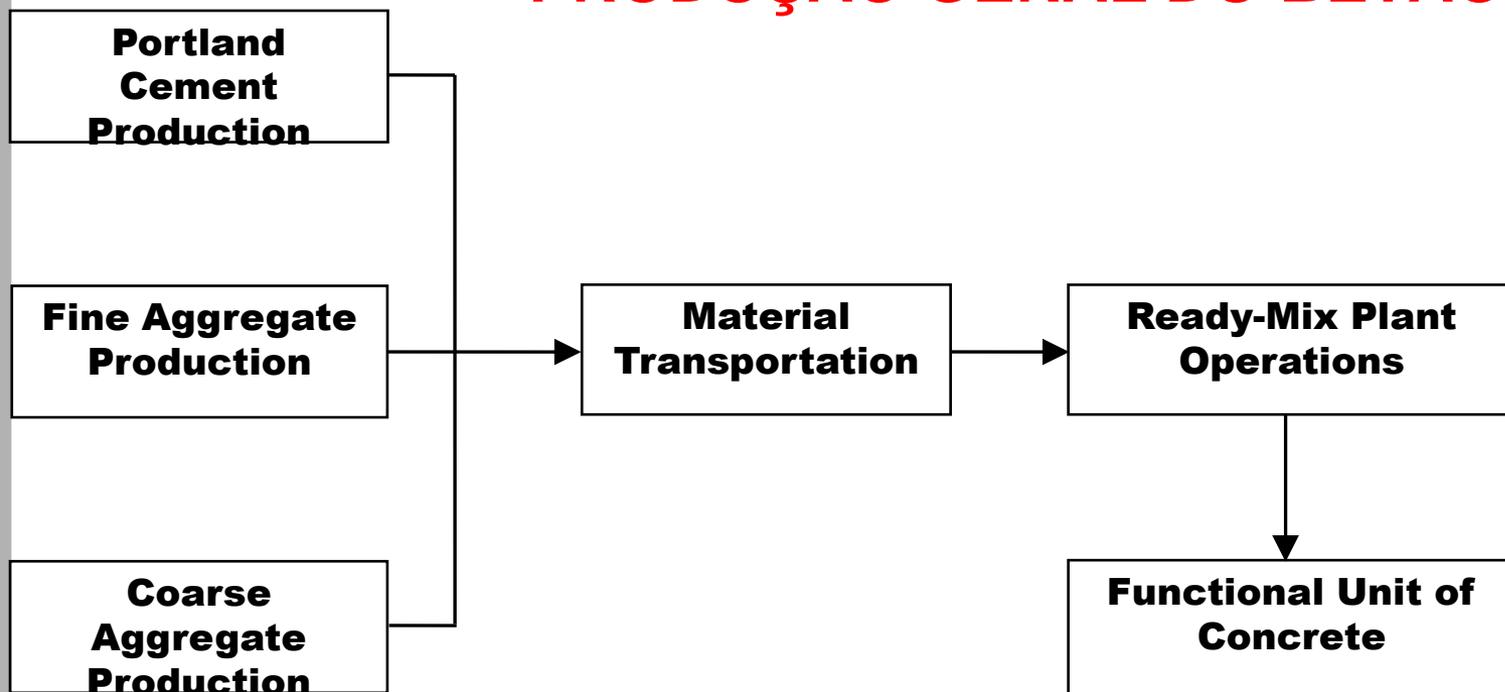


c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

ANÁLISE DE INVENTÁRIOS

PRODUÇÃO GERAL DO BETÃO



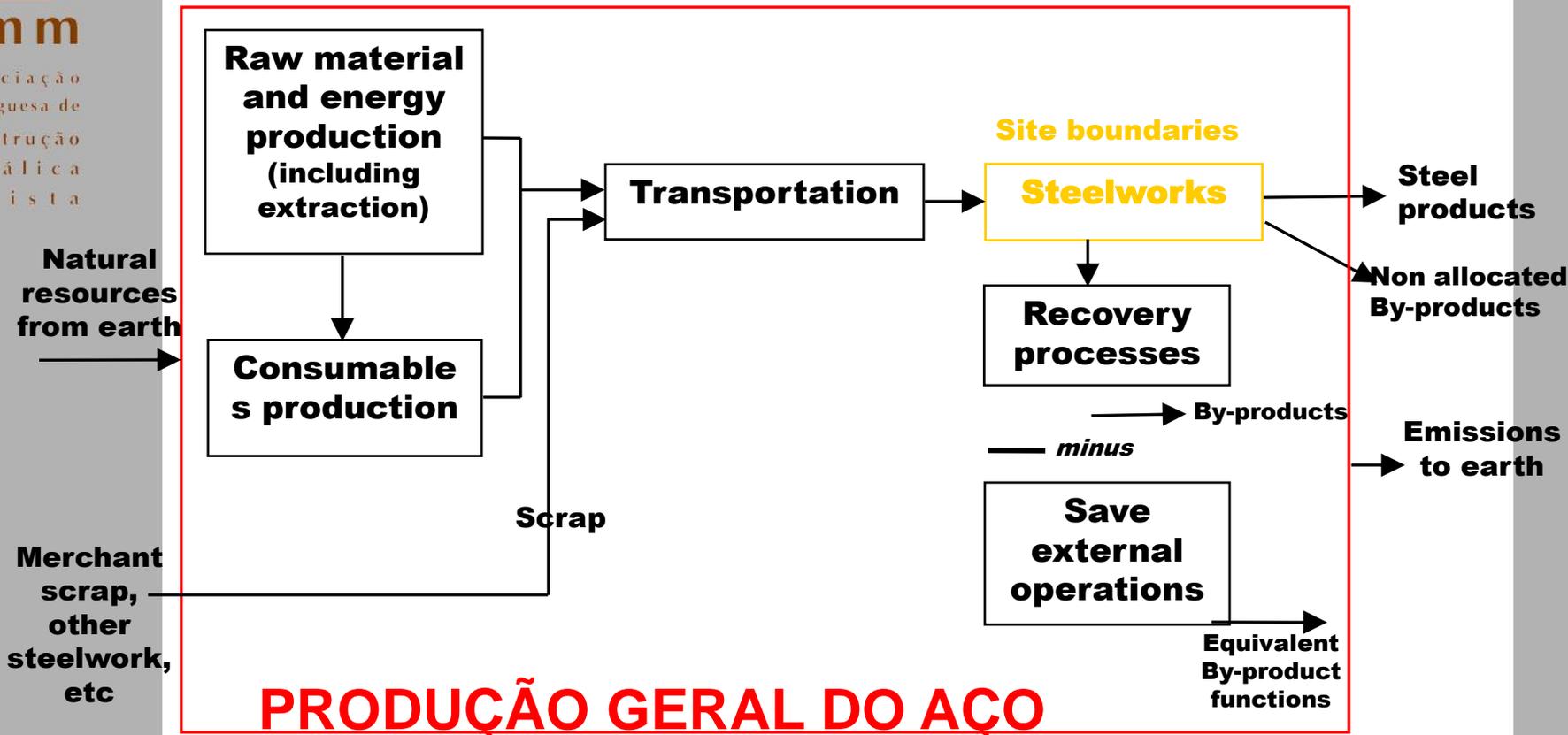


cmm

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

ANÁLISE DE INVENTÁRIOS

Sistema



PRODUÇÃO GERAL DO AÇO



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

Avaliação de impactos

→ Quantificação da contribuição potencial dos *inputs e outputs* da análise de inventários para uma série de impactos ambientais

- *Environmental Problems Approach (Society Environmental Toxicology and Chemistry - SETAC)*

- **Classificação dos fluxos do inventário** (inputs e outputs) que contribuem para um determinado impacto ambiental;
- **Caracterização** da contribuição potencial de cada fluxo, classificado no passo anterior, para o correspondente **impacto ambiental**.

$$IA_{jk} = \sum_{i=1}^n I_{ij} \times IAfactor_i$$



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

Avaliação de impactos

