



**Seminário Internacional Resíduos da Construção Civil**  
Um recurso a explorar na Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Ceará

# **Utilização e limitações no uso de agregados reciclados de RCC em pavimentos intertravados**

**Prof. Antonio Eduardo B. Cabral**  
**(DEECC / GPMATE / UFC)**

# Introdução

---

- Histórico do Pavimento Intertravado

Os pavimentos intertravados têm sua origem nos pavimentos revestidos com pedras, executados na Mesopotâmia há quase 5.000 anos a.C. e muito utilizados pelos romanos desde 2.000 a.C.

Este tipo de pavimento evoluiu, primeiro, para o uso de **pedras talhadas**, resultando em pavimentos conhecidos como **paralelepípedos**. As dificuldades da produção artesanal dessas pedras e a falta de conforto de rolamento impulsionaram o desenvolvimento das peças de concreto pré-fabricadas.



# Introdução

---

- Histórico do Pavimento Intertravado

Após a Segunda Guerra Mundial, as peças de concreto pré-fabricadas passaram a ser produzidas em fábricas maiores e com grande produção na Alemanha, tomando grande impulso na década de 70, quando chegaram ao Brasil.



## Definições

---

- Peça de concreto

É o componente pré-moldado de concreto utilizado como material de revestimento.



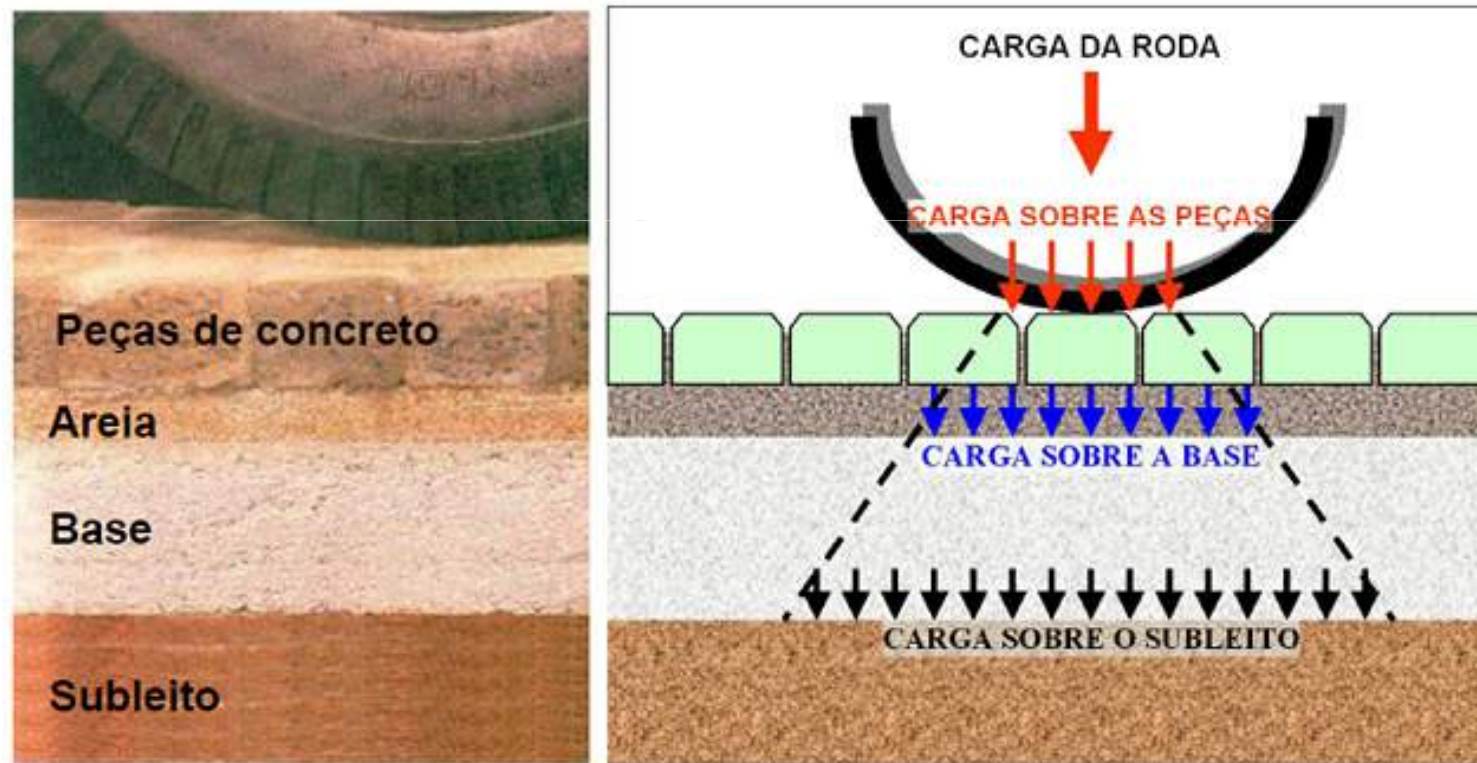
- Pavimento intertravado

Pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justaposta sem uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção.



