



ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS DE PNEUS INSERVÍVEIS EM CONCRETO PARA APLICAÇÃO EM PISOS INTERTRAVADOS

Autor: Pedro Fernandes São Thiago

Orientador: Luiz de Araujo Bicalho

Volta Redonda/RJ – 2017

TÓPICOS DA DISSERTAÇÃO



1 INTRODUÇÃO

Dentre os problemas ambientais mundialmente nas sociedades modernas, temos A INADEQUADA DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, COMO É O CASO DOS “PNEUS VELHOS OU INSERVÍVEIS”, objeto de estudo neste trabalho de pesquisa, que busca formas de minimização, que incluem:

- o reuso e a reciclagem dos pneus inservíveis,
- a diminuição da extração de recursos naturais,
- maximização da vida útil dos aterros sanitários,
- minimização de riscos ao M. A. e a Saúde Pública.

1 INTRODUÇÃO

CEMITÉRIO DE PNEUS

Pneus velhos ou inservíveis:

- **Disposição inadequada;**
- **Passivo Ambiental;**
- **Riscos ao Meio Ambiente e a Saúde Pública;**
- **Economia de Recursos Naturais;**



Foto: Cemitério de pneus.



Foto: Reuters (2016) – Chamas controladas no maior cemitério de pneus da Europa .

1 INTRODUÇÃO

O QUE VEM A SER PNEU OU PNEUMÁTICO INSERVÍVEL?

- **Pneu ou pneumático inservível** é aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional, segundo Resolução CONAMA nº 258/99.

A PESQUISA REFORÇA A POSSIBILIDADES DE RECICLAGEM DOS PNEUS INSERVÍVEIS, O GERENCIAMENTO ADEQUADO PÓS-CONSUMO, ALINHAMENTO COM A SUSTENTABILIDADE E RESPONSABILIDADE SOCIAL.

2 OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Reduzir os impactos ambientais causados pelo descarte dos pneus inservíveis, tendo como foco principal a agregação destes pneus na composição de blocos de concreto - frequentemente denominado de “*pavers*”, em substituição parcial ao agregado miúdo, para utilização em pisos intertravados.

2 OBJETIVOS

OBJETIVO ESPECÍFICO

Avaliar, experimentalmente, a incorporação de borracha triturada provenientes dos resíduos de pneus inservíveis, na fabricação de pavers, por meio de ensaios de resistência mecânica à compressão e absorção de água, de acordo com os procedimentos das Normas da ABNT.

3 JUSTIFICATIVA

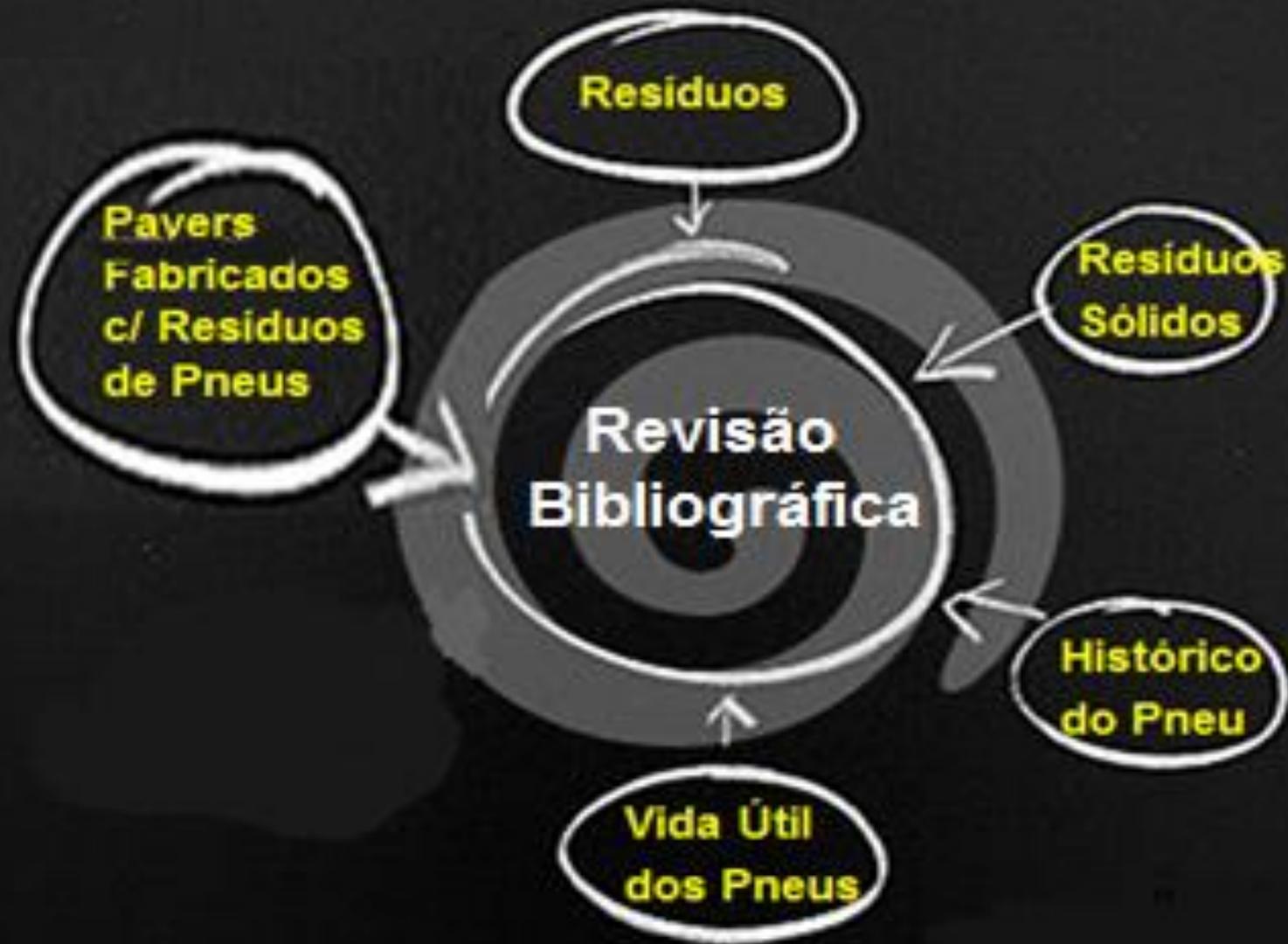
- Os pisos intertravados estão atualmente presentes e são largamente difundidos em muitos projetos de engenharia efetuados no Brasil, tanto na construção como na reconstrução e reabilitação desse tipo de instalação urbana, e constituem uma brilhante e eficaz solução para uso em ruas, calçadas, calçadões e praças, além de terminais de carga em portos, aeroclubes e estradas vicinais.