→ Foram considerados **11 impactos**:

- i) Aquecimento global;
- ii) Acidificação;
- iii) Eutrofização;
- iv) Utilização combustíveis fósseis;
- v) Alteração Habitat;
- vi) Poluentes do ar;
- vii) Saúde e bem estar;
- viii) Formação do *Smog*;
- ix) Destruição da camada ozono;
- x) Toxicidade;
- xi) Consumo água.



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

Normalização

Valores de normalização dos impactos

Aquecimento global	25 582 640.09 g CO ₂ equiv./ano/capita
Acidificação	7 800 200 000.00 millimoles H ⁺ equiv./ ano /capita
Eutrofização	19 214.20 g N equiv./ ano /capita
Fossil Fuel Depletion	35 309.00 MJ surplus energy/ ano /capita
Alteração Habitat	0.00335 T&E count/acre/capita
Consumo água	529 957.75 liters of water/ ano /capita
Poluentes ar	19 200.00 microDALYs/ ano /capita
Smog	151 500.03 g NO _x equiv./ ano /capita
Toxicidade	81 646.72 g 2,4-D equiv./ ano /capita
Destruição camada ozono	340.19 g CFC-11 equiv./ ano /capita
Saúde e bem estar	158 768 677.00 g C ₇ H ₇ equiv./ ano /capita



