



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESSOS

LEONARDO ALVES DA CONCEIÇÃO

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

Co-Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral



**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**



BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ROBERTO DE OLIVEIRA MAGNAGO
1º Membro da banca/Orientador/UniFOA

Profa. Dra. CIRLENE FOURQUET BANDEIRA
2º Membro da banca/UniFOA

Prof. Dr. GLÁUCIO SOARES DA FONSECA
3º Membro Externo/UFF

Outubro de 2019.

INTRODUÇÃO

- lixo produzido;
- Décadas de 70 a 90;
- Anos 2000, reciclagem de papel, metal, plástico e etc.;
- Brasil, 2010, Lei nº 12.305;
- Lixo eletrônico;
- Logística Reversa, responsabilidade da coleta;
- Primeiro e terceiro mundo.

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

- Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE);
- Metais tóxicos;
- Estudos com Placa de Circuito Impresso (PCI);
- Extração de recursos naturais, chegando a 40 % apenas para construção civil.

OBJETIVOS

GERAL

- Avaliar se a troca do PCI pelo agregado graúdo mantém as mesmas propriedades e se é possível a aplicação na construção civil;

ESPECÍFICO

- Avaliar em qual porcentagem o produto final é viável tanto técnica quanto financeiramente.

JUSTIFICATIVA

- Poucos centros de reciclagem de REEE;
- Utilizar as PCI's no concreto;
- Criar centros especializados;
- Geração de empregos;

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Cimento

- Egito e Roma;
- Joseph Aspdin em 1824;
- Portland Perus, em 1926;
- Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) em 1936

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Cimento Portland

Cimento	Resistência (MPa)			Aditivo		
	25	32	40	E	F	Z
CP-I	X					
CP-I-S	X					1-5%
CP-II	X	X	X	6-34%	6-10%	6-14%
CP-III	X	X	X	35-70%		
CP-IV	X	X				15-50%
CPV/ARI						
CP-RS	X	X	X			
CP-BC	X	X	X			
CP-B	X	X	X			

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Concreto

- Amplamente utilizado na construção civil;
- Trabalhabilidade boa, assume todas formas;
- Diversos materiais usados na troca dos agregados;
- Pneu, casca de arroz, bagaço de cana, resíduos de construção civil;

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO – PCI

- 1969, U.S. Bureau Of. Mines, agência do governo americano;
- As PCI'S são compostas por metais, cerâmicos e polímeros;
- Contem em média, 30% de polímeros, 30% de óxidos refratários e 40% de metais;
- Pode conter até 840 g/tonelada de ouro e 40g/tonelada de paládio;

PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO - PCI

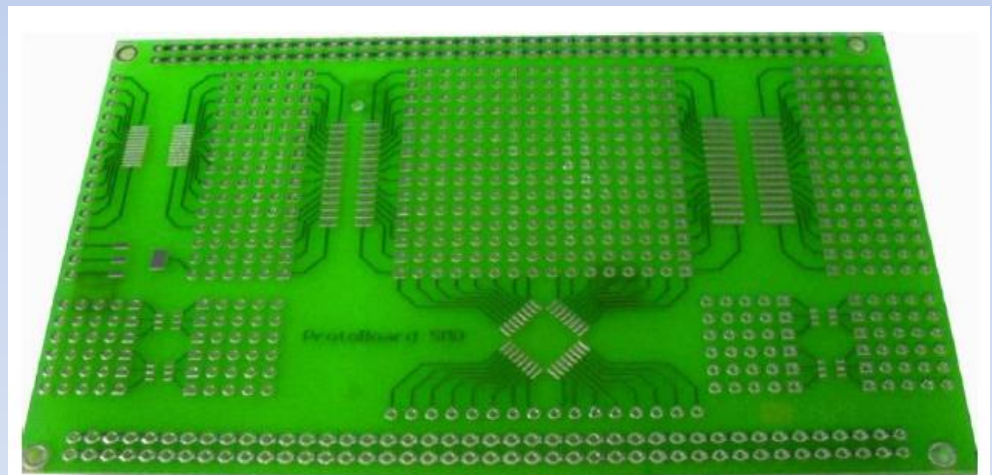
-FR-2/ FR-4;

- Poliimida ou Poliéster.



Placa FR-2

Fonte: Amaral, 2015



Placa FR-4

Fonte: Amaral, 2015

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

CARACTERIZAÇÃO DE PCI

- Substrato (fenolite ou epóxi por exemplo), coberta com uma fina camada de lamina de cobre, prata, níquel ou ligas a base de ouro;
- A PCI, deve suportar altas temperaturas, baixa absorção de água para não danificar seus componentes e boa estabilidade dimensional, e resistência à propagação de chamas;

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA RECICLAGEM

Vidro;

Papel;

Alumínio;

Plástico.



REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RECICLAGEM

Material	Tempo de Degradação
Aço	Mais de 100 anos
Embalagens Longa Vida	Até 100 anos (alumínio)
Embalagens PET	Mais de 100 anos
Papel e Papelão	Cerca de 6 meses
Sacos e sacolas plásticas	Mais de 100 anos
Vidros	Indeterminado

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RECICLAGEM DE PCI

- Antes/Depois da lei 12.305;
- Lei da época eram a CONAMA 257/99 e 401/08;
- Lixo descartado em locais inapropriados;
- Etapas para reciclar o PCI: pré-tratamento, separação, por tamanho, densidade, etc., ou por processo químico ou físico;
- 70% de materiais de uma PCI se concentra entre plásticos, cerâmicas e fibra de vidro.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

COMPOSIÇÃO DA PCI

Componentes de uma PCI		Quantidades médias	
		Metais	Valores médios
Metais	28%	Cu	14%
		Fe	6%
		Ni	2%
		Zn	2%
		Sn	2%
		Ag	0,3%
		Au	0,04%
		Pd	0,02%
Plásticos		19%	
Bromo		4%	
Mat. cerâmicos, vidro e óxidos		49%	

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

- **Cimento** – Fornecido pela Unifoa, foi utilizado o cimento CP III 40 RS de 40 MPa, embalagem de 50 kg, marca CSN.

Proporção em massa para composição do CP III

TIPO DE CIMENTO	CLINQUER E GESSO	ESCÓRIA GRANULADA DE ALTO-FORNO	MATERIAL CARBONÁTICO
CP III	25 - 65%	35 - 70%	0 - 5%

Principais características físicas do cimento CP III

TIPO DE CIMENTO	Classe	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO				FINURA	TEMPO DE PEGA		EXPANSIBILIDADE	
		MPa 3 dias	MPa 7 dias	MPa 28 dias	MPa 91 dias	Resíduo na Peneira 75 µm	Início (horas)	Fim (horas)	À frio (mm)	À quente (mm)
CP III	40	≥ 12	≥ 23	≥ 40	≥ 48	≤ 8,0	≥ 1	≤ 12	≤ 5	≤ 5
	32	≥ 10	≥ 20	≥ 32	≥ 40					

MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

- **Placas de Circuito Impresso** – Fornecidas pela escola ICT/Fasf e Kadoshi Informática .



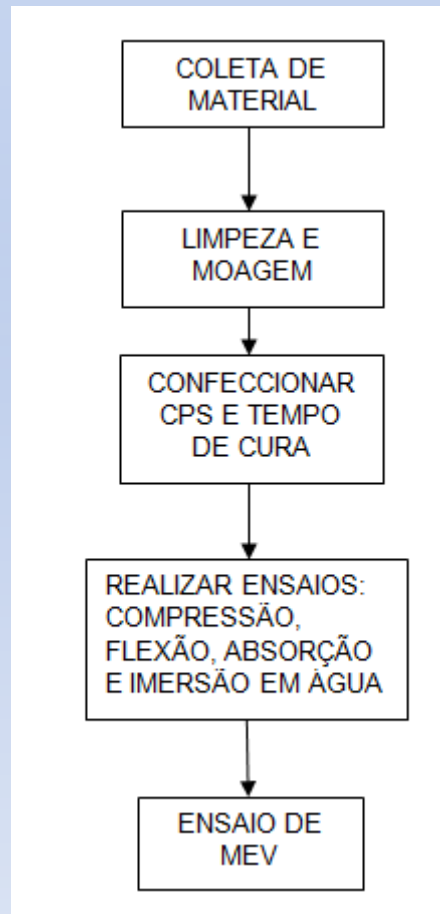
MATERIAIS E MÉTODOS

MATERIAIS

- **Areia** – Fornecida pela Unifoa, tem tamanho médio de 0,42 mm a 1,2 mm;
- **Brita** – Fornecida pela Unifoa, utiliza brita 2 (\emptyset variando de 12,5 mm a 25 mm) e brita 1 (\emptyset variando de 4,8 mm a 12,5 mm);
- **Água** – A água usada para a mistura é potável, fornecida pela rede de abastecimento do SAAE de Volta Redonda/RJ.

