



## CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL DE MUROS CAIS

João Martins; Daniel J. S. de Góis Neto  
ArcelorMittal Commercial RPS, Esch-sur-Alzette, Luxemburgo  
[joao.martins@arcelormittal.com](mailto:joao.martins@arcelormittal.com); [daniel.neto@arcelormittal.com](mailto:daniel.neto@arcelormittal.com)

### Resumo

As infraestruturas contribuem para as emissões de gases com efeito de estufa principalmente através do carbono incorporado nos materiais como o aço e o betão. Atualmente, existem soluções mais sustentáveis, por exemplo, aço estrutural produzido a partir de 100 % de sucata e 100 % de eletricidade de fontes renováveis, que é 100 % reciclável (economia circular).

O enfoque do artigo é um caso de estudo, comparando o impacto ambiental de uma cortina de estacas-prancha vs parede moldada, através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Faz-se referência ao método de monetização neerlandês que engloba critérios ambientais nos contratos públicos, permitindo às empresas atingir um melhor compromisso custo vs impacto ambiental. A otimização do dimensionamento também pode reduzir drasticamente o impacto ambiental.

Finalmente, descrevemos os desafios da conceção e execução de um muro cais construído no Porto de Huelva em Espanha devidos a dificuldades técnicas e restrições ambientais.

### Introdução

A construção e as infraestruturas têm um impacto significativo nas emissões de gases com efeito de estufa (GEE) através do carbono incorporado dos materiais utilizados. As indústrias do aço e do cimento são responsáveis por cerca de 15 % das emissões globais de GEE. A indústria siderúrgica já desenvolveu tecnologias que podem reduzir drasticamente as emissões de GEE a curto prazo, antes de atingir a neutralidade carbónica em 2050, mas os governos terão de ajudar as indústrias, por exemplo, através da construção de uma rede de hidrogénio "verde". Além disso, devido ao massivo investimento, o aço "verde" será mais dispendioso do que o aço atualmente produzido através da via primária (altos-fornos, BF/BOF).

Entretanto, poderemos atenuar o impacto ambiental das estruturas reduzindo a utilização de recursos naturais, reutilizando certos componentes e reciclando. Por exemplo, o aço é um material "circular": pode ser reciclado a 100 % para produzir novo aço num forno de arco elétrico (FAE), o qual tem uma pegada carbónica cerca de cinco vezes inferior à da BF/BOF.

### Construção Sustentável De Muros Cais

O principal desafio no dimensionamento de muros cais é lidar com as incertezas dos parâmetros e ações geotécnicas, tais como a variabilidade das propriedades do solo, a corrosão, os eventos sísmicos, etc. A engenharia de valor é um processo complexo porque, para além das incertezas, o comprimento do muro, a posição e o número de ancoragens são fatores com um impacto direto sobre o dimensionamento da solução técnica, tornando-se ainda mais complexo quando se incluem os critérios ambientais.

Uma ACV completa, de preferência utilizando Declarações Ambientais de Produto (DAP) dos materiais/produtos que serão efetivamente instalados, será provavelmente a melhor maneira de determinar a solução mais sustentável. Mas a sustentabilidade tem um custo: por exemplo, o aço produzido num FAE consome grandes quantidades de eletricidade e as emissões de CO<sub>2</sub> da eletricidade podem ser compensadas com a compra de certificados de eletricidade "verde".

Desta forma, é necessário definir regras claras, baseadas em factos científicos, para determinar o valor acrescentado de uma solução com menor impacto ambiental, sobretudo nos contratos públicos. O governo neerlandês introduziu em 2015 um método de monetização baseado na *proposta economicamente mais vantajosa* (melhor relação qualidade-preço). Aplica-se a

concursos públicos nos Países Baixos para infraestruturas e edifícios, e baseia-se no método do preço-sombra (Nationale Milieu Database 2022) que transforma vários indicadores ambientais num único indicador de custo económico (ICE), o que permite calcular um crédito fictício (bónus) de até 15 % do valor estimado de um contrato a acrescentar à proposta financeira. Trata-se de um método simples, transparente e justo para comparar alternativas. Esta abordagem incentiva os fabricantes e empreiteiros a reduzirem a sua pegada ambiental. O método neerlandês baseia-se em DAP nacionais (Stichting MRPI 2022) e em dados ambientais da NMD neerlandesa (Nationale Milieu Database 2022).

