

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INSERÇÃO DA BORRACHA DE PNEU INSERVÍVEL NO CONCRETO CONVENCIONAL APLICADO À ENGENHARIA

Ana Caroline Rizzi Santolin

*Discente do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(ana.rizzi_3@hotmail.com)*

Guilherme Teixeira de Oliveira

*Discente do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(Guilherme_oliveira44@hotmail.com)*

Aurélio Caetano Feliciano

*Professor Especialista do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(aureliocfeng@gmail.com)*

RESUMO

Atualmente, a necessidade de amenizar os impactos causados na natureza ao longo dos anos tem se tornado inevitável. A borracha de pneu é um dos grandes problemas pois sua decomposição é estimada em 600 anos, a descartabilidade do pneu de forma inadequada pode ser um potencializador de proliferação de vetores de doenças devido o acúmulo de água e quando incinerados geram riscos à saúde pois são liberados gases tóxicos. Os materiais do pneu separados (borracha, nylon, aço) podem ser usados como matéria prima em outras utilizações. O setor da construção civil é um dos grandes consumidores de recursos naturais. Diante desse contexto, surge o estudo para viabilizar o uso da borracha do pneu inservível como parte do agregado no concreto convencional. Foram realizados 5 traços distintos, sendo 1 o traço referência e 4 com substituição de resíduo de pneu no agregado miúdo. Os traços com substituição foram definidos após separação granulométrica da borracha (média e fina) e com porcentagem de substituição de 5% e 10% (em volume). Foi estudado e analisado a compressão axial, a flexão na tração, a trabalhabilidade, índice de vazios, absorção e massa específica. Com os resultados obtidos foi verificado a perda na resistência do concreto com a inserção da borracha, o que compromete o uso como concreto estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Borracha de pneu. Concreto convencional. Impacto Ambiental.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, debater sobre a relevância da sustentabilidade tem ganhado um destaque no âmbito mundial, conduzindo países e empresas a se atentarem aos cuidados com a natureza. Perante a esta preocupação o ser humano busca meios de amenizar os impactos causados no meio ambiente ao longo dos anos. Para isso é necessário organização, estudos, análises, programação e controle que buscam unir essa proposta juntamente com o crescimento econômico.

Segundo o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS (2014) o setor da construção civil tem grande impacto ambiental por ser uma atividade altamente demandante de matéria-prima e gerar grande volume de resíduos. O setor é o que mais consome recursos naturais, além de utilizar energia de forma intensiva. A cadeia de materiais de construção civil consome aproximadamente metade das matérias-primas extraídas da natureza.

Segundo a Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos – ANIP (2016) a produção de pneus em 2009 foi por volta de 54.086 toneladas, com o passar dos anos essa produção teve um salto no crescimento, sendo que em 2016 foi de cerca de 67.870 toneladas. Como pode-se esperar a quantidade de pneus sem utilização também cresceu e foram necessários criar meios de amenizar o impacto gerado na natureza. A ANIP trabalha no Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis desde de 1999. Em 2007 a ANIP criou a Reciclanip, entidade voltada exclusivamente para a realização deste trabalho no país. Em 2016, o total de pneus descartados no Brasil foi de aproximadamente 510.450 toneladas. A Reciclanip coletou e destinou cerca de 457.533 pneus.

Existem várias áreas de destinação para os pneus inservíveis, tais como: Recauchutagem, recifes artificiais, quebra-mares, estabilização de taludes, combustível para fornos de cimento, concreto asfáltico e entre outros (GIACOBBE; FIGUEIREDO, 2008).

O concreto é um material bastante flexível no que diz respeito ao acréscimo de outras substâncias. Com o aperfeiçoamento dos processos construtivos e da imprescindibilidade de projetos modernos, as vezes é necessário mudar sua composição. A borracha de pneu inservível surge como uma alternativa na substituição ou acréscimo do agregado miúdo.

2 CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Atualmente considerado o mais importante material estrutural e da construção civil, o concreto de cimento Portland foi descoberto no fim do século XIX e devido ao seu intensivo uso no século XX, o transformaram no material mais consumido pelo homem depois da água. Essa conquista revolucionou a arte de projetar e construir estruturas, o que sempre esteve ligado ao desenvolvimento das civilizações ao longo da história da humanidade. (HELENE E ANDRADE, 2010).

As adversidades impostas pela inevitabilidade de desenvolvimento do país, com um projeto de vida honrada para os cidadãos, com geração de empregos qualificados, têm a necessidade de uma ampla evolução em obras de infraestrutura, além da preservação das edificações já existentes. Sendo assim, na atualidade, o concreto de Cimento Portland é a ferramenta mais importante na construção civil. (MARQUES FILHO, 2010).

Na combinação do concreto, o Cimento Portland, simultaneamente com a água, produz uma pasta mais ou menos fluida, de acordo com o percentual de água acrescido. Essa pasta circunda as partículas de agregados com variadas dimensões formando um material, que, em suas primeiras horas, manifesta-se em uma condição de ser moldado em

fôrmas de diversas formas geométricas. Com o passar do tempo, a mistura enrijece pela reação inconversível do cimento com a água, contraindo resistência mecânica e tornando-o um material de ótimo desempenho estrutural, perante as mais variadas situações de exposição. No concreto de Cimento Portland é obrigatório conter água, cimento e agregados, além da viabilidade de possuir aditivos, fibras, agregados minerais, pigmentos e adições minerais, dos quais a utilização tem se tornado cada vez mais costumeiro nos concretos atuais. A correlação entre os diferentes constituintes é estudada pela tecnologia do concreto, para satisfazer sincronicamente, as propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade solicitadas para o concreto, além das particularidades de trabalhabilidade primordiais para o deslocamento, adensamento e lançamento, circunstâncias estas que diferenciam caso a caso. (HANAI, 2005).

Podendo intervir diretamente nas especificações e confecção do material, o concreto é um dos poucos materiais construtivos em que os engenheiros e arquitetos possuem, ainda, influência direta em sua produção, seja em canteiro de obras ou em usinas de concreto. Para que ocorra essa intervenção, é substancial que o profissional tenha o conhecimento dos princípios básicos sobre as especificações e proporções dos múltiplos constituintes, observando atentamente as situações de aplicação, desempenho mecânico e durabilidade do material, e que os parâmetros como, abatimento, relação água/cimento, resistência à compressão, consumo de cimento e durabilidade não podem estar completamente desagregados um do outro. (HELENE, 2005).

3 BORRACHA DE PNEU

Segundo Petrucci (1979), a borracha é uma substância de origem vegetal, beneficiada de propriedades elásticas extraordinárias. Foi descoberto em 1736 por Charles de La Condamine, na América do Sul. A borracha bruta é elástica e resistente à abrasão, o material original altera-se rapidamente com a luz e o calor. Ela é menos resistente que a borracha vulcanizada, porém mais extensível.

Devido a sua elasticidade, ela possui a capacidade de deformar-se de forma significativa sob ação de forças exteriores e reassumir sua forma quando retirada a carga. Certas borrachas podem ser alongadas até 10 vezes o seu comprimento original. Pode ser usada em diversos ramos, tais como: isolamento de vibrações, absorção de choques, isolamento de som, proteção contra corrosão, proteção elétrica, entre vários outros (PETRUCCI 1979).

O surgimento do pneu é datado por volta de 1830, após vários experimentos feitos por Charles Goodyear, que acidentalmente descobriu que a borracha cozida a altas temperaturas com enxofre, conservava suas condições de elasticidade no calor ou no frio. Assim foi descoberto o processo de vulcanização da borracha, sendo os irmãos Michelin os primeiros a patentear o pneu para automóvel por volta de 1845. Ainda nas etapas iniciais de desenvolvimento, Robert Thompson, em 1847, implantou uma câmara de ar dentro dos pneus de borracha maciça, criando o componente fundamental para o funcionamento dos veículos e passando por muitas etapas de transformação até os dias atuais (SINPEC 2018).