3 JUSTIFICATIVA

- Acredita-se que RECICLAR PNEUS INSERVÍVEIS REUTILIZANDO-OS na fabricação de intertravados, É MUITO RELEVANTE, pois contribui com a preservação do meio ambiente, uma vez que PODE DIMINUIR A EXTRAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS como a areia natural, além de EVITAR QUE SEJA ARMAZENADO DE FORMA INADEQUADA, consoante aos princípios de sustentabilidade e responsabilidade social. Além disso, TENTAR INSERIR NO CONTEXTO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS UMA FILOSOFIA DE REAPROVEITAR; reciclar ou reusar o material que se tem em mãos, antes de descartá-lo totalmente no meio ambiente.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

TÓPICOS DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA



4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RESÍDUOS

A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL É UM MARCO HISTÓRICO NO AUMENTO DESCONTROLADO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS através da produção em alta escala, intensificando os danos ao Meio Ambiente e a Saúde Humana (Teixeira 2005).

OS PAÍSES INDUSTRIALIZADOS são os que MAIS estão contribuindo para a destruição do Meio Ambiente devido às ALTAS GERAÇÕES DE RESÍDUOS PRODUZIDOS (Sasse, 2002).

Foram PRODUZIDOS 67,3 MILHÕES DE UNIDADES DE PNEUS NO BRASIL EM 2010. ALTA DE 15% EM RELAÇÃO À 2009. Porém, quando se tornam inservíveis, não são aproveitados devidamente (ANIP 2010)

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RESÍDUOS SÓLIDOS (RS)

São todos os restos sólidos ou semi-sólidos das atividades humanas ou não-humanas, que embora possam não apresentar utilidade para a atividade fim de onde foram gerados, podem virar insumos para outras atividades (NBR10004:2004).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RESÍDUOS SÓLIDOS X REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA

- **POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS
LEI nº12.305 de 02/09/2010**

Criada para ENCAMINHAR DIRETRIZES RELATIVAS À GESTÃO INTEGRADA E AO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL (BRASIL, 2010).

- **Resolução CONAMA nº258 de 26/09/1999**

RESPONSABILIZA O PRODUTOR E IMPORTADOR quanto à coleta, o transporte e a disposição final dos pneus inservíveis(BRASIL, 1999)

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RESÍDUOS SÓLIDOS (RS) X NORMALIZAÇÃO

➤ Norma ABNT NBR 10004:2004

Estabelece os CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO E OS CÓDIGOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS de acordo com suas características.

Objetiva classificar os RS e assim servir como UMA FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO.

CLASSIFICAÇÃO E CÓDIGO DOS RESÍDUOS DE BORRACHA

➤ NBR 10.004:1987

Resíduos Classe II – Não Inertes (débil biodegradabilidade e alta combustibilidade)

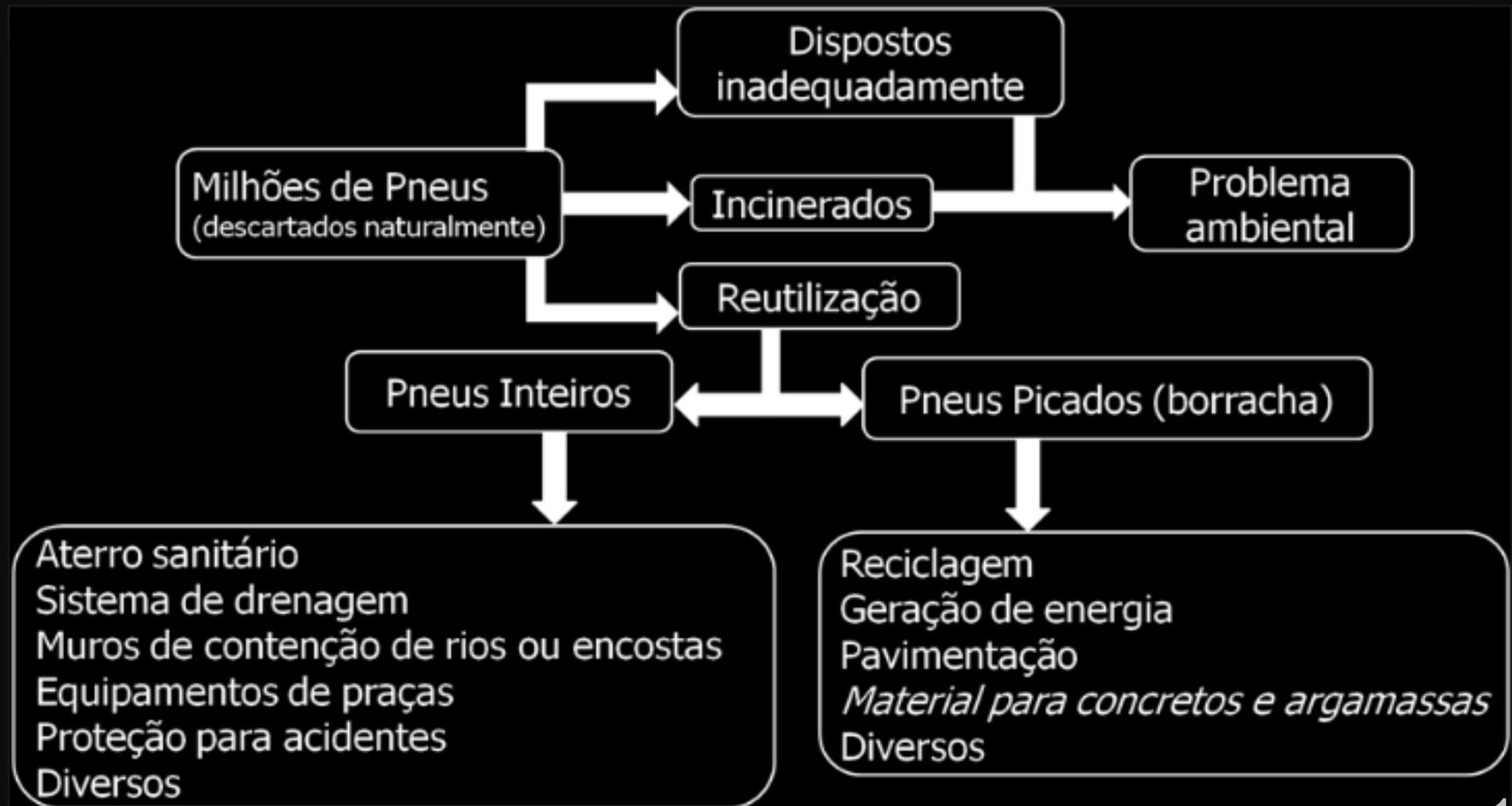
➤ NBR 10.004:2004

Resíduos Classe II B – inertes, código A008 (Anexo H da norma). 14

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

RESÍDUOS SÓLIDOS (RS)

HISTOGRAMA DA DESTINAÇÃO DOS PNEUS INSERVÍVEIS



4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

HISTÓRICO DO PNEU

- Sua história teve início com o surgimento da RODA DE MADEIRA (Aly, 2006).
- A RODA VEICULAR surge por volta de 3.500 anos antes de Cristo, no Oriente Médio. Os EGÍPCIOS CONTRIBUÍRAM PARA SEU DESENVOLVIMENTO, porém A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA foi na Europa, entre os CELTAS, na época do Império Romano (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