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

Interpretação

→ Combinação de todos os impactos ambientais de acordo com o objectivo do estudo

- **Resultado normalizado e ponderado** do desempenho ambiental relativamente ao impacto ambiental k :

$$IAScore_{jk} = \frac{IA_{jk} \times IVwt_k}{Norm_k} \times 100$$

- **Resultado final** do desempenho ambiental:

$$EnvScore_j = \sum_{k=1}^p IAScore_{jk}$$

LSK Jornada Técnica

utilização de produtos em aço enformados a frio na construção

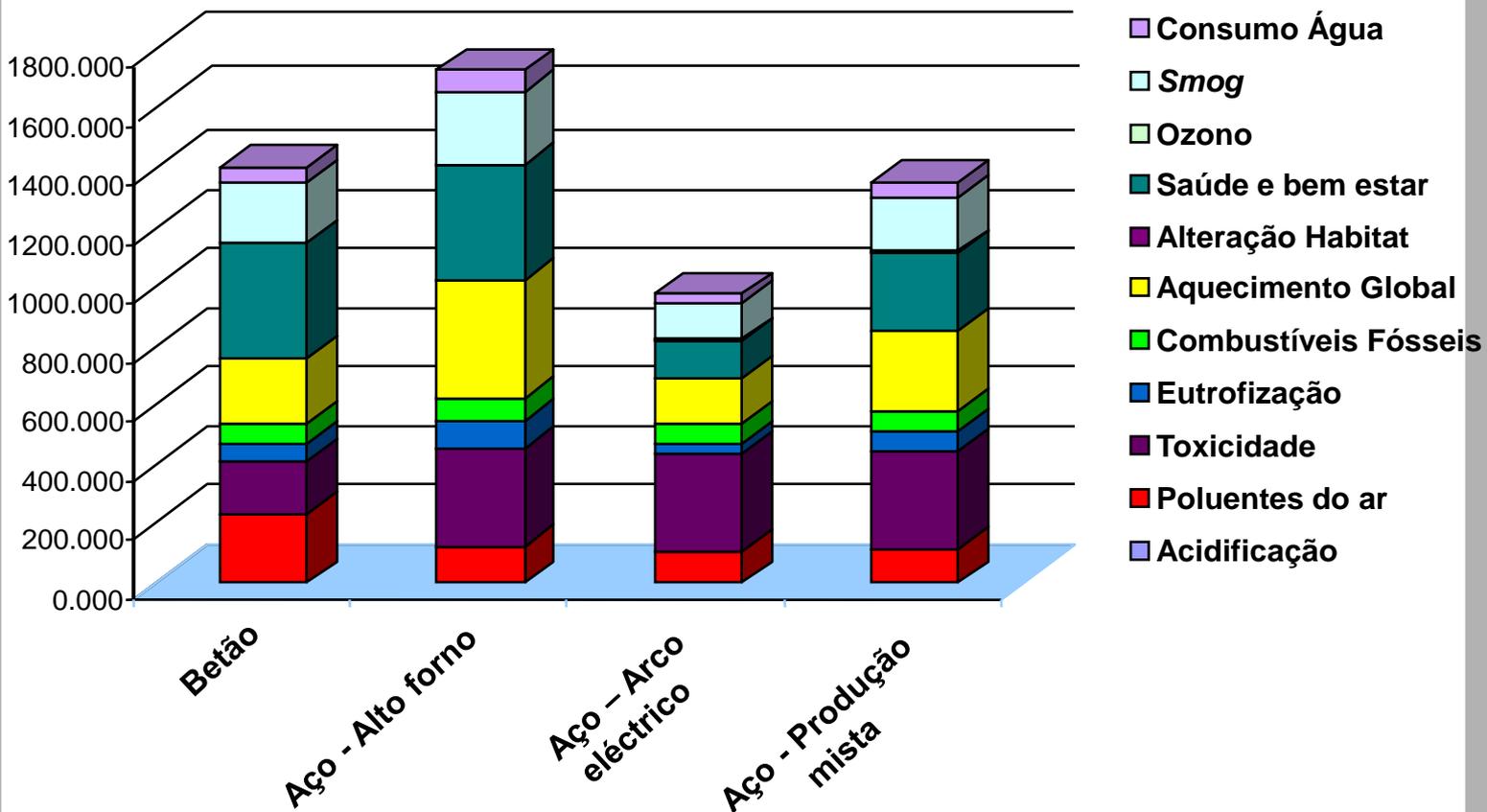
www.cmm.pt



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

Desempenho ambiental por alternativa





c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

Caso Prático: Moradia Unifamiliar

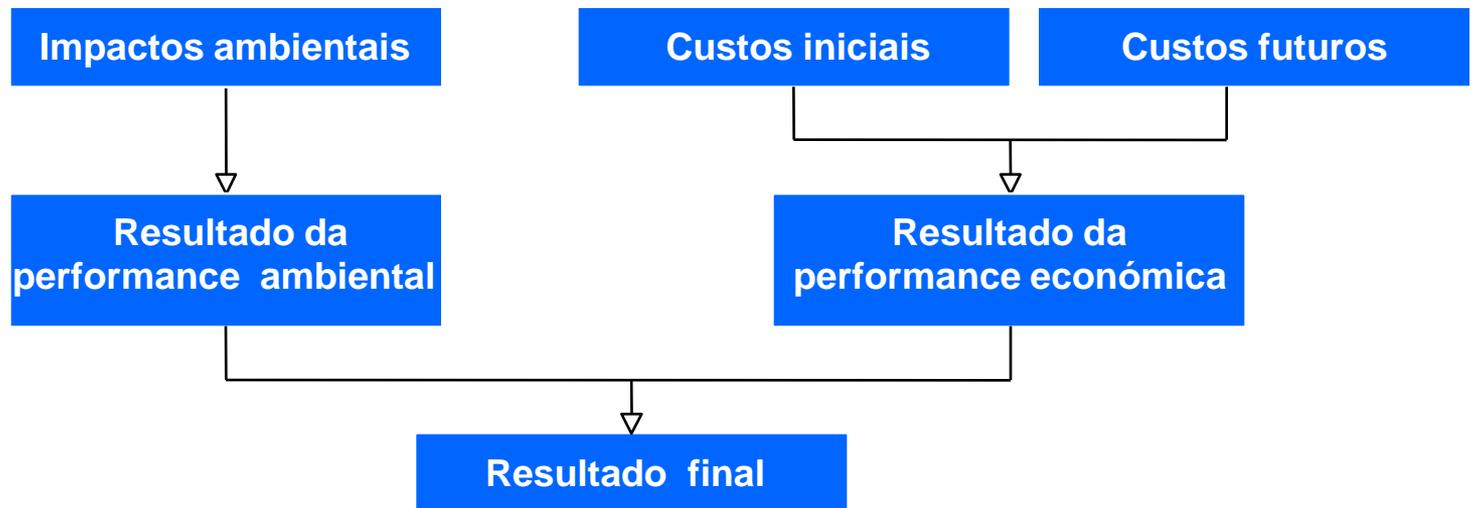
- ❑ Análise comparativa entre duas soluções estruturais alternativas do ponto de vista da sustentabilidade;
- ❑ Ambas as estruturas são dimensionadas de acordo com os respectivos Eurocódigos estruturais, de forma a desempenharem a mesma performance estrutural e com as mesmas margens de segurança;
- ❑ Os comportamentos térmico e acústico são equilibrados de forma a não haver uma solução preferencial;
- ❑ Determinação do sistema estrutural que apresente o melhor balanço entre a **performance ambiental** e a **performance económica**, considerando em ambos os casos uma **análise de ciclo de vida**.



