

32^a

**SEMANA DE
TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA**

**MADEIRA ENGENHEIRADA
EM ESTAÇÕES: INOVAÇÃO EM
CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL DE
BAIXO CARBONO**

Arq. Nicolás Cavalcante Doi

Infraestrutura cria cadeias produtivas

Base do estudo: revisão bibliográfica • análise normativa • levantamento institucional • precedentes

Ciclo de consolidação



Viaduto do Chá, São Paulo. Fonte: Arquivo Arq. Fotografia: Dmitri Kessel / LIFE

Técnica vira representação pública

Ciclo de consolidação



Catedral de Brasília. Fonte: Favero e Aguiar (2020), Vitruvius. Foto divulgação: Revista Brasília..

O metrô consolida arquitetura pública

Ciclo de consolidação



Estação Sé, São Paulo. Fonte: Metrô de São Paulo, [s.d.].

Sustentabilidade redefine a infraestrutura



Sustentabilidade já faz parte do discurso do setor

13 / 14



compromissos explícitos
com sustentabilidade

8 / 14



inovação explicitamente
incorporada



Institucional



Operacional



Construtivo

O desafio ambiental está nos materiais

IPCC, 2019



Emissões globais de GEEs



Emissões globais de CO₂

UNEP 2023



Emissões globais de CO₂



Demanda global de energia

WorldGBC



Emissões globais de CO₂
Cimento

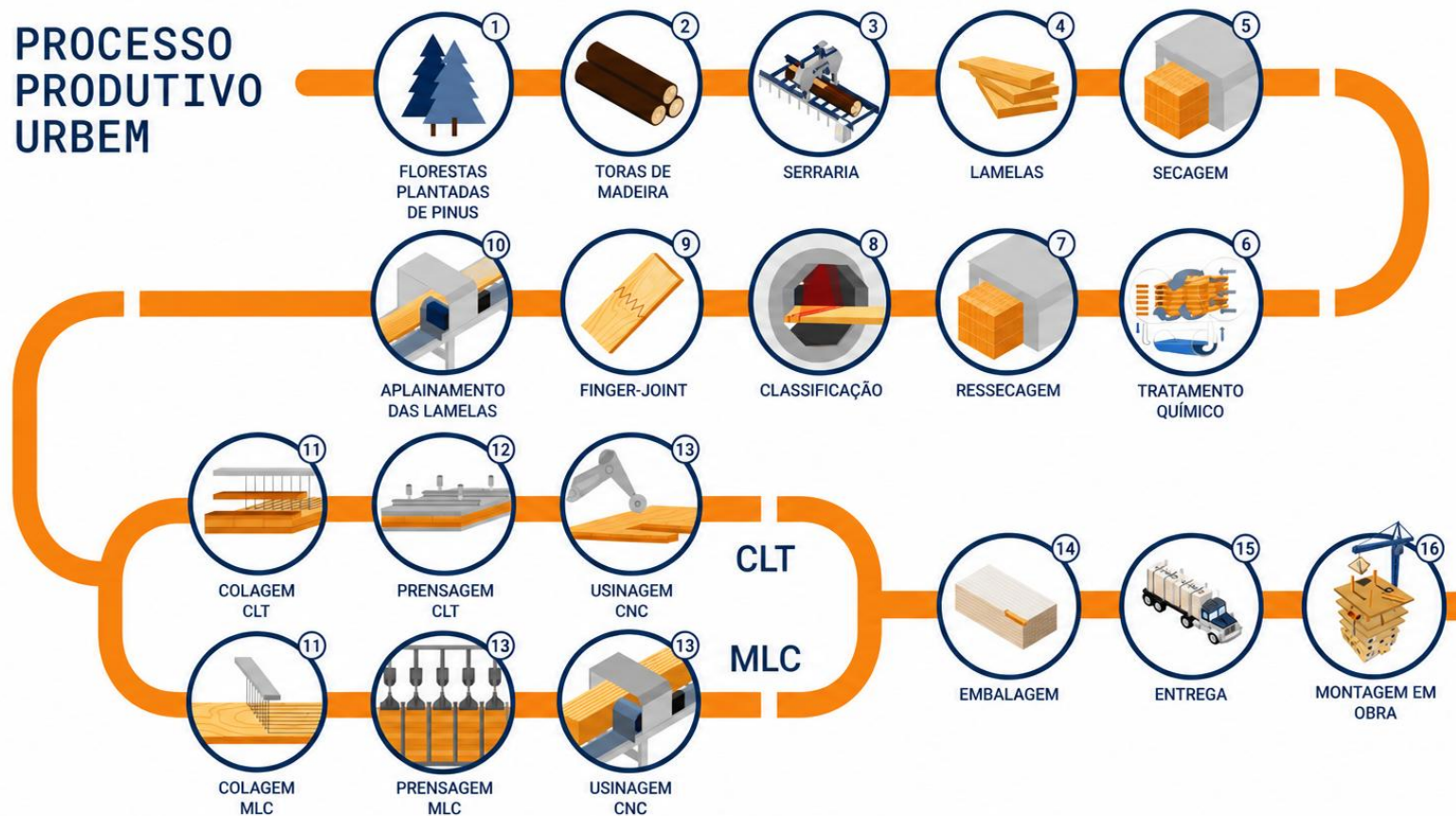


Emissões globais de CO₂
Aço

Leitura do artigo: a discussão ambiental deixa de ser apenas operacional e passa a alcançar materiais, sistemas construtivos e carbono incorporado.

Madeira engenheirada é produto industrializado

MLC e CLT resultam de um processo controlado: classificação, secagem, colagem, prensagem e usinagem.



Fonte: elaborado pelo autor, adaptado de URBEM (2024).

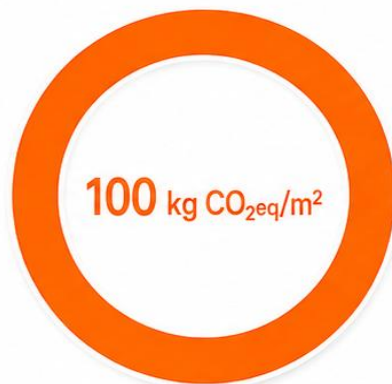
Potencial ambiental precisa ser medido

Gustavsson 2000
apud Chiletto, 2021



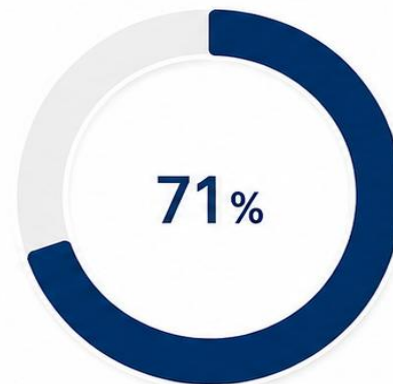
Armazenamento aproximado
de CO₂ na madeira

Swedish Wood, 2019



Redução em estudo específico
frente ao concreto armado

Robertson et al., 2012
apud Puettmann et al., 2019



Menor potencial de
aquecimento global

Ayanleye, 2023



Consumo energético relativo:
concreto / aço x madeira

Valores de estudos específicos; resultados variam conforme solução, fronteira de avaliação, transporte, durabilidade e fim de vida.

