

Nº 179798

## Aplicação de agregados reciclados

Raphael Baldusco da Silva

*Palestra apresentada no  
FÓRUM DE  
SUSTENTABILIDADE DA  
SPOBRAS, 2., 2025, São  
Paulo. 35 slides.*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **PROIBIDO REPRODUÇÃO**



# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS

Unidade de Negócio – Habitação e Edificações (HE) Laboratório  
de Materiais para Produtos de Construção (LMPC)

Eng. MSc. Raphael Balduino

03.09.25

# QUEM SOU EU?

## Eng. Me. Raphael Baldusco

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Anhembi Morumbi (2012)

Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana (2018)

Trabalho há 13 anos Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)  
Atuo no **Laboratório de Materiais para Produtos de Construção (LMPC)** da Unidade de Negócios Habitação e Edificações (HE)

 raphaelbs@ipt.br

 (11) 3767-4253

 (11) 9 8192-8946



# O QUE SÃO AGREGADOS RECICLADOS?

É o resultado do processamento tecnológico de resíduos de concreto, argamassa, cerâmica e mistos da construção civil.

**1. Canteiro de Obras**  
Geração de resíduos da construção e demolição.



**2. Usina de Reciclagem**

Processamento e britagem dos entulhos.

**3. Novas Obras Urbanas**

Reutilização em infraestrutura sustentável.

Um verdadeiro **ciclo fechado** para a construção sustentável.





## DESAFIO E OPORTUNIDADE

# O que hoje é entulho pode ser sua matéria-prima.

Vocês sabiam que mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos no Brasil vêm da construção civil?

Enquanto outros países já aplicam mais de 80% desse material, **O QUE FALTA PARA CHEGARMOS NESSE PATAMAR?**



# CARACTERÍSTICAS QUE JÁ TEMOS!

- ✓ Base normativa e regulatória já consolidada
- ✓ Capacidade tecnológica instalada
- ✓ Experiências práticas bem sucedidas
- ✓ Apoio acadêmico e científico
- ✓ Demanda do setor da construção civil
- ✓ Integração com práticas de economia circular



# DO DESCARTE AO RECURSO



Em nossas usinas, os resíduos passam por processos de **triagem**, britagem e classificação, transformando-se em agregados prontos para uso.

Com a tecnologia correta é possível garantir uma granulometria e pureza necessárias para diversas aplicações.