No Brasil, a produção de pneumáticos ocorreu após a implantação do Plano Geral de Viação Nacional em 1934. Porém, a materialização desse plano só ocorreu em 1936 com a inauguração da Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha no Rio de Janeiro, que fabricou mais de 29 mil pneus em seu primeiro ano de vida. Entre 1938 e 1941, com a vinda de grandes fabricantes, o país já elevou sua produção para mais de 441 mil pneus, e ao final dos anos 80 mais de 29 milhões de pneus já haviam sido produzidos. Atualmente, em termos de produção mundial, o Brasil é o quinto na classe de pneus para caminhão, ônibus e camionetas e o sétimo na classe de pneus para automóveis (SINPEC 2018).

3.1 SUSTENTABILIDADE E MEIO AMBIENTE

Em todas as partes do globo a sociedade tem se preocupado cada vez mais com os vários aspectos do equilíbrio ecológico. Inúmeras pesquisas de opinião pública têm sido elaboradas para corroborar essa maior conscientização e inúmeros são os exemplos que evidenciam o crescimento do senso ecológica na sociedade atual, com ênfase nos países de maior desenvolvimento econômico social (LEITE, 2009).

O aumento de produtos que são descartados após seu primeiro uso, causado pelo nítido crescimento da descartabilidade dos itens em geral, acarreta desequilíbrio entre as quantidades descartadas e as reaproveitadas, pelo fato de não possuir locais de distribuição para pós-consumo. A dificuldade da organização de lixo urbano é uma das questões ambientais urbanas mais preocupantes atualmente, pois a maior parte de produtos se transformam rapidamente em 'lixo' e isso acontece de forma crescente. (LEITE, 2009).

A evolução do desenvolvimento sustentável se deu a partir da década de 70 com o avanço e grande quantidade de estudos. Em relação ao âmbito global teve seu primeiro importante passo com a Conferência de Estocolmo em 1972. Contudo, somente depois da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (RIO-92) o desenvolvimento sustentável se tornou questão principal da política ambiental (MIKHAILOVA, 2004).

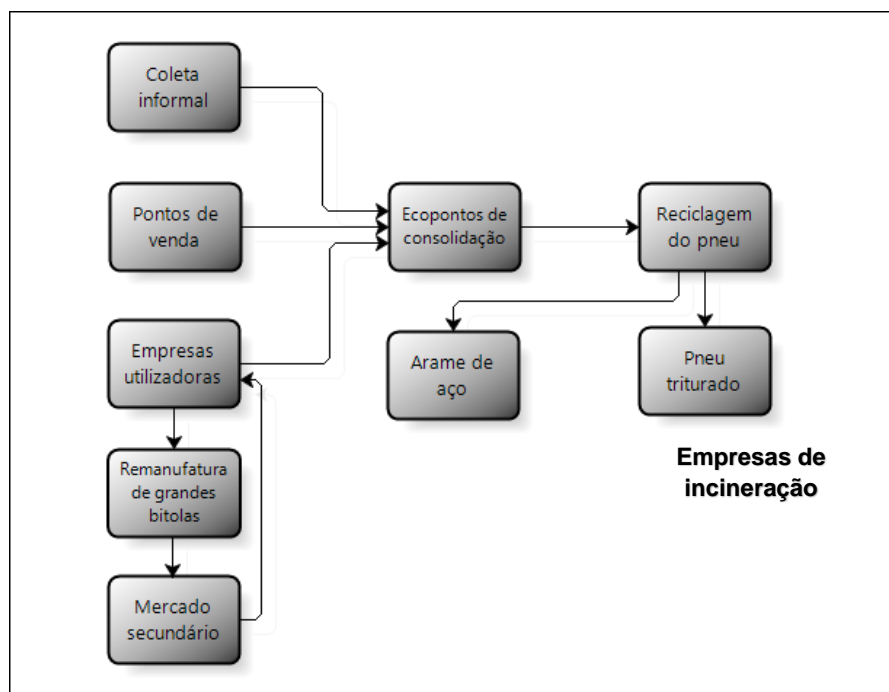
A exploração de recursos naturais sendo feita de maneira responsável, poderá ser mantida para sempre e nunca se findará.

Com o progresso da indústria automotiva em diversas partes do mundo a fabricação de pneus experimentou crescimento equivalente com possibilidade de reaproveitamento até o final dos anos 1990 ainda em baixa. As reutilizações de pneus não impediram esse produto de exercer, ao fim da vida, papel poluídos, em função das quantidades e do volume. Disposições pouco claras marcaram muitos anos da existência desse produto e um grave problema para a sociedade e governos (LEITE, 2009).

Para contribuir com o desenvolvimento sustentável global a comunidade da construção civil tem manifestado imensa preocupação, planejando verificar as possíveis vantagens na utilização dos materiais tidos como inservíveis através de estudos e de maneira geral contribuir com a preservação do meio ambiente. Os materiais estudados podem ser provenientes de descartes da área da construção civil ou vários setores, gerando relação entre cadeias produtivas. Dessa forma uma cadeia produtiva poupa o uso de recursos naturais com o reaproveitamento de resíduos de outra cadeia produtiva. Como por exemplo a utilização de pneus inservíveis na construção civil (MARTINS, 2005).

O avanço da tecnologia de filtração de gases derivados da queima de pneus, possibilitou a regulamentação da legislação modificadora do mercado no Brasil em 2000. Com a envoltura de todos os agentes da cadeia produtiva de pneumáticos, o setor adotou uma política de trabalho de acordo com o modelo 'pool de empresas do setor' na organização da logística reversa dos pneus usados (LEITE, 2009). A figura 2 apresenta o fluxograma que resume as ideias dos elos e agentes presentes na cadeia reversa dos pneus usados (LEITE, 2009).

Figura 1: Fluxograma de pneus usados



Fonte: Leite, 2009

Com a conscientização ambiental da população é necessário a adaptação das empresas para apresentar um negócio mais responsável ecologicamente. Para disponibilizar ao consumidor produtos sustentáveis e apresentar a importância da conscientização do produto no mercado foi criada uma ferramenta com uma visão de responsabilidade ecológica chamada “Marketing Ambiental”. As atividades do Marketing Ambiental buscam integrar e atender suas necessidades e desejos sem causar danos ao meio ambiente (PEREIRA et al, 2013).

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

4.1 DESENVOLVIMENTO

Este programa experimental foi realizado no Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA com o objetivo de embasar a investigação da substituição de borracha de pneu nas propriedades do concreto. Será apresentado resumidamente como foi desenvolvido cada etapa deste capítulo:

Inicialmente foram elegidos os materiais a serem utilizados na produção do concreto e verificou-se suas propriedades e características como, granulometria, massa específica, massa unitária, módulo de finura, entre outras. Foi recolhido a borracha, em uma empresa reformadora de pneus, já triturada em formato tipo fibra.

Através dos dados obtidos dos materiais, calculou-se o traço segundo as especificações de NBR 5739 ABNT, 2018 através do procedimento de cálculo da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), e por meio de substituição parcial da borracha de pneu no agregado miúdo obteve uma série de variações, em diferentes porcentagens e granulometrias.

Os corpos-de-provas foram fabricados, desenformados e mantidos na câmara úmida até o período dos testes, 7 e 28 dias. Então foi possível avaliar suas propriedades.

Dentre propriedades analisadas tem-se: trabalhabilidade, massa específica, resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial, índice de vazios e absorção de água por imersão.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

4.2.1 Aglomerante

4.2.1.1 Cimento

O cimento Portland usado no estudo foi do tipo CP-II-F-32 (Cimento Portland composto com fíler), sendo suas características e propriedades físico-químicas apresentadas no Tabela 1, de acordo com a NBR 11578 ABNT, 1997.