Fogo e estrutura

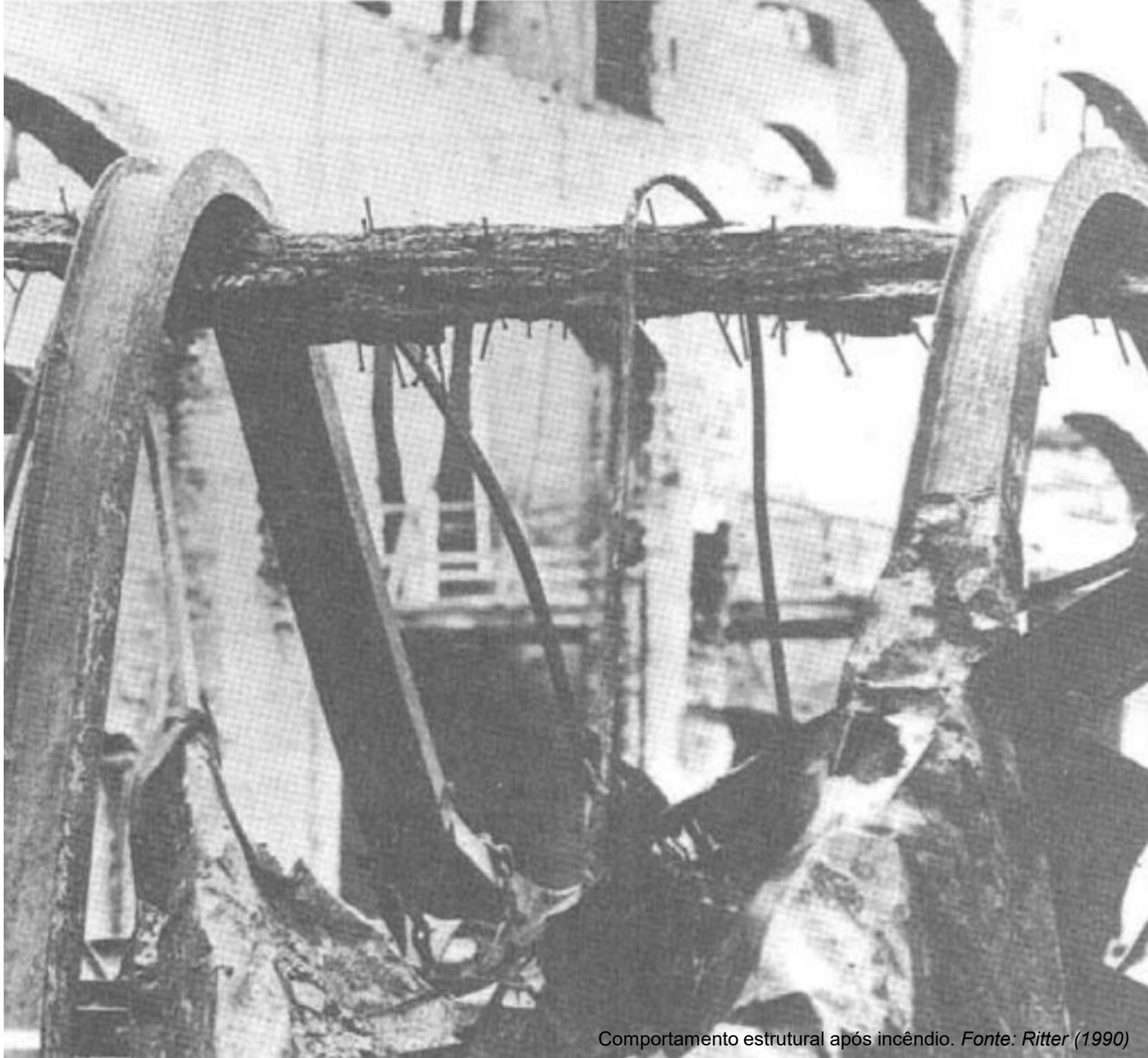
COMBUSTIBILIDADE

≠

COLAPSO IMEDIATO

ABNT NBR 7190:2022

IT 08/2025 — CBPMESP



Comportamento estrutural após incêndio. Fonte: Ritter (1990)

Seção residual: dimensionamento ao fogo



$$e_{ef} = e_{carb,n} + k_0 e_0$$

EXEMPLO DO ARTIGO

TRRF = 120 min

e_{ef} = 91 mm por face exposta

$$\begin{aligned} e_0 &= 7\text{mm} & k_0 &= 1,0 \\ e_{carb,n} &= \beta_n t & \beta_n &= 0,7 \end{aligned}$$

O dimensionamento considera a camada carbonizada e preserva a seção estrutural residual.