MATERIAIS E MÉTODOS

MÉTODOS (ASPECTOS GERAIS)

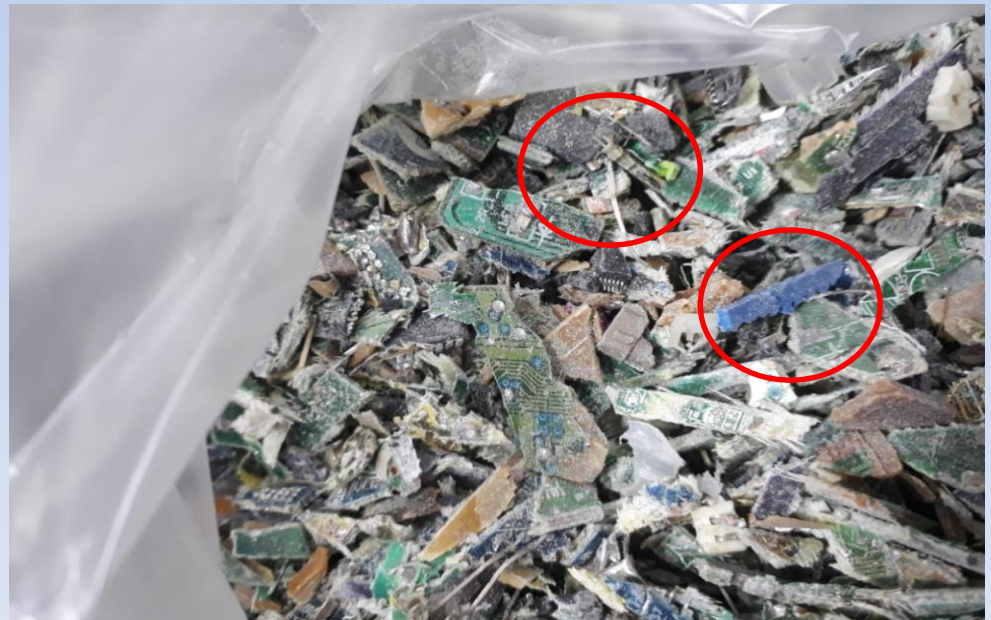


MATERIAIS E MÉTODOS MÉTODOS(MOAGEM DA PCI)

-Limpeza feita
manualmente;

-Retirado
processadores,
baterias e outros;

- Contem partes
plásticas e soldas.



MATERIAIS E MÉTODOS
MÉTODOS(MOAGEM DA
PCI)

O material foi processado no moinho de facas, por duas vezes.



MATERIAIS E MÉTODOS

MÉTODOS(ANÁLISE GRANULOMÉTRICA)

- Baseado na NBR NM 248/03 ;
- Realizado em três etapas;
- Separação, Pesagem e Agitador de peneiras;
- Fica pelo tempo de 10 minutos, frequência de 15 Hz para cada material e o procedimento se repetiu três vezes para cada material.

MATERIAIS E MÉTODOS

MÉTODOS(ANÁLISE GRANULOMÉTRICA)



MATERIAIS E MÉTODOS MÉTODOS(PREPARAÇÃO DOS CPS)

- Baseado na norma NBR 5738/03;
- Usado o traço 1:2:3;
- Misturados na betoneira;
- Formas preenchidas em duas etapas, entre elas teve 12 golpes para melhor adensar o concreto;

CP Compressão	CP Flexão
Cilíndrica, 10 x 20 cm	Prisma, 35 x 10 x 10 cm
Forma de metal	Forma de madeira naval
Misturado na Betoneira	Misturado Manualmente

MATERIAIS E MÉTODOS

MÉTODOS(PREPARAÇÃO DOS CPS)

- Proporção de material usado para cada porcentagem de CP para resistência à compressão e imersão em água;

%	Material (litros)					Data
	Areia	Água	Brita 1	Pci	Cimento	
0	14	4	21	-	7	07/03/19
10	14	4	18,9	2,1	7	24/10/18
20	14	3,9	16,8	4,2	7	18/09/18
30	14	4,2	14,7	6,3	7	07/03/19

MATERIAIS E MÉTODOS

MÉTODOS(PREPARAÇÃO DOS CPS)

- Proporção de material usado para cada porcentagem de CP para de ensaio de flexão.

%	Material (litros)					Data
	Areia	Água	Brita	Pci	Cimento	
0	4,0	1,0	6,0	-	2,0	28/03/19
10	4,0	1,0	5,4	0,6	2,0	28/03/19
20	4,0	1,0	4,8	1,2	2,0	28/03/19
30	4,0	1,0	4,2	1,8	2,0	28/03/19

MATERIAIS E MÉTODOS

MÉTODOS(ABSORÇÃO DE ÁGUA E ÍNDICE DE VAZIO)

- Baseado na norma NBR NM 45/06;
- Dois corpos de prova;
- Secagem por 72 h e pesa a amostra;
- Em água a (23°C +/-2°C) por 72 h, sendo 4h com 1/3 de água, 4 h com 2/3 e 64 h restantes totalmente imerso;
- Após isso, realizar a pesagem das amostras saturadas.

$$A_{ag} = \left[\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right] \times 100$$

$$I_v = \left[\frac{(M_{sat} - M_s)}{(M_{sat} - M_i)} \right] \times 100$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO (GRANULOMETRIA)

- Areia

Malha	Peneira	Peneira + Material	Material	Percentual	Percentual acumulado
4,75 mm	439,00 g	439,00 g	-	-	-
2,36 mm	390,02 g	392,06 g	2,04 g	0,00408%	0,00408%
0,85 mm	387,68 g	645,08 g	257,40 g	51,48%	51,48408%
0,60mm	333,97 g	500,61 g	166,64 g	33,328%	84,81208%
0,43 mm	363,08 g	407,09 g	44,01 g	8,802%	93,61408 %
0,30 mm	348,21 g	364,20 g	15,99 g	3,198%	96,81208 %
0,15 mm	347,85 g	357,25 g	9,4 g	1,88%	98,69208%
Fundo	397,62	398,37	0,75 g	0,0015 %	98,69358%

RESULTADOS E DISCUSSÃO (GRANULOMETRIA)

- Brita

Malha	Peneira	Peneira + Material	Material	Percentual	Percentual acumulado
25 mm	414,57 g	-	-	-	-
19 mm	395,78 g	526,93 g	131,19 g	26,238 %	26,238 %
12,5 mm	432,57 g	734,11 g	301,54 g	60,31 %	86,55 %
9,50 mm	405,74 g	441,04 g	35,30 g	7,06 %	93,61 %
6,30 mm	411,84 g	429,67 g	17,83 g	3,57 %	97,17 %
4,75 mm	571,47 g	583,34 g	11,87 g	2,37 %	99,55 %
2,36 mm	392,92 g	393,86 g	0,94 g	0,19 %	99,73 %
Fundo	410,51 g	410,51 g	0,31 g	0,06 %	99,80 %

