



## XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção  
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

# AGREGADOS RECICLADOS EM CONCRETOS: UMA ANÁLISE CRÍTICA DAS PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÕES ESTABELECIDAS EM DIFERENTES NORMAS<sup>1</sup>

KIOURANIS, Alexis (1); MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosemback (2); MELO NETO,  
Antônio Acácio de (3)

(1) UFSC, e-mail: alexiskd@hotmail.com; (2) UFPR, e-mail:  
reciclagem.miranda@gmail.com; (3) UFPR, e-mail: antoniodemelo@gmail.com

### RESUMO

Esse artigo verificou as propriedades dos agregados de RCC reciclados na utilização em concretos e comparou as principais especificações das normas estrangeiras frente a brasileira NBR15116 (2004). Realizou-se uma revisão bibliográfica em pesquisas e nas proposições normativas. Parâmetros físicos, químicos, geométricos e mecânicos são solicitados por diferentes normas. Características de densidade do agregado, absorção de água, percentual de substituição, teor de cloretos e sulfatos modificam o desempenho do concreto com agregado reciclado e por isso são fundamentais. Conclui-se que há diversas especificações apontadas por normas internacionais e que não há na norma brasileira, em parte pelo campo de aplicação, já que muitas viabilizam o uso como concreto estrutural. Este uso poderia ser feito no Brasil desde que haja uma revisão na norma brasileira com maiores especificações, rigor e com o desenvolvimento de técnicas de separação dos agregados.

**Palavras-chave:** Agregados reciclados. Propriedades dos agregados. Normas internacionais. Concreto estrutural.

### ABSTRACT

This article verified the properties of CDW recycled aggregates in use in concrete and compare the main specifications of the international standards with the Brazilian NBR15116 (2004). A literature review was done on research and proposals of different standards. Physical, chemical, geometrical and mechanical parameters can be requested by different standards. Characteristics of aggregate as density, water absorption, percentage of substitution, chlorides and sulfate content modify the performance of the recycled aggregate concrete and so are fundamental. It is concluded that there are several specifications mentioned by international standards and that there is not in the Brazilian standard, in part by the field of application, since many enable use as structural concrete. This use could be made in Brazil since a review in Brazilian standard is made with higher specifications, accuracy and with the development of separation techniques of the aggregate.

**Keywords:** Recycled aggregates. Properties of aggregates. International Standards. Structural concrete.

<sup>1</sup>KIOURANIS, A.; MIRANDA, L. F. R.; MELO NETO, A. A. de. Agregados reciclados em concretos: uma análise crítica das propriedades e classificações estabelecidas em diferentes normas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2016.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de resíduos de construção e demolição como agregados reciclados de concreto (ARC) apresenta um grande potencial e, por isto, tem sido muito pesquisado (BRITO E SAIKIA, 2013). Estes resíduos podem ser utilizados em substituição parcial dos agregados naturais, desde que realizados estudos específico.

Logo, esse artigo tem como objetivo geral apresentar, por meio de uma pesquisa bibliográfica, um panorama com as especificações internacionais e aplicações dos agregados reciclados em concreto. E, como objetivo específico, realizar uma análise crítica entre a norma brasileira NBR 15116 (ABNT, 2004) com as principais normas estrangeiras sobre o uso dos agregados de Resíduos de Construção Civil - RCC em concreto.

## 2 PROPRIEDADES DOS AGREGADOS RECICLADOS

Os agregados podem ser classificados segundo parâmetros físicos, mecânicos, químicos e geométricos (MARTÍN-MORALES *et al*, 2013). McNeil e Kang (2013) destacaram a massa específica, porosidade, absorção de água, forma, granulometria, resistência ao desgaste e abrasão, sendo discutidos a seguir.

### 2.1 Massa específica, porosidade e absorção de água

A massa específica dos agregados de resíduos de RCC é menor do que a massa específica dos agregados naturais, devido a existência de poros e pela presença de argamassa aderida ao agregado, (BRITO E SAIKIA, 2013). Na pesquisa de McNeil e Kang (2013), os autores apresentaram uma tabela geral com valores mínimos da densidade ( $\text{kg/m}^3$ ) para o agregado seco em estufa e o percentual de absorção máxima de água. Dentre os países apresentados, as normas japonesas - JIS (2011) "classe H" e coreana KS F 2573(2002) foram as mais rigorosas quanto a absorção de água pelo agregado, menor ou igual a 3%. Já para a densidade do agregado seco em estufa, verificou-se entre os mais rigorosos a norma alemã DIN 4226/100 (2002).