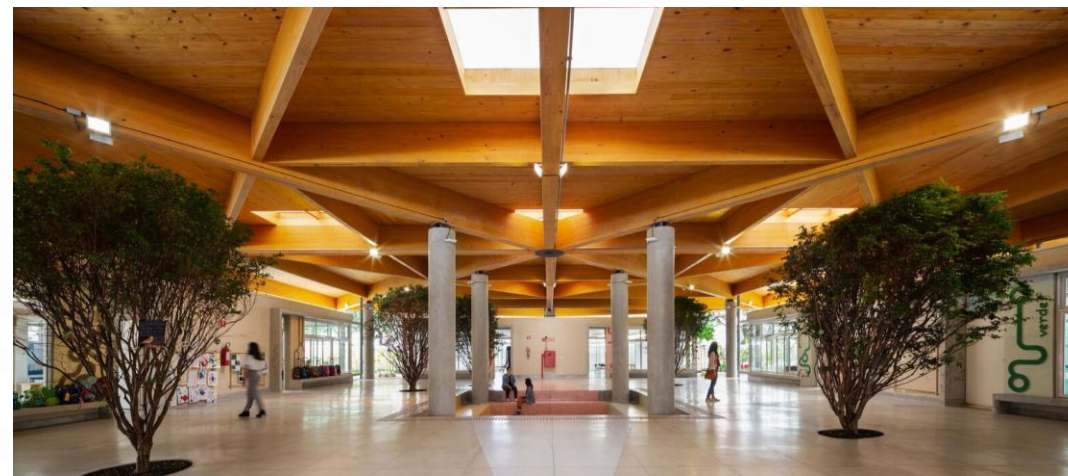
O Brasil já possui repertório construído



Fábrica Dengo MFMM | REWOOD



Moradias Infantis ROSENBAUM | ALEPH ZERO | ITA CONSTRUTORA



EMEI Cleide Rosa Auricchio CAROLINA PENNA | CROSSLAM



McDonald's Paraíso SUPERLIMÃO | URBEM

Cadeia nacional em múltiplos programas



Autódromo BAIRRU URBANISMO | REWOOD



Colégio Santa Cruz ANDRADE MORETTIN | CROSSLAM



CT RED BULL BASSI MARIN | ARENA EVENTS | CROSSLAM



Aeroporto de Ribeirão Preto BACCO | TECNO MADEIRA

Madeira em estações e terminais internacionais



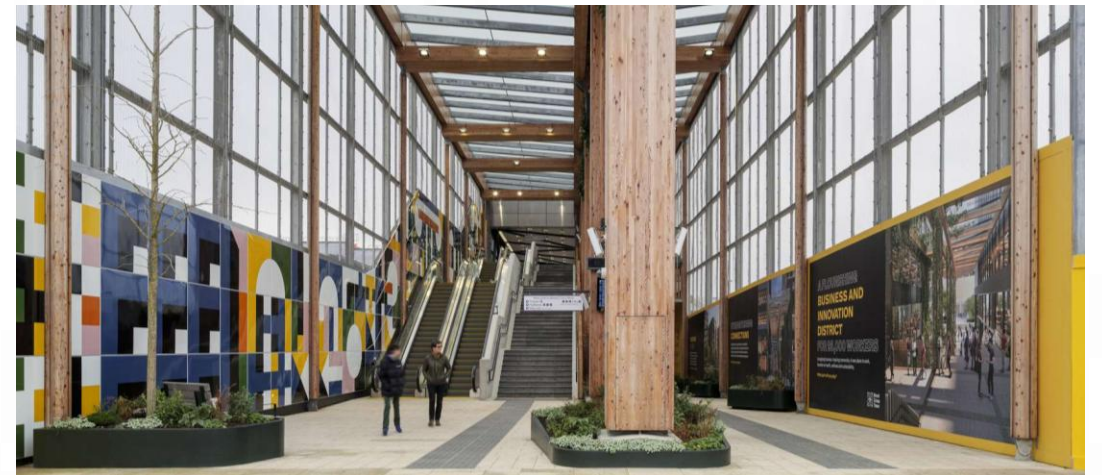
Assen Station POWERHOUSE CAMPONY | ZWARTE HOND