HISTÓRICO DO PNEU

- Com o SURGIMENTO DA MÁQUINA A VAPOR, no início do século XIX, as rodas utilizadas, tinha AROS DE AÇO E PNEUS DE MADEIRA. Assim, as RODAS DA MÁQUINA muito pesada, TINHAM POUCA DURABILIDADE (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).
- Em 1838 foi DESCOBERTA A VULCANIZAÇÃO e sete anos após ocorre o SURGIMENTO DO PNEU DE BORRACHA (1845).
- Em 1856, empresa produz os PRIMEIROS PNEUS SÓLIDOS, contudo, foi a empresa GOODRICH A PRIMEIRA A UTILIZAR PNEU SÓLIDO em bicicleta.
- Em 1888, JOHN BOYD DUNLOP, INVENTOU O PNEUMÁTICO, usando em suas bicicletas.(KOVAC, 1973).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

HISTÓRICO DO PNEU

- O INÍCIO DA PRODUÇÃO DE PNEUS NO BRASIL se deu em 1934.
- INSTALAÇÃO DA COMPANHIA BRASILEIRA DE ARTEFATOS DE BORRACHA, “Pneus Brasil”, em 1936, no Rio de Janeiro - fabricou em torno de 29 mil unidades.
- OUTROS FABRICANTES SURGIRAM NO MUNDO entre 1938 e 1941, contribuindo com o aumento da produção nacional passando a fabricar 441 mil unidades ao ano (ANIP, 2006).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

VIDA ÚTIL DOS PNEUS

- Exemplos de desgastes irregulares dos pneus estão expostos nestas imagens.
- Para reduzir desgaste é recomendado o rodízio dos pneus dos veículos ao se fazer a cambagem (diz respeito à inclinação das rodas), o alinhamento e balanceamento das rodas.



Excesso de pressão



Cambagem incorreta

TABELA: VIDA ÚTIL DOS PNEUS

TIPO DE PNEUS	VIDA ÚTIL
Trator	10 a 12 anos
Transbordo Canavieiro	4 a 5 anos
Empilhadeiras	4.000 a 5.000 horas
Automóveis	até 80.000 km
Ônibus e caminhões	até 200.000 km
Motos	30.000 km
Aviões	200 pousos e decolagens
Agrícolas	8.000 a 10.000 horas

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

PAVERS FABRICADOS COM RESÍDUOS DE BORRACHA

Silva *et al.* (2007) afirmam que o CONCRETO É O MATERIAL MAIS CONSUMIDO NA FABRICAÇÃO DE CALÇADAS.

A ADIÇÃO de fibras DE BORRACHA tem se mostrado eficácia, MELHORANDO CERTAS CARACTERÍSTICAS COMO DURABILIDADE E ELASTICIDADE do concreto.

Tem se observado que, gradativamente os PNEUS INSERVÍVEIS ESTÃO SENDO DIRECIONADOS À COLETA E RECICLAGEM CONFORME SURGIMENTO DE PROGRAMAS E EMPRESAS VOLTADOS À DESTINAÇÃO CORRETA DESSES PRODUTOS.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

PAVERS FABRICADOS COM RESÍDUOS DE BORRACHA

Segundo Turgut *et al.* (2008), partículas de BORRACHA DE PNEU foram COMBINADAS EM CONCRETO PARA PRODUZIR TIJOLO composto, de peso MAIS LEVE, com BAIXO CUSTO e RESISTÊNCIA TÉRMICA.

Yesilata *et al.* (2011) realizou pesquisa adicionando em COMPÓSITO CIMENTÍCIO, sucata de BORRACHA DE PNEUS, e DESENVOLVEU MATERIAL de construção com MENOR TRANSMISSÃO TÉRMICA.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

PAVERS FABRICADOS COM RESÍDUOS DE BORRACHA

RODRIGUES (2010) corrobora com a ideia e coloca que os PNEUS INSERVÍVEIS e demais derivados da borracha, CONTINUAM SENDO DISPOSTOS INADEQUADAMENTE NO MEIO AMBIENTE, apesar da evolução do aproveitamento de alguns resíduos sólidos nas últimas décadas.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

PARA A EXECUÇÃO DOS TRABALHOS com o

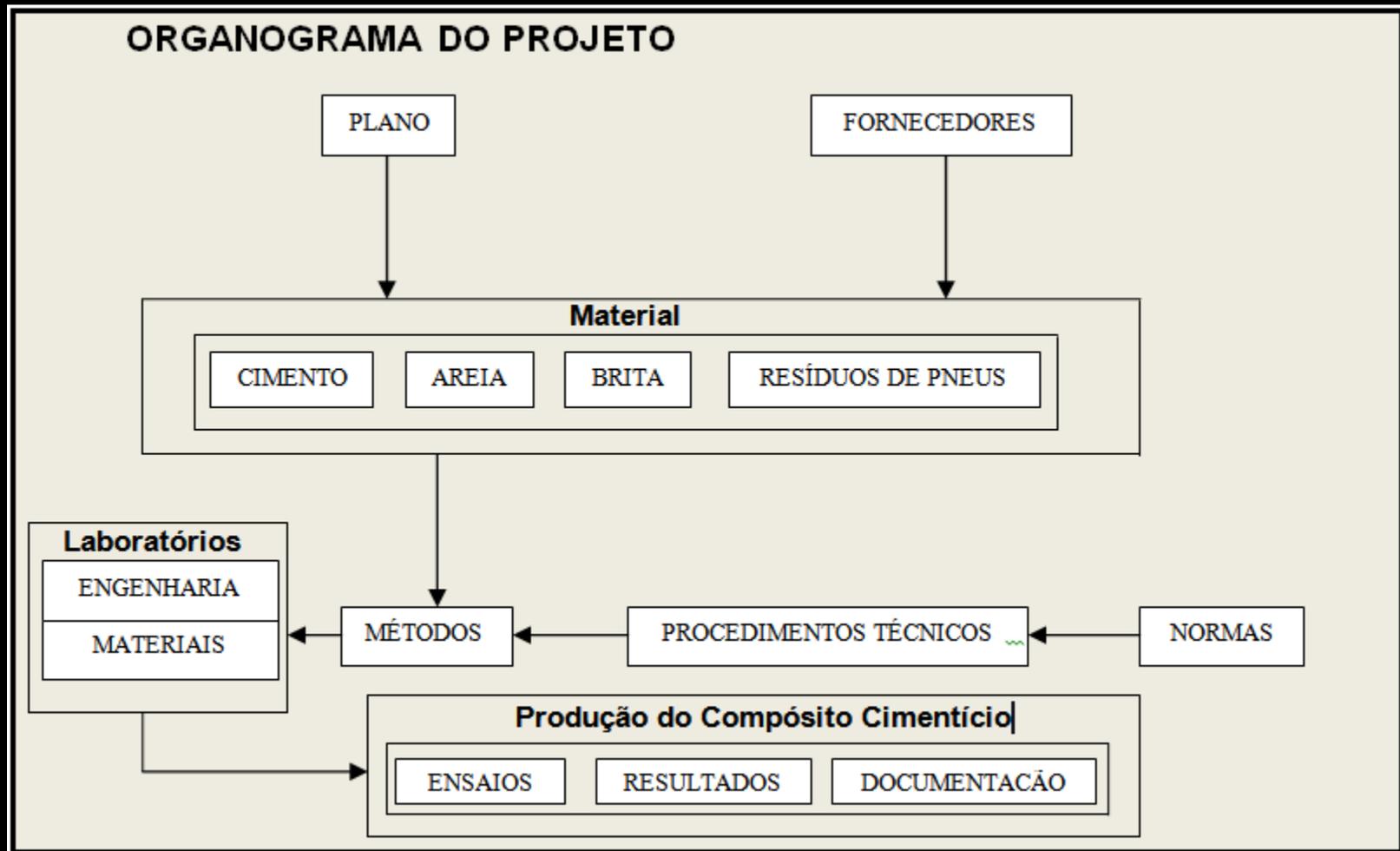
compósito pretendido, FORAM PLANIFICADOS:

- O Organograma do projeto: visualização geral do projeto.
- O Fluxograma do projeto: apresenta as etapas a seguir.



