

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



TRABALHO DE GRADUAÇÃO - II EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROJETO

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA EM
SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAUDO NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS**

CARLOS ROBERTO DE OLIVEIRA

ERECHIM
2016

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA EM
SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAUDO NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS

Carlos Roberto de Oliveira

Monografia de Trabalho de Graduação II em Engenharia Agrícola,
apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola do Departamento de
Ciências Agrárias da Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões – Campus de Erechim, como parte dos
requisitos para a aprovação nesta disciplina.

ERECHIM
2016

CARLOS ROBERTO DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA EM
SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAUDO NA PRODUÇÃO DE CONCRETOS**

Orientador: Prof(a). MSc. Suelen Cristina Vanzetto

Banca examinadora:

Prof. Esp. Francisco Pinto
Engenheiro Civil
URI - Erechim

Prof. Msc. Jeferson da Rocha
Engenheiro Agrícola
URI - Erechim

Prof^a. M.Sc. Suelen Cristina Vanzetto
Engenheira Ambiental
URI - Erechim

ERECHIM
2016

RESUMO

A busca alternativa para usos de matéria tradicionais em todos os setores comerciais colabora para o crescimento de estudos relacionados com a utilização racional de recursos naturais e o aproveitamento de resíduos inseridos na natureza. Este trabalho buscou avaliar a influência da substituição parcial do agregado graúdo convencional por resíduo de borracha de pneu, com o objetivo de reduzir os impactos causados pela disposição inadequada deste material como também avaliar a sua influência nas propriedades do concreto. Foram analisados diferentes teores de substituição do agregado, 0%, 15%, 25% e 50%, adotados de forma a reduzir a massa específica do concreto, no intuito de torná-lo leve. Os concretos leves proporcionam benefícios em uma estrutura, pois reduzem seu peso próprio, considerado elevado para concretos convencionais. Foram analisadas, a partir da incorporação do resíduo de borracha de pneu, as alterações causadas nas propriedades mecânicas dos corpos de prova produzidos, tais como resistência à compressão uniaxial, resistência à tração por compressão diametral e módulo de deformação e também analisada a influência dos diferentes teores de substituição na densidade dos concretos produzidos. Os resultados obtidos demonstram que a incorporação do resíduo de borracha de pneu triturados tem influência significativa em todas as propriedades analisadas. Em função da resistência à compressão, os concretos com 15% e 25% de substituição demonstraram viabilidade técnica e ambiental. Apesar de ser viável tecnicamente, os concretos poderão ser empregados apenas para fins não estruturais. Quanto à densidade, apenas o concreto com 50% de substituição enquadrou-se na condição de concreto leve, mas, em função de sua resistência à compressão, não é viável tecnicamente nas aplicações estruturais.

Palavras-chave: Concreto, resíduo de borracha de pneu, propriedades mecânicas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVO	2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	3
2.2. DEFINIÇÃO DE CONCRETO	4
2.2.1. Composição do concreto.....	4
2.2.2. Principais Propriedades do Concreto.....	6
2.3. ADIÇÃO DE BORRACHA EM CONCRETO.....	7
3. METODOLOGIA	9
3.1. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	9
3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	9
3.2.1. Cimento Portland	9
3.2.2. Agregado graúdo	11
3.2.3. Agregado miúdo	12
3.2.4. Resíduos de Borracha	13
3.2.5. Tratamento Químico da Borracha	14
3.2.6. Aditivo Superplastificante	15
3.3. DOSAGEM EXPERIMENTAL.....	15
3.3.1. Método de dosagem dos concretos	15
3.3.2. Moldagem e cura dos corpos de prova	17
3.4. MÉTODOS DE ENSAIO	18
3.4.1. Ensaio de abatimento tronco cone	18
3.4.2. Ensaio de densidade.....	19
3.4.3. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos	19
3.4.4. Determinação da resistência à tração por compressão diametral	19
3.4.5. Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão	20