### Estudo De Caso – Terminal De Navios De Cruzeiro

O objetivo principal é comparar através de uma ACV o impacto ambiental de duas alternativas para a construção de um muro cais de um terminal de cruzeiros, com uma vida útil de 50 anos, para um porto na Bélgica. O dimensionamento foi realizado pelo gabinete de engenheiros belga *Tractebel*, Grupo *Engie*, de acordo com os Eurocódigos. Os engenheiros utilizaram condições de solo típicas da costa belga (areia e argila siltosa).

A cortina de estacas-prancha consiste em perfis AZ 46-700N, com 24,5 m de comprimento, grau de aço S 460 GP (norma EN 10248 2023), ancorada com tirantes de 30 m de comprimento e 64 mm de diâmetro, grau de aço S 500, espaçados de 1,4 m, a uma cortina de ancoragem com 7,5 m de comprimento, em AZ 20-800, S 460 GP (ver Figura 1). A parede moldada é constituída por uma parede de betão armado com 25,5 m de comprimento e 800 mm de espessura, executada em betão de classe C 35/45 com cimento CEM I, e está ancorada com dois tirantes ativos de 22,0 m de comprimento, espaçados de 1,5 m, com inclinações diferentes.

A análise em 2020 mostrou que a solução com estacas-prancha de aço é 15 % mais económica.

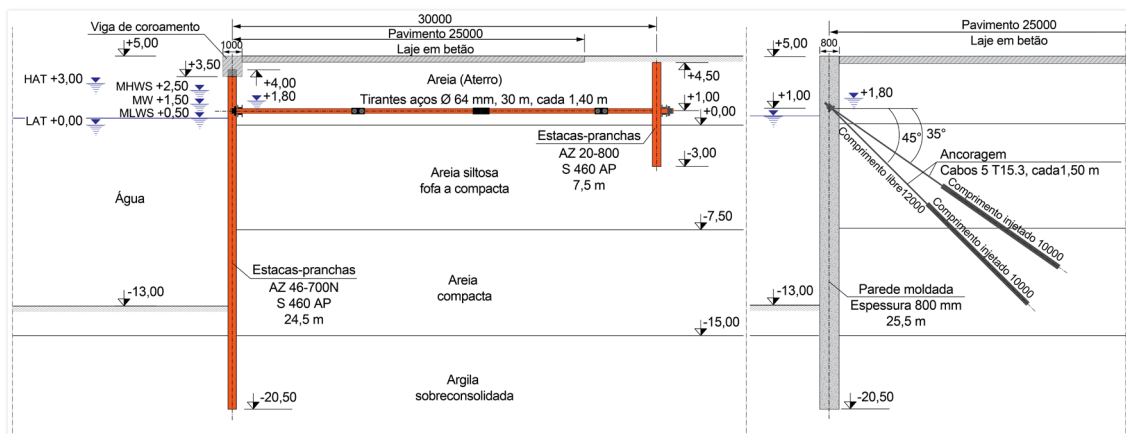


Figura 1. Caso de estudo: corte típico da cortina de estacas-prancha e da parede moldada.

A ACV original foi finalizada em 2020 pela ArcelorMittal (ArcelorMittal R&D 2019) e submetida a uma análise por terceiros composto de um painel de três peritos independentes. Para simplificar a comparação das alternativas, o Potencial de Aquecimento Global (PAG), ou pegada carbónica, foi escolhido como único indicador ambiental, mas uma comparação mais detalhada deve considerar vários indicadores ambientais. A conclusão do cenário de base é que o PAG da solução de aço é inferior ao da parede moldada, a diferença sendo de 44 %.