cmm

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

METODOLOGIA GERAL

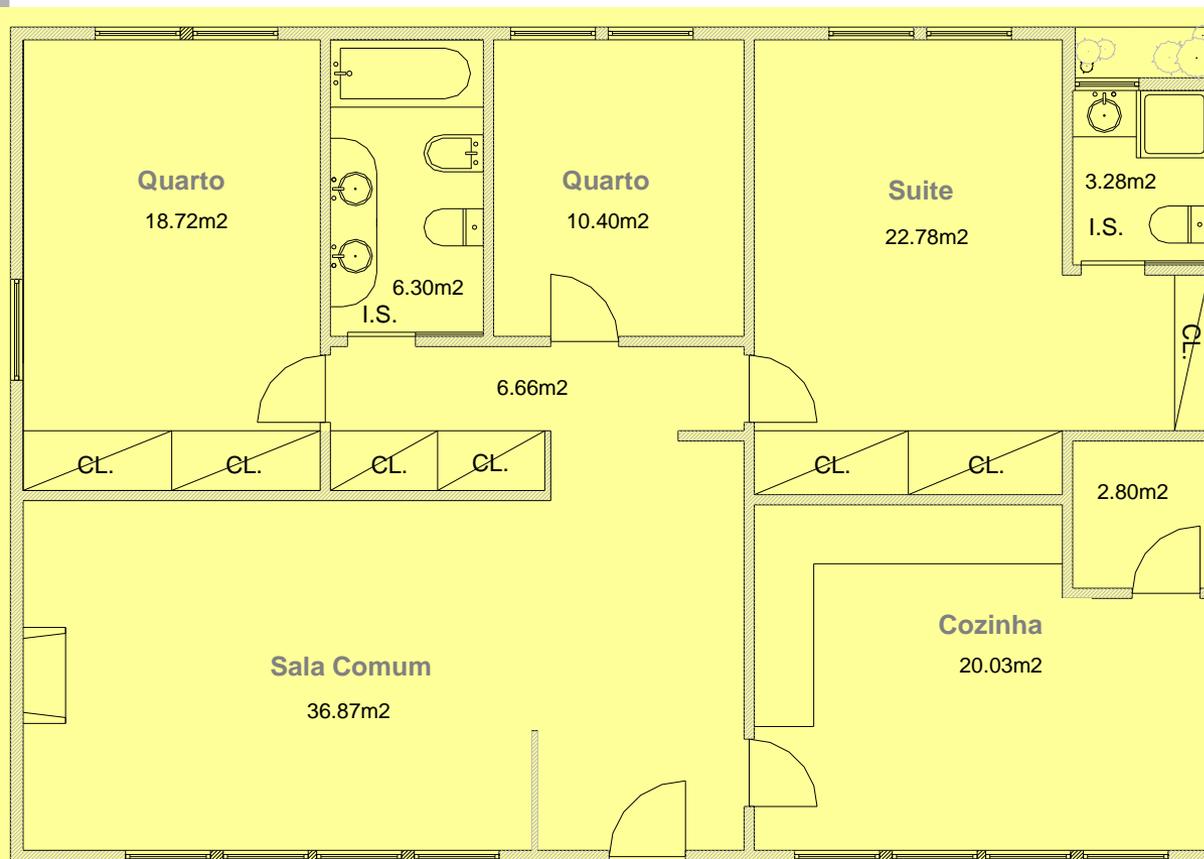




c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

PLANTA E LOCALIZAÇÃO



A planta de construção tem uma área total de **141.5m²**



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

ELEMENTO	Caso A – Betão	Caso B – Composta
Pilares	Betão armado (C25/30)	Aço laminado (S355)
Laje de topo	Betão armado (C25/30)	Aço e betão (S355 C25/30)
Par. exteriores	Parede dupla tijolo (15+4+11cm)	Paineis OSB+Enformados (30cm)
Par. interiores	Parede simples tijolo (11cm)	Paineis OSB+Enformados (25cm)

➔ Os elementos comuns aos dois casos (fundações, laje térrea e cobertura) não foram considerados na análise