Tabela 1 - Tabela das características e propriedades físico-químicas do cimento

Características e Propriedades físico-químicas		Unidades	CP II-F-32
Finura	Resíduo na peneira 75µm	%	≤12,0
	Área específica	m²/kg	≥260
Tempo de início de pega		h	≥1
Resistência à compressão	7 dias	Mpa	≥20,0
	28 dias	Mpa	≥32,0
Análise química	Resíduo insolúvel (RI)	%	≤2,5
	Perda ao fogo (PF)	%	≤6,5
	Óxido de magnésio (MgO)	%	≤6,5
	Trióxido de enxofre (SO ₃)	%	≤4,0
	Anidrido carbônico (CO ₂)	%	≤5,0
Massa específica		Kg/m ³	3500

Fonte: NBR 11578, adaptado, 1997.

4.2.2 Agregados

4.2.2.1 Brita

Foi utilizada brita 0 do Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis, não foi necessário realizar ensaio de granulometria pois o material já foi adquirido com a granulometria solicitada, foi efetuado apenas o peneiramento para retirar eventuais impurezas. A seguir na Tabela 2, são apresentadas as demais informações obtidas sobre a brita.

Tabela 2 - Demais características da brita utilizada

Demais características obtidas		
Determinações	Unidade	Valores obtidos
Dimensão máxima (NBR NM 248 ABNT, 2003)	(mm)	12,5
Módulo de finura (NBR NM 248 ABNT, 2003)		5,74
Massa específica (NBR NM 53/2009)	g/cm ³	2,7
Massa unitária (NBR NM 45 ABNT, 2006)	Kg/m ³	1540

Fonte: Autoria Própria.

4.2.2.2 Areia

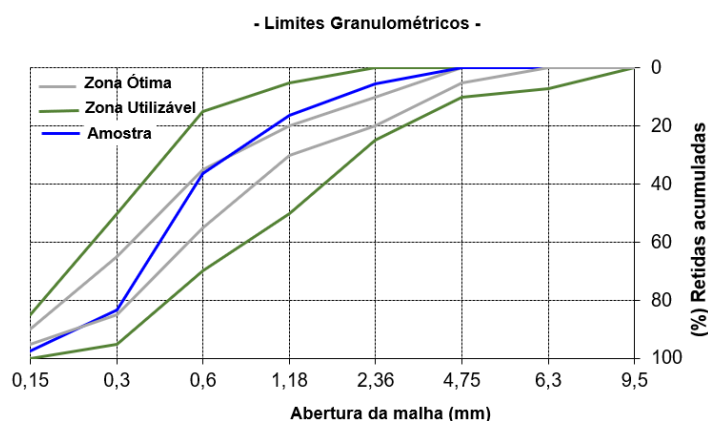
Foi utilizado areia natural do Centro Tecnológico do Centro Universitário de Anápolis, com a análise granulométrica representado na Tabela 3 e a curva granulométrica no Gráfico 1, estabelecida segundo a NBR NM 248 ABNT, 2003.

Tabela 3 - Análise granulométrica da areia

Análise granulométrica (ABNT NBR NM 248/2003)						
Espessura da peneira (mm)	M1 (g)	Retido (%)	M2 (g)	Retido (%)	Média retida (%)	Média Acumulada (%)
#2,36	21,8	7,27	12,0	4,00	5,63	5,63
#1,18	40,8	13,60	22,5	7,50	10,55	16,18
#0,6	65,5	21,83	55,1	18,37	20,10	36,28
#0,3	128,8	42,93	152,9	50,97	46,95	83,23
#0,15	37,2	12,40	48,2	16,07	14,23	97,47
Fundo	5,9	1,97	9,3	3,10	2,53	100,00
Total	300	100,00	300,0	100,00	100,00	

Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 1 - Gráfico da curva granulométrica da areia



A seguir na Tabela 4, são apresentadas as demais informações obtidas sobre a areia utilizada na pesquisa.

Tabela 4 - Tabela das demais características da areia

Demais característica obtidas		
Determinações	Unidade	Valores obtidos
Módulo de finura		2,39
Massa específica (NBR NM 52/2002)	g/cm ³	2,57
Massa unitária (NBR NM 45 ABNT, 2006)	Kg/m ³	1530

Fonte: Autoria Própria.

4.2.2.3 Resíduo de borracha de pneu

Foi utilizado fibra de borracha de pneu recolhido em uma empresa reformadora de pneus na cidade de Anápolis, estado de Goiás.

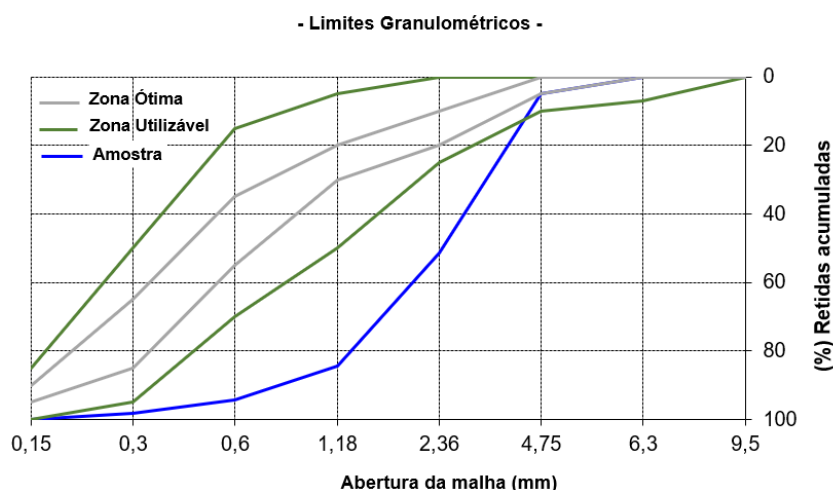
O material possui fibras que são do tipo alongadas, diferente dos agregados usuais, portanto quanto á caracterização granulométrica é difícil determinar a granulometria como os outros agregados do tipo granular. Porém foi realizado a análise granulométrica tradicional segundo a NBR NM 248 ABNT, 2003. A seguir, está representado a análise granulométrica na Tabela 5 e a curva granulométrica no Gráfico 2.

Tabela 5 - Tabela da Análise Granulométrica da Borracha

Análise Granulométrica (NBR NM 248 ABNT, 2003)			
Espessura da peneira (mm)	M (g)	Retido (%)	Retido Acumulado (%)
#4,75	15	5,0	5,0
#2,36	139	46,3	51,3
#1,18	99	33,0	84,3
#0,6	30	10,0	94,3
#0,3	12	4,0	98,3
#0,15	4,7	1,6	99,9
Fundo	0,3	0,1	100,0
Total	300	100,0	0

Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 2 - Gráfico da curva granulométrica da borracha



De modo, a facilitar o entendimento da classificação das fibras de borracha a Tabela 6, demonstra a abertura das peneiras, percentual retido em cada peneira, denominações e observações quanto a utilização das granulometrias nos traços. Algumas dimensões das fibras apresentavam baixo percentual retido, sendo então excluídos deste estudo.

Tabela 6 - Tabela de classificação granulométrica do resíduo de borracha de pneu

Classificação Granulométrica do Resíduo de Borracha de Pneu			
Abertura da peneira (mm)	Resíduo de Borracha de Pneu		
	% Retida	Denominação	Observação
#4,75	5	Borracha Grossa	Não Utilizado
#2,36	46,3	Borracha Média	Utilizado
#1,18	33	Borracha fina	Utilizado
#0,6	10	Não Classificado	Não Utilizado
#0,3	4	Não Classificado	Não Utilizado
#0,15	1,6	Não Classificado	Não Utilizado
Fundo	0,1	Não Classificado	Não Utilizado

Fonte: Autoria Própria.

4.2.2.4 Água

Aplicou-se água potável proveniente da rede de tratamento da cidade de Anápolis, no estado de Goiás.