Nos estudos de Katz (2003), foi observado que a absorção de água em agregados reciclados gira em torno de 3-12 % para frações graúdas ou finas, enquanto que para agregados naturais essa absorção está entre 0,5-1%.

### 2.2 Granulometria

A forma dos grãos influencia na trabalhabilidade do concreto (MCNEIL E KANG, 2013; ETXEBERRIA *et al*, 2007). Nessse sentido, Martín-Morales *et al*. (2013) apontaram que a norma da Coréia - KS F2573 (2011) e a norma do Reino Unido - BS 8500-2 (2006) especificam limites para o tamanho máximo dos agregados. Já a norma australiana – CSIRO (1998), europeia - prEN 12620 (2010) e italiana – NTC (2008) especificam o índice de forma dos grãos. Parâmetros como teor de areia reciclada são especificados em diversas

normas estrangeiras (China – DG/TJ07/008 (2007), Honk Kong – WBTC 12 (2002), Itália – NTC (2008), Portugal – LNEC E 471(2009) e Espanha – EHE08(2008)).

### **2.3 Resistência à abrasão**

Em termos gerais, McNeil e Kang (2013) afirmaram que o agregado reciclado de concreto apresentou uma maior abrasão do que o agregado natural, isso pela maior quantidade de partículas finas. Martín-Morales *et al.* (2013) apontaram limites para o coeficiente de abrasão Los Angeles em normas internacionais, como da Bélgica – PTV406 (2003), Europa – EN 12620 (2010), Alemanha – DIN 4226-100 (2002), Itália – NTC (2008), Coreia – KS F2573 (2011), Holanda – NEN 5905 (2010), Portugal LNEC E 471(2009) e Espanha – EHE08 (2008).

## **3 PROPRIEDADES DOS CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS**

Como o desempenho de um concreto feito com agregado reciclado é modificado pelas propriedades do agregado, é necessário conhecer suas propriedades no estado fresco e endurecido, indicadas a seguir.

### **3.1 Estado fresco: Trabalhabilidade**

Para uma mesma relação de materiais secos/pasta na mistura, em geral a trabalhabilidade de um concreto feito com agregados reciclados é menor do que um concreto com agregados naturais. Conforme Agrela *et al.* (2013), pode-se compensar a absorção de água do agregado reciclado com o aumento direto de água na mistura, fazendo-se uso de misturas químicas (plastificantes ou superplastificantes), ou pela pré-saturação dos agregados reciclados.

### **3.2 Estado fresco: Massa específica**

Tendo os agregados reciclados uma massa específica menor que os agregados naturais, concretos desenvolvidos com agregados reciclados também terão uma menor massa específica no estado fresco e endurecido (CABRAL, 2007). Nessa linha, Katz (2003) verificou em seu trabalho uma massa específica para o concreto com agregados reciclados na ordem de 2150kg/m<sup>3</sup>. No entanto, esse percentual pode variar em função do tipo de agregado e quantidade.

### **3.3 Estado fresco: teor de ar aprisionado**

Estudos de Katz (2003) mostraram que concretos com agregados reciclados aprisionaram elevado teor de ar nas misturas, em função da alta porosidade existente nas partículas dos agregados.

### **3.4 Estado fresco: Exsudação**

Na investigação de Yang *et al.* (2008), os pesquisadores observaram uma menor taxa de exsudação em função do incremento de absorção de água dos agregados reciclados. E, na pesquisa de Araújo *et al.* (2016), os autores não verificaram exsudação do concreto com agregados reciclados em nenhum dos traços desenvolvidos de concreto com agregados reciclados.

### **3.5 Estado endurecido: Resistência à compressão**

A resistência à compressão do concreto é influenciada pela quantidade de agregado reciclado na mistura, e geralmente, a resistência diminui com o aumento do percentual de substituição (XIAO *et al.*, 2012). Porém, é possível ter um concreto com agregado reciclado com maior resistência do que um concreto de referência.