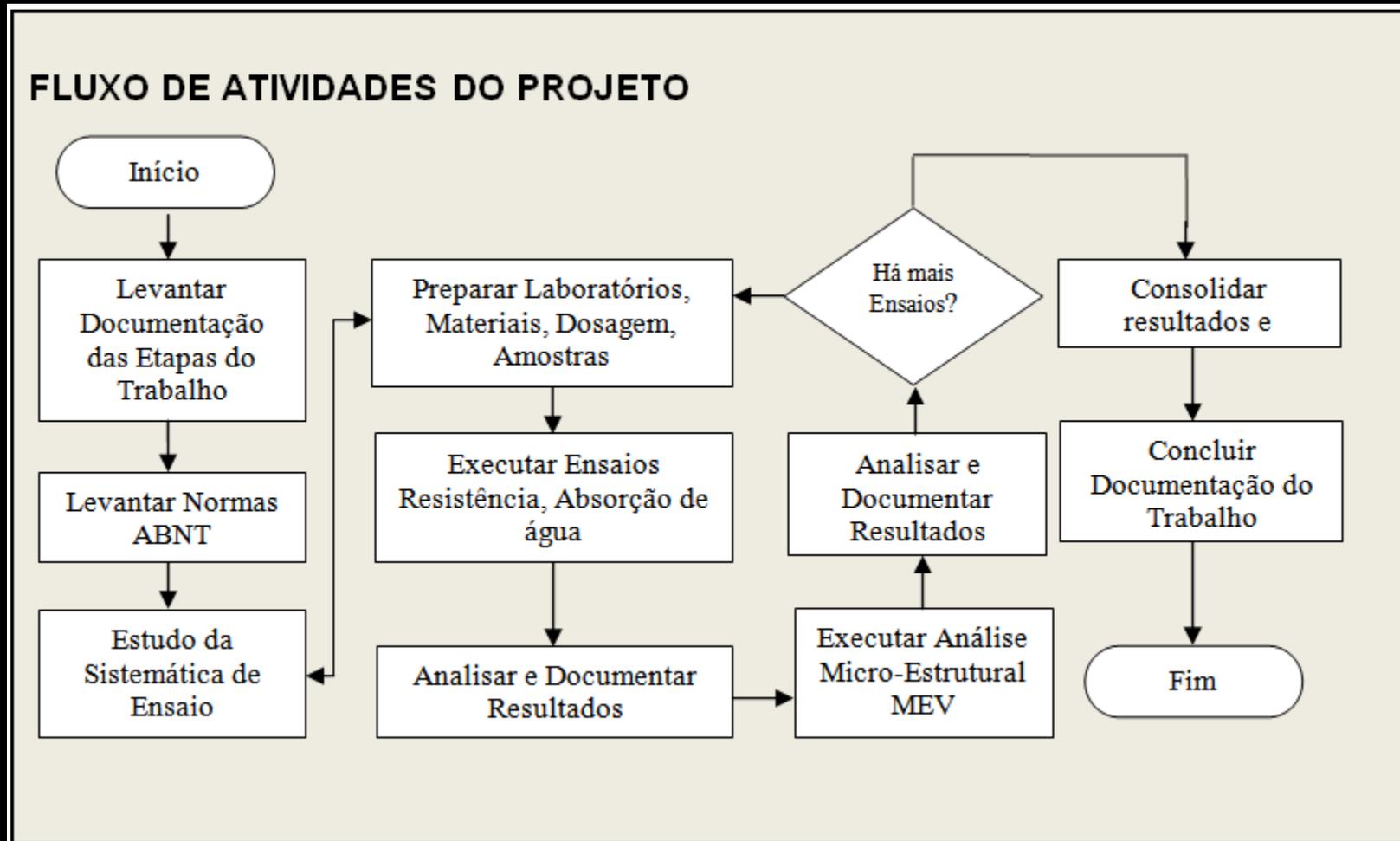
5 MATERIAIS E MÉTODOS

ORGANOGRAMA DO PROJETO



5 MATERIAIS E MÉTODOS

FLUXOGRAMA DO PROJETO



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Lista de Materiais para Confeção do Compósito Cimentício

MATERIAIS	MARCAS / FORNECEDORES	DESCRIÇÃO DO INSUMO (TIPO / MODELO)	COMPOSIÇÃO QUÍMICA PADRAO	CUSTO (R\$/UNID)
CIMENTO	CSN Cimentos, <u>Construcenter</u> Correta Materiais de Construção <u>Ltda</u>	Tipo: Portland de alto forno Modelo: CP III-40RS	<ul style="list-style-type: none">• Ferro (Fe_2) + silicatos de cálcio (Ca_2SiO_4)• Ferro (Fe_2) + <u>alumina</u> (Al_2O_3)• <u>Filler</u> carbonático (Fe_2) + sulfato de cálcio (Ca_2SO_4)• Escória de alto forno (Fe_2O_3)	25,00 /50Kg

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Lista de Materiais para Confeção do Compósito Cimentício

MATERIAIS	MARCAS / FORNECEDORES	DESCRIÇÃO DO INSUMO (TIPO / MODELO)	COMPOSIÇÃO QUÍMICA PADRAO	CUSTO (R\$/UNID)
AREIA	<u>Construcenter</u> Correta Materiais de Construção Ltda	Média (leito de rio, Areal Santa <u>Isabel</u> Ø2,0mm	Areia granulada: quartzo [base sílica (SiO ₂) + impurezas]	90,00 /m ³
BRITA	Pedreira VR, <u>Construcenter</u> correta materiais de construção Ltda	Brita 1: Ø 9,5mm	Granito de jazida natural: <u>quartzo</u> (SiO ₂) + <u>feldspato</u> () + <u>mica</u> ()	100,00 /m ³

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Lista de Materiais para Confecção do Compósito Cimentício

MATERIAIS	MARCAS / FORNECEDORES	DESCRIÇÃO DO INSUMO (TIPO / MODELO)	COMPOSIÇÃO QUÍMICA PADRAO	CUSTO (R\$/UNID)
ÁGUA	SAAE / VR	Tratada	H ₂ O + resíduos de tratamento	17,00 / m ³
RESÍDUOS DE PNEUS	Centro de Picotagem da Cimpor – Jundiaí (SP)	Granulado de pneus processado	Borracha de pneu triturado (composição química não disponível)	US\$ 100 por tonelada