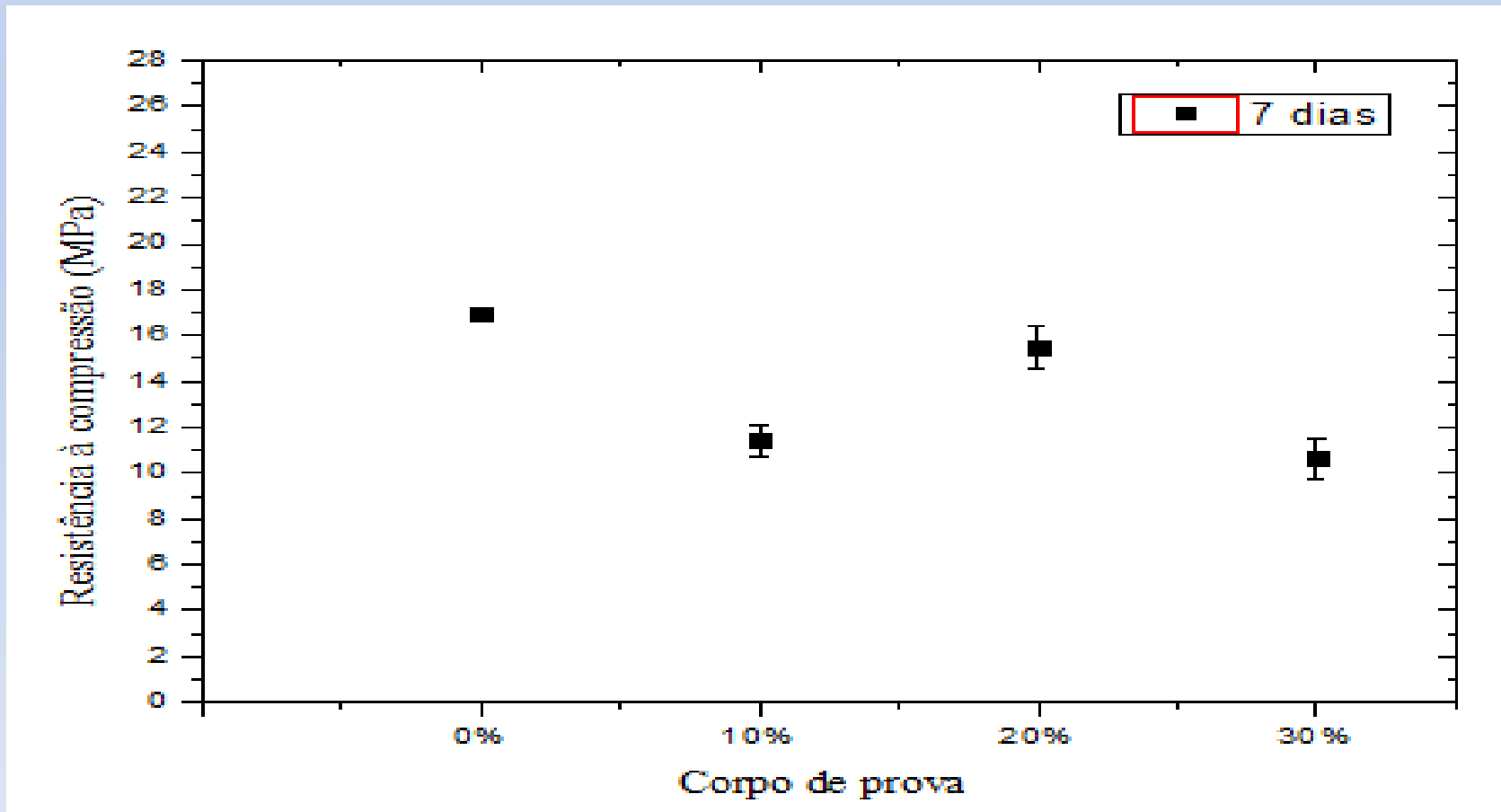
RESULTADOS E DISCUSSÃO (GRANULOMETRIA)

- Placa de circuito impresso

Malha	Peneira	Peneira + Material	Material	Percentual	Percentual acumulado
19,00 mm	414,57 g	-	-	-	-
12,50 mm	395,78 g	-	-	-	-
9,50 mm	405,69 g	410,32 g	4,63 g	0,93 %	0,93 %
6,30 mm	411,79 g	486,25 g	74,46 g	14,89 %	15,82 %
4,75 mm	547,55 g	671,08 g	323,53 g	64,71 %	80,52 %
2,36 mm	392,88 g	458,86 g	65,95 g	13,19 %	93,71 %
0,85 mm	387,57 g	394,66 g	7,09 g	1,42 %	95,13 %
Fundo	410,43 g	410,58g	0,13 g	0,03 %	95,16 %

RESULTADOS E DISCUSSÃO (ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO)

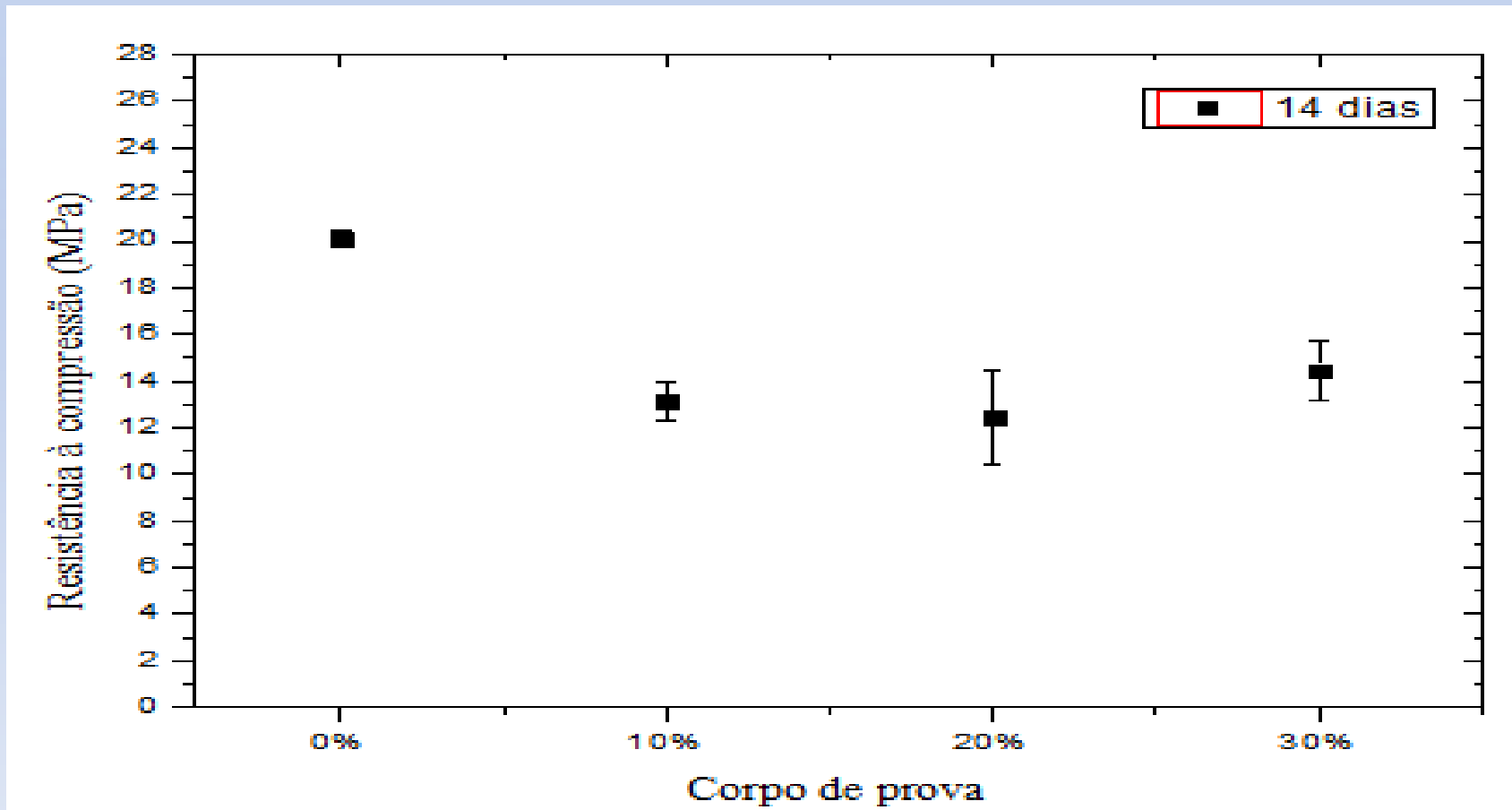
- Resultado do ensaio de compressão para sete dias.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

(ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO)