Agrela *et al.* (2013) afirmaram que tais divergências de resistência podem ocorrer devido a qualidade do agregado (alta absorção), resistência à abrasão baixa, presença de sulfatos, alta demanda de água na mistura, zona de transição fraca entre a matriz agregado e argamassa aderida ou tipo de agregado reciclado.

### **3.6 Estado endurecido: Resistência à tração**

A resistência à tração de concreto com agregados reciclados é menos afetada do que a resistência à compressão, podendo ser esta uma característica secundária. Para Etxeberria *et al.* (2007), a melhora dessa propriedade no concreto pode ser dada pela alta absorção da argamassa aderida ao agregado e a zona de transição efetiva (fixação boa entre o agregado e a matriz de argamassa).

### **3.7 Estado endurecido: Módulo de elasticidade**

Nas pesquisas de Rao *et al.* (2007), o módulo de elasticidade variou significativamente quando comparado com concretos de referência e com diferentes taxas na relação água/cimento e percentuais de substituição. Angulo (2005) apresentou uma correlação linear entre os módulos de elasticidade e a porosidade do agregado no concreto e teórica da pasta. Conforme apontado pelo pesquisador, quanto mais poroso o agregado, menor é o seu módulo de elasticidade.

### **3.8 Estado endurecido: Retração por secagem e fluênci a do concreto**

Nas análises de Cabral *et al.* (2010), os autores concluíram que a substituição do agregado natural pelo reciclado elevou a retração por secagem, sendo tal efeito mais acentuado na substituição pelo agregado miúdo reciclado de concreto, e menor no agregado graúdo. Katz (2003) enfatizou que a retração por secagem para um agregado reciclado na idade de 90 dias foi de 0,55-0,8mm/m, enquanto que para um agregado natural, essa taxa foi de 0,30mm/m. Para a fluênci a, Domingo-Cabo *et al.* (2009) verificaram um

incremento, entre 35-50%, conforme se aumentava o percentual de substituição do agregado natural pelo reciclado.

## **4 DURABILIDADE DOS CONCRETOS COM AGREGADOS RECICLADOS**

Será tratado a seguir estudos sobre durabilidade e que influenciam no desempenho do concreto.

### **4.1 Reação álcali-sílica**

A possível reação entre agregados reativos e os hidróxidos alcalinos do cimento é um assunto abordado em algumas normas estrangeiras, como por exemplo, a norma portuguesa LNEC E 471 (2009), que alerta para a verificação do potencial de reatividade do agregado antes de seu uso.

### **4.2 Resistência ao congelamento/descongelamento**

A possível fragilidade do concreto com agregado reciclado quanto ao congelamento/descongelamento é considerada pela estrutura porosa da pasta de cimento previamente endurecida aderida ao agregado, que absorve água (RAO *et al.*, 2007).

### **4.3 Carbonatação**

Rao *et al.* (2007) destacaram que tanto pela permeabilidade quanto pela presença da zona de transição interfacial entre a pasta de argamassa aderida ao agregado, a carbonatação esteve entre 1,3-2,5 vezes maior do que em concretos de referência. Evangelista e Brito (2010) concluíram que essa resistência é reduzida com a adição de agregados finos reciclados ao concreto, aumentando a profundidade de penetração em cerca de 40% para 30% de substituição de material fino.

### **4.4 Corrosão por íons cloreto**

A NBR 15116 (2004) e as demais normas estrangeiras limitam o teor de cloreto nos agregados reciclados, variando conforme o tipo de agregado reciclado (reciclados de concreto, mistos ou de alvenaria) e em função do tipo de aplicação ser para fins estruturais ou não.

### **4.5 Sulfatos**

Os ataques por sulfatos podem causar uma fissuração no concreto por expansão. No Design Materials for Roads em Bridge in Scotland (2007), é ressaltado que a resistência a fontes externas de sulfato deveria ser a mesma que a limitada para os agregados naturais de concreto.