## Definições

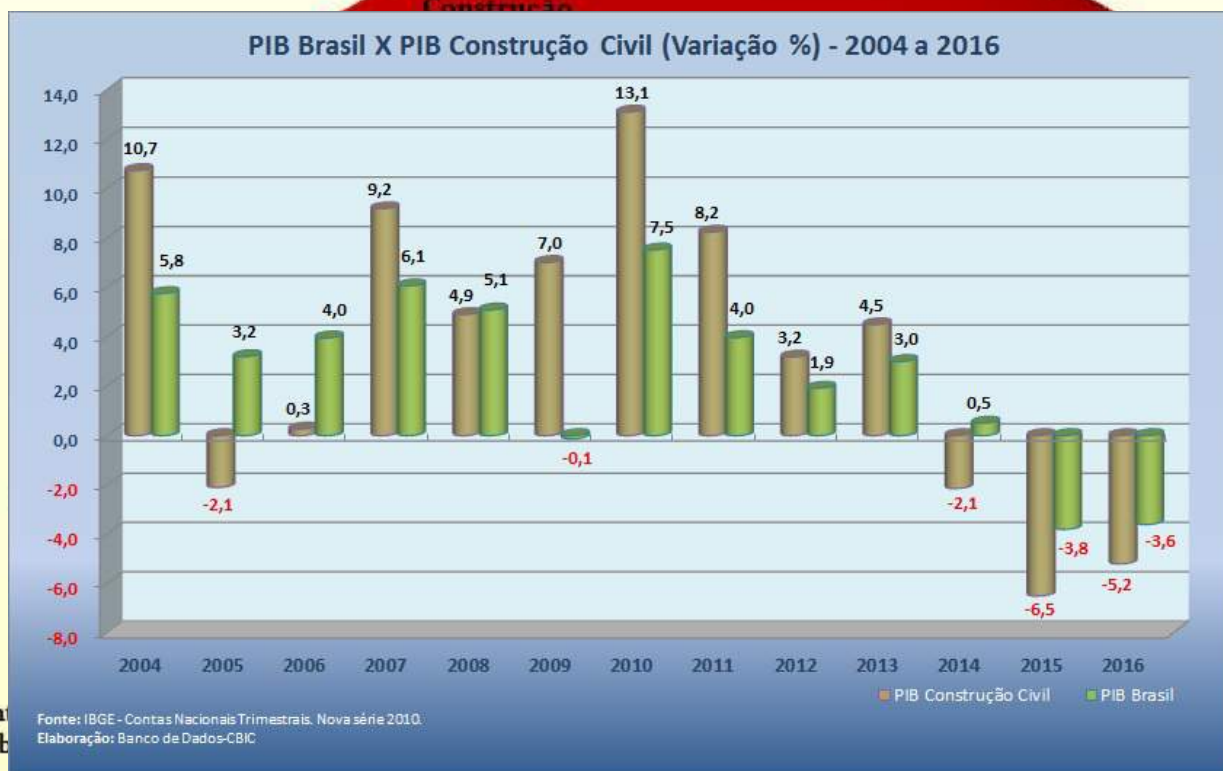
Para que se consiga o intertravamento, duas condições são necessárias e indispensáveis: contenção lateral e junta preenchida, usualmente com areia.



# Resíduos da Construção Civil

- Indústria da Construção Civil

## COMPOSIÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DA CONSTRUÇÃO POR PARTICIPAÇÃO (%) NO PIB TOTAL DA CADEIA



riais

mércio de materiais  
8,0%

T e FGV Projetos.

# Resíduos da Construção Civil

---

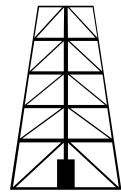
- Indústria da Construção Civil

## CONSUMO ANUAL DE INSUMOS NO MUNDO



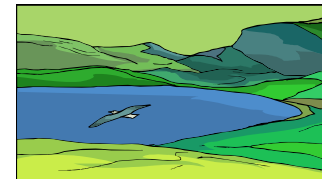
**40% da pedra extraída**

**25% da madeira virgem**



**40% do total de energia**

**16% de água**



# Resíduos da Construção Civil

- Geração de RCD

Município	RCD (t/dia)	RCD/RSU	População (ano)	Taxa de geração (t/hab.ano)
Jundiaí/SP <sup>(a)</sup>	712	62%	293.373 (96)	0,89
São José dos Campos/SP <sup>(a)</sup>	733	67%	486.467 (95)	0,55
Ribeirão Preto/SP <sup>(a)</sup>	1.043	70%	456.252 (95)	0,83
São José do Rio Preto/SP <sup>(a)</sup>	687	58%	323.627 (96)	0,77
Santo André/SP <sup>(a)</sup>	1.013	54%	625.564 (96)	0,59
Vitória da Conquista/BA <sup>(a)</sup>	310	n.d.	242.155 (98)	0,47
São Carlos/SP <sup>(b)</sup>	381	n.d.	197.187 (01)	0,70
Salvador/BA <sup>(c)</sup>	2.746	50%	2.556.429 (03)	0,39
Feira de Santana/BA <sup>(c)</sup>	276	50%	481.000 (n.d.)	0,21
São Paulo/SP <sup>(d)</sup>	5.260	34%	10.405.867 (00)	0,18
Blumenau/SC <sup>(e)</sup>	331,51	n.d.	271.730 (02)	0,45
Belo Horizonte/MG <sup>(f)</sup>	1.200	51%	2.010.000 (n.d.)	0,22
Florianópolis <sup>(g)</sup>	636,12	n.d.	285.281 (00)	0,81
Maceió/AL <sup>(h)</sup>	1.100	45%	700.000 (n.d.)	0,57
Porto Alegre/RS <sup>(i)</sup>	1000	n.d.	1.200.000 (n.d.)	0,31
Campinas/SP <sup>(j)</sup>	1.258	n.d.	850.000 (93)	0,54