➔ Dimensionamento de perfis enformados a frio: **EC3 – Parte 1.3**



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

Física dos Edifícios – COMPORTAMENTO TÉRMICO

[kW.h/m ² .ano]	Inverno		Verão	
	N _{ic}	N _i	N _{vc}	N _v
Caso A - Betão	24.61	43.00	5.21	19.73
Caso B - Composta	24.56	42.90	5.79	19.14



A análise foi efectuada considerando as condições ambientais naturais e supondo a não existência de equipamentos para aquecimento ou arrefecimento.



C M M

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

Física dos Edifícios – COMPORTAMENTO ACÚSTICO

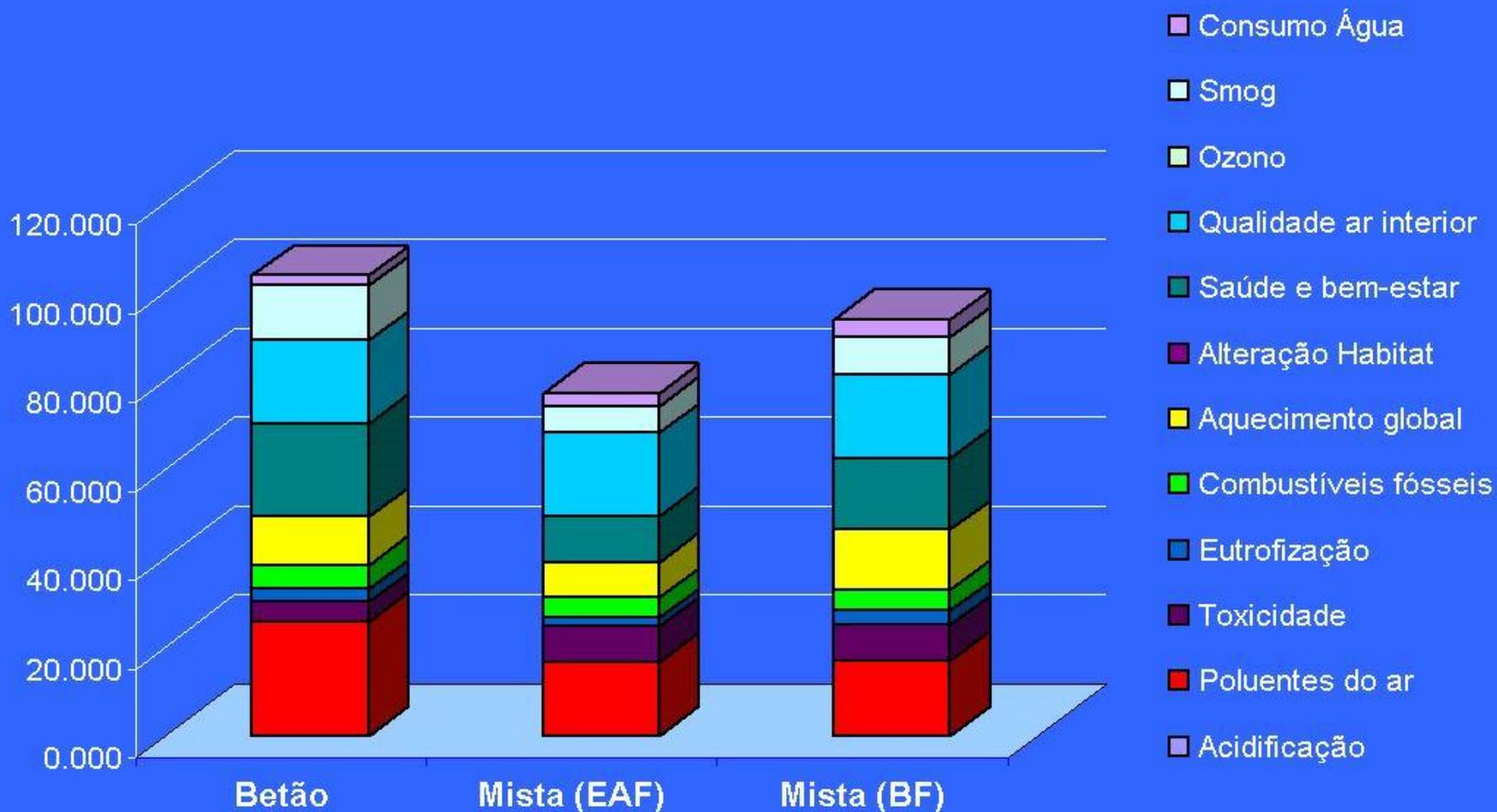
Índice normalizado de isolamento sonoro a sons de condução aérea das paredes exteriores ($D_{2m,n,w}$)