## 5 NORMAS PARA UTILIZAÇÃO DOS AGREGADOS DE RCC RECICLADOS EM CONCRETO

A primeira norma internacional com recomendações para o uso de agregados reciclados no concreto foi publicada no ano de 1994 pelo International union of laboratories and experts in construction materials, systems and structures (RILEM), com o título “Specifications for Concrete with Recycled Aggregates”, conforme indicaram Agrela *et al.* (2013). Nessa publicação, os agregados graúdos reciclados foram classificados em três tipos (todos os tipos serão mostrados na Tabela 1), sendo; a) Tipo I – Agregados reciclados de resíduos de alvenaria (AG-REC-ALV), b) Tipo II – Agregados reciclados de resíduos de concreto (ARC), e c) Tipo III – Mistura de agregados naturais e reciclados.

Pela NBR 15116 (ABNT, 2004), os resíduos do tipo “Classe A”, podem ser classificados em agregados de resíduos de concreto (ARC), e agregados de resíduos mistos (ARM). Porém, as normas internacionais abordam classificações que diferem da brasileira, como por exemplo, os agregados reciclados de resíduos de alvenaria (AG-REC-ALV). Apresenta-se tais considerações na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos agregados baseados em sua composição percentual(%)

País	Norma	Classe: norma	Nome	Conc.	Alv.	Agreg. natural	Mat. Orgânico	Impur- rezas	Mat. leves	Finos
<b>BRASIL</b>	NBR 15116 (2004)	ARC	ARC	>90	-	b	s.e.	3	s.e.	7
		ARM	ARM	<90	-	b	s.e.	3	s.e.	10
<b>BELGICA</b>	PTV 406 (2003)	Detritos de concreto esmagado	ARC	>90	<10	-	0,5	0,5 (a)	s.e.	s.e.
		Detritos misturados esmagados	ARM	>40	>10	-	0,5	1 (a)	s.e.	s.e.
		Detritos de alvenaria esmagados	AG-REC-ALV	< 40	>60	-	0,5	1 (a)	s.e.	s.e.
<b>NORUEGA</b>	NB 26 (2003)	Tipo 1	ARC	> 94	<5	b	s.e.	1 (e)	0,1	s.e.
		Tipo 2	ARM	<94		b	s.e.	1 (e)	0,1	s.e.
<b>CHINA (c)</b>	DG / TJ07-008 (2007)	Tipo 1	ARC	>95	< 5	-	0,5	1	s.e.	s.e.
		Tipo 2	ARM	<90	>10	-	s.e.	s.e.	s.e.	s.e.
<b>DIN AM ARC</b>	DS 2426	GP1	ARC	>95	-	-	s.e.	s.e.	s.e.	s.e.

		(2009)		GP2	ARM	<95	-	-	s.e.	s.e.	s.e.	s.e.
ALEMANHA	DIN 4226-100 (2002)	Tipo 1	ARC	>90	<10	-	-	s.e.	1 (e)	s.e.	s.e.	1
		Tipo 2	ARC	>70	<30	-	-	s.e.	1 (e)	s.e.	s.e.	1,5
		Tipo 3	AG-REC-ALV	<20	>80	<20	s.e.	1 (e)	s.e.	s.e.	3	
		Tipo 4	ARM		>80 - d		s.e.	1 (e)	s.e.	s.e.	4	
HONK KONG	WBTC 12 (2002)	TIPO II	ARC	< 100	-	-	-	s.e.	1	0,5	4	
JAPÃO	JIS A 5021 (2005)	ARH	ARC	-	-	-	-	s.e.	3	s.e.	1	
HOLANDA	NEN 5905 (2010)	ARH	ARC	>95	<5	-	-	s.e.	0,1	s.e.	-	
		ARH	ARM	<80	-	<20	s.e.	-	0,1	3		
AUSTRALIA	CSIRO (1998)	Classe 1A	ARC	<100	-	-	-	s.e.	1	s.e.	s.e.	
		Classe 1B	ARM	<70	>30	-	-	s.e.	2	s.e.	s.e.	
		ARB 1	ARC	>90	<10	b	s.e.	0,2 - f	1	s.e.		
PORTUGAL	LNEC E 471 (2009)	ARB 2	ARC	>70	<30	b	s.e.	0,5 - f	1	s.e.		
		ARC	ARM		>90	>10	s.e.	1 - f	1	s.e.		
ESPAÑA	EHE - 08 (2008)	RCA	ARC	-	<5	-	0,5	g	1	2		
SUIÇA	SIA 2030 (2010)	BC	ARC	-	<3	-	s.e.	1	s.e.	s.e.		
		BNC	ARM	-	-	-	s.e.	2	s.e.	s.e.		
REINO UNIDO	BS 8500-2 (2006)	RCA	ARC	>95	<5	-	s.e.	1 - h	0,5	5		
		RA	ARM	-	<10 0	-	s.e.	1 - h	1	3		
	BRE DIGEST 433 (1998)	RCA I	AG-REC-ALV	-	<20	>80	s.e.	5	1	s.e.		
		RCA II	ARC	<20	-	>80	s.e.	1	0,5	s.e.		