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

PARA SUBSIDIAR A CONFECÇÃO DO COMPÓSITO cimentício, objeto deste trabalho de dissertação, REALIZARAM-SE OS SEGUINTE ESTUDOS E PROCEDIMENTOS:

A. Propriedade e conformação do concreto;

B. Normas e procedimentos para ensaios da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, para produção de compósito de concreto.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A. PROPRIEDADE E CONFORMAÇÃO DO CONCRETO

- Material de construção heterogêneo resultante da MISTURA DE UM AGLOMERANTE HIDRÁULICO com MATERIAIS INERTES e ÁGUA;
- O AGLOMERANTE usualmente empregado É O CIMENTO PORTLAND embora existam outros;
- OS MATERIAIS INERTES do concreto SÃO DESIGNADOS POR AGREGADOS e conforme sua granulometria, recebem as denominações de agregados GRAÚDOS E AGREGADOS MIÚDOS.
- O agregado graúdo mais frequente é a PEDRA BRITADA e o miúdo é a AREIA NATURAL.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

B. Normas e procedimentos– ABNT, para produção de compósito de concreto.

- **NBR 5738/2003** – Concreto: procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova.
- **NBR 5739/2007** – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Resumo dos procedimentos das normas ABNT MOLDES (NBR 5738/2003)

- material em aço, liso e antiaderente, base de $\text{Ø}10\text{cm}$ por 20cm de altura, possuindo travamento lateral (p/ moldagem e desmoldagem dos CP's após 24 h).

Moldes Soloteste

Cilíndricos

($\text{Ø}10\text{cm}$ de base x
20cm de altura).



5 MATERIAIS E MÉTODOS

PREPARAÇÃO DOS MOLDES (NBR 5738/2003)

- Limpeza e oleamento de sua superfície interna para facilitar retirada dos CP's no manejo preliminar.
- Pós-manejo de envasamento do concreto.
- Acondicioná-los em local com temperaturas constante visando evitar variações geométricas durante a cura dos CP's.
- Superfície estável e imóvel.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

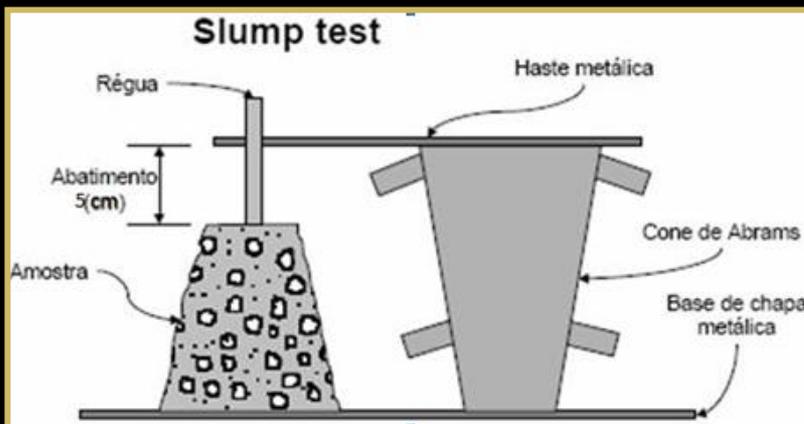
ADENSAMENTO (NBR 5738/2003)

- Deve ser EXECUTADO MANUALMENTE no manuseio com os moldes e com USO DE BARRA DE AÇO cilíndrica de ponta arredondada de dimensões de 60 cm de comprimento e diâmetro de Ø1,5cm.
- A COMPACTAÇÃO é feita com a EXECUÇÃO DE 12 PUNÇÕES, distribuídas circularmente EM DUAS CAMADAS de 50% e 100%.
- Realizar PANCADAS LATERAIS com objetivo de PREENCHER OS VAZIOS por escoamento.
- Preencher a última camada até o transbordo do molde, FAZER RASAMENTO DO TOPO com colher de pedreiro.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

MÉTODO DE ABATIMENTO - Teste de Slump (NBR 5738/2003)

- De **3cm a 15cm** para abatimento no Teste de Slump com adensamento na conformação dos CP's com barra de Ø1,5cm x 60cm, manualmente.
- O mesmo é erguido, através de suas alças laterais, para formar uma torre cônica, onde o concreto, descera do topo para baixo – abatimento.
- O cone é posicionado de forma invertida ao lado da torre. A barra é colocada na horizontal, sobre a boca do cone, logo acima do topo da torre de concreto.
- Medindo a distância da linha inferior da barra até o topo da torre, O RESULTADO REFLETE A FLUIDEZ DESEJADA, EM CENTÍMETROS .



- 1Cone de Abram
- 2Prancha de Aço
- 3ColherPedreiro
- 4RéguaMilimétr



5 MATERIAIS E MÉTODOS

MOLDAGEM DOS CP's (NBR 5738/20030)

- AS MISTURAS DO CONCRETO, GARANTINDO SUA HOMOGENEIDADE, são inseridas nos moldes com quantidade de camadas equivalentes aos dados das tabelas do item 7.3 da norma.

Moldagem
dos CP's



5 MATERIAIS E MÉTODOS

LANÇAMENTO NA CÂMARA ÚMIDA (NBR 5738/2003)

- Proceder à IDENTIFICAÇÃO DOS CP's previamente à INSERÇÃO na câmara úmida (item 8.2.3) à temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa (UR) maior que 95%, TOTALMENTE SUBMERSOS EM TANQUE DE ÁGUA PARADA (item 8.2.2) da norma.

Câmara Úmida



5 MATERIAIS E MÉTODOS

ROMPIMENTO A “n” DIAS DE CURA (NBR 5738/2003)

- Após a RETIRADA DOS CP'S DA CÂMARA ÚMIDA, os CP's de 7 DIAS DE CURA, são levados imediatamente para o ENSAIO DE RESISTÊNCIA MECÂNICA, conservados à $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e UR de 35% a 65%.
- Os outros ensaios com idades de 14 DIAS, 21 DIAS E 28 DIAS, DEVEM SEGUIR O MESMO PADRÃO DE ETAPAS.



Prensa EMIC PC-150c



Ensaio dos CP's

5 MATERIAIS E MÉTODOS

PROCEDIMENTOS PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA REFERENTE ÀS BASE DOS CP's

- CP's com TOPO E A BASE PLANAS E LISAS, sem saliências ou protuberâncias, proporcionando a AÇÃO UNIFORME DA FORÇA DE COMPRESSÃO DOS BRAÇOS DA PRENSA (itens 9.2 até 9.4) conforme a norma.