50%

0,50  
t/hab.ano



## *Resíduos da Construção Civil*

---

- Geração de RCD

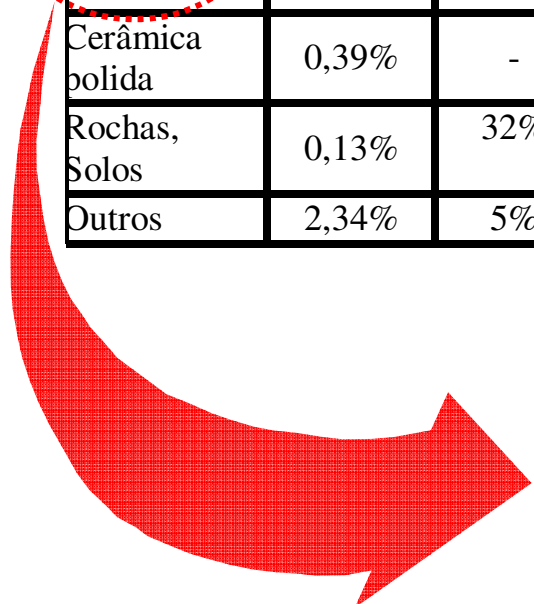
Região	2014	2015	
	RCD Coletado (t/dia) / Índice (Kg/hab/dia)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab/dia)
BRASIL	122.262/0,603	123.721	0,605

ABRELPE (2016)

## Resíduos da Construção Civil

- Composição do RCD

Constituintes	São Carlos/SP (a)	São Paulo/SP (b)	Porto Alegre/RS (c)	Ribeirão Preto/SP (d)	Salvador/BA (e)	Campina Grande/PB (f)	Maceió/AL (g)
Argamassa	63,67%	25,2%	44,2%	37,4%	53,0%	28%	27,82%
Concreto	4,38%	8,2%	18,3%	21,1%		10%	18,65%
Material Cerâmico	29,09%	29,6%	35,6%	20,8%	9,0%	34%	48,15%
Cerâmica polida	0,39%	-	0,1	2,5%	5,0%	1%	3,06%
Rochas, Solos	0,13%	32%	1,8%	17,7%	27,0%	9%	-
Outros	2,34%	5%	-	0,5%	6,0%	18%	2,32%



≅ 60% a 70% de todo RCD

# Resíduos da Construção Civil

- Classificação segundo a Resolução 307 do CONAMA

- Classe A → **devem ser reciclados em agregados reciclados**
- Classe B
- Classe C
- Classe D



Classe A



# Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados

## 1) Nas camadas de base e sub-base

- Norma técnica brasileira para o agregado reciclado para pavimentação

ABNT NBR 15116:2004

NORMA  
BRASILEIRA

ABNT NBR  
15116

- Requisitos do agregado reciclado destinado à pavimentação

Primeira edição  
31.08.2004

Válida a partir de  
30.09.2004

	Agregado reciclado classe A	Normas de ensaios	
Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de compactação
Material para execução de reforço de subleito	≥ 12	≤ 1,0	Normal
Material para execução de revestimento primário e sub-base	≥ 20	≤ 1,0	Intermediária
Material para execução de base de pavimento <sup>1)</sup>	≥ 60	≤ 0,5	Intermediária ou modificada

<sup>1)</sup> Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com  $N \leq 10^6$  repetições do eixo padrão de 8,2 tf (80 kN) no período de projeto.

<sup>1)</sup> Para os efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

Número de referência  
ABNT NBR 15116:2004  
12 páginas

# Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados

## 1) Nas camadas de base e sub-base

- Norma técnica brasileira para o exxecução de camadas de pavimentação com agregado reciclado

ABNT NBR 15115:2004

Introdução .....	iv
1 Objetivo .....	1
2 Referências normativas .....	1
3 Definições .....	2
4 Materiais .....	2
5 Equipamentos .....	3
6 Execução .....	3
6.1 Generalidades .....	3
6.2 Condições físicas da superfície de apoio da camada de agregado reciclado.....	4
6.3 Transporte do agregado reciclado .....	4
6.4 Distribuição do material.....	4
6.5 Compactação .....	4
6.6 Condições gerais.....	5
6.7 Execução de revestimento primário.....	5
7 Controle .....	5
7.1 Controle tecnológico dos materiais .....	5
7.2 Controle de execução .....	6
7.2.1 Controle tecnológico da camada executada: .....	6
7.2.2 Controle de espessura e de acabamento .....	6
7.3 Controle de recebimento .....	6
7.3.1 Condições de recebimento com base no controle tecnológico dos materiais .....	6
7.3.2 Condições de recebimento com base no controle de execução da camada.....	6
7.3.3 Condições de recebimento com base no controle de espessura e de acabamento .....	7