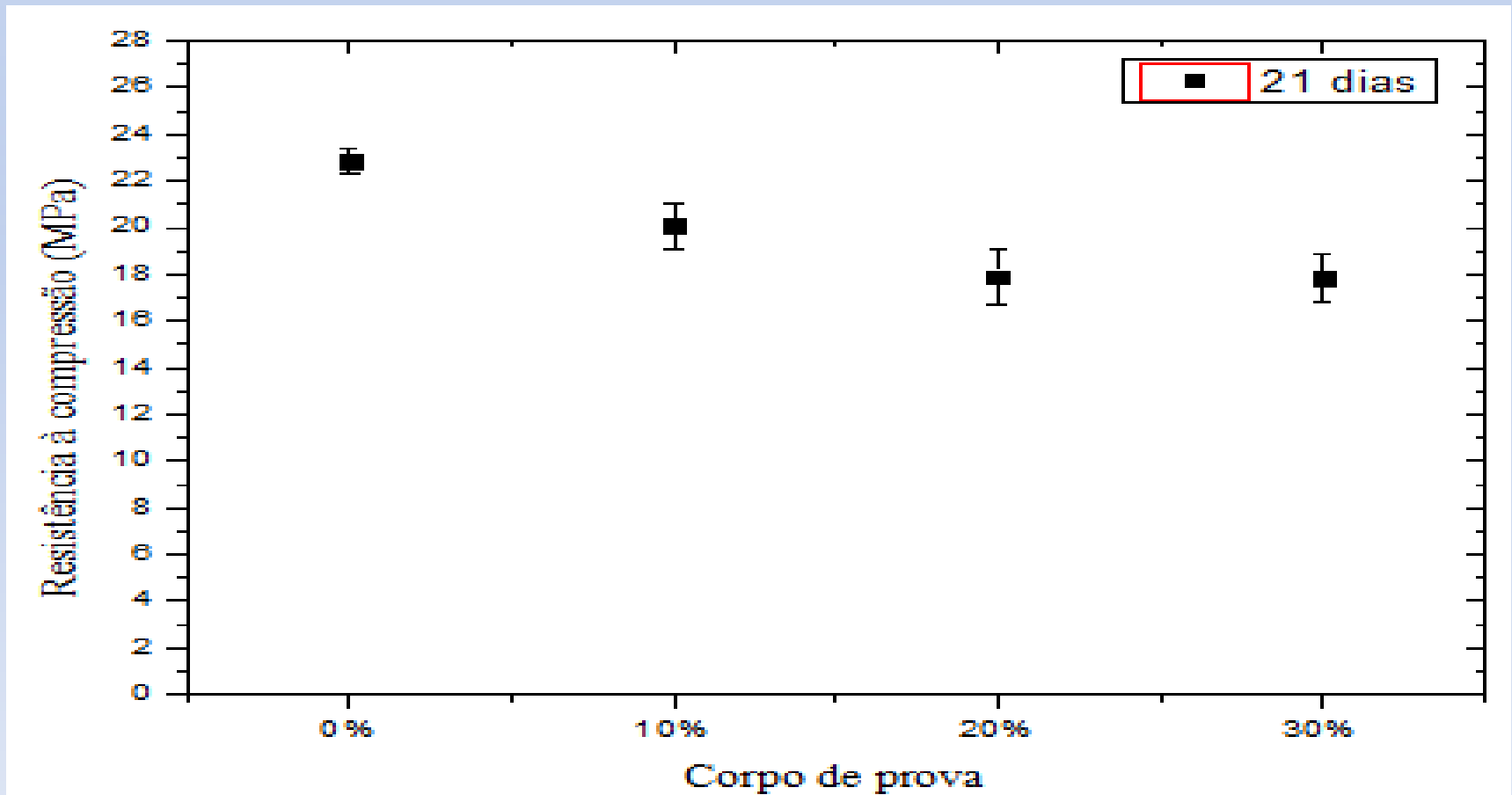
- Resultado do ensaio de compressão com 14 dias.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

(ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO)

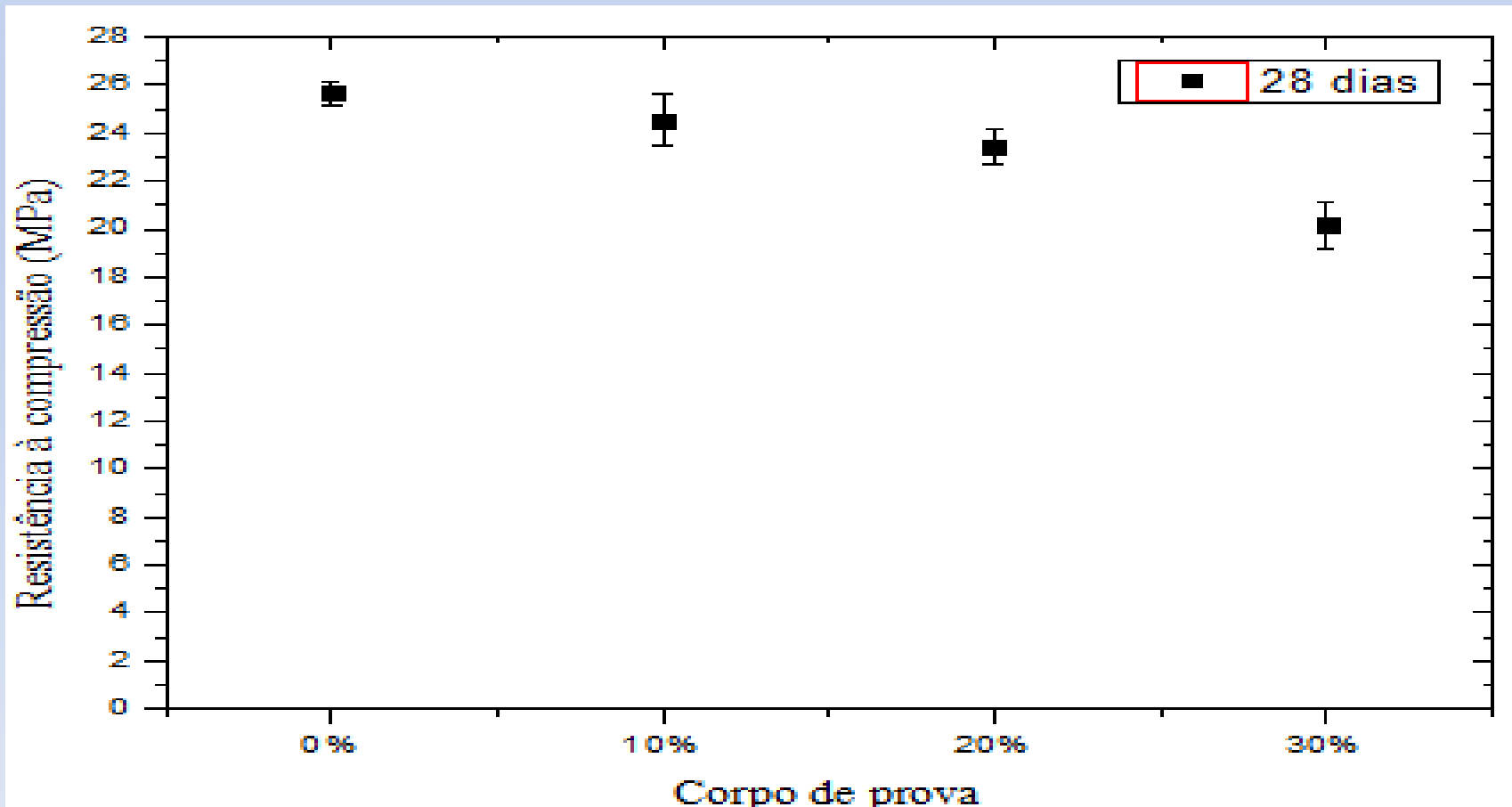
- Resultado do ensaio de compressão com 21 dias.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

(ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO)