5 MÉTODOS EXPERIMENTAIS

5.1 MÉTODO DE DOSAGEM

O método de dosagem utilizado para a realização do traço foi segunda as normas da ABCP. Que estabelece alguns critérios necessários para elaborar o mesmo são: desvio padrão, f_{cd} e o abatimento. Consiste em encontrar a massa de cimento, areia, agregado graúdo, água necessários.

5.1.1 Definir a relação água/cimento (a/c)

Definir a resistência de dosagem (Equação 1). Dados necessário:

- Resistência requerida do concreto de 28 dias – F_{ck} : 25 Mpa;
- Desvio padrão – S_d (Estabelecido pela Tabela 7): 5,5 Mpa

$$F_{c28} = F_{ck} + 1,65S_d \quad (1)$$

Onde:

F_{c28} = Resistência média do concreto em 28 dias.

Tabela 7 - Valores de Sd em função do rigor da produção

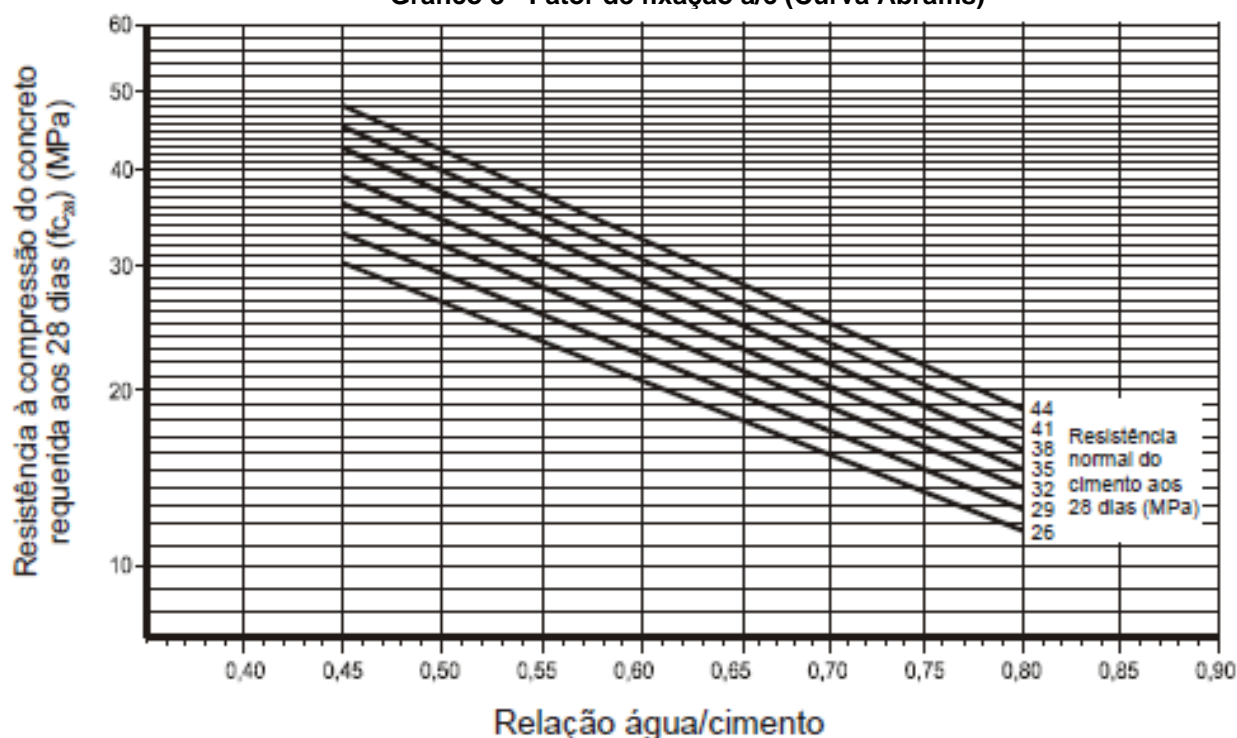
Sd	CONDIÇÃO	CLASSE	TIPO DE CONCRETO
4,0	A	C10 a C80	Quando todos os materiais forem medidos em peso e houver medidor e água, corrigindo-se as quantidades de agregado miúdo e água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados, e houver garantia de manutenção, no decorrer da obra, da homogeneidade dos materiais a serem empregados.
5,5	B	C10 a C25	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, com correção do volume do agregado miúdo e da quantidade de água em função de determinações frequentes e precisas do teor de umidade dos agregados.
7,0	C	C10 a C15	Quando o cimento for medido em peso e os agregados em volume, e houver medidor de água, corrigindo-se a quantidade de água em função da umidade dos agregados simplesmente estimada.

$$F_{C28} = 25 + 1,65 \times 5,5$$

$$F_{C28} = 34 \text{ MPa}$$

Com esses valores encontrar a partir da Curva de Abrams do cimento na Gráfico 3 o valor correspondente da relação a/c.

Gráfico 3 - Fator de fixação a/c (Curva Abrams)



Fonte: Rodrigues, 1998.

Assim sendo, o valor da relação a/c encontrado é 0,52.

5.1.2 Definir o consumo de água (Cw)

Para uma estimativa de consumo de água por metro cúbico (m³) é utilizado a Tabela 8 como auxílio, no qual é necessário saber a dimensão máxima do agregado graúdo e o abatimento. Foi determinado a utilização da Brita 0 e abatimento de 70 mm.

Tabela 8 - Estimativa de consumo de água

Abatimento do tronco de cone	Dimensão máxima característica do agregado				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
40 a 60 mm	220 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³	180 l/m ³
60 a 80 mm	225 l/m ³	200 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³
80 a 100 mm	230 l/m ³	205 l/m ³	200 l/m ³	200 l/m ³	190 l/m ³

Assim sendo, o valor do consumo de água aproximado de 225 litros.

5.1.3 Definir o consumo de cimento (C)

Para determinar o consumo de cimento (Equação 2) é necessário saber o valor do consumo de água.

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad (2)$$

Onde:

C_a = Consumo de água

C_c = Consumo de cimento

a/c = relação água cimento

$$C_c = \frac{225}{0,52}$$
$$C_c = 432,69$$

Assim sendo, o valor do consumo de cimento é 432,69 Kg/m³.

5.1.4 Definir o consumo de agregado graúdo (Cb)

Para definir o consumo de agregado graúdo é utilizado a Tabela 9, no qual se faz necessário saber o módulo de finura (MF) da areia e a dimensão máxima do agregado graúdo. Foi determinado o MF de 2,4 e a dimensão máxima do agregado graúdo de 9,5 mm. Os valores devem ser aplicado na Equação 3.

Tabela 9 - Volume de agregado graúdo compactado por m³ de concreto

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Rodrigues, 1998.

$$C_b = V_b \times \mu_u \quad (3)$$

Onde:

V_b = Volume do agregado seco por m³ de concreto;

μ_u = massa unitária compactada do agregado graúdo.

$$C_b = 0,585 \times 1540$$

$$C_b = 900,9$$

Assim sendo, o valor do consumo de agregado graúdo é de 900,9 Kg/m³.

5.1.5 Definir o consumo de areia (C_a)

O volume de areia é definido pela a Equação 4, no qual se faz necessário saber o consumo, em volume, da água, do cimento e do agregado graúdo.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (4)$$

Onde:

γ_c = Massa específica do cimento;

γ_b = Massa específica do agregado graúdo;

γ_a = Massa específica da água;

C_c = Consumo de cimento;

C_b = Consumo de agregado graúdo;

C_a = Consumo de água;

V_m = Volume de areia.

$$V_m = 1 - \left(\frac{432,69}{3100} + \frac{900,90}{2700} + \frac{225}{1000} \right)$$
$$V_m = 0,30$$

Para definir o consumo de areia, em massa, é utilizado a Equação 5.

$$C_m = \gamma_m \times V_m \quad (5)$$

Onde:

γ_m = Massa específica da areia;

V_m = Volume de areia.

$$\begin{aligned} C_m &= 2570 \times 0,30 \\ C_m &= 771 \end{aligned}$$

Assim sendo, o valor do consumo de areia é de 771 Kg/m³.