RILEM (1994)	RCA III	ARM	<10	<10	>80	s.e.	5	2,5	s.e
	TIPO I	AG-REC-ALV	-	<100	-	1	5	1	3
	TIPO II	ARC	<100	-	-	0,5	1	0,5	2
	TIPO III	ARC	<20	<10	>80	0,5	1	0,5	2

Fonte: Adaptado de Martín-Morales *et al.* (2013)

Notas:

s.e. – Sem especificação

- (a) Menos de 5% de material betuminoso em todos os tipos;
- (b) Incluído no percentual de agregados reciclados de concreto;
- (c) Essa norma classifica o agregado reciclado conforme suas propriedades;
- (d) Incluído 20% de material betuminoso ou outro;
- (e) Limite de 1% para materiais betuminosos em todos os tipos;
- (f) Limite de material betuminoso: até 5% para ARB1, até 5% para ARB2, e até 10% para ARC;
- (g) Limite de até 1% para materiais betuminosos; Limite de até 1% para vidros, plásticos, metais, entre outros;
- (h) Limite de até 5% para ARC; Limite de até 10% para AR.

Pela Tabela 1, países como a Bélgica, Alemanha, Portugal e Reino Unido apresentam uma classificação mais específica para os tipos de agregados reciclados, com maiores subdivisões em função dos percentuais de resíduos nos agregados. Conforme já apontado por Angulo (2005) e pela Tabela 1, em comparação com especificações estrangeiras, a norma brasileira impõe uma menor restrição para o teor de finos existentes nos agregados de RCC reciclados e para o teor de impurezas. Normas como a holandesa e portuguesa impõem limites máximos para os contaminantes ou impurezas extremamente rigorosas, entre 0,1-0,2% para o ARC.

É importante ressaltar que a norma portuguesa e alemã apresenta duas classes para os ARC. Cada uma dessas classes possui especificidades, como por exemplo, a norma portuguesa limita o percentual de substituição de agregado natural pelo reciclado em 25% para o ARC da classe ARB1, e 20% de substituição para o ARC da classe ARB2. Já na norma alemã, o ARC tipo 1 e ARC tipo 2 diferem pelo percentual de resíduos de concreto e alvenaria, além dos fins de utilização desses tipos de concretos.

Para Brito e Saikia (2013), entre as diversas propriedades que afetam o desempenho da mistura, quatro são fundamentais, sendo a massa específica, absorção de água, teor de sulfatos e cloretos. O campo de aplicação para os concretos de RCC também são vastos e divergentes entre as normas internacionais. A Tabela 2 compila todas essas propriedades e respectivas utilizações no campo da construção civil.

Tabela 2 – Panorama geral das especificações internacionais para uso do agregado reciclado em concreto

País	Clas- se	Dens mín kg/m <sup>3</sup>	Máx. Absor. água (%)	Máx. teor cloreto (%)	Máx. teor sulfato (%)	Subst. Máx. (%)		Uso	Resistência máx (MPa)
						Graú- do	Miú- do		