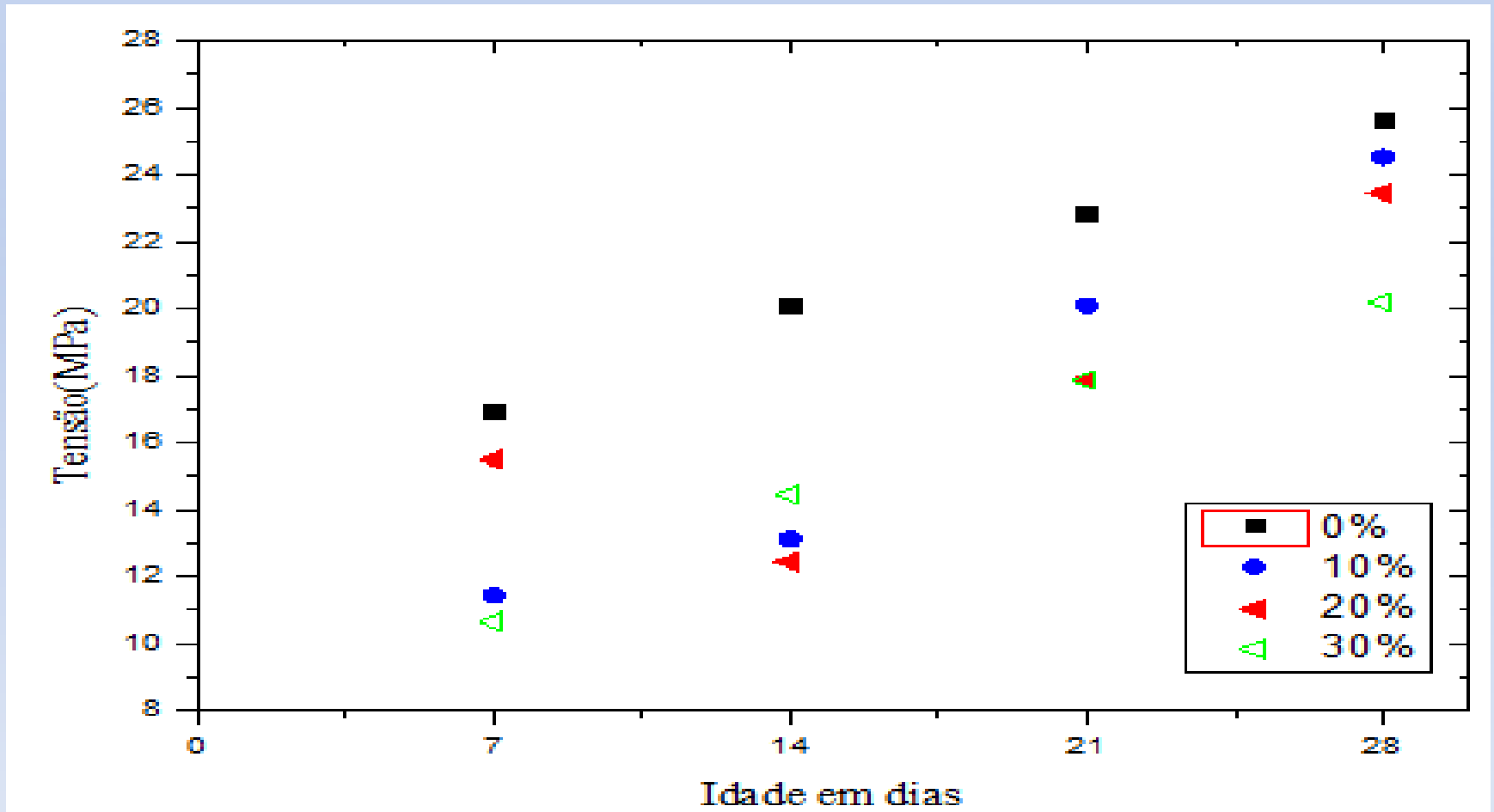
- Resultado do ensaio de compressão com 28 dias.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

(ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO)

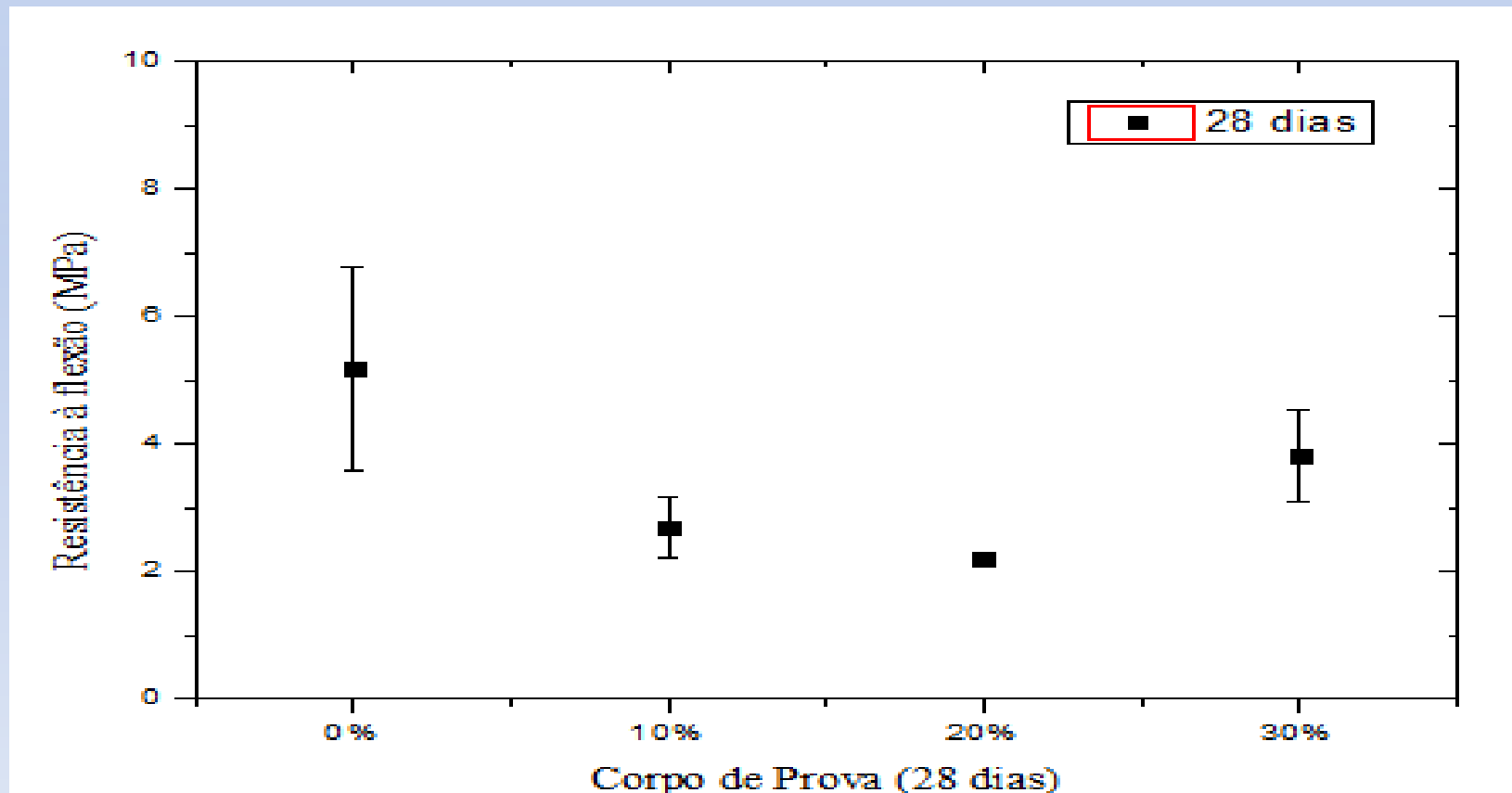
- Tensão(MPa) x Idade dos cps



RESULTADOS E DISCUSSÃO (ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO)