5.1.6 Apresentação do traço

O traço é representado, com relação ao unitário de cimento. Sendo encontrado através da Equação 6.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} \quad (6)$$

Onde:

C_c = Consumo de cimento;

C_m = Consumo de areia;

C_b = Consumo de agregado graúdo;

C_a = Consumo de água.

$$\frac{432,69}{432,89} : \frac{771}{432,69} : \frac{900,9}{432,69} : \frac{225}{432,69}$$

$$1 : 1,78 : 2,08 : 0,52$$

5.2 ELABORAÇÃO DO TRAÇO E MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA

Para analisar o comportamento do concreto com a substituição parcial do agregado miúdo pela borracha de pneu inservível foi produzido o traço referência, como comparativo, e outros quatro traços foram com substituição de resíduo de pneu (borracha). Para uma pesquisa mais completa foi utilizado duas diferentes granulometrias e porcentagens. A porcentagem de substituição foi encontrada a partir do volume e não da massa, devido a massa específica da borracha de pneu ser inferior ao da areia, em seguida o volume foi convertido para massa. Baseando-se no traço definidos de acordo com o método da ABCP, foram encontrados os demais traços unitários, em massa. Os traços resultantes são apresentados no Tabela 10 e detalhados da seguinte forma:

- Traço referência: traço sem nenhuma substituição de resíduo de borracha no agregado miúdo (areia);
- Borracha fina 5%: traço com substituição de 5% (volume) de borracha fina, retido pela peneira #1,18, no agregado miúdo;
- Borracha fina 10%: traço com substituição de 10% (volume) de borracha fina no agregado miúdo;
- Borracha média 5%: traço com substituição de 5% (volume) de borracha média, retido pela peneira #2,36, no agregado miúdo;
- Borracha média 10%: traço com substituição de 10% (volume) de borracha média no agregado miúdo.

Tabela 10 - Tabela dos traços unitários utilizados na pesquisa

Traço Unitário					
Traço	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Borracha (dm ³)	Brita (Kg)	Água (Kg)
Traço Referência	1	1,78	0	2,08	0,52
Borracha Fina 5%	1	1,69	0,055	2,08	0,52
Borracha Fina 10%	1	1,55	0,116	2,08	0,52
Borracha Média 5%	1	1,69	0,055	2,08	0,52
Borracha Média 10%	1	1,55	0,116	2,08	0,52

Fonte: Autoria Própria.

Definido pela NBR 5738 ABNT, 2016, que regula a confecção dos corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos foram moldados 45 corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 10x20cm, sendo 9 para cada traço, composto por 3 corpos-de-prova para ensaio de imersão, 3 para ensaio de compressão axial com 7 dias e 3 para ensaio de compressão axial para 28 dias e 15 corpos-de-prova prismáticos com dimensões de 15x15x50cm, sendo 3 para cada traço e para ensaio de flexão na tração. A seguir, as Figuras 10 e 11, mostram os corpos cilíndricos e os corpos prismáticos moldados, respectivamente. A moldagem compõe-se do seguinte processo:

- Os moldes e suas bases devem ser revestidos internamente com uma fina camada de óleo mineral ou outro lubrificante;
- A amostra deve ser recolhida enquanto o concreto está sendo retirado da betoneira;
- O concreto deve ser bem misturado para que fique homogêneo e sem vazios no interior, antes de ser colocado nos corpos-de-prova;
- O concreto é introduzido no molde em camadas aproximadamente iguais e adensadas utilizando a haste com ponta de semiesfera;
- Os números de camadas e golpes necessários é definido pelo Tabela 11, sendo os valores grifados utilizados nessa pesquisa;
- Os golpes devem ser distribuídos uniformemente em toda a seção transversal do molde, sem alcançar as camadas anteriores;
- Para fechamento de eventuais vazios, deve-se bater levemente na parte externa do molde;
- Após introduzir o concreto da forma pré-determinada é realizado o rasamento para eliminar o material em excesso;
- A moldagem não pode sofrer interrupção;
- A moldagem deve ser realizada próximo ao local onde os corpos-de-prova serão armazenados nas primeiras 24 horas, para corpos cilíndricos, e 48 horas, para corpos prismáticos, intervalo de tempo em que não poderão ser movimentados e que deverão ficar em local protegido e ser armazenados fora do alcance das intempéries;

Tabela 11 - Número de camadas e golpes para moldagem dos corpos-de-prova

Tipo do corpo-de-prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	0	0
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	0	0

Fonte: ABNT, 2015 (Adaptado).

5.3 TRABALHABILIDADE

A consistência do concreto foi analisada pelo abatimento do tronco cone, de acordo com a NBR NM 67 ABNT, 1998, como mostra a Figura 12, a seguir. O ensaio compõe-se do seguinte processo:

- Umedecer o molde (tronco cone) e a placa de base;
- Antes de colocar a massa no cone, firmá-lo com os pés na base inferior, como mostra a Figura 13;
- Colocar a massa dentro do cone dividida em 3 camadas, a cada camada golpear 25 vezes com a haste metálica;
- Após golpear a última camada de massa firmar o cone com as mãos na base superior e retirar os pés da base inferior;
- Retirar verticalmente, devagar e uniformemente o cone e colocá-lo ao lado da massa que foi testada com a base de menor diâmetro virada para baixo;
- Em cima do cone, colocar a haste metálica horizontalmente e medir com a fita métrica o Slump.

5.4 TESTES DE RESISTÊNCIA

5.4.1 Teste de resistência à compressão axial

A norma que determina o procedimento do ensaio de compressão axial no concreto é a NBR 5739 ABNT, 2018, que esclarece todas as técnicas necessárias para concluir os procedimentos. Como os testes foram feitos em laboratório, a máquina de ensaio foi de classe 1, que determina que o centróide do corpo cilíndrico deve estar no mesmo alinhamento do centróide da máquina, resultando em uma força que passe pelo centro e que haja uma aplicação de força contínua, satisfazendo os requisitos que a norma determina.

Esse tipo de teste é executado com o objetivo de apontar variações da qualidade e vida útil de um concreto, além de certificar a real resistência do traço e do esforço gerado.

A sua resistência e desempenho pode ser exposta à riscos por diversos fatores, pois a sua estrutura é sujeita a alterações por mudanças climáticas e químicas, sendo assim necessário os ensaio em laboratório.

Os corpos-de-prova com concreto simples foram guardados em câmara úmida até a conclusão da cura (28 dias) e rompidos após a secagem, com excessão dos corpos-de-prova que foram rompidos com 7 dias. Houveram alguns corpo-de-prova que não puderam ser rompidos com exatos 28 dias, devido ao problema com a prensa do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA que estava sendo utilizada para os testes. Estes testes foram realizados em outro local, na empresa ENGETEC localizada na cidade de Anápolis, estado de Goiás.