<b>Brasil</b>	ARC	s.e	7 graúdo/12 miúdo	1 (a)	1 (a)	100	100	Concreto não estrutural	15
	ARM	s.e	12 graúdo/17 miúdo	1 (a)	1 (a)				
<b>Alemanha</b>	ARC - I	2000	10	0,04	0,8	20-35	0	Concreto estrutural	C30/37 (20% de substituição)
	ARC - II	2000	15	0,04	0,8	20-35	0		C25/30 (35% de substituição)
	AG-REC-ALV-III	1800	20	0,04	0,8	s.e		Concreto não estrutural	s.e
	ARM	1500	s.e	0,15	s.e	s.e			
<b>Honk Kong</b>	ARC	2000	10	0,05	1	20 ou 100	0	Concreto estrutural	C20 (100% de substituição); C35 (20% de substituição)
<b>Japão (BCSJ)</b>	ARM	2200	7	s.e	s.e	100	100	Concreto não estrutural	18
<b>Japão (JIS A 5021)</b>	ARM	2500 - graúdo e miúdo	3 graúdo/3,5 miúdo	0,04	s.e	s.e		Sem limitação	45
<b>Japão (JIS A 5022)</b>	ARM	2300-graúdo; 2200-miúdo	5 graúdo/7 miúdo	s.e	s.e	s.e		(e)	
<b>Japão (JIS A 5023)</b>	ARM	s.e	7 graúdo/ 13 miúdo	s.e	s.e	s.e		Reaterros, nivelamento	s.e
<b>RILEM</b>	ARC +AP	2400	3	(c)	1 (a)			Ambientes secos e molhados - não agressivos	sem limitação
	ARC AG-REC-ALV	2000	10	(c)	1 (a)	100	(d)		C50/60
		1500	20	(c)	1 (a)				C16/20
<b>Reino Unido</b>	ARC	s.e	s.e	s.e	1	20	0	Concreto estrutural	C40/50
	ARM	s.e	s.e	s.e	s.e	s.e	0	Concreto não estrutural	s.e
<b>Holanda</b>	ARC	2000	s.e	0,05 (b)	1			Ambientes não agressivos	C40/50
	ARM	2000	s.e	0,05 (b)	1	100	(d)		C20/25
<b>Portugal</b>	ARC - I	2200	7	(c)	0,8	25	0	Concreto estrutural	C40/50
	ARC - II	2200	7	(c)	0,8	20	0		C35/45

	ARM	2000	7	(c)	0,8	s.e	0	Concreto não estrutural	s.e
<b>Noruega</b>	ARC	2000	10	s.e	s.e				
	ARM	1500	20	s.e	s.e				
<b>Suiça</b>	ARC	s.e	s.e	0,03	1	100	100	Concreto reforçado Concreto não estrutural	C30/37
	ARM	s.e	s.e	s.e	1			s.e	
<b>Dinamarca</b>	ARC	2200	s.e	s.e	s.e	100	20	Ambientes não agressivos	C40
	ARC	2200	s.e	s.e	s.e				
	ARM	1800	s.e	s.e	s.e				C20

Fonte: Adaptado de Brito e Saikia (2013)

Notas:

- s.e – Sem especificação;
- (a) Solúvel em água;
- (b) Para concreto reforçado;
- (c) Informações adicionais em normas específicas;
- (d) Somente se misturados com agregado graúdo natural.

Pela Tabela 2, com exceção da norma do Brasil, Suíça e Reino Unido, todas as demais apresentam limites mínimos para a densidade do agregado reciclado. Para os ARC, o valor mínimo da densidade é de 2000 kg/m<sup>3</sup>, enquanto que para os ARM ou AG-REC-ALV, permite-se um valor menor (1500 kg/m<sup>3</sup>). A absorção de água para o ARC ficou entre 7-10% enquanto que para o ARM OU AG-REC-ALV, os limites ficaram entre 10-20%.

Quanto a durabilidade do concreto, destacam-se os teores de cloretos e sulfatos. A Tabela 2 indicou que esses limites estiveram na faixa média de 1%. Nos campos de aplicação, percebe-se que muitas normas aceitam o uso do agregado reciclado de concreto para fins estruturais, desde que cumpridas as exigências e requisitos. A norma brasileira e japonesa (BCSJ) apenas aceitam o uso para fins não estruturais, com resistências de 15-18 MPa respectivamente.