Ede-Wageningen Train Station MECANOO | ROYAL HASKONING DHV



SmartVMC Bus Terminal DIAMOND SCHMITT ARCHITECTS



Brent Cross West Station STUDIO EGRET WEST

Condições para projeto piloto

O projeto-piloto transforma compromissos, precedentes e base normativa em uma aplicação controlada.



Do potencial à evidência: seis etapas

Processo proposto para testar, medir e retroalimentar futuras decisões do setor.



Começar com risco controlável

1

CAPACITAR



projeto • operação • manutenção
orçamento • contratação • fiscalização

2

ESCOLHER UNIDADE CONSTRUTIVA



MAIOR POTENCIAL
INICIAL

acessos térreos

bicicletários

marquises e coberturas
abertas



POTENCIAL
CONDICIONADO

retrofits

passarelas cobertas

edifícios administrativos
e técnicos



NÃO ELEGÍVEL

túneis

estruturas subterrâneas

Critérios e metas desde o início

3

MATRIZ GO / NO-GO

Critérios mínimos para decisão sobre a continuidade do projeto-piloto.



Enquadramento normativo



Logística



Viabilidade ambiental preliminar



Fornecimento



GO – Atende ao critério



NO-GO – Não atende ao critério

4

METAS

Definição de metas e requisitos do projeto-piloto para avaliação de desempenho.



Viabilidade econômica



Redução de fundações



Redução de prazos



Origem da madeira e certificações



Método preservativo



Logística



Controle de qualidade



Desempenho ambiental



ESTE CONJUNTO DE METAS IRÁ ALIMENTAR:



Questões contratuais relacionadas à origem, fornecimento e qualidade da estrutura



Estabelecer os métodos de verificação nas fases de Monitoramento e avaliação pós-construção

Medir na obra e aprender na operação

5

MONITORAMENTO

Verificação do atingimento parcial das metas a partir da análise de evidências e documentações.



Projeto

custo, prazo, fundações

orçamentos, memoriais, cronograma, revisões



Fabricação

origem, preservação, umidade

certificados, ensaios, qualidade



Montagem

prazo, produtividade, segurança, interdições

cronograma, relatórios



Ambiental

cálculos de emissões de GEE, transporte, carbono armazenado, destinação dos resíduos

relatório final e comparação com metas

6

AVALIAÇÃO PÓS-CONSTRUÇÃO

Desempenho da solução após a entrega, uso e operação.



Desempenho e preservação da estrutura



Custos de manutenção



Qualidade espacial



Possibilidades de repetibilidade



Satisfação pública



RESULTADOS ESPERADOS

Retroalimentar futuras decisões de projeto-piloto
Consolidar aprendizado técnico e institucional

Conclusão

O setor metroferroviário tem, em sua essência,
inovação e responsabilidade ambiental.
Nesse contexto, a madeira engenheirada já dispõe de
base técnica e normativa para ser avaliada
em aplicações de superfície.

O plano-piloto proposto permite testar, medir e comprovar
esse desempenho na prática,
gerando conhecimento e segurança para decisões futuras.

**O setor metroferroviário pode também
ser referência em construção sustentável.**

32^a

SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA



OBRIGADO!

Arq. Nícolas Cavalcante Doi

nicolas.doi@mobility.sener

nicolasdoi.arq@gmail.com



13ª Edição
Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP **TRILHOS**
Associação Nacional dos Transportadores
de Passageiros sobre Trilhos

TIC **TRENS**

 **AEAMESP**
ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS E ARQUITETOS DE METRÔ