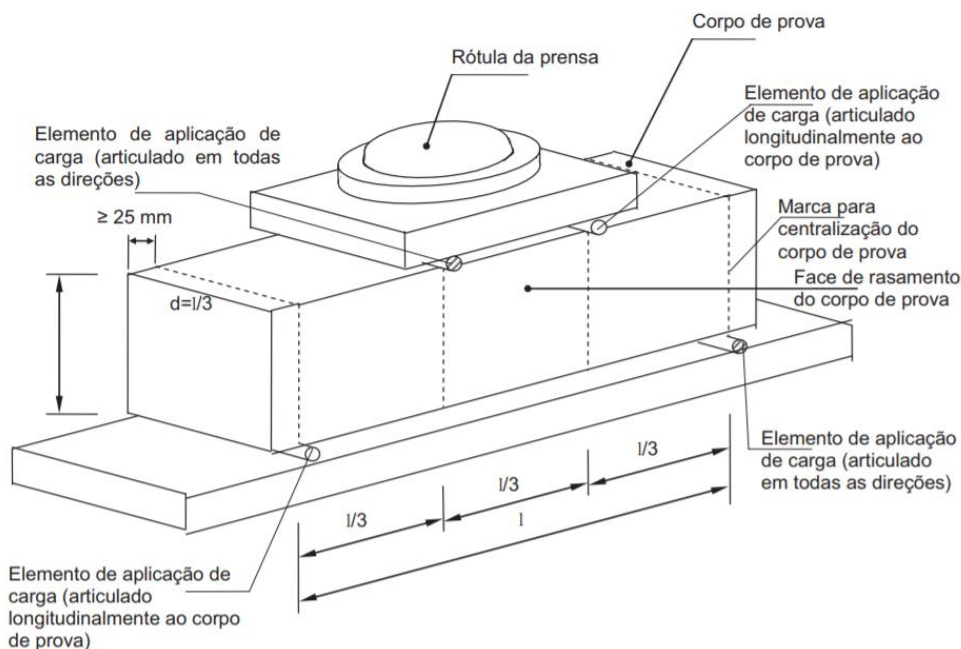
5.4.2 Teste de resistência à tração na flexão no concreto

A norma que determina o procedimento do ensaio de tração na flexão no concreto é a NBR 12142 ABNT, 2010, que esclarece todas as técnicas necessárias para concluir os procedimentos.

São detalhados alguns aspectos da aparelhagem nos ensaios como a distância entre os apoios, a continuidade no momento da aplicação da força para evitar choques, a direção das reações que devem ser mantidas paralelas às reações da força durante o ensaio.

Os corpos-de-prova são a simulação de vigas simplesmente apoiadas e submetidas a duas forças concentradas nos terços do vão como apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Especificações dos corpos-de-prova prismáticos



Fonte: NBR 12142 ABNT, 2010.

Os corpos-de-prova com concreto simples foram guardados em câmara úmida até a conclusão da cura (28 dias) e rompidos após a secagem. Houveram alguns corpo-de-prova que não puderam ser rompidos com exatos 28 dias, devido ao problema com a prensa do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA que estava sendo utilizada para os testes. Estes testes foram realizados em outro local, na empresa ENGETEC localizada na cidade de Anápolis, estado de Goiás.

5.5 ABSORÇÃO POR IMERSÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA SECA E SATURADA

Os corpos-de-prova foram analisados, segundo a NBR 9778 ABNT, 2009, que descreve o procedimento do ensaio de determinação da absorção da água, através da imersão, do índice de vazios e massa específica da argamassa e concreto endurecido.

A determinação da absorção de água por imersão é encontrada pela Equação 7:

$$\frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo-de-prova saturado

M_s = massa do corpo-de-prova seco em estufa

A determinação do índice de vazios, que é a relação entre os volumes dos poros permeáveis e o volume total é encontrada pela Equação 8:

$$\frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_{\text{sat}} - M_i} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

M_i = massa do corpo-de-prova saturado, imerso em água

Para determinar a saturação do corpo-de-prova é necessário a imersão em água à temperatura $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou permanência em água em ebulição por 5h precedida da imersão em água à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$.

A determinação da massa específica da amostra seca é encontrada pela Equação 9:

$$\frac{M_s}{M_{\text{sat}} - M_i} \quad (9)$$

A determinação da massa específica da amostra saturada é encontrada pela Equação 10:

$$\frac{M_{\text{sat}}}{M_{\text{sat}} - M_i} \quad (10)$$

Para realização do ensaio segundo a norma é necessário três corpos-de-prova, moldados de acordo com a NBR 5738 ABNT, 2016, e livre de óleo mineral ou outro material utilizado na moldagem.

As etapas definidas pela norma são disposta da seguinte forma:

- Estabelecer a massa da amostra de ar;
- Secar o corpo-de-prova na estufa à temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ e anotar a massa após a pesagem em 24, 48 e 72 horas;
- Realizar a imersão das amostras em água à temperatura $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ por 72 horas, mergulhando o corpo-de-prova em parte, sendo 1/3 nas primeira 4 horas, 2/3 nas próximas 4 horas e total nas 64 horas restante. Anotar a massa em 24, 48 e 72 horas;
- Após a imersão do tempo total (72 horas), realizar a anotação do corpo-de-prova saturado, imerso em água.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 TRABALHABILIDADE

Foi verificado, através do auxílio da NBR NM 67 ABNT, 1998, os resultados do abatimento do concreto de todos os traços produzidos, presentes no Tabela 13.

Tabela 2 - Abatimento do concreto

Amostras	Abatimento (mm)
Traço Referência	60
Borracha fina 5%	30
Borracha fina 10%	70
Borracha Média 5%	50
Borracha Média 10%	90

Fonte: Autoria Própria.

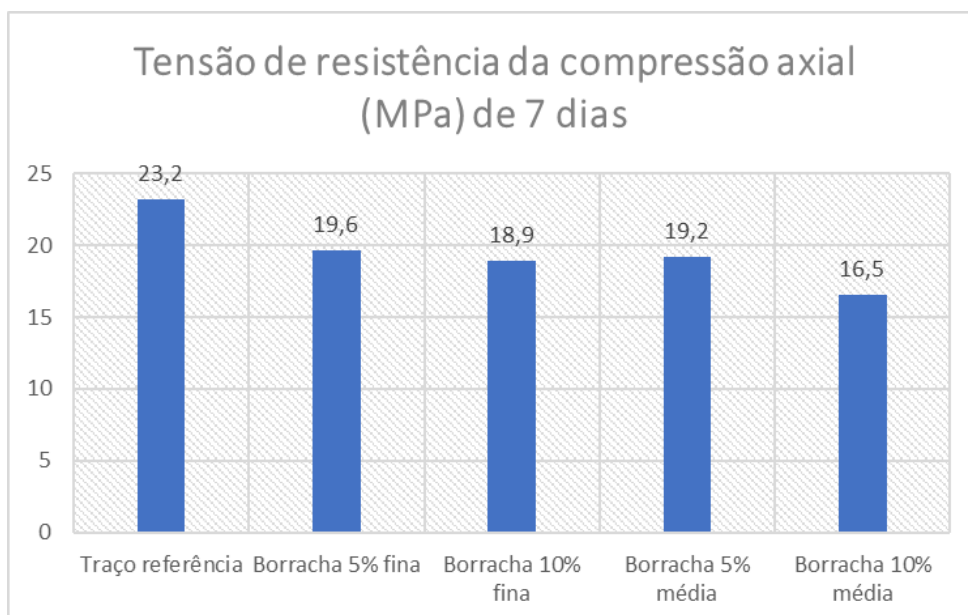
Analisando os resultados demonstrados no Tabela 13, pode-se observar que:

- O abatimento obtido no traço referencial está de acordo com o valor estipulado em sua produção segundo o método ABCP;
- Os traços com as maiores porcentagens de substituição do agregado miúdo apresentaram abatimentos maiores em comparação com o traço referencial;
- Os traços com as menores porcentagens de substituição do agregado miúdo apresentam abatimentos menores em comparação com o traço referencial;
- Observando as considerações, pode-se concluir que a porcentagem de substituição do agregado miúdo pela borracha tem influência direta na trabalhabilidade do concreto.