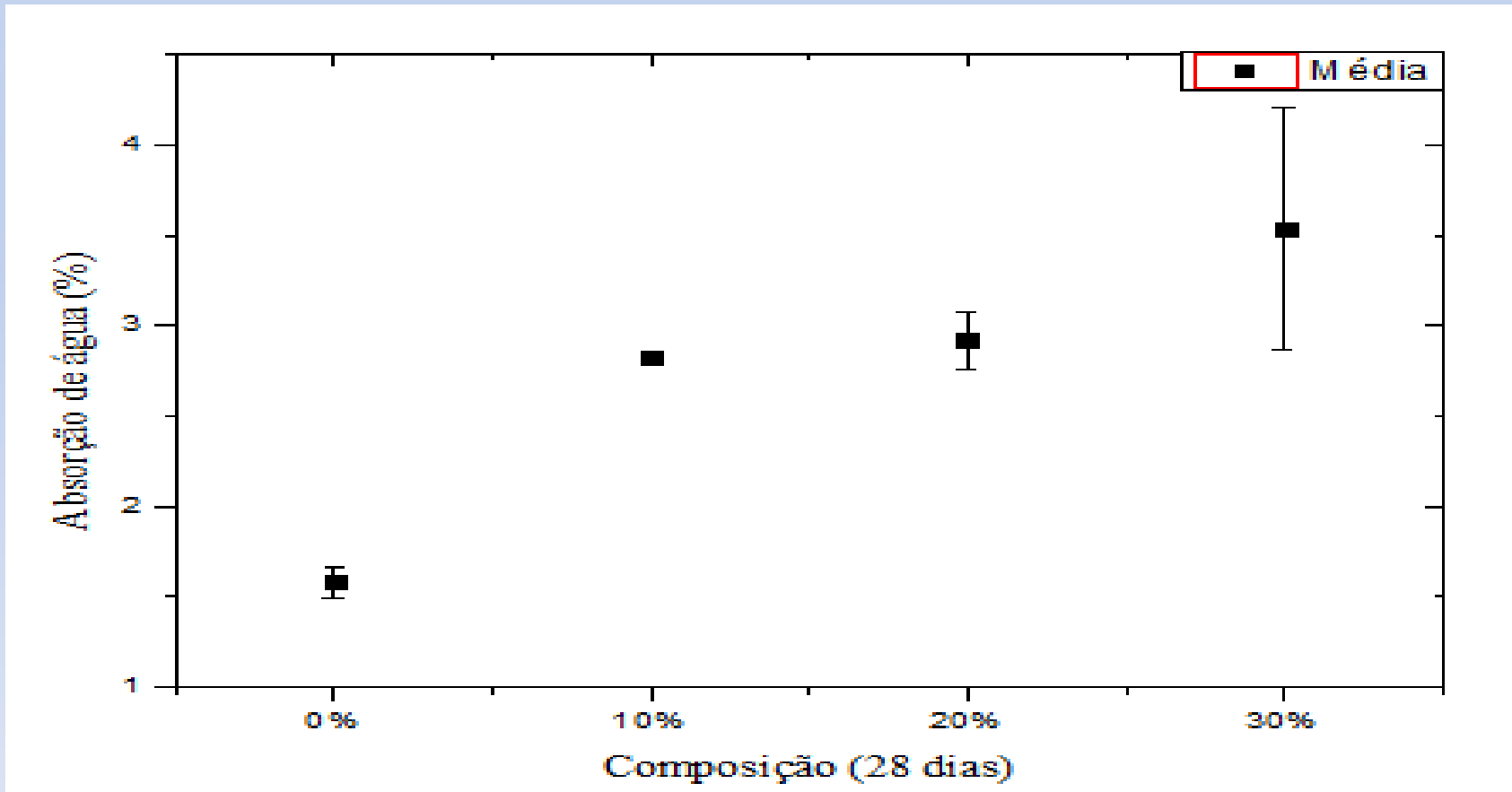
NBR 12142/2010

Resultado do ensaio de tração na flexão
com 28 dias.



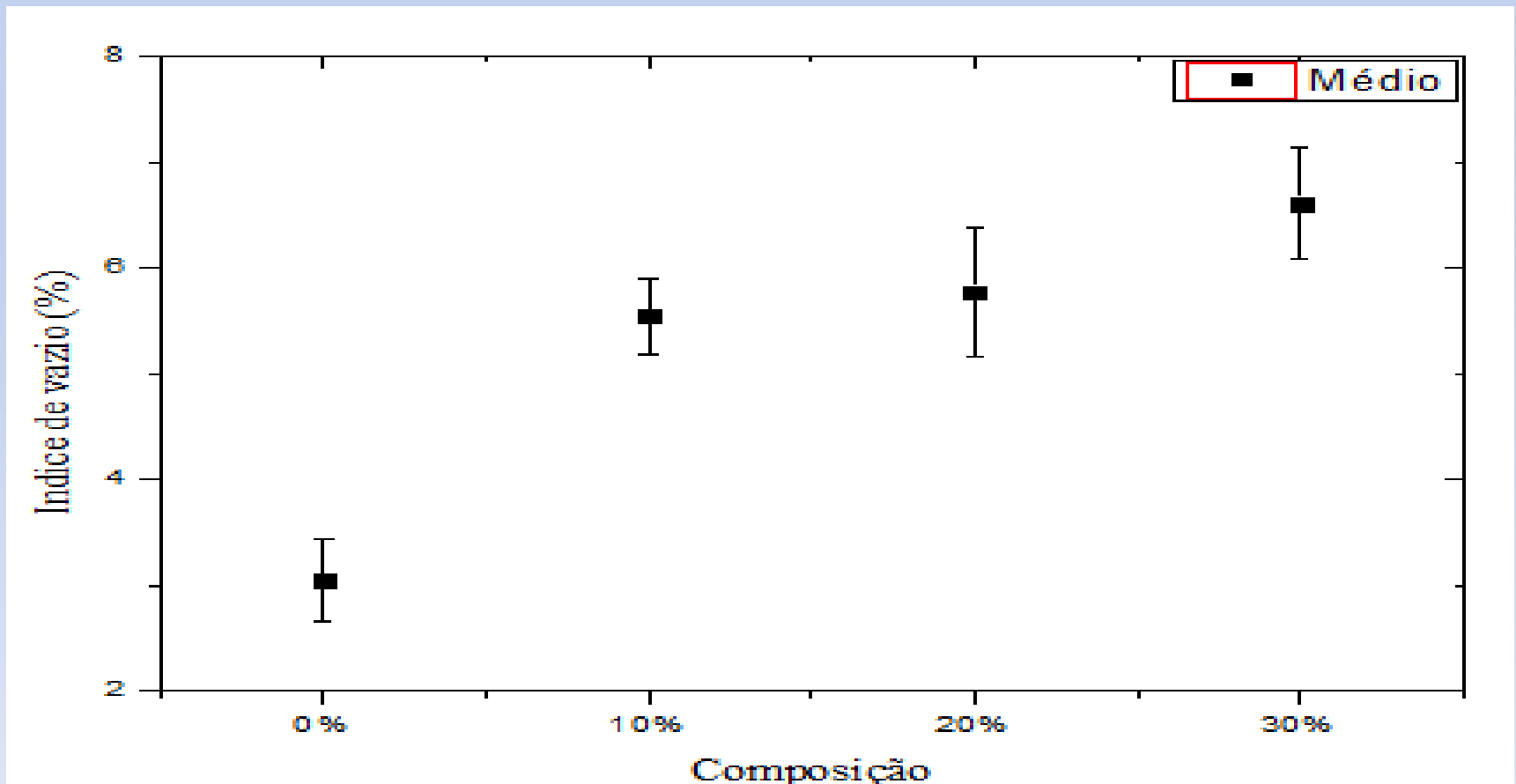
RESULTADOS E DISCUSSÃO (ABSORÇÃO DE ÁGUA)

- Resultado da Absorção de água.