3.5. TRATAMENTO ESTATÍSTICO	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
4.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL.....	22
4.2. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	24
4.3. MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	26
4.4. DENSIDADE	28
5. CONCLUSÕES.....	29
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	30
6. REFERÊNCIAS	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Organograma do programa experimental	9
Figura 2 – Resíduo de Borracha de Pneu	14
Figura 3 – Mesa Vibratória	Figura 4 – Cp's Moldados e Identificados 17
Figura 5 - CP's desmoldados e dispostos em câmara úmida	17
Figura 6 - a) Execução do Slump test; b) Slump 100mm.	18
Figura 7 - Corpo de prova após compressão uniaxial	19
Figura 8 - Corpo de prova durante a tração por compressão diametral.....	20
Figura 9 - Corpo de-prova durante módulo de elasticidade	20
Figura 10 - Efeito do teor de substituição da borracha, na resistência à compressão uniaxial	23
Figura 11 - Efeito do teor de substituição da borracha, na resistência à tração por compressão diametral	25
Figura 12 - Efeito do teor de substituição da borracha, no módulo de elasticidade.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nomenclatura e conteúdo do cimento composto.	10
Tabela 2 - Caracterização física do cimento.	10
Tabela 3 - Caracterização química do cimento.	11
Tabela 4 - Caracterização mecânica do cimento.	11
Tabela 5 - Caracterização do agregado graúdo natural.	12
Tabela 6 - Caracterização do agregado miúdo natural.	13
Tabela 7 - Caracterização do agregado graúdo de resíduo de borracha.	14
Tabela 8 - Resultado da dosagem experimental.	15
Tabela 9 - Características de cada teor de substituição.	16
Tabela 10 - Número de corpos de prova.	16
Tabela 11 - Slump test.	18
Tabela 12 - Resultados médios do ensaio de resistência à compressão uniaxial.	22
Tabela 13 - Resultados médios do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.	24
Tabela 14 - Resultados médios do ensaio de módulo de elasticidade.	26
Tabela 15 – Resultados médios do ensaio de densidade	28

LISTA ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Corpo de prova
CPII - Z	Cimento Portland Composto com Pozolana
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente dos Recursos Naturais Renováveis
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LAPATEC	Laboratório de Preparo de Amostras e de Técnicas Construtivas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NM	Norma Mercosul
NR	Norma Regulamentadora
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RS	Rio Grande do Sul
URI	Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

LISTA DE SÍMBOLOS

μm	Micrômetro	[μm]
a/agl	Fator água aglomerante da mistura	-
a/c	Relação água cimento	-
Al_2O_3	Óxido de alumínio	-
CaO	Óxido de cálcio	-
cm	Centímetros	[cm]
Fck	Resistência Característica do Concreto	[MPa]
Fe_2O_3	Óxido férrico	-
g/cm^2	Gramas por centímetro quadrado	[g/cm^2]
g/cm^3	Gramas por centímetro cúbico	[g/cm^3]
h	Horas	[h]
kg	Quilograma	[kg]
kg/m^3	Quilograma por metro cúbico	[kg/m^3]
m^3	Metro cúbico	[m^3]
MgO	Óxido de Magnésio	-
min	Minutos	[min]
mm	Milímetros	[mm]
Mpa	Mega Pascal	[Mpa]
SiO_2	Óxido de silício	-
SO_3	Trióxido de enxofre	-
t/hab	Toneladas por Habitante	[t/hab]

1. INTRODUÇÃO

Hoje no mundo existe uma disposição ao crescimento respeitando-se os conceitos de desenvolvimento sustentável. Isto é uma tendência cada vez mais atual e deve ser estimulada. A busca alternativa para o uso de matérias tradicionais em todos os setores comerciais colabora para o crescimento de estudos relacionados com a utilização racional de recursos naturais e o aproveitamento de resíduos inseridos na natureza (SILVA, 2014).

Dentre os vários resíduos sólidos produzidos pelo ser humano, podem-se destacar os pneus inservíveis de borracha. Para Giacobbe (2008) os pneus são considerados resíduos especiais e começam a ocupar papel de destaque nas discussões dos impactos sanitários e ambientais.

Esse tipo de resíduo apresenta processo de decomposição lento, baixa compressibilidade, resultando na ocupação de grandes espaços. Quando compactados inteiros, os pneus tendem a voltar à sua forma original e retornam à superfície, causando uma movimentação no solo. A sua queima inconsequente provoca a fumaça negra, altamente poluidora pela diversidade de compostos liberados na combustão, podendo provocar danos à saúde, e material oleoso, derivado de petróleo, que carregado para os corpos d'água superficiais ou para os aquíferos subterrâneos, podem contaminar a água, tornando-a imprópria para o consumo, além de prejudicar espécies que habitam o ambiente atingido (GHALY; CAHILL, 2005).

O aproveitamento de resíduos na composição de novos materiais é uma tendência mundial que vem crescendo rapidamente em todos os ramos de atividade e permite a redução de custos, trazendo melhorias técnicas e operacionais. Esta é uma prática cada vez mais utilizada em países desenvolvidos e começa a ser implantada no Brasil, onde se destaca a utilização de produtos provenientes da reciclagem do pneu utilizado e descartado (MAYER, 2006).

Em meio às várias alternativas para reciclagem de resíduos sólidos no aproveitamento ou manufatura de outros produtos, pode-se citar a construção civil, que consome em seus diversos serviços, uma variedade de resíduos, não só das suas próprias obras, como também, já se preocupa em adicionar produtos de resíduos provenientes de outras linhas (SILVA, 2014).