A ACV considera todas as fases da vida da estrutura (módulos A - D), incluído a reciclagem do aço. Utilizaram DAPs conforme às normas ISO e europeias (EN 15804 2019) disponíveis ao público em 2020, e publicadas pelo mesmo operador de programa alemão *IBU e. V.* (ArcelorMittal Commercial RPS 2018, ArcelorMittal Europe 2016, InformationsZentrum Beton GmbH 2018).

A extensão da ACV feita em 2022 integra novos dados ambientais dos perfis em aço. A principal diferença é a utilização de estacas-prancha *EcoSheetPile™ Plus* (ArcelorMittal Europe 2021) e vergalhões de aço *XCarb®* (ArcelorMittal Projects 2022). **O aço destes novos produtos é produzido num FAE com 100 % de eletricidade renovável e quase 100 % de sucata.** Outra alteração é a utilização de uma DAP do operador do programa neerlandês *MRPI* (ArcelorMittal Projects 2022) em vez de *IBU*, que cobre o grau de aço S 460 GP das *EcoSheetPile Plus*.

O cenário de base mostra uma menor pegada carbónica dos Módulos A1-A3 da cortina de estacas-prancha *EcoSheetPile Plus*, sendo a diferença de 32 % em comparação com as estacas-prancha de aço *EcoSheetPile* (ver Figura 2). A utilização de varões *XCarb®* reduz a pegada carbónica da parede diafragma, sendo a diferença de 37 %. A conclusão principal é que **a eletricidade renovável nos elementos de aço diminui o PAG de mais de 30 %, e que a diferença entre a solução de estacas-prancha e a solução de parede moldada é de 69 %.** De notar que a nova versão da ACV ainda não foi objeto de revisão por terceiros.

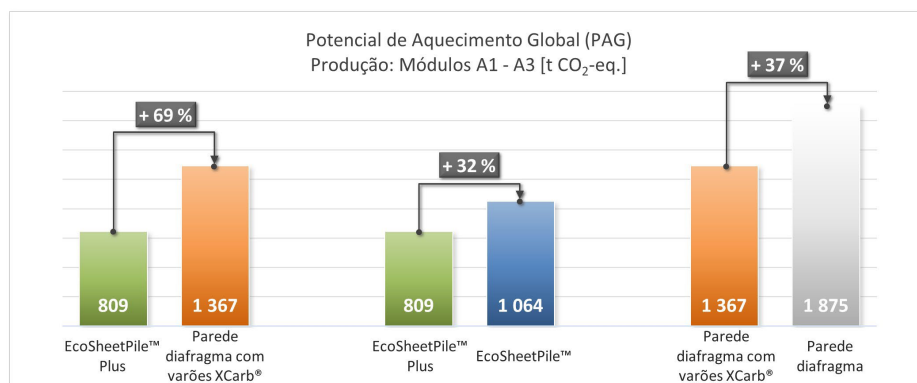


Figura 2. Comparação do Potencial de Aquecimento Global (PAG) das alternativas.

Também é importante examinar a influência do ciclo de vida (Módulos A - D) em comparação com a fase de produção (Módulos A1-A3). De um modo geral, o Módulo D (benefícios e cargas para além dos limites do sistema) para o aço FAE resulta num valor positivo e por isso, ignorar o Módulo D oculta o impacte ambiental real de um produto.

### Redução Da Utilização De Recursos Naturais – Otimização Da Conceção

Muros cais com dois ou mais níveis de ancoragem, em que pelo menos um está debaixo do nível da água do mar, resultam numa redução substancial do consumo de recursos naturais. A vantagem principal é a redução dos momentos fletores e do comprimento das estacas-prancha, permitindo a utilização de estacas-prancha mais leves e mais curtas. Este conceito caiu em desuso porque o procedimento de instalação dos tirantes é mais complexo e mais arriscado. O terminal de cruzeiros no porto de Ronne, Dinamarca (2019) é uma das exceções.

A otimização de um projeto também necessita uma análise geotécnica do subsolo completa que permite dimensionar várias secções transversais para ajustar a solução (os perfis de aço e os seus comprimentos) às propriedades variáveis do solo ao longo da estrutura do cais.