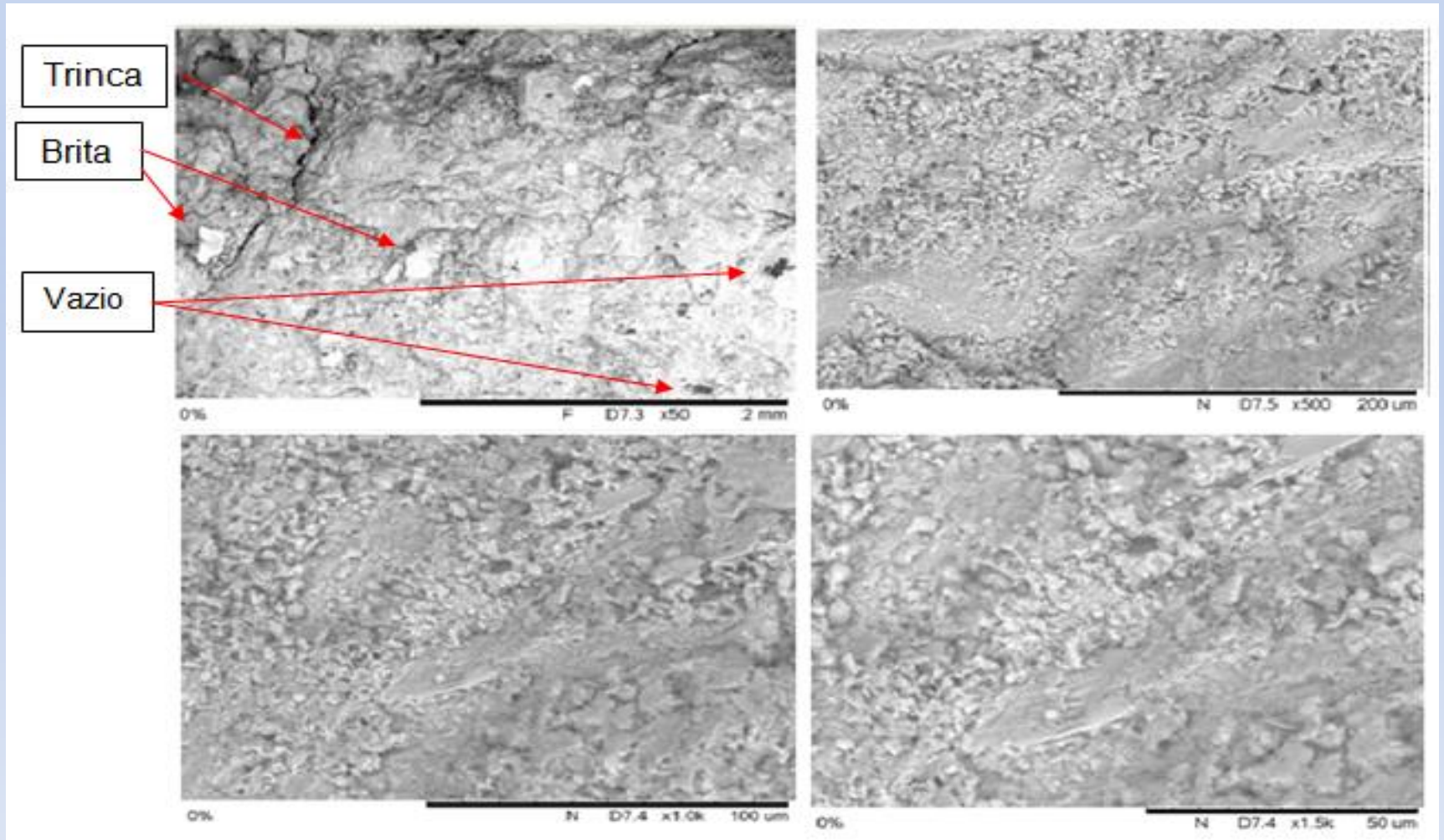
RESULTADOS E DISCUSSÃO (ÍNDICE DE VAZIO)

- Resultado do Índice de vazio.



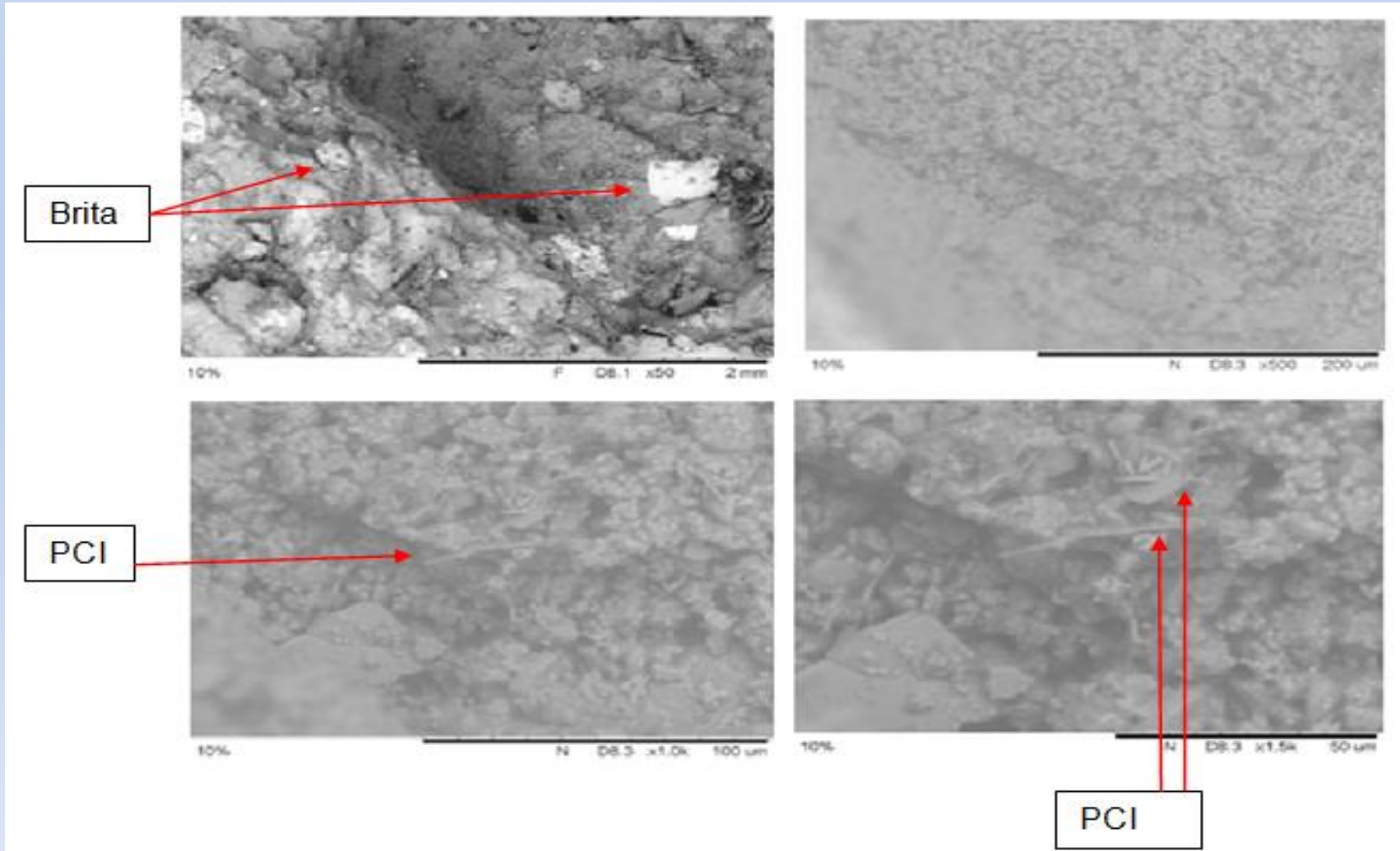
RESULTADOS E DISCUSSÃO (MEV)

- Ampliações de 50X, 500X, 1000X, e 1500X, para amostra de controle.