NORMA  
BRASILEIRA

ABNT NBR  
15115

Primeira edição  
30.06.2004

Valida a partir de  
30.07.2004

**Agregados reciclados de resíduos sólidos da  
construção civil – Execução de camadas de  
pavimentação – Procedimentos**

*Recycled aggregates of construction and demolition wastes –  
Construction of pavement layers - Procedures*

Palavras-chave: Resíduo sólido, Agregado, Pavimentação, Obra  
Descriptors: Construction and demolition wastes, Recycled aggregates  
Pavements

ICB 13.030



ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA  
DE NORMAS  
TÉCNICAS

Número de referência  
ABNT NBR 15115:2004  
10 páginas  
© ABNT 2004



# Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados

## 1) Nas camadas de base e sub-base

- Aplicação mais consolidada

2017-5-16

DOM - Diário Oficial do Município |



# BELO HORIZONTE

Diário Oficial do Município - DOM

Quinta-feira, 28 de Janeiro de 2010

Ano XVI - Edição N.: 3514

Poder Legislativo  
Câmara Municipal

### DESTINO DO LIXO ESTÁ NA PAUTA DE DEBATES DA CMBH

Quatro projetos, versando sobre o destino de lixo eletroeletrônico, sobre resíduos fecais em espaços públicos, sobre a troca de materiais recicláveis por alimento, material escolar e brinquedos e sobre o uso de agregados reciclados na pavimentação, seguem sendo debatidos, em 1º turno, nas comissões temáticas da Câmara Municipal de Belo Horizonte.

Os projetos de lei 79/09, 197/09, 206/09 e 415/09 já receberam pareceres favoráveis na Comissão de Meio Ambiente e Políticas Públicas e podem ser discutidos e votados por outras comissões no primeiro semestre de 2010.

#### **Pavimentação reciclada**

O PL 79/09, de autoria do vereador Fred Costa (PHS), propõe que todas as vias públicas municipais deverão ser pavimentadas exclusivamente com agregados reciclados de resíduos sólidos provenientes da construção civil.

De acordo com a justificativa do projeto, “a reutilização de resíduos sólidos provenientes da construção civil permite significativa economia de matéria-prima não renovável e, além de ambientalmente benéfico, seu emprego é financeiramente vantajoso porque o agregado reciclado tem custo menor que o dos outros agregados comumente utilizados nas obras de pavimentação”.

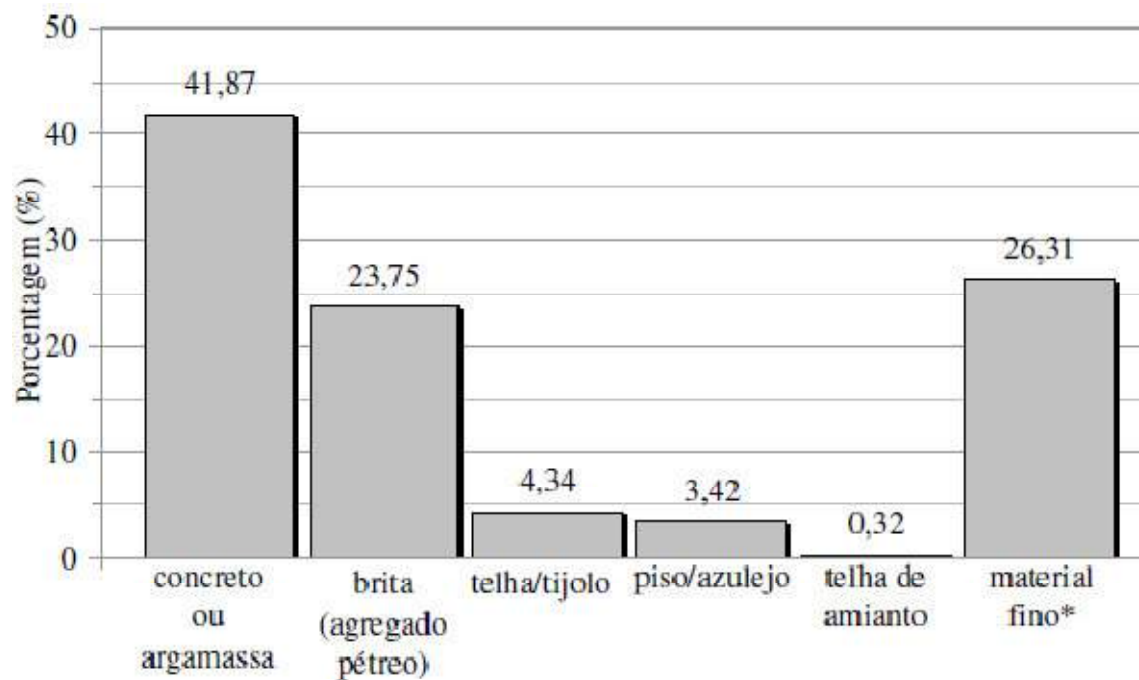
Os resíduos reciclados podem ser utilizados, na pavimentação de ruas, como concreto não estrutural, como argamassa de assentamento e revestimento no preenchimento de valas de instalações e como cascalhos de estradas.