**Menos aterros, mais valor!**

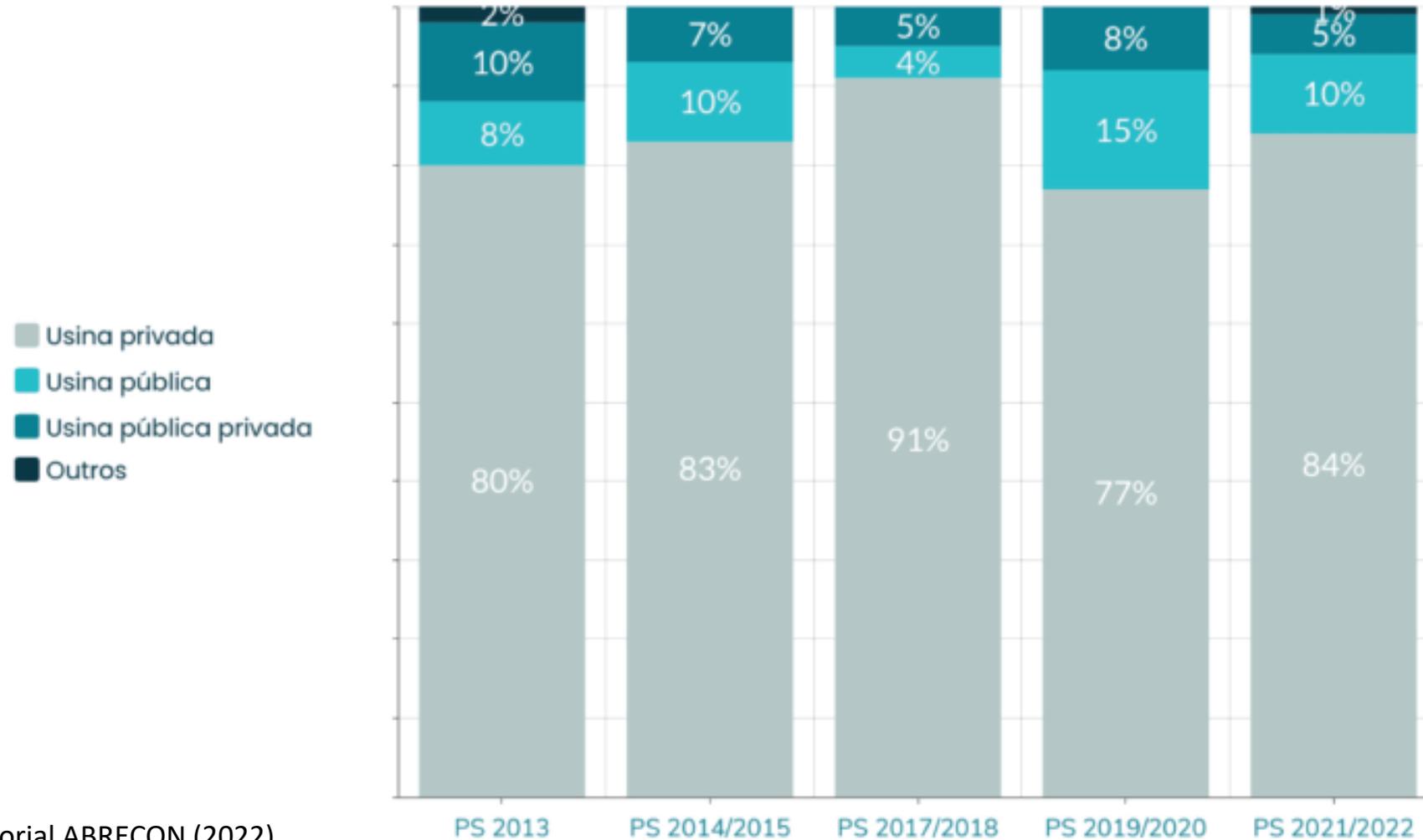
# CRESCIMENTO DAS USINAS DE RECICLAGEM



Fonte: Pesquisa Setorial ABRECON (2022)



# CARACTERÍSTICAS DAS USINAS DE RECICLAGEM



Fonte: Pesquisa Setorial ABRECON (2022)



# APLICAÇÕES PRÁTICAS DE AGREGADOS RECICLADOS EM INFRAESTRUTURA URBANA

Pavimentação Argamassas

Concretos não estruturais

Obras geotécnicas e de saneamento

Concretos estruturais



<https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/1150>



# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM PAVIMENTAÇÃO

- <https://www.livrosabertos.bcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/1150>



## Flexíveis



Revestimento

Base e revestimento

Sub-base

Reforço do subleito

## Rígidos



Base e revestimento

Sub-base

Reforço do subleito

## Semi-rígidos



Revestimento

Base cimentada

Sub-base granular

Reforço do subleito



# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM PAVIMENTAÇÃO

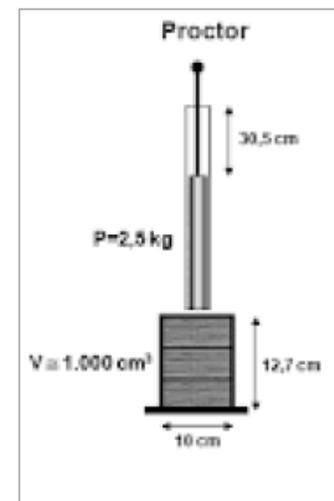
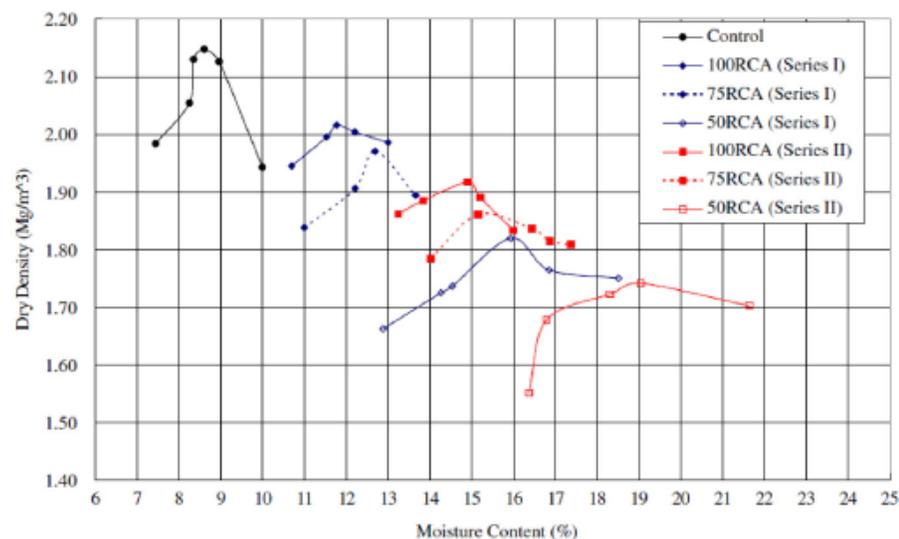
## REVESTIMENTOS PRIMÁRIOS DE VIAS / ACESSOS PROVISÓRIOS



# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM PAVIMENTAÇÃO

## REVESTIMENTOS PRIMÁRIOS DE VIAS / ACESSOS PROVISÓRIOS

Propriedade	Limite	Norma
Índice de Suporte Califórnia (CBR) <sup>2</sup>	≥ 20 %	NBR 9895: 2016 [31]
Expansibilidade <sup>2</sup>	≤ 1,0 %	NBR 9895: 2016 [31]
Energia de compactação <sup>3</sup>	Normal	NBR 7182: 2016 [32]
Espessura mínima de camada compactada <sup>4</sup>	8 cm	
Espessura máxima de camada compactada <sup>5</sup>	20 cm	
Umidade de compactação do material <sup>1</sup>	umidade ótima ± 1,5 %	
Grau de compactação G.C	no mínimo 100%	



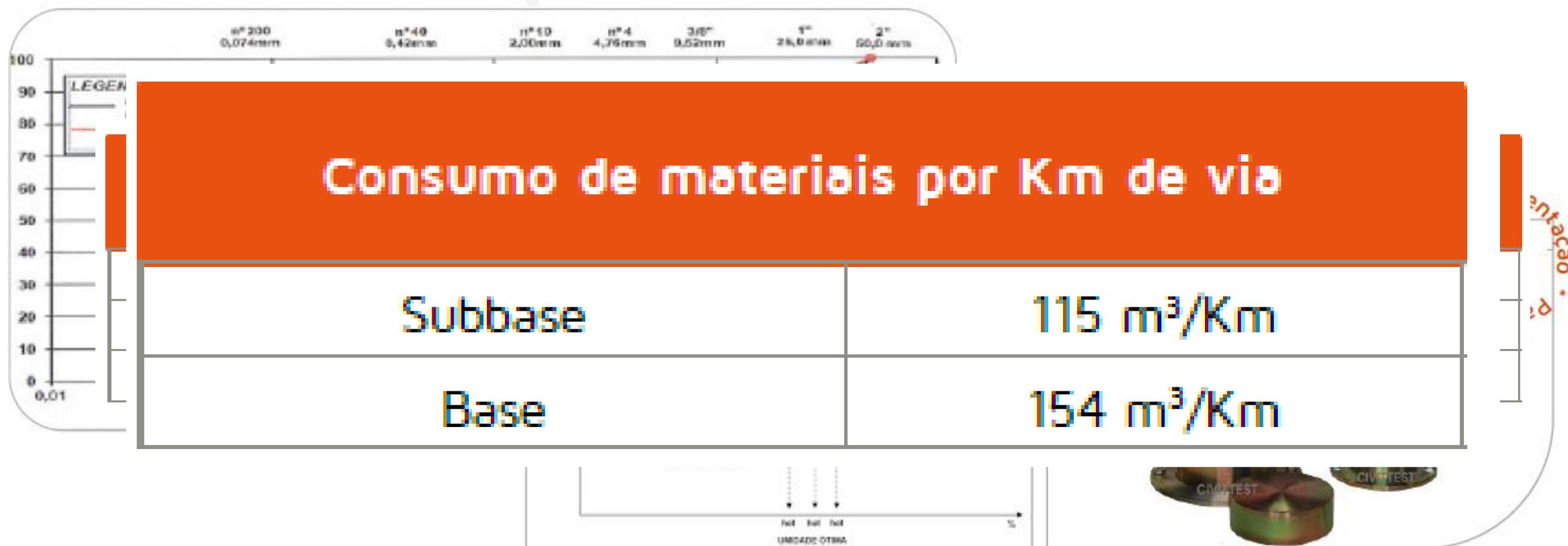
# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM PAVIMENTAÇÃO

REFORÇO DE SUBLEITO (RS), SUB-BASES (SB) E BASES (BA)



# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM PAVIMENTAÇÃO

## REFORÇO DE SUBLEITO (RS), SUB-BASES (SB) E BASES (BA)



# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM PAVIMENTAÇÃO

## BASES TRATADAS COM CIMENTO E CAL (BT)



Requisitos para bases tratadas		
Resistência à compressão aos 7 dias	Entre 3,5 e 8,0 MPa	NBR 11803 (BGTC)
	> 2,1 MPa	NBR 12254 (Solo cimento)



# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM ARGAMASSAS

## CONTRAPISO (CP)



Propriedade	Parâmetros	
Espessura mínima	$\geq 2\text{cm}$	
Impacto a bola (1)	$\leq 26 \pm 3\text{ mm}$	
Resistência de aderência aos 7 dias ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) (1)	À base	0.3
	Superficial	0.7
Resistência de aderência aos 14 dias ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) (1)	À base	0.5
	Superficial	1.0

# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM ARGAMASSAS

## CONTRAPISO (CP)

Consumo de argamassa  
Referência: mercado  
Alternativamente pode ser a de SINAPI [125]

0,030 / m<sup>2</sup> piso

TRAÇO EM VOLUME  
1: 2: 2,5 (CIMENTO: AREIA NAT SECA: AREIA RECICLADA SECA)

Consumo dos materiais  
por m<sup>3</sup> de concreto

Cimento (kg)	318
Areia média reciclada natural (kg)	955
Areia média reciclada (kg)	955
Consumo de água - pré-saturação da areia reciclada (kg)	47 (p/ ARCO e ARCI) 80 (p/ ARMI)
Água efetiva (kg)	159

Resistência de aderência aos 14 dias (N/mm<sup>2</sup>) (1)

Superficial

1,0

# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM ARGAMASSAS

## ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO (AA)

Consumo de argamassa  
Referência: mercado  
Alternativamente use a de SINAPI [125]

0,030 / m<sup>2</sup> piso

TRAÇO EM VOLUME – SINAPI adaptado  
1: 1: 3: 3,8 (CIMENTO: CAL: AREIA FINA SECA: AREIA  
FINA RECICLADA SECA)

Consumo dos materiais  
por m<sup>3</sup> de concreto

Cimento (kg)	186
Cal CH-I (kg)	93
Areia média natural (kg)	838
Areia média reciclada (kg)	838
Consumo de água – pré-saturação da areia reciclada (kg)	40 (p/ ARCO e ARCI) 62 (p/ ARMI)
Água efetiva (kg)	159

Espessura de junta de assentamento

1 ≤ e ≤ 2 cm

# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM ARGAMASSAS

## REVESTIMENTO DE ARGAMASSA (RA)

Argamassa

Consumo de argamassa Referência: mercado ou alternativamente usar a de SINAPI - cod 87287		0,130 / m <sup>2</sup> de área construída
TRAÇO EM VOLUME – SINAPI adaptado 1: 1: 3: 3,8 (CIMENTO: CAL: AREIA FINA SECA: AREIA FINA RECICLADA SECA)		Consumo dos materiais por m <sup>3</sup> de concreto
Cimento (kg)		186
Cal CH-I (kg)		93
Areia média natural (kg)		838
Areia média reciclada (kg)		838
Consumo de água – pré-saturação da areia reciclada (kg)		40 (p/ ARCO e ARCI) 62 (p/ ARMI)
Água efetiva (kg)		159
Teor de ar incorporado (%)	b	≥ 8 e ≤ 18
	c	> 18
		NBR 13278



# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS

## BLOCOS DE VEDAÇÃO (BV)



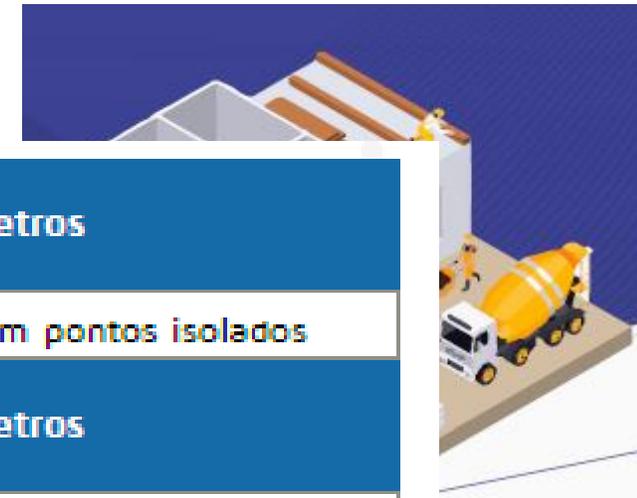
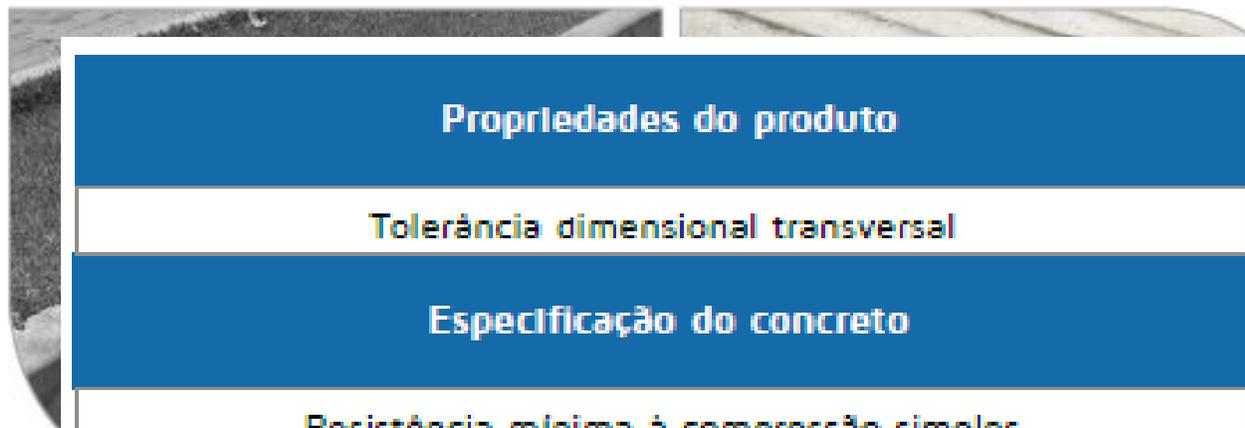
Propriedades de controle <sup>11</sup>	Valores limites
Resistência mínima à compressão	Classe C $\geq$ 3 MPa
Padrão modular mais usado, mas existem variantes	14 x 19 x 39 mm
Tolerâncias dimensionais	Largura: $\pm$ 2 mm Altura $\pm$ 3 mm Comprimento $\pm$ 3 mm
Absorção de água	Média $\leq$ 13% individual $\leq$ 16%
Retração	$\leq$ 0,065%



não estrutur

# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS

## GUIAS E CANALETAS (GC)



Propriedades do produto	Parâmetros
Tolerância dimensional transversal	10% no total; 1% em pontos isolados
Especificação do concreto	Parâmetros
Resistência mínima à compressão simples (não armado) (armado)	15 MPa 20 MPa (*)
Fator água/cimento (NBR 6118: 2014 [56]) (*)	$\leq 0,65$
Consumo de Cimento (NBR12655: 2015 [57]) (*)	$\geq 260 \text{ kg/m}^3$

(\*) Valores exigidos para concretos estruturais (armados), classe 20 MPa. Usar somente ARCO.

# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS

CAIXAS DE PASSAGEM OU INSPEÇÃO (CI)



RUFOS DE CONCRETO (RU)



# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM CONCRETOS NÃO ESTRUTURAIS

## MOBILIÁRIO URBANOS (MU)

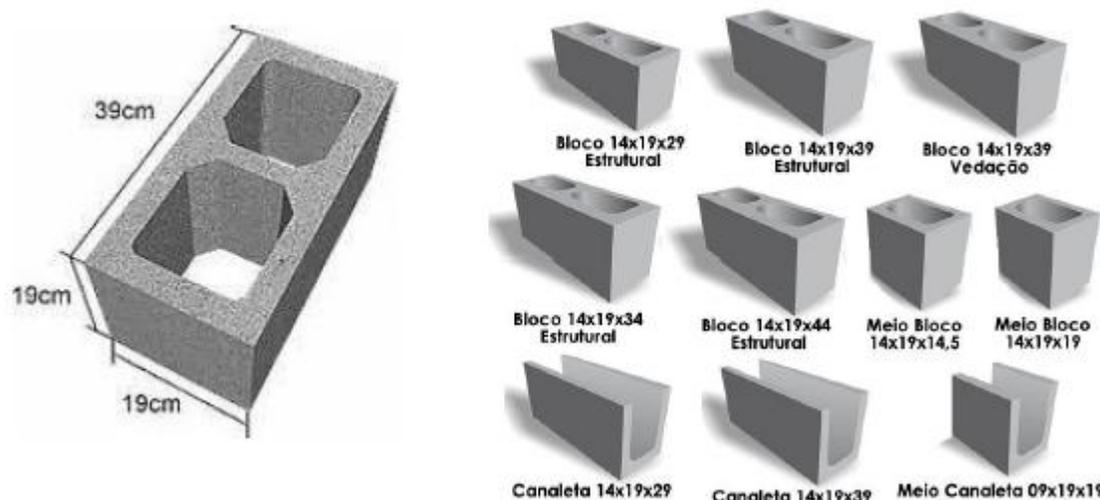


# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM CONCRETOS ESTRUTURAIS

- ✓ NBR 15.116/2021
- ✓ ARCO é o único tipo de AR aceito para uso no concreto estrutural
- ✓ Limitado a 20% de teor de substituição do AN graúdos