6.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

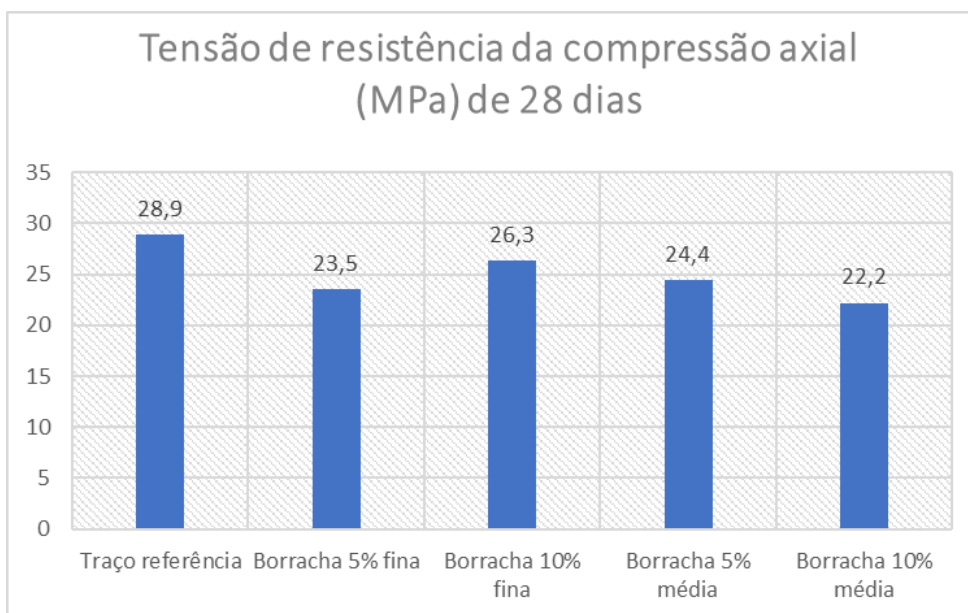
Buscando propiciar um melhor nível de comparação visual entre os diferentes traços produzidos, os Gráficos 4 e 5 indicam os valores dos resultados de resistência à compressão de todos os traços, sendo que cada valor demonstrado representa o resultado da média de três corpos-de-prova.

Gráfico 4 - Tensão de resistência (MPa) - 7 dias



Fonte: Autoria Própria.

Gráfico 5 - Tensão de resistência (MPa) - 28 dias



Fonte: Autoria Própria.

Analisando os Gráficos 4 e 5, pode-se observar que:

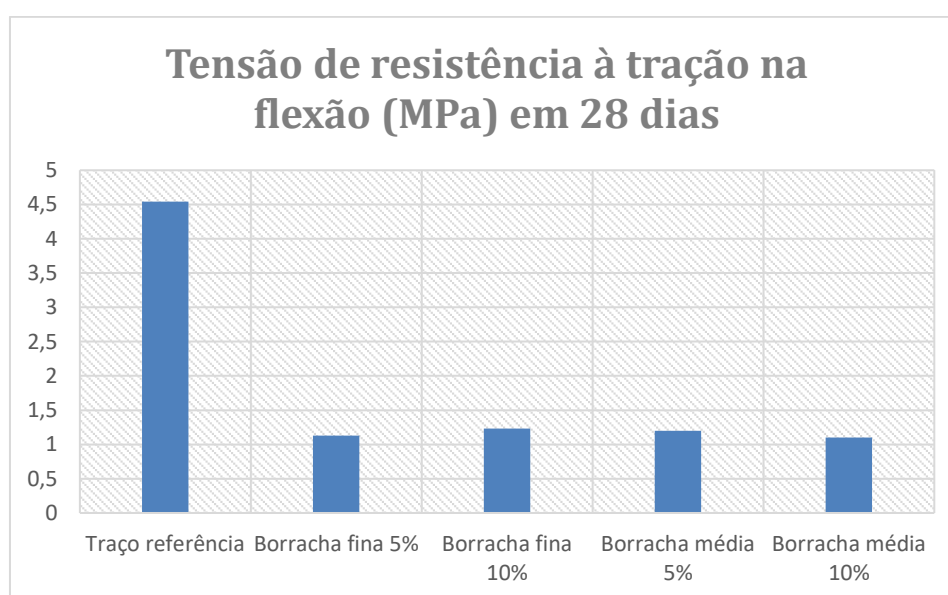
- Como já foi citado pela revisão bibliográfica, ocorreu a diminuição da resistência à compressão axial de todos os traços com a substituição parcial do agregado miúdo por borracha;
- Os concretos com 5% de substituição do agregado miúdo possuem resistências bastante próximas, sendo possível afirmar que a granulometria não possui influência significativa em sua resistência;
- Aos sete dias de idade, os corpos-de-prova com as maiores porcentagens de substituição do agregado miúdo possuem as menores resistências atingidas;

- Aos sete dias de idade, o traço referencial apresentou uma resistência à compressão axial quase 4 Mpa acima do melhor resultado do concreto com borracha;
- A resistência alcançada pelo concreto com “10% de borracha média” foi bem baixa em relação ao traço referencial, chegando a 6,7 MPa, tanto aos sete dias de idade, quanto a vinte e oito dias de idade;
- Aos sete dias de idade, o traço com 5% de borracha fina obteve o melhor desempenho em relação aos demais traço com borracha em sua composição;
- Aos vinte e oito dias de idade, o traço com 10% de borracha fina obteve o melhor desempenho em relação aos demais traços com borracha em sua composição.

6.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os resultados dos ensaios de resistência à tração da flexão são apresentados no Gráfico 6, onde cada coluna representa a média das resistências obtidas de três corpos-de-prova.

Gráfico 6 - Tensão de resistência à tração na flexão (MPa) aos 28 dias



Fonte: Autoria própria.

Analisando o Gráfico 6, pode-se observar que:

- A diferença de resistência atingida pelo traço referencial foi bastante significativa em relação aos concretos com borracha;
- Não houve muita variação na resistência dos corpos-de-prova com borracha, podendo concluir que a granulometria não possui uma influência relevante nos resultados;
- Como já foi citado no referencial teórico, o concreto possui baixa resistência à tração, característica que diminuiu mais ainda com a substituição do agregado miúdo por borracha.

6.4 ABSORÇÃO POR IMERSÃO

Para melhor compreensão, foi elaborada a Tabela 14, onde verifica-se as massas dos corpos-de-prova em seu estado seco, com 24, 48 e 72 horas de imersão,

respectivamente. Os valores apresentados na tabela representam a média das massas de três corpos-de-prova.

Tabela 3 - Massa das amostras em gramas

Amostra	Peso em Gramas			
	Seco	24H	48H	72H
Traço referencial	3.650,67	3.690,67	3.698,00	3.703,67
5% borracha fina	3.610,67	3.667,33	3.675,00	3.679,67
10% borracha fina	3.596,00	3.630,67	3.635,67	3.640,33
5% borracha média	3.642,33	3.691,00	3.696,33	3.701,00
10% borracha média	3.585,67	3.649,00	3.654,33	3.658,67

Fonte: Autoria própria.

Observando a Tabela 14, e com o auxílio dos itens especificados pela NBR 9778 ABNT, 2009 foram obtidos os seguintes resultados para determinação de absorção de água por imersão:

Tabela 4 - Índice de absorção

Amostra	Índice de absorção de água por imersão
Traço referencial	1,45
5% borracha fina	1,91
10% borracha fina	1,22
5% borracha média	1,61
10% borracha média	20,1

Fonte: Autoria própria.

Analisando a Tabela 15 com os resultados obtidos, pode-se observar:

- O traço com 10% de borracha fina obteve o melhor índice de absorção de água dentre todos os concretos produzidos;
- A diferença dos índices de absorção entre os traços com 5% e 10% de substituição do agregado miúdo mostra que a granulometria tem influência direta na obtenção dos resultados;
- Todos os traços, exceto o concreto com 10% de borracha fina, obtiveram índices de absorção de água maiores que o traço referencial.
- Pode-se concluir que, apesar do traço com 10% de borracha fina apresentar um índice menor, os demais traços apresentaram um aumento na absorção de água do concreto

6.5 ÍNDICE DE VAZIOS

Esse ensaio permite observar a relação entre os volumes de poros permeáveis e o volume total. Assim, a Tabela 16 apresenta os valores encontrados para cada traço do concreto imerso e pesado por balança hidrostática, assim como é especificado pela NBR 9778 ABNT, 2009. Os resultados expostos representam a média de três corpos-de-prova.