Atualmente, existem várias pesquisas destinadas ao estudo da aplicação do resíduo de borracha de pneus na construção civil. Estes podem ser realizados na forma de agregado as pastas de cimento ou concreto, existindo pesquisas até mesmo com concreto de alto desempenho, assim como, aplicação em revestimentos de pavimentos de rodovias (FIORITI et al., 2007; GIACOBRE, 2008).

1.1. OBJETIVO

Avaliar a viabilidade técnica da utilização de resíduo triturado de borracha em substituição parcial ao agregado graúdo na produção de concretos, afim de testar sua capacidade de contribuir com as propriedades mecânicas, para estruturas agrícolas.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a influência dos diferentes teores de substituição (15%, 25% e 50%) do agregado nas propriedades mecânicas do concreto: compressão uniaxial, compressão por tração diametral e modulo de elasticidade;
- Analisar a influência dos diferentes teores de substituição do agregado na densidade do concreto leve;
- Realizar um comparativo entre os concretos produzidos e um concreto convencional de referência.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No decorrer deste tópico será apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre o impacto ambiental devido ao acúmulo dos RCD. A geração e classificação destes resíduos, bem como a composição e destinação com suas devidas aplicações, como forma de substituição total ou parcial para o uso na construção civil, ressaltam a base teórica para o desenvolvimento desta pesquisa.

2.1. RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Reciclagem é o conjunto de atividades que torna possível o reaproveitamento ou utilização dos resíduos sólidos que são considerados lixo (VALLE, 2000). A reciclagem pode ser uma alternativa viável para minimizar os danos causados pelo consumo das matérias-primas e energia (LEITE, 2001). A consolidação da reciclagem na construção civil como uma prática sustentável é devida à atenuação dos riscos de impactos ambientais e a redução de custos para produção no setor (ÂNGULO *et al*, 2001).

Para Oliveira (2006), a reciclagem de resíduos é hoje uma necessidade para a preservação do meio ambiente não apenas pelo risco de contaminação do solo e do lençol freático, mas também pela possibilidade de redução civil, pelo extraordinário volume físico de materiais que incorpora, é o maior mercado potencial para a reciclagem.

Para que seja viável o uso de determinado resíduo pela indústria da construção civil este deve obedecer a alguns critérios. A quantidade de material disponível deve ser grande o suficiente para que se possa justificar o desenvolvimento de sistemas de manuseio, processamento e transporte. As distâncias de transporte envolvidas devem ser competitivas em relação aos materiais convencionais. O resíduo não deve ser potencialmente nocivo durante a construção ou posteriormente à sua incorporação na estrutura (JOHN, 2006).

Experiências já comprovaram a eficiência da incorporação de alguns resíduos no concreto, que atingiram objetivos como: aumentar a resistência, colorir o concreto, diminuir o calor de hidratação, reduzir fissuras, aumentar a resistência ao impacto, reduzir custos, etc. (FREITAS, 2007).

A utilização de resíduos de pneus, como material de construção é uma maneira de diversificar e aumentar a oferta de materiais de construção, viabilizando eventuais reduções de preço (KAMIMURA, 2002).

2.2. DEFINIÇÃO DE CONCRETO

O concreto é um material de construção que pode ser descrito como uma mistura de materiais em quantidades pré-fixadas, estes componentes são os aglomerantes, água, agregados graúdos e miúdos. Com esta união forma-se uma massa homogênea, com consistência plástica que endurece e ganha resistência com o tempo. Os aglomerantes são o cimento e a cal, já os agregados graúdos e miúdos, são a brita e a areia, respectivamente (NOGUEIRA, 2013).

De acordo com a norma NBR 12655 (2015) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o concreto pode ser classificado em três categorias, conforme sua massa específica no estado endurecido: concreto normal (entre 2.000 kg.m^{-3} e 2.800 kg.m^{-3}), concreto leve (de 800 kg.m^{-3} até 2.000 kg.m^{-3}) e concreto pesado (maior que 2800 kg.m^{-3}).

Segundo a norma NBR 8953 (2015), a classificação do concreto também pode ser feita a partir de critérios de resistência à compressão (f_{ck}), determinada a partir do ensaio de corpos de prova (CP) moldados e rompidos. A classificação o divide nas seguintes categorias: concreto de baixa resistência (menor que 20 MPa), concreto de resistência moderada (de 20 a 40 MPa) e concreto de alta resistência (superior a 50 MPa).

Conforme a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil (ABESC, 2007), os concretos comumente utilizados podem ser classificados de acordo com sua aplicação em obra, dentre eles pode-se citar: concreto convencional, de alta trabalhabilidade, reforçado com fibras (reduz a fissuração), polimérico, rolado (com agregados maiores, utilizado em barragens).