Foram mostrados na Tabela 2 os teores máximos de substituição de agregados reciclados tanto para a fração graúda como miúda. Existem normas que permitem uma substituição de apenas 20-35% para a fração graúda (norma alemã e Portuguesa), e há normas que permitem uma substituição de 100% do agregado natural pelo reciclado (norma suíça e Dinamarquesa).

## 5 CONCLUSÕES

As diversas normas mostraram um amplo campo de aplicação para os agregados reciclados em concretos, enquanto que a brasileira NBR 15116 (2004) só permite o uso de agregado reciclado em concretos não estruturais. Muitos dos autores citados concluíram ser possível ampliar a utilização dos

agregados reciclados em estruturas de concreto. Certamente, as propriedades fundamentais mostradas na Tabela 2 devem ser seguidas para tal viabilidade.

Outros avanços nos concretos com agregados reciclados, como em técnicas de separação de resíduos, análise da lixiviação de metais pesados, uso de adições minerais, correlações e teores máximos de substituição poderiam ser realizados para ampliar sua utilização no país.

E, considerando o rigor de outras normas, a norma brasileira poderia também incorporar alguns desses limites, dando mais segurança e viabilidade para o uso do AR em outros fins além do que se permite atualmente. A atual NBR 15116(2004) está em fase de revisão final pelo Comitê científico e acredita-se que diversas atualizações serão feitas nas especificações do agregado reciclado para concreto.

## REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

AGRELA, F.; ALAEJOS, P.; JUAN, M.S. Properties of concrete with recycled aggregates. In: **Handbook of recycled concrete and demolition waste**. UK: Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering: Number 47, 2013.

ANGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. 2005, 167 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

ARAÚJO, D.L.; FELIX, L.P.; SILVA, L.C.; SANTOS, T.M. Influência de agregados reciclados de resíduos de construção nas propriedades mecânicas do concreto. **Revista eletrônica de engenharia civil – REEC**. V.11, p.16-34, 2016.

BRITO, J.; SAIKIA, N. **Recycled aggregate in Concrete**: Use of Industrial, and Demolition Waste. Springer-Verlag, London, 2013. 445p.

CABRAL, A.E.B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007, 254p. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, 2007.

CABRAL, A.E.B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D.C.C.; RIBEIRO, J.L.D.; RAVINDRARAJAH, R.S. Shrinkage modeling for recycled aggregate concretes. **Ibracan Structures and Materials Journal**. V. 3, N.1, p.1-23, 2010.

Design Materials for Roads and Bridges: **BA 92/07** - The use of recycled concrete aggregate in structural concrete. V.2, S.3, P.9. 2007.

DOMINGO-CABO, A. et al. Creep and Shrinkage of recycled aggregate concrete. **Construction and Buildings Materials.** V.23, p. 2545-2553, 2009.

ETXEBERRIA, M.; VÁZQUEZ, E.; BARRA, M.M. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. **Cement and Concrete Research.** V. 37, p. 735-742, 2007.

EVANGELISTA, L.; BRITO, J. Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement & Concrete Composites.** V. 32. P.9-14, 2010.

KATZ, A. Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. **Cement and Concrete Research.** V.33, p.703-711, 2003.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil: LNEC: **E-471.** Guia para a utilização de agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos. 2009.

MARTÍN-MORALES, M.; ZAMORANO, M.; VALVERDE-PALACIOS, I.; SÁNCHEZ-ROLDÁN, Z. Quality control of recycled aggregates (RAs) from construction and demolition waste (CDW). In: **Handbook of recycled concrete and demolition waste.** Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering: Number 47. UK, 2013.

MCNEIL, K.; KANG, T.H.K. Recycled Concrete Aggregates: A Review. **International Journal of Concrete Structures and Materials.** V.7, N.1, p. 61-69, 2013.

RAO, A.; JHA, K.N.; MISRA, S. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. **Resources, Conservation & Recycling.** V. 50, p.71-81, 2007.

XIAO, J.; LI, W.; FAN, Y.; HUANG, X. An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996-2011). **Construction and Building Materials.** V. 31, p. 364-383, 2012.

YANG Y.; CHUNG H.; ASHOUR A.F. Influence of type and replacement level of recycled aggregates on concrete properties. **Materials Journal.** V.105 (3), p.289–296, 2008.