Ensaio de Resistência
à Compressão Axial



5 MATERIAIS E MÉTODOS

PENEIRAMENTO DA BORRACHA E DA AREIA (NBR 5738/2003)

- OS RESÍDUOS DE PNEUS foram obtida através de uma DOAÇÃO de docente do curso de mestrado do UniFOA. As partículas de borracha, que vieram do Centro de Picotagem da Cimpor (JUNDIAÍ/SP) possuíam composição granulométrica diversificada.
- OPTOU-SE POR executar seleção por processo de peneiramento, APROVEITANDO-SE os GRÃOS MENORES QUE 2mm (passante, undersize) E MAIORES QUE 600 μ m (retido, oversize) NA MALHA DAS PENEIRAS, SENDO QUE O RESÍDUO RESTANTE FOI DESCARTADO.

FAIXA GRANULOMÉTRICA
DOS MATERIAIS:
[2 mm , 600 μ m]



5 MATERIAIS E MÉTODOS

Dosagens ou TRAÇOS ADOTADOS, PREMISSAS E PROPORÇÕES NA PRODUÇÃO DO COMPÓSITO PRETENDIDO

Foi convencionado trabalhar com um TRAÇO unitário de 1:2:3, em volume, onde tem-se 1 DE CIMENTO PARA 2 DE AREIA PARA 3 DE BRITA, com boa relação de custo benefício. As premissas para o traço trabalhado na produção do compósito cimentício ENCONTRA-SE EXPOSTO NA TABELA 12.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Tabela 12 –Premissas na configuração do traço

PREMISSAS NO TRABALHO	PARÂMETROS ESTABELECIDAS
TRAÇO	1 (cimento) : 2 (areia + borracha) : 3 (brita)
MEDIDA DO ABATIMENTO	6cm ± 1cm, com meta de 5cm
QUANTIDADE ESTIMADA DE MATERIAIS / TRAÇO	5L de cimento 10L de areia peneirada 15L de brita 1 3,3L de água
QUANTIDADE MÍNIMA DE CP's / BATELADA	12 CP's p / Ensaio de Compressão Axial com 7, 14,21 e 28 dd; 01 CP p/ Ensaio de absorção de Água; 01 CP testemunho (conforme definido).
TRAÇOS POR BATELADA (POR ADIÇÃO %)	01 traço por percentual definido de resíduo de borracha a se incorporado no concreto.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Dosagens ou traços adotados premissas e PROPORÇÕES NA PRODUÇÃO DO COMPÓSITO PRETENDIDO

Consoantes às premissas adotadas para a composição do traço, foram adotados os seguintes PROPORÇÕES TEÓRICAS POR TRAÇO COM AS ADIÇÕES, EXPRESSAS NA TABELA 13.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Tabela 13 – Proporções teóricas pretendidas por traço com as adições

ADICÃO BORRACHA (%)	CIMENTO PORTLAND (L)	BRITA (L)	AGREGADOS MIÚDOS	
			AREIA (L)	BORRACHA (L)
0	5	15	10	0,0
5	5	15	9,5	0,5
10	5	15	9,0	1,0
15	5	15	8,5	1,5
20	5	15	8,0	2,0

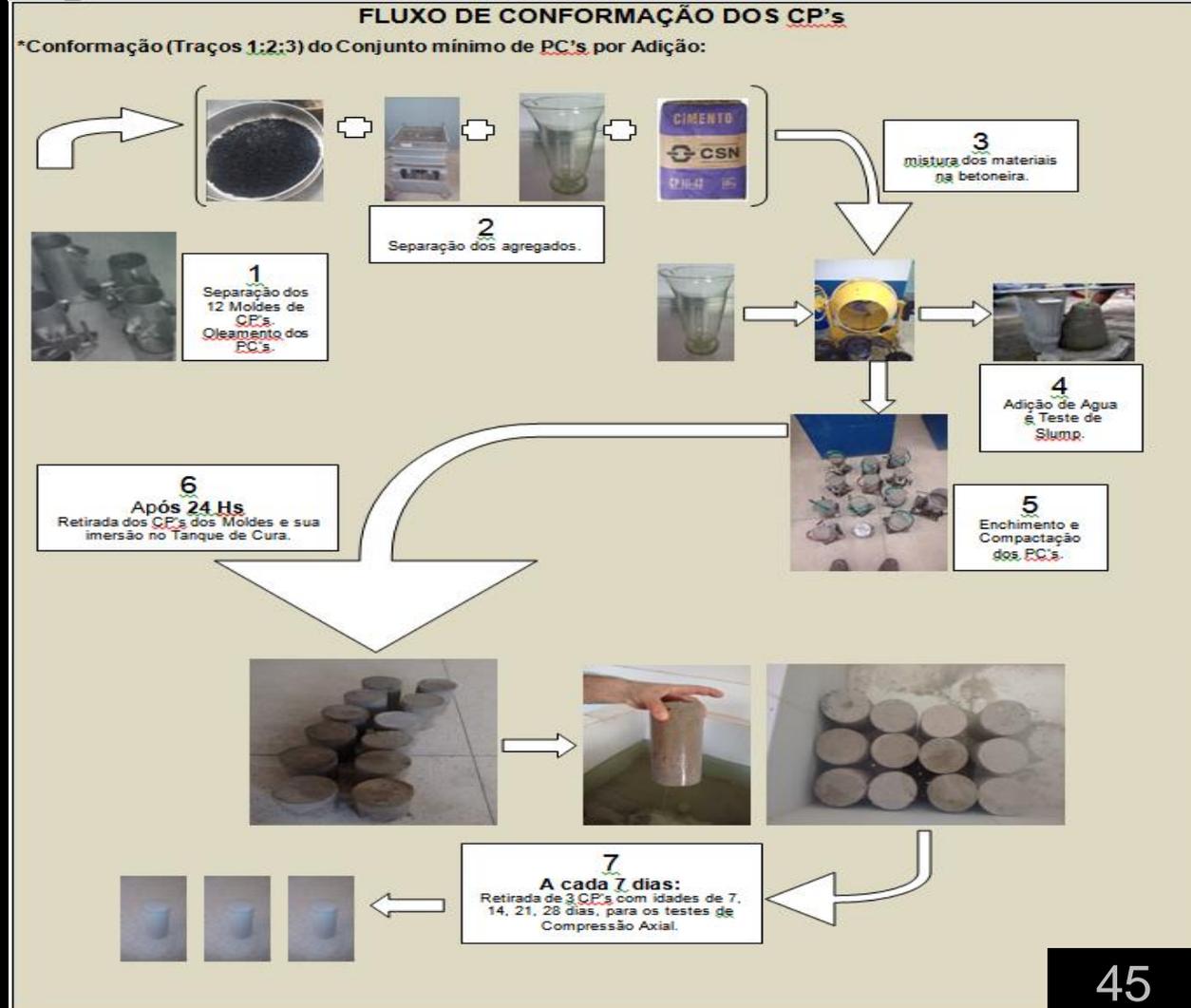
5 MATERIAIS E MÉTODOS

Passos seguidos para moldagem e cura dos corpos-de-prova:

- 1º) Separação dos 12 Moldes de CP's. Oleamento dos PC's;
- 2º) Separação dos agregados;
- 3º) Mistura dos materiais na betoneira;
- 4º) Adição de água e Teste Slump;
- 5º) Enchimento e compactação dos PC's;
- 6º) Retirada dos PC's dos moldes e sua imersão no Tanque de Cura;
- 7º) A cada 7 dias: retirada de 3 PC's com 7, 14, 21, 28 dd, para os testes de Compressão Axial.