Fachada	Parede de tijolo dupla Caso A	Painéis OSB Caso B
Oeste	41.23	33.82
Sul	54.25	33.17
Este	42.79	33.86
Norte	48.59	33.30

$$D_{2m,n,w} \geq 28 \text{ dB}$$

Performance ambiental por alternativa

www.cmm.pt



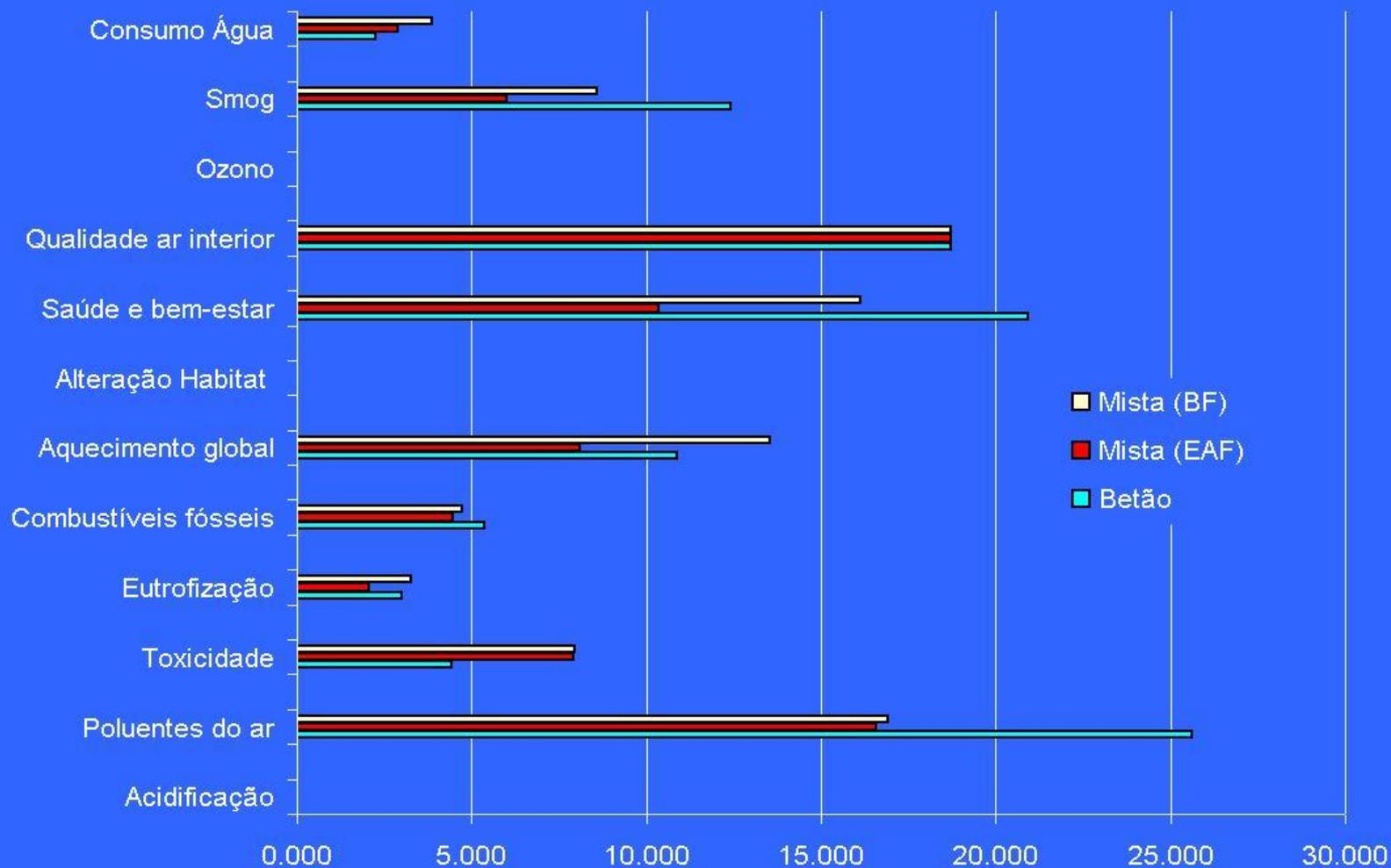
Performance ambiental por impacto

www.cmm.pt



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista





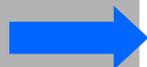
c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

ANÁLISE ECONÓMICA DE CICLO DE VIDA

Os custos futuros foram calculados com base nos custos estimados devidos à manutenção, pela expressão seguinte:

$$PVLCC = \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+d)^t}$$



Neste análise assumiu-se um período de estudo de **50 anos** e a taxa real de desconto considerada foi de **3.9%**.