Tabela 5 - Média das massas dos corpos-de-prova imersos

Amostra	Massa do corpo-de-prova imerso
Traço referencial	2.058
5% borracha fina	2011,33
10% borracha fina	1986,33
5% borracha média	2034,67
10% borracha média	2022,67

Fonte: Autoria própria.

Observando a Tabela 16, e com o auxílio da NBR 9778 ABNT, 2009, obteve-se os resultados relacionado ao índice de vazios de cada traço de concreto produzido, sendo estes apresentados na Tabela 17 a seguir:

Tabela 6 - Índice de vazios

Amostra	Índice de Vazios
Traço referencial	3,22
5% borracha fina	4,13
10% borracha fina	2,68
5% borracha média	3,52
10% borracha média	4,46

Fonte: Autoria própria.

Analisando a Tabela 17, pode-se concluir que:

- Com exceção do concreto com 10% de borracha fina, os demais traços obtiveram valores superiores ao traço referencial;
- O concreto com 10% de borracha média alcançou o maior índice de vazios;
- A diferença dos índices de vazios obtidas para os traços com 5% e 10% de substituição do agregado miúdo, mostra que a granulometria tem influência direta na obtenção dos resultados.

6.6 MASSA ESPECÍFICA SECA E SATURADA

Através do auxílio da NBR 9778 ABNT, 2009, foi possível determinar a massa específica seca e também a massa específica dos corpos-de-prova. Na Tabela 18 estão contidos os resultados obtidos no ensaio. Os cálculos foram realizados utilizando a média dos valores encontrados em três corpos-de-prova de cada traço do concreto.

Tabela 7 - Determinação de massa específica seca e massa específica saturada

Amostra	Massa Específica Seca	Massa Específica saturada
Traço referencial	2,22	2,25
5% borracha fina	2,16	2,2
10% borracha fina	2,17	2,2
5% borracha média	2,18	2,22
10% borracha média	2,19	2,24

Fonte: Autoria própria.

Analisando a Tabela 18, pode-se observar:

- Os traços com 5% e 10% de borracha fina obtiveram a mesma massa específica saturada;
- A maior diferença entre a massa específica seca e massa específica saturada ocorre no concreto com 5% de borracha fina;
- Nos traços do concreto onde há presença de borracha, não há uma grande variação da massa específica saturada;
- Todos os traços com a presença de borracha obtiveram valores de massa específica seca e de massa específica saturada inferiores ao traço referencial do concreto;

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como propósito estudar a viabilidade da aplicação de resíduos de borracha de pneus inservíveis na fabricação de concretos convencionais para fins estruturais, buscando resultados satisfatórios de resistência à compressão, e ainda analisando seu desenvolvimento quanto à trabalhabilidade, resistência à tração na flexão, massa específica seca, massa específica saturada, índice de vazios e absorção de água por imersão. Com o objetivo de colaborar com o desenvolvimento sustentável e também o aperfeiçoamento do concreto com a utilização de um material bastante abundante atualmente e que possui seu descarte, na maioria das vezes, inadequado.

As considerações expostas foram elaboradas de acordo com os resultados alcançados no programa experimental. Porém as inúmeras possibilidades de combinação entre os métodos de aplicação, características e quantidades dos materiais não são desenvolvidas nessas considerações, assim sendo necessário o desenvolvimento de mais pesquisas a respeito deste tema.

A substituição do agregado miúdo, em volume, por resíduos de borracha de pneu inservível acarreta na redução da resistência à compressão do concreto. Aos sete dias de idade, com exceção do traço desenvolvido com 10% de borracha média, onde foi alcançado uma resistência à compressão bem inferior em relação ao traço referencial, todos os traços desenvolvidos com a utilização de borracha alcançaram resultados próximos, porém aos 28 dias somente o traço com 10% de borracha fina obteve um valor satisfatório, acima de 25MPa juntamente com o traço referencial, como preconiza a NBR 6118 ABNT, 2014. De outro modo, todos os traços desenvolvidos com borracha apresentaram uma melhor qualidade em relação a ruptura, sem que houvesse um grande despedaçamento do concreto.

Com relação a trabalhabilidade, foi possível constatar que a presença de resíduos de pneu no traço possui efeitos positivos e negativos. O ensaio do tronco de cone revelou que tanto a granulometria quanto a porcentagem substituída influenciam na

trabalhabilidade, sendo que os maiores valores alcançados foram com as maiores substituições e com a maior granulometria.

Quanto a absorção de água, apenas o traço com a presença de 10% de borracha fina obteve o resultado inferior ao traço referencial, enquanto os demais traços obtiveram valores acima, podendo concluir que a substituição do agregado miúdo pela borracha aumenta, mesmo que não seja em valores elevados, a absorção de água no concreto.

Com relação ao índice de vazios, é possível concluir que a sua porcentagem aumenta quando houve a substituição parcial do agregado miúdo, exceto no traço desenvolvido com 10% de borracha fina.

Com relação à massa específica seca e massa específica saturada, pode-se concluir que a presença das fibras de borracha de pneu não altera de forma significativa, pois os resultados obtidos foram bastante próximos ao do traço referencial.

Conclui-se que o concreto com fibras de borracha de pneus inservíveis não é recomendado para aplicação em elementos estruturais, pois os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão e nos demais ensaios obtiveram resultados inferiores ao do concreto convencional. Porém sua utilização pode ser positiva em diversas outras áreas da construção civil, como calçadas, muros de contenção, bancos de praça, entre outros elementos não estruturais, visto que o concreto com resíduos de borracha apresenta uma capacidade de romper sem que haja uma ampla fragmentação.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. **Projetos de estruturas de concreto – Procedimento: NBR 6118**. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 11578**: Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53:** Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção da água. Rio de Janeiro, 2009.

ANIP. **A Fabricação do Pneu.** Disponível em: <<http://www.anip.org.br/fabricacao/>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS). **Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoções de políticas públicas.** Disponível em: <http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel>. Acesso em: 17 abr. 2019.

GIACOBBE, Silva; FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto de Cimento Portland com borracha de pneus.** 2008. 17 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Usp, São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00513.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2018.

HANAI, João Bento de. Diagnóstico dos Centros de P&D na Área de Concreto. São Paulo, **Revista Concreto**, Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON, n. 40, ano XXXIII, Set.Out.Nov.,2005. P 36-44.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010.

HELENE, Paulo. **Dosagem do Concreto de Cimento Portland.** In: ISAIA, G. C. (ed.). **CONCRETO.** Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, Instituto Brasileiro de Concreto IBRACON. 2005, p. 439-472.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística Reversa:** Meio ambiente e competitividade. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MARQUES FILHO, J. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** Prefácio. 2ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2010. 2v.

MARTINS, Israel Rodrigo de Freitas. **Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha.** 2005. 149 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/91486/martins_irf_me_ilha.pdf?sequen ce=1&isAllowed=y. Acesso em: 23 nov. 2018.

MIKHAILOVA, Irina. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Economia e Desenvolvimento**, [S.l.], jul. 2011. ISSN 2595-833X. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/eed/article/view/3442>. Acesso em: 26 nov. 2018

PEREIRA, F. R. et al. **Marketing ambiental:** uma ferramenta empresarial estratégica. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://revistaconexao.aems.edu.br/wp-content/plugins/download-attachments/includes/download.php?id=1208>. Acesso em: 27 nov. 2018.

PETRUCCI, Eladio G. R.. Borracha. In: PETRUCCI, Eladio G. R.. **Materiais de Construção Civil**. Porto Alegre: Globo, 1979. p. 412-419.

SINPEC. **História do Pneu**. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/sinpec/sobre-o-sinpec/historia-do-pneu/>. Acesso em: 23 nov. 2018.