Fig. 22

Fluxograma Processo - Fluxo de conformação dos CP's



5 MATERIAIS E MÉTODOS

OS ENSAIOS COM OS PC's (NBR 5739/2007)

- Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, esta etapa do trabalho refere-se aos ENSAIOS DE RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO, DE ABSORÇÃO DE ÁGUA, conforme normas NBR, além do ESTUDO MORFOLÓGICO DO COMPÓSITO ATRAVÉS DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

- Foram REALIZADOS OS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO com os CP's de prova NAS IDADES DE 7, 14, 21 E 28 DIAS PARA OS PERCENTUAIS DE ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE 5%, 10%, 15% e 20%, demonstrados na tabela inserida no slide, a seguir.
- A expressão abaixo mostra a obtenção desta variável resposta.

$$\text{Tensão (T)} = \frac{\text{F (Força)}}{\text{A (Área)}}$$

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

Com 0% de adição de resíduos de borracha de pneu

% PNEU	DIAS	ÁREA (cm ²)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)		
				CP's	MÉDIA	DESV. PADR
0	7	78,54	91,64	11,67	10,7133333	1,36514956
		78,54	71,85	9,15		
		78,54	88,90	11,32		
	14	78,54	114,18	14,54	15,02	0,43266615
		78,54	120,81	15,38		
		78,54	118,88	15,14		
	21	78,54	171,58	21,85	18,6666667	2,77052943
		78,54	131,98	16,80		
		78,54	136,26	17,35		
	28	78,54	202,41	25,77	24,53	1,07429046
		78,54	188,05	23,94		
		78,54	187,58	23,88		

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

Com 5% de adição de resíduos de borracha de pneu

% PNEU	DIAS	ÁREA (cm ²)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)		
				CP's	MÉDIA	DESV. PADR
5	7	78,54	75,31	9,59	11,09	1,44374513
		78,54	88,04	11,21		
		78,54	97,78	12,47		
	14	78,54	103,82	13,22	14,0966667	0,761993
		78,54	114,66	14,60		
		78,54	113,64	14,47		
	21	78,54	152,28	19,39	19,5733333	0,80089533
		78,54	160,61	20,45		
		78,54	148,28	18,88		
	28	78,54	187,86	23,92	24,6066667	0,59877653
		78,54	195,40	24,88		
		78,54	196,50	25,02		

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

Com 10% de adição de resíduos de borracha de pneu

% PNEU	DIAS	ÁREA (cm ²)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)		
				CP's	MÉDIA	DESV. PADR
10	7	78,54	95,33	12,14	12,9833333	0,76133654
		78,54	106,94	13,62		
		78,54	103,58	13,19		
	14	78,54	122,58	15,61	15,0433333	0,4908496
		78,54	116,00	14,77		
		78,54	115,88	14,75		
	21	78,54	134,66	17,15	17,8566667	0,67722473
		78,54	145,28	18,50		
		78,54	140,75	17,92		
	28	78,54	161,03	20,50	19,7633333	1,53396002
		78,54	148,29	18,00		
		78,54	163,32	20,79		

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

Com 15% de adição de resíduos de borracha de pneu

% PNEU	DIAS	ÁREA (cm ²)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)		
				CP's	MÉDIA	DESV. PADR
15	7	78,54	95,34	12,14	12,9833333	0,76133654
		78,54	106,97	13,62		
		78,54	103,59	13,19		
	14	78,54	122,60	15,61	15,0433333	0,4908496
		78,54	116,00	14,77		
		78,54	115,84	14,75		
	21	78,54	134,69	17,15	17,8566667	0,67722473
		78,54	145,29	18,50		
		78,54	140,54	17,92		
	28	78,54	161,00	20,50	19,89	0,80318118
		78,54	149,06	18,98		
		78,54	158,57	20,19		

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

Com 20% de adição de resíduos de borracha de pneu

% PNEU	DIAS	ÁREA (cm ²)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)		
				CP's	MÉDIA	DESV. PADR
20	7	78,54	64,63	8,23	9,49666667	1,09696551
		78,54	79,56	10,13		
		78,54	79,56	10,13		
	14	78,54	82,70	10,53	11,10333333	0,58011493
		78,54	87,10	11,09		
		78,54	91,81	11,69		
	21	78,54	94,24	12,00	12,05	0,05
		78,54	94,17	12,05		
		78,54	95,03	12,10		
	28	78,54	97,38	12,40	12,66666667	0,37072002
		78,54	98,25	12,51		
		78,54	102,08	13,09		

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

- Foram realizados os ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA com os CP's de prova NAS IDADES DE 7, 14, 21 E 28 DIAS PARA os PERCENTUAIS DE ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE 5%, 10% e 15% , demonstrados na tabela inserida no slide, a seguir.
- A expressão abaixo mostra a obtenção desta variável resposta

$$A_b = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Sendo:

- A_b é a absorção de água (%);
- m_1 peso seco;
- m_2 peso molhado.

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

Tabela 19: Ensaio de absorção da água nos CP's
(Volume Aparente = 196,25 cm³)

BORRACHA NO CORPO DE PROVA (%)	DENSIDADE REAL	DENSIDADE APARENTE (a seco)	PESAGEM DO CORPO DE PROVAS (gramas)		RETENÇÃO D'ÁGUA (%)
			seco	molhado	
0	2,87	2,22	seco	437	10,06
			molhado	481	
5	2,22	1,63	seco	376	16,44
			molhado	422,28	
10	2,50	1,88	seco	320	12,30
			molhado	372,61	
15	2,82	1,84	seco	362	18,84
			molhado	430,23	

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

ENSAIO DE ABSORÇÃO DA ÁGUA NOS CP'S

- Comparando-se com o concreto de referência, verificou-se redução na densidade aparente;
- A densidade aparente nas três composições 5%, 10% e 15%, sofrem redução com o aumento do teor de borracha;
- As composições com adição de 15% e 20% de borracha resultaram em CP's de consistência mecânica cada vez menor, descartando-se os de 20% de borracha;
- As variações de densidades real e aparente observadas no de 15% de borracha fogem à expectativa, pois se esperava fossem menores às ocorridas no de 10% de borracha.;
- A porosidade externa do CP com 15% de borracha foi evidentemente maior, fato este justificado pela maior retenção de água.

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

- A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada na análise microestrutural das superfícies das amostras para verificação de adesão entre partículas e matriz.
- O equipamento utilizado para a obtenção das imagens foi o microscópio eletrônico de varredura Hitachi MEV–TM 3000, por meio de elétrons secundários com voltagem de aceleração de 15 kV (Figura 23). Os corpos de prova fabricados foram colocados em um porta-amostra metálico;



6 PRINCIPAIS RESULTADOS

ANÁLISE MICROESTRUTURAL – FIGURAS

- Figura 24: Imagem das partículas de borracha de pneu com ampliação de 20X, granulado de borracha encoberta parcialmente pela matriz de cimento *Portland*.