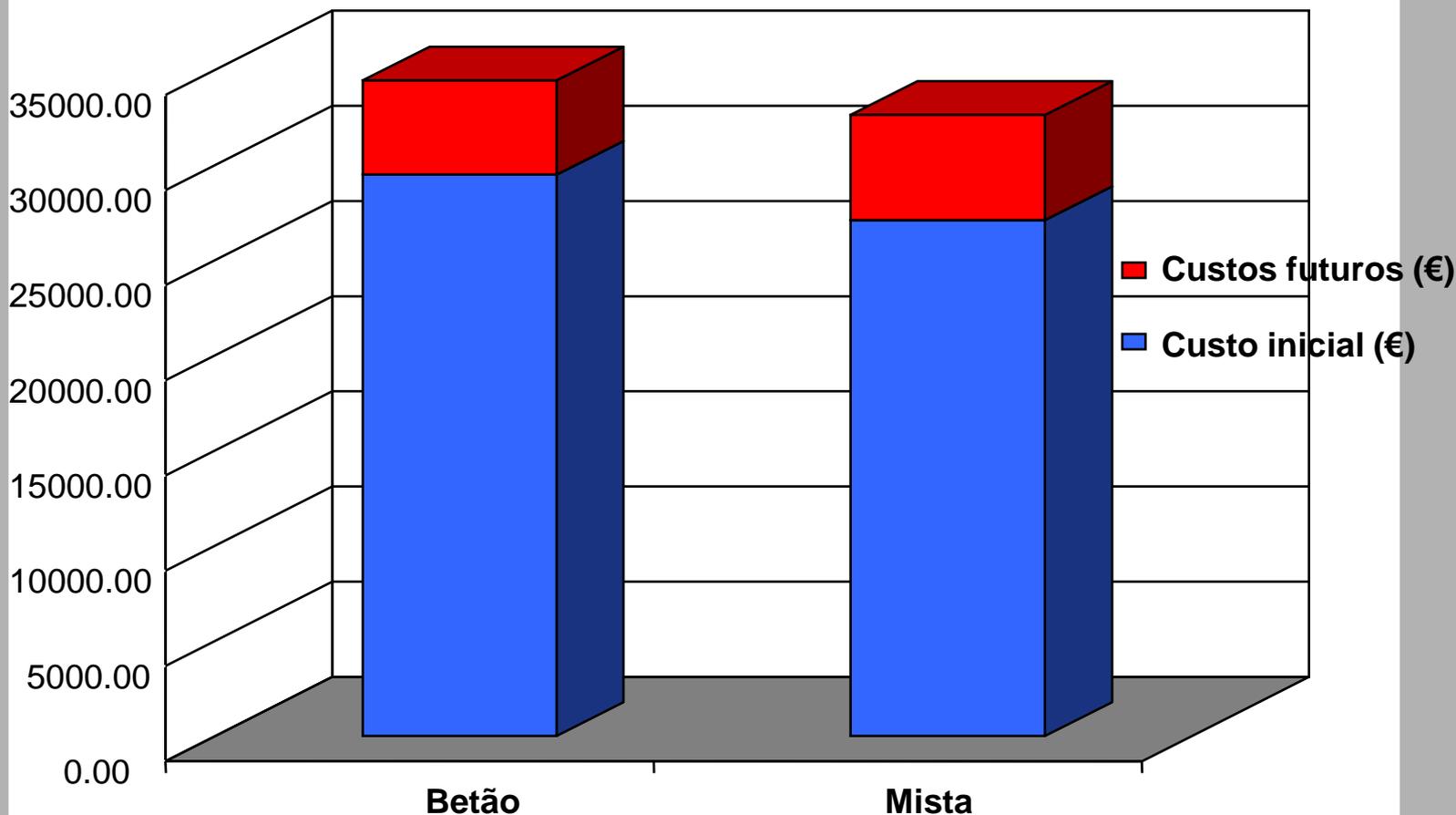
Performance económica por alternativa

www.cmm.pt



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista





cmm

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

ANÁLISE GLOBAL

O resultado final é dado pela média ponderada das performances ambiental e económica:

$$S_j = \left[\mathbf{EnvW}_t \times \left(\frac{\mathbf{EnvScore}_j}{\sum_{j=1}^n \mathbf{EnvScore}_j} \right) \right] + \left[\mathbf{EconW}_t \times \left(\frac{\mathbf{LCC}_j}{\sum_{j=1}^n \mathbf{LCC}_j} \right) \right] \times 100$$

S_j = resultado global da performance para a alternativa j;

\mathbf{EnvW}_t = peso da performance ambiental;

\mathbf{EconW}_t = peso da performance económica;

$\mathbf{EnvScore}_j$ = resultado da performance ambiental para a alternativa j;

\mathbf{LCC}_j = Custos totais de ciclo de vida, em valores presentes, para a alternativa j.