O uso de agregados reciclados deverá observar os critérios estabelecidos pelas Normas Técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) números 15.115 e 15.116.

# Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados

## 1) Nas camadas de base e sub-base

- Pesquisa UFC (Silva et al., 2004)



(\*): material passante na peneira de abertura 4,76mm

Figura 3: Composição do agregado reciclado estudado

# Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados

## 1) Nas camadas de base e sub-base

- Pesquisa UFC (Silva et al., 2004)

**Tabela 1** – Algumas exigências do DER/CE

Características	Exigências do DER/CE
CBR (%)	$\geq 60$ (p/base) e $\geq 20$ (p/sub-base)
Expansão (%)	$\leq 0.5$ (p/base) e $\leq 1.0$ (p/sub-base)
Limite de Liquidez (%)	$\geq 25$
Índice de Plasticidade (%)	$\leq 6$
Índice de Grupo (IG)	0

Mistura: 50% RCD graúdo, 40% RCD miúdo e 10% Solo Natural

**Tabela 3** Resultados dos ensaios realizados no material de subleito

Amostras	Limites de Consistência (%)			Compactação		CBR (%)	Expansão (%)
	LL (%)	LP (%)	IP (%)	$h_{ot}$ (%)	$\gamma_{seca\ max}$ (g/cm <sup>3</sup> )		
SL	17	14,5	2,5	8,6	1,993	7	0,00
SN	31	15	16	14	1,913	3	0,09
Mistura (I)	-	-	-	11	1,925	72	0,00
Mistura (IM)	-	-	-	10,5	1,978	94	0,00
Mistura (M)	-	-	-	10,0	2,020	118	0,00

# Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados

## 2) Na fabricação das peças de concreto pré-moldados

- As peças de concreto para pavimento intertravado devem atender à ABNT NBR 9781:2013

NORMA  
BRASILEIRA

ABNT NBR  
9781

### 4 Requisitos gerais

Segunda edição  
07.01.2013

Tabela 2 – Resistência característica à compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão ( $f_{pk}$ ) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	$\geq 35$
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	$\geq 50$

4.1.5 Os aditivos devem atender à ABNT NBR 11768.

4.1.6 Os pigmentos devem ser de base inorgânica e atender à ASTM C 979/C 979M.

ICS 91.100.30; 91.100.50

ISBN 978-85-07-03929-7



ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA  
DE NORMAS  
TÉCNICAS

Número de referência  
ABNT NBR 9781:2013  
21 páginas



# *Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados*

---

## 2) Na fabricação das peças de concreto pré-moldados

- Norma técnica brasileira para o preparo do concreto sem função estrutural

ABNT NBR 15116:2004

### 3 Definições

Para efeitos desta Norma, aplicam-se as seguintes definições:

**3.1 resíduos da construção civil:** Resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

**3.2 agregado reciclado:** Material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis, que apresenta características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infra-estrutura.

**3.3 concreto de cimento Portland sem função estrutural, com agregado reciclado:** Material destinado a usos como enchimentos, contrapiso, calçadas e fabricação de artefatos não estruturais, como blocos de vedação, meio-fio (guias), sarjeta, canaletas, mourões e placas de muro. Estas utilizações em geral implicam o uso de concretos de classes de resistência C10 e C15 da ABNT NBR 8953.

**3.4 reciclagem:** Processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação.

**3.5 reutilização:** Processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação deste.

**3.6 beneficiamento:** Ato de submeter um resíduo a operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-lo de condições que permitam que seja utilizado como matéria-prima ou produto.



# *Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados*

---

## 2) Na fabricação das peças de concreto pré-moldados

- Norma técnica brasileira para o preparo do concreto sem função estrutural  
ABNT NBR 15116:2004

### **5 Requisitos gerais**

Os resíduos sólidos de construção civil classificados conforme 4.1 (classe A), oriundos de áreas de reciclagem de acordo com a ABNT NBR 15114, na forma de agregados destinados às aplicações estabelecidas em 1.2, devem ser classificados de acordo com 5.1 e 5.2.

#### **5.1 Agregado de resíduo de concreto (ARC):**

É o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Sua composição deve ser determinada conforme o anexo A e atender aos requisitos das aplicações específicas.

#### **5.2 Agregado de resíduo misto (ARM):**

É o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Sua composição deve ser determinada conforme o anexo A e atender aos requisitos das aplicações específicas.

## Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados

### 2) Na fabricação das peças de concreto pré-moldados

- Norma técnica brasileira para o preparo do concreto sem função estrutural

ABNT NBR 15116:2004

Tabela 3 — Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural

Propriedades		Agregado reciclado classe A				Normas de ensaios	
		ARC		ARM		Agregado graúdo	Agregado miúdo
		Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo		
Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)		≥90	-	<90	-	Anexo A	-
Absorção de água (%)		≤7	≤12	≤12	≤17	ABNT NBR NM 53	ABNT NBR NM 30
Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Cloretos	1				ABNT NBR 9917	
	Sulfatos	1				ABNT NBR 9917	
	Materiais não minerais <sup>1)</sup>	2				Anexo A	Anexo B
	Torrões de argila	2				ABNT NBR 7218	
	Teor total máximo de contaminantes	3				-	
Teor de material passante na malha 75 µm (%)		≤10	≤15%	≤10%	≤20%	ABNT NBR NM 46	

<sup>1)</sup> Para os efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

# Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados

## 2) Na fabricação das peças de concreto pré-moldados

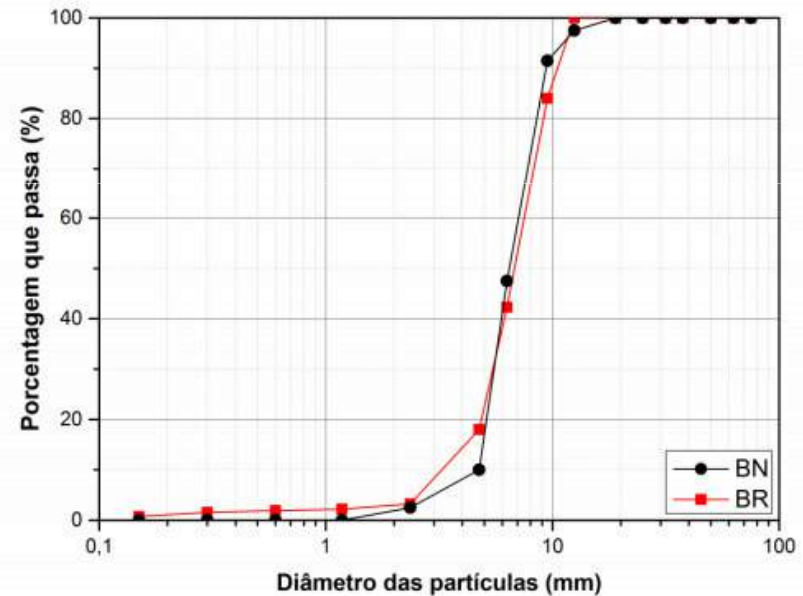
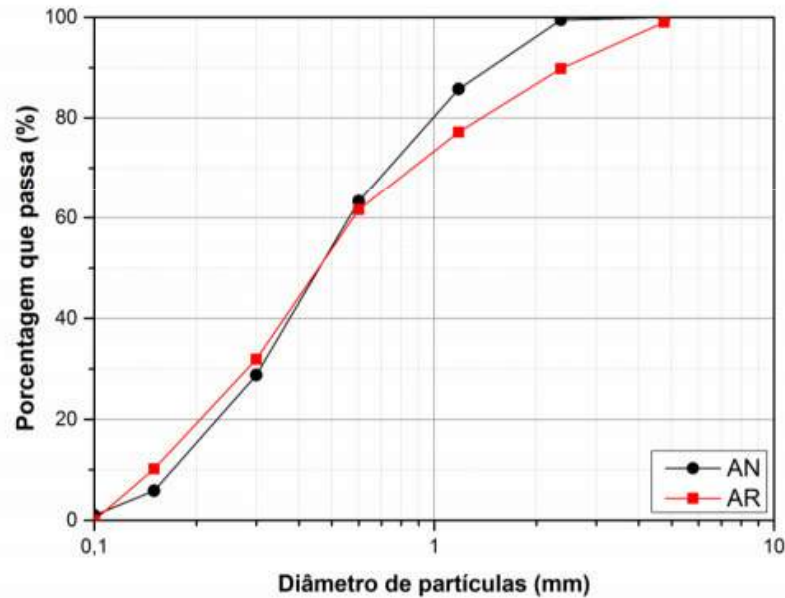
- Pesquisa no Google Acadêmico

The screenshot shows a Google Scholar search interface. The search bar contains the text "agregado reciclado bloco, OR paver". Below the search bar, it indicates "Acadêmico" and "Aproximadamente 8.780 resultados (0,10 s)". The search results are displayed in a list format. The first result is titled "Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego." and is from USP.br. The second result is "Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição" from UFGRS.br. The third result is "Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados" from USP.br. The fourth result is "Avaliação da atividade pozzolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado de resíduo de C&D" from UFGS.br. The fifth result is "Blocos estruturais de concreto com agregados reciclados de concreto - caracterização das propriedades físicas" from infohab.org.br. The interface includes various filters on the left side, such as "Classificar por relevância", "Em qualquer idioma", and "Pesquisar páginas em Português".

# Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados

## 2) Na fabricação das peças de concreto pré-moldados

- Sales e Cabral (2009)
  - Granulometria dos agregados → **granulometria semelhante!!**





## *Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados*

### 2) Na fabricação das peças de concreto pré-moldados

- Sales e Cabral (2009)
  - Granulometria dos agregados
  - Massa específica dos agregados → **substituição em volume!!**

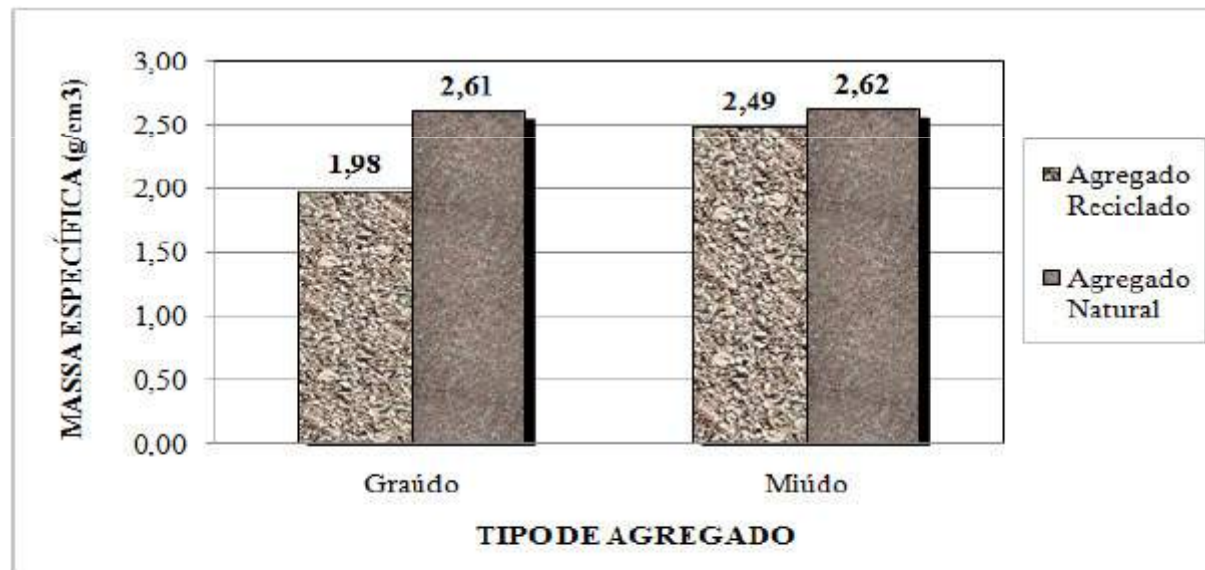


FIGURA 4.6 – Massa específica dos agregados.



## Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados

### 2) Na fabricação das peças de concreto pré-moldados

- Sales e Cabral (2009)
  - Granulometria dos agregados
  - Massa específica dos agregados
  - Absorção de água dos agregados → **compensação de água!!**