### Extensão do Cais do Sul – Porto de Huelva, Espanha

O desafio principal da obra foi de planear um muro cais com um desnível de 23 m sem remover a capa de solos moles (Iodos e areias) sobrejacente a sucessivas camadas de areias e cascalhos. A solução, que ademais possui o menor impacte ambiental, consistiu em cravar uma parede combinada HZ-M/AZ ancorada a uma cortina de estacas-prancha (ver Figura 3).

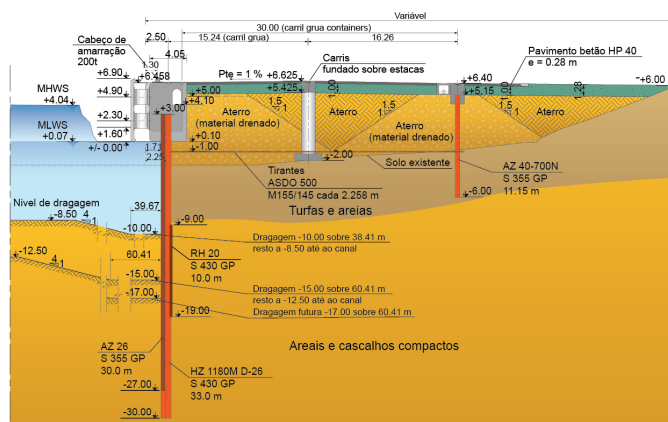


Figura 3. Corte típico “1” do muro cais – Cais do Sul, Porto de Huelva, Espanha (2021).

## Conclusões

A Avaliação do Ciclo de Vida do caso de estudo de um muro cais num porto belga comprova que actualmente, já é possível reduzir a pegada carbónica utilizando produtos de construção com um menor impacte ambiental, por exemplo utilizando aço produzido a partir de sucata num forno de arco eléctrico com eletricidade 100 % renovável. No cenário de base, a **solução de estacas-prancha tem uma pegada carbónica mais baixa, sendo a diferença com uma parede moldada de 69 %**. Esta conclusão não pode ser simplesmente transposta para outras estruturas ou para outros países devido à influência de parâmetros locais como as condições do solo, etc.

As autoridades públicas e os investidores privados terão de desempenhar um papel importante na concretização da descarbonização do setor da construção. Devem desenvolver métodos de avaliação e procedimentos de concurso que recompensem soluções técnicas mais respeitadoras do ambiente. O método neerlandês baseado na **monetização** de vários indicadores ambientais, em combinação com um **bónus ambiental** para as propostas mais ecológicas, pode servir de modelo para outros países.

## Referências Bibliográficas

- ArcelorMittal R&D (2019). “Comparative study of Steel Sheet Pile and Concrete Slurry wall in quay infrastructure application – Life Cycle Assessment methodological report”. ArcelorMittal.
- ArcelorMittal Commercial RPS (2018). “EPD. EcoSheetPiles™”. IBU e.V.
- ArcelorMittal Europe (2016). “EPD. Reinforcing steel in bars”. IBU e.V.
- ArcelorMittal Europe (2021). “EPD. XCarb® Recycled and renewably produced reinforcing steel in bars”. IBU e.V.
- ArcelorMittal Projects (2022). “EPD. EcoSheetPile™ Plus”. Stichting MRPI.
- EN 10248-1 (2023). “Hot-rolled steel sheet piles. Part 1: Technical delivery conditions”. CEN.
- EN 15804: 2012+A2 (2019). “Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products”. CEN
- InformationsZentrum Beton GmbH (2018). “EPD. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 35/45”. IBU e.V.
- Nationale Milieu Database (2022). [Online]. Disponível: <https://milieudatabase.nl>. [Consultado: maio 2023].
- Nationale Milieu Database (2022). “Environmental Performance Assessment - Method for Construction Works. Calculation method to determine environmental performance of construction works throughout their service life, based on EN 15804”. Stichting Nationale Milieu Database, NL.
- Stichting MRPI (2022). [Online]. Disponível: <https://www.mrpi.nl>. [Consultado: maio 2023].