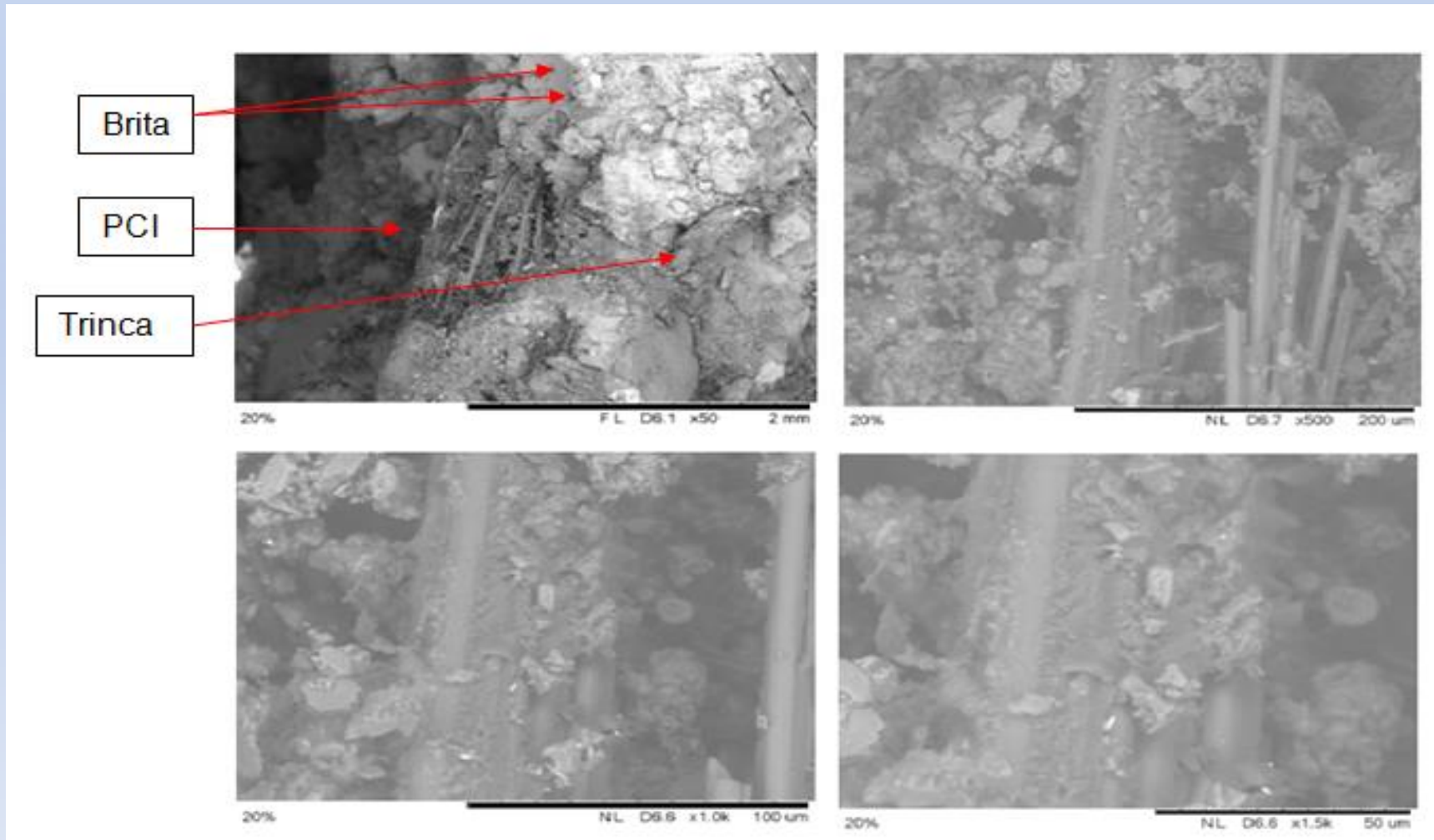
RESULTADOS E DISCUSSÃO (MEV)

- Ampliações de 50X, 500X, 1000X, e 1500X, para amostra com 10% de PCI.



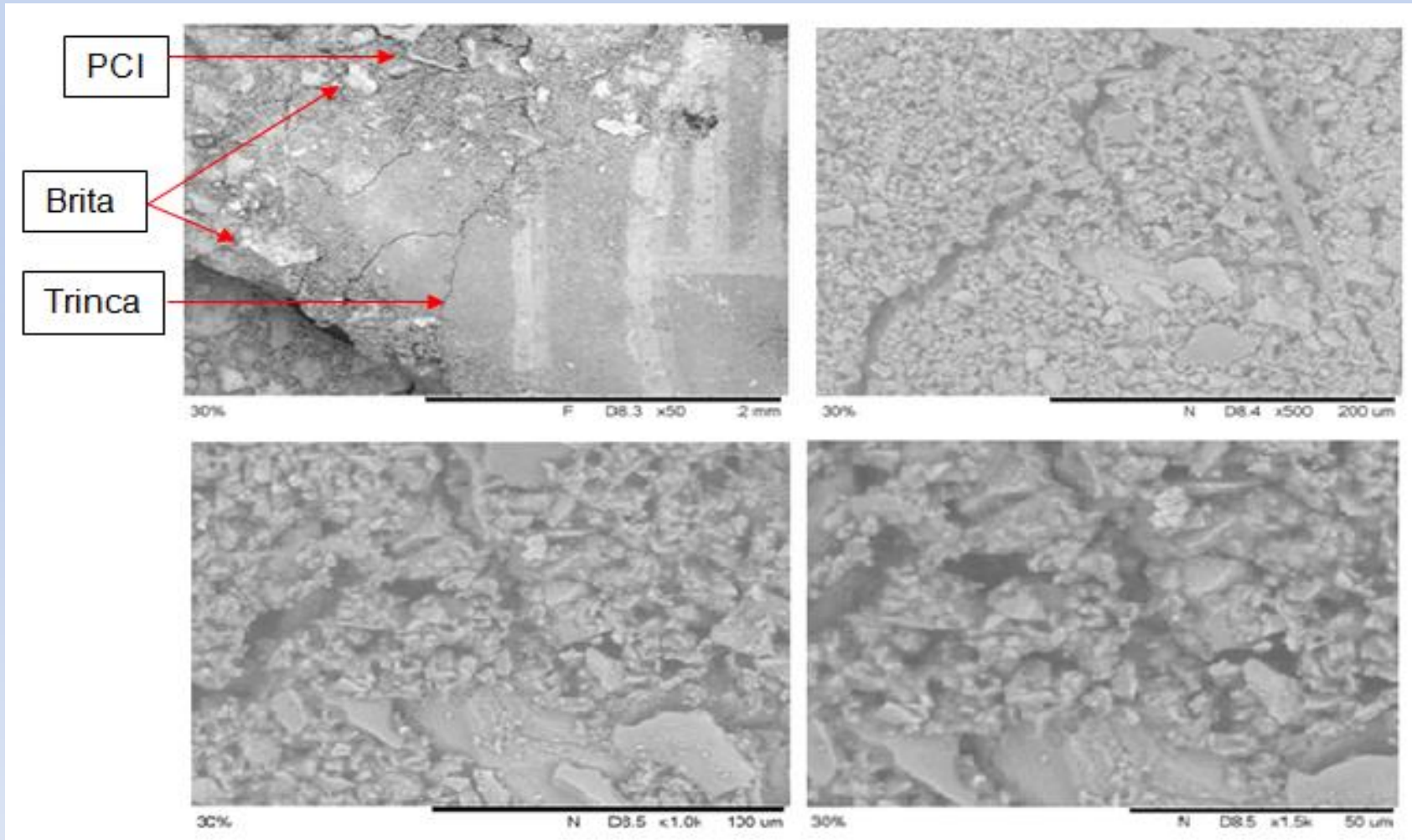
RESULTADOS E DISCUSSÃO (MEV)

- Ampliações de 50X, 500X, 1000X, e 1500X, para amostra com 20% de PCI.



RESULTADOS E DISCUSSÃO (MEV)

- Ampliações de 50X, 500X, 1000X, e 1500X, para amostra com 30% de PCI



CONCLUSÕES

- Para o ensaio de compressão, na idade de 28 dias, o concreto padrão atingiu media de 25,67 MPa e a proporção de 10% atingiu 24,53 MPa. Conclui-se sua aplicação na construção civil na forma de concreto não estrutural;
- Conclui-se que, no teste de resistência à flexão, entre as amostras, a de 30% de PCI obteve os melhores resultados. A matriz absorvendo a flexibilidade das placas e outra hipótese levantada, pode ser na homogeneidade do corpo de prova.

CONCLUSÕES

- Conclui-se que, para o ensaio de absorção de água, os cp's com PCI, tiveram maior absorção de água, mesmo sendo uma característica da PCI a baixa absorção de água. O motivo para tal ocorrido, é que no momento em que a PCI é cortada, as camadas internas ficam expostas, é onde ocorre o acúmulo de água.
- Conclui-se que, o ensaio de índice de vazios, revelou que quanto maior a proporção usada, maior será o índice de vazios. Isso pode acontecer pelo fato das PCI's serem moídas, ficando com a granulometria diferente e apresentando forma fibrilar ou geométricas.

CONCLUSÕES

- Pelas normas 6188/14 e 12655/06, os valores não atingiram o valor para ser usado como concreto estrutural (20 MPa a 90 MPa), sendo assim classificado como concreto não estrutural, podendo ser usado em calçadas, praças ou halls.
- Ao se utilizar as PCI-s no concreto, é possível gerar emprego, renda e evita toneladas de lixo eletrônico em aterros. Evita-se a contaminação do solo, lençol freático e ajuda no retorno de metais de grande valor de volta na cadeia produtiva.

TRABALHOS FUTUROS

- Realizar o ensaio de desgaste por abrasão.
- Aumentar a proporção do lixo eletrônico no agregado graúdo.
- Usar aditivo no concreto e verificar se houve melhora.
- Alterar a granulométrica da PCI e utilizar como agregado miúdo.
- Utilizar a carcaça dos aparelhos elétricos e eletrônicos, no lugar das PCI's.