LSK Jornada Técnica

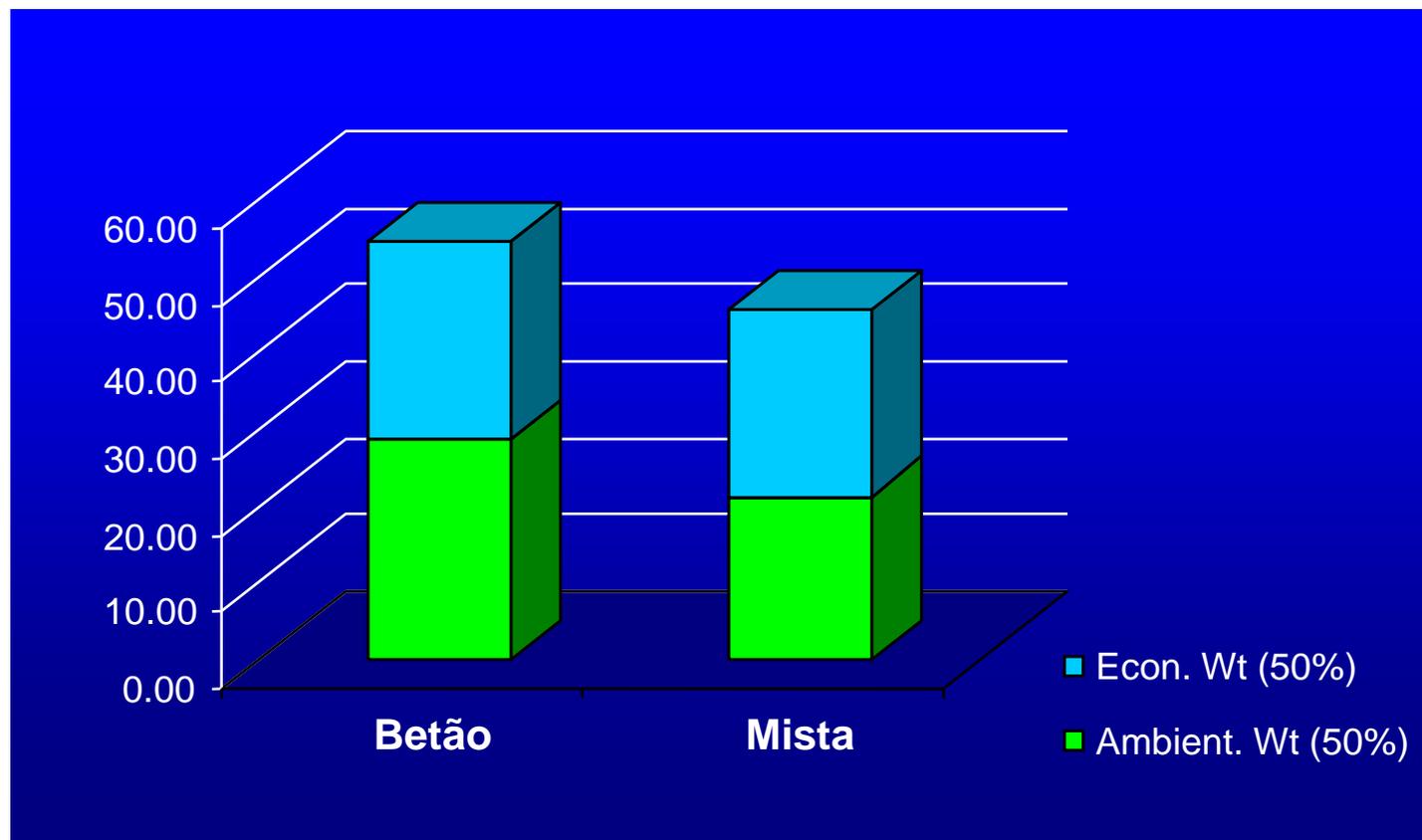
utilização de produtos em aço enformados a frio na construção

www.cmm.pt



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista





c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

- Introdução
- A sustentabilidade do aço
- A sustentabilidade das estruturas metálicas
- Análise comparativa aço-betão: casos práticos
- **Observações finais**



c m m

Associação
Portuguesa de
Construção
Metálica
e Mista

- A **indústria da construção** é responsável por uma proporção bastante significativa de **impactos ambientais**;
- Uma das prioridades do sector da construção deve ser o de desenvolver e fornecer soluções inovadoras com vista à **minimização** deste problema;
- Graças às características naturais do aço, as **estruturas metálicas** permitem a optimização dos recursos naturais e a obtenção de um ambiente construído mais racional e eficaz, contribuindo deste forma para uma **construção mais sustentável**.