## BLOCO ESTRUTURAL DE CONCRETO

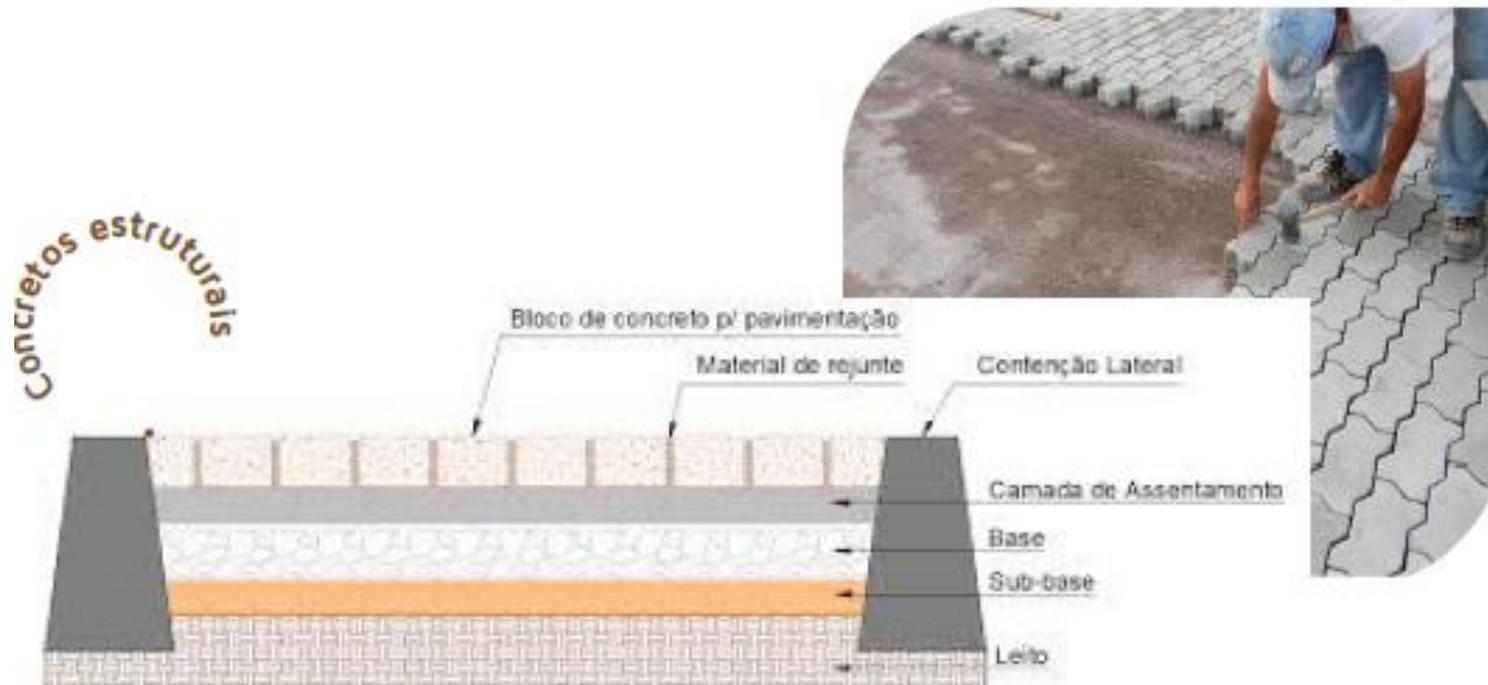


Propriedades de controle	Valores Limites
Classe de resistência à compressão, valor característico	Classe A: entre 4 e 8 MPa Classe B $\geq$ 8MPa
Tolerâncias dimensionais	Largura: $\pm$ 2 mm Altura $\pm$ 3 mm Comprimento $\pm$ 3 mm
Absorção de água	Média $\leq$ 13% Individual $\leq$ 16%
Retração	$\leq$ 0,065%



# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM CONCRETOS ESTRUTURAIS

## PISO INTERTRAVADO



## OUTROS TIPOS:

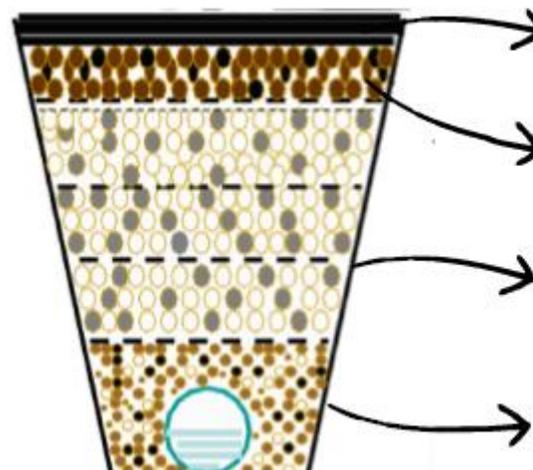
- TELHAS DE CONCRETO
- PISOS E PLACAS PRÉ MOLDADAS
- PAVIMENTO DE CONCRETO
- PAVIMENTO PERMEÁVEL
- CONCREGRAMA
- GRELHA PERFURADA
- MOURÕES DE CONCRETO
- VERGAS E CONTRAVERGAS
- GUARDA-CORPO
- E OUTROS....

# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM OBRAS GEOTÉCNICAS E DE SANEAMENTO

## ELEVAÇÃO DE GREIDE (COTA)



## ATERRO E REATERRO DE VALAS

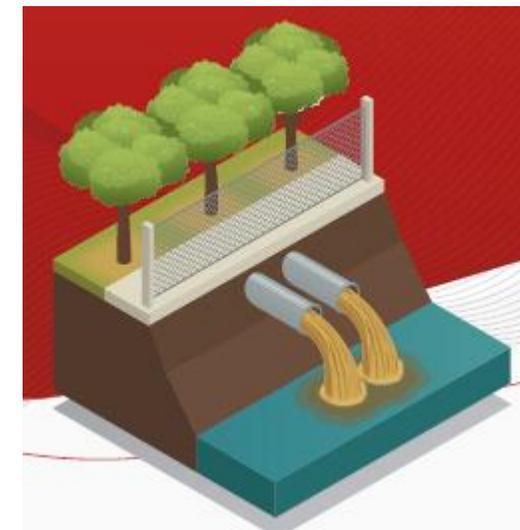


CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), traço C do DER SP, espessura de 3 cm para ruas e 5 cm para avenidas.

Base com espessura de 15 cm, realizada com bica corrida do RCD + 6% cimento em massa, adicionar água se necessário e compactar com compactador "sapo" mecânico até 95% da EC Intermediarê, conf. NBR 7182.

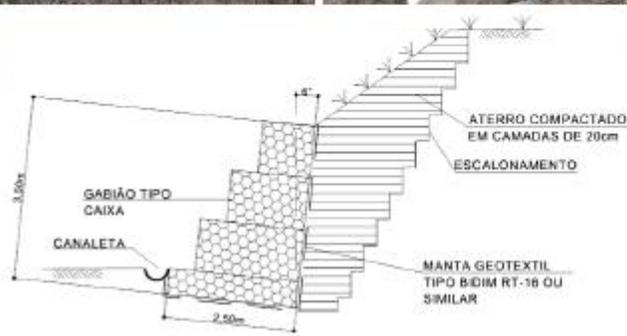
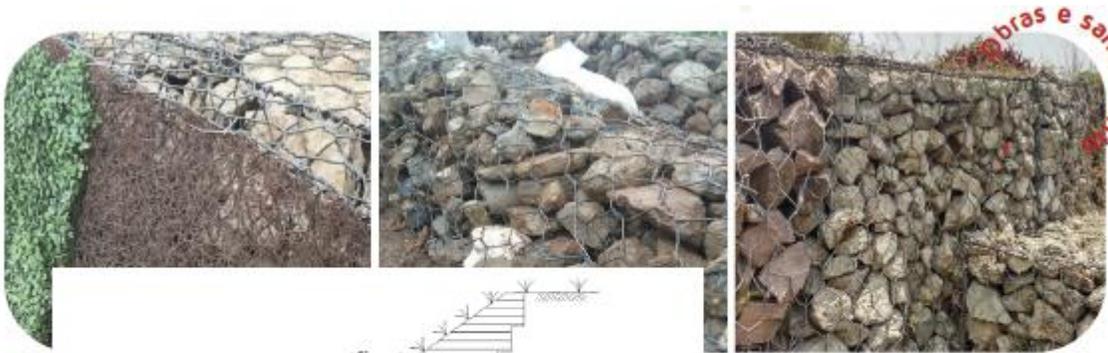
Reaterro da vala com agregado graúdo bica corrida do RCD, realizado em camadas de 20 em 20 cm, compactadas com o compactador mecânico tipo "sapo" até 95% da EC Normal, conf. NBR 7182.