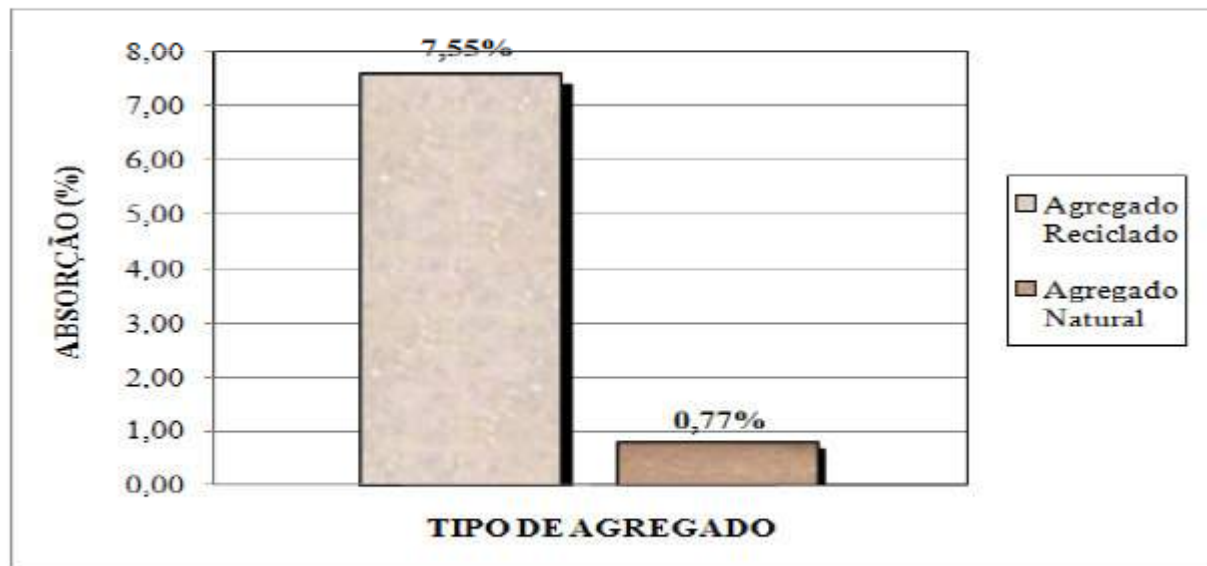
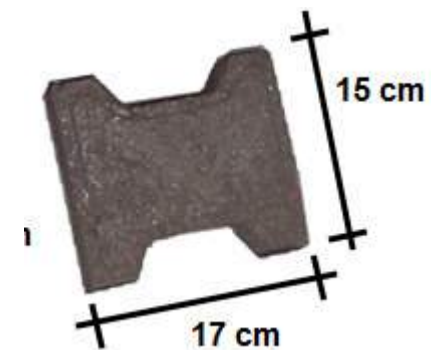
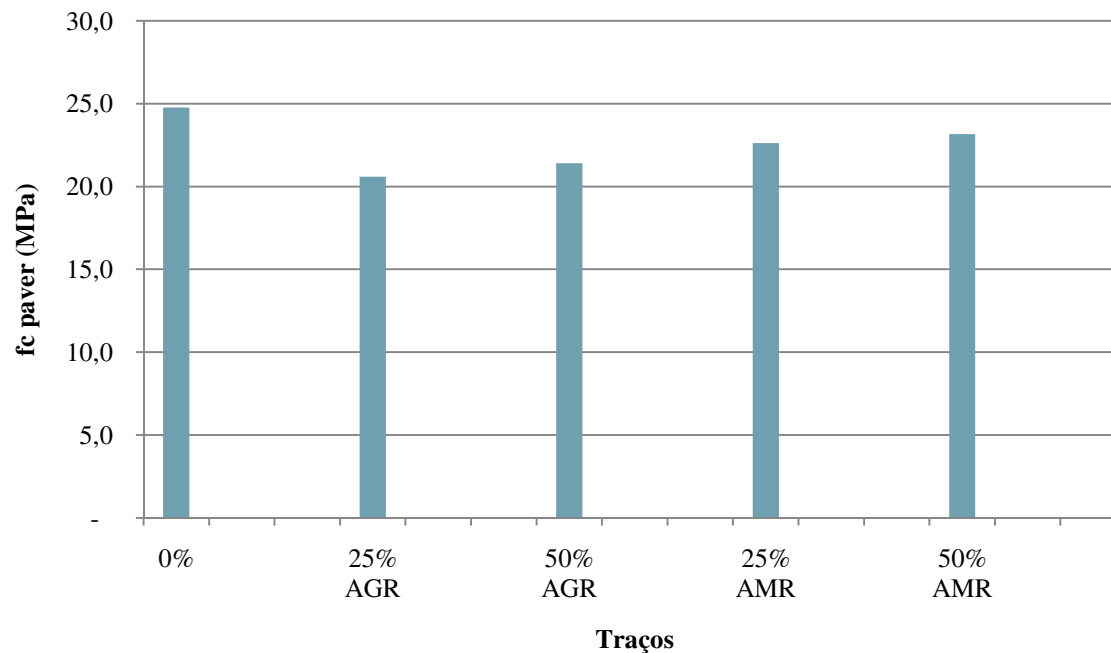


FIGURA 4.13 – Absorção de água dos agregados miúdos.

# Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados

## 2) Na fabricação das peças de concreto pré-moldados

- Sales e Cabral (2009)
  - Resistência à compressão → reduz significativamente para teores de substituição do AN pelo AR acima de 50%



## Possibilidades de uso dos AR em pavimentos intertravados

### 2) Na fabricação das peças de concreto pré-moldados

- Custos

	"Pavers"		Bloco de Vedação		Meio Fio	
	Sem RCD	Com RCD	Sem RCD	Com RCD	Sem RCD	Com RCD
Cimento (R\$/m <sup>3</sup> )	165,50	165,50	75,60	75,60	75,60	75,60
Areia (R\$/m <sup>3</sup> )	13,50	7,00	18,30	7,00	18,70	7,00
Pó de pedra (R\$/m <sup>3</sup> )	6,00	1,20	10,00	2,00	0,60	0,10
Pedrisco (R\$/m <sup>3</sup> )	13,40	13,40	6,20	6,20	13,60	13,60
Brita 1 (R\$/m <sup>3</sup> )	-	-	-	-	6,00	6,00
Custo Total de Materiais (R\$/m <sup>3</sup> )	198,40	187,10	110,10	90,80	114,50	102,30
Economia no custo de Materiais	-	5,7 %	-	17,5 %		10,7 %
Custo Total do Componente (R\$/m <sup>3</sup> )	347,00	335,70	193,00	173,70	200,00	187,80
Economia no custo Componente	-	3,3 %	-	10 %		6,2 %

**BOGGIO, PETERMANN, PAGNUSSAT, MASUERO e DAL MOLIN (2004) - NORIE**

## *Considerações finais*

---

- É possível produzir bloco de concreto intertravado com o uso de agregados reciclados
- Deve-se atentar para as substituições serem em volume, utilizando-se de algum artifício para corrigir a trabalhabilidade do concreto como a compensação de água
- Os teores de substituição não devem ser de 100%
- Para legalizar o uso dos AG na fabricação de peças de concreto para piso intertravado deve-se harmonizar as informações normativas



**ENARC**

Encontro Nacional sobre  
Aproveitamento de  
Resíduos na Construção

**09 a 11 DE AGOSTO**  
**FORTALEZA/CE**