A3 CERXCON

F D9.6 x20 4 mm

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

ANÁLISE MICROESTRUTURAL – FIGURAS

- Figura 25: Imagem das partículas de borracha de pneu com ampliação de 1000X.



A3 CERXCON

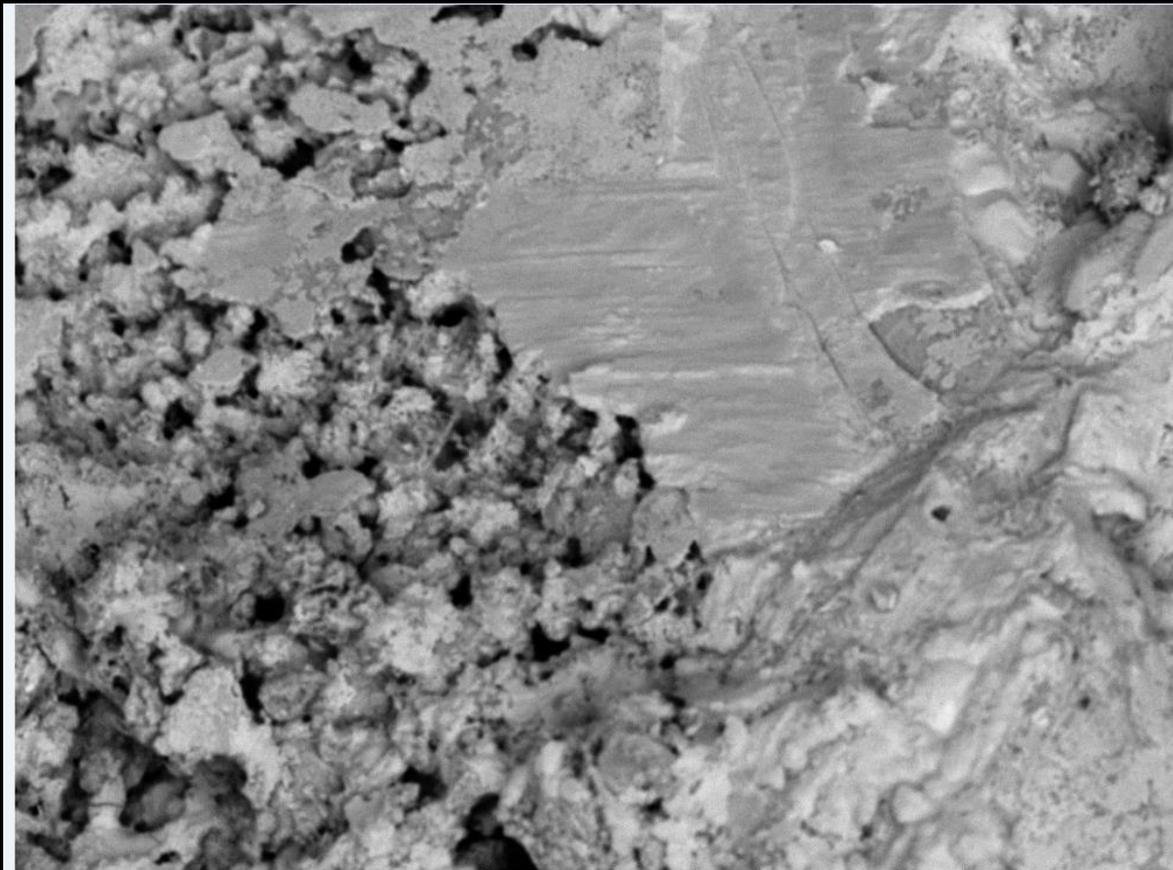
F D7.0 x100 1 mm

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

ANÁLISE MICROESTRUTURAL – FIGURAS

- Figura 26: Imagens das partículas de borracha de pneu com ampliação de 1000X.



A3 CERXCON

F D9.5 x1.0k 100 um

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

ANÁLISE MICROESTRUTURAL – CP's

- As figuras 24, 25 e 26 é possível identificar uma geometria angular de tamanho irregular uma vez que a mesma é proveniente de processo de raspagem de pneus. O fragmento analisado foi extraído dos CP's após ensaio de compressão;
- Embora a resistência à compressão não seja melhorada, nota-se maior absorção de água das misturas contendo borracha nos três casos;
- Nas figuras 24 e 25 mostram a borracha de pneu parcialmente encoberta pela matriz de cimento *Portland*, indicando bom potencial para utilização de borracha de pneus inservíveis;
- A figura 26 apresenta a borracha de pneu envolvida pelo polímero, esta matriz cimentícia demonstra aparência de melhor ligação entre a borracha de pneu e o concreto *Portland*.

6 PRINCIPAIS RESULTADOS

ANÁLISE MICROESTRUTURAL – CP's

- As figuras 24, 25 e 26 é possível identificar uma geometria angular de tamanho irregular uma vez que a mesma é proveniente de processo de raspagem de pneus. O fragmento analisado foi extraído dos CP's após ensaio de compressão;
- Embora a resistência à compressão não seja melhorada, nota-se maior absorção de água das misturas contendo borracha nos três casos;
- Nas figuras 24 e 25 mostram a borracha de pneu parcialmente encoberta pela matriz de cimento *Portland*, indicando bom potencial para utilização de borracha de pneus inservíveis;
- A figura 26 apresenta a borracha de pneu envolvida pelo polímero, esta matriz cimentícia demonstra aparência de melhor ligação entre a borracha de pneu e o concreto *Portland*.

7 CONCLUSÃO

- A realização desse trabalho permitiu observar que é possível utilizar resíduos de borracha agregando-os a outros compósitos cimentícios, para produção de *pavers*.
- Ao adicionar o resíduo de borracha em substituição às partículas minerais, observou-se que na fase de ensaios de resistência à compressão, houve um aumento da viscosidade do concreto, aumentando a porosidade, absorção de água e ocorrendo redução da resistência à compressão nos CP's.
- Quanto ao estudo microestrutural do compósito, observou-se um aumento de formação de poros ao adicionar partículas de borracha, o que se pode concluir que quanto maior o teor de borracha de pneus incorporado nos compósitos cimentícios, maior a redução da resistência à compressão e maior absorção de água.

7 CONCLUSÃO

- Dentre os traços em que se adicionou borracha granulada, os que apresentaram melhores resultados, nos ensaios de resistência à compressão, foram os de 10% e 15% de adição de resíduos de pneus, ainda que tenha apresentado menores resistências comparando com o concreto do corpo de prova de referência, acredita-se que possa ser utilizado para construção de calçadas.
- Apesar de o teor ideal de borracha para algumas propriedades esteja situada em valores de cerca de 5%, o máximo de resíduos para aproveitamento do resíduo de borracha de pneu na fabricação de *pavers*, sem prejudicar de forma considerável as propriedades mecânicas, fica em torno de 10% de partículas de borracha em substituição parcial do volume de areia.
- Para tanto, todo esse processo utilizado na área da construção civil, contribui para redução de impactos ambientais, assim como os problemas relacionados à saúde.