Camada de proteção do tubo, realizada com agregado miúdo, diâmetro menor que 5 mm, de areia reciclado do RCD, compactada com cuidado, com o soquete manual e água.

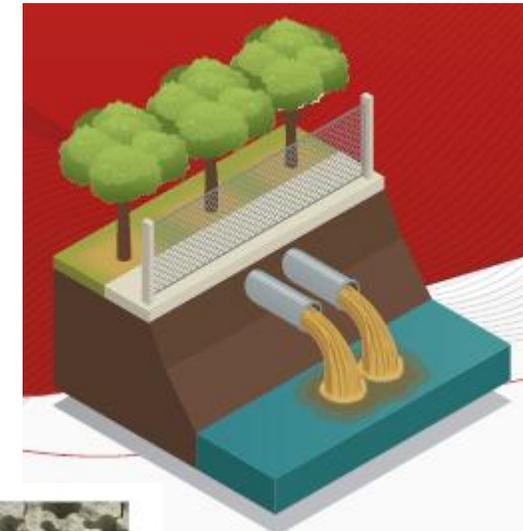


# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM OBRAS GEOTÉCNICAS E DE SANEAMENTO

## ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO (GABIÃO)



## MUROS DE ARRIMO COM BLOCOS DE CONCRETO



# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS COMO CIMENTO RECICLADO



## CENÁRIO:

- São geradas e descartadas 50 mil toneladas anuais de cacos cerâmicos pelas centenas de olarias paulistas, que representa 5% de 32 milhões de toneladas de cerâmica vermelha produzida no ESP (ou  $\frac{1}{4}$  da produção nacional de 130 milhões de toneladas).

## SOLUÇÕES POTENCIAIS DO PROJETO

- **OBTENÇÃO** de pozolana para adição ao cimento Portland (portanto, **menos emissões de CO<sub>2</sub> devido a descarbonatação de calcário para produção de cimento Portland**).
- **REAPROVEITAMENTO** dos cacos no próprio processo de produção de novos artefatos.
- **PROJETAR** centrais de cacos conceituais para os Polos Ceramistas do ESP.

# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS COMO CIMENTO RECICLADO



## PRODUÇÃO DA POZOLANA

- Britagem e moagem do resíduo de cerâmica vermelha até totalmente passante na peneira com abertura de 0,075 mm (# 200).
- Determinação das propriedades químicas, físicas e mineralógicas da pozolana.



## PRODUÇÃO DE CIMENTO

- Produção de cimento utilizando a pozolana produzida em laboratório: cimento composto com pozolana (CPII Z); e cimento pozolânico (CPIV).
- Determinação das propriedades químicas, físicas e mecânicas dos cimentos.



## PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

- Produção de 5 famílias de blocos de vedação, sendo 1 de referência (apenas com CPV ARI) e 4 com adição de pozolana (obtida a partir de cada amostra coletada nas cerâmicas visitadas).
- Análise dimensional e determinação das propriedades físicas e mecânicas dos blocos de vedação produzidos.

# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS COMO CIMENTO RECICLADO

**Objetivo:** Produção de cimento a partir da britagem e tratamento térmico dos finos de RCD



Fonte: acervo IPT



# APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS COMO CIMENTO RECICLADO



PATENTE: WO2015081402A1



Rua Miguel Biondi – Guarulhos/SP

Fonte: acervo IPT

ipt

SÃO PAULO GOVERNO DO ESTADO

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O que falta para avançarmos ainda mais na aplicação dos agregados reciclados na infraestrutura urbana?
- Será que é a fiscalização?
- Será que falta divulgação?
- Será que falta treinamentos técnicos para os pedreiros, construtores e etc para uso desse material (para aumentar a confiança de uso deste material)?
- **Políticas públicas é algo contínuo que sempre devemos buscar...**



# CONSIDERAÇÕES FINAIS

O que hoje é entulho  
pode se tornar a marca  
da cidade inteligente e  
sustentável que  
queremos para o  
futuro!!!



# REFERÊNCIAS

→ Pesquisa Setorial ABRECON 2022 – <https://abrecon.org.br/>

→ Manual de aplicação do agregado reciclado – MARE -

<https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/1150>



# OBRIGADO!

**Raphael Baldusco**

Laboratório de Materiais para Produtos de Construção

Unidade de Habitação e Edificações

raphaelbs@ipt.br