2.2.1. Composição do concreto

Os materiais que compõem o concreto possuem características distintas, podendo variar em função de sua procedência e o tratamento recebido, a existência da variabilidade das características interfere diretamente na qualidade da mistura. Pinheiro *et al.*, 2010, descreve os componentes do concreto como:

a) Aglomerantes

O cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, que endurece sob ação da água, é composto basicamente de clínquer e aditivos, sendo o clínquer o principal produto presente em todos os tipos de cimento. O clínquer tem como composição o calcário e a argila, a rocha calcária britada é misturada com a argila moída. A característica mais importante do clínquer é sua alta resistência mecânica após a hidratação (NOGUEIRA, 2013), conferindo a propriedade ligante do cimento. Os aditivos podem variar de um tipo de cimento para outro e são eles que dão as características distintas para cada tipo de cimento.

b) Agregados

Os agregados para a construção civil são materiais granulares, sem forma ou volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para o uso em obras de engenharia, podem ser classificados quanto à origem como naturais, britados, artificiais e reciclados (NETO, 2011). Dependendo das dimensões características, dividem-se em dois grupos:

- Agregado Graúdo: materiais cujos grãos passam pela peneira com abertura de 152mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,8mm, ou seja com diâmetro maiores que 4,8mm;
- Agregado Miúdo: partículas menores que 4,8mm (passam na peneira 4,8mm) e maiores que 0,075mm (ficam retidos na peneira 0,075), ou seja com diâmetro maior que 0,075mm e menor que 4,8mm.

A maioria dos agregados naturais, tais como areia e pedregulho, têm massa unitária entre 1500 e 1700 kg.m⁻³.

c) Água

A água para o concreto tem função fundamental, pois em contato com os produtos do cimento começam as reações de hidratação que torna o cimento um material ligante e com resistência após o endurecimento. O teor de água no concreto é medido pelo fator água-cimento, que nada mais é a relação entre a massa de água e a massa de cimento utilizados na mistura (NOGUEIRA, 2013).

A água é um dos principais materiais componentes do concreto que lhe confere as propriedades requeridas para cumprir com sua função resistente e de durabilidade (ISAIA, 2011).

2.2.2. Principais Propriedades do Concreto

Segundo Galvão (2003), algumas propriedades do concreto nos seus estados fresco e endurecido são citadas abaixo:

- Tempo de pega e endurecimento

É um fenômeno químico resultante das reações do cimento, no qual acontece a perda da plasticidade e a aquisição de resistência. Após toda solidificação o processo continua aumentando a dureza e a resistência. A pega é o período de fenômenos químicos, em que acontece reações e despreendimento de calor. O endurecimento é o período de fenômenos de secagem e entrelaçamento de cristais.

- Trabalhabilidade

Chama-se de trabalhabilidade à facilidade de manuseio, transporte, lançamento e adensamento. O concreto deve apresentar uma trabalhabilidade assegurando plasticidade máxima, segregação mínima e consistência apropriada.

- Retração

O concreto tem no seu interior vazios na forma de poros, enquanto úmido, tais poros encontram-se cheios de água, a medida que se processa a secagem aparecem esforços que equivalem a pressão externa, e a peça diminui de volume. Da retração resultam poros capilares que podem tornar-se perigosos tornando o concreto mais permeável.

- Resistência mecânica

A resistência de um material é definida como a capacidade para resistir à tensão sem se romper. No concreto, a resistência está relacionada à tensão necessária para causar a ruptura, sendo definida como a tensão máxima que o concreto pode suportar (MEHTA e MONTEIRO, 2008). As peças de concreto estão sujeitas a todo tipo de solicitação, podendo ser de tração, flexão ou torção, entretanto o concreto tem como principal propriedade mecânica a resistência à compressão, visto que esta é bem superior quando comparada com as demais resistências.

- Durabilidade

É definida como sua capacidade de resistir à ação de interpéries, ataque químico, abrasão, ou qualquer outro processo de deterioração. Um concreto durável preservará sua forma, qualidade e capacidade de uso originais quando expostos ao ambiente para o qual foi projetado. Nenhum material é propriamente durável, como resultado de interações ambientais, a micro estrutura e suas propriedades mudam com o tempo, e quando o material atinge o fim de sua vida útil suas propriedades, deterioram-se de tal forma que a continuação de sua utilização se torna insegura e antieconômica (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.3. ADIÇÃO DE BORRACHA EM CONCRETO

Em função dos grandes impactos ambientais gerados pelo descarte inadequado de pneus, é necessário procurar minimizar estes impactos através do gerenciamento adequado, desde seu acondicionamento até a sua destinação final. A reciclagem é uma forma de reinserir o pneu como matéria-prima para novos produtos, tanto em seu formato inteiro quanto triturado (CIMINO *et al.*, 2005).

De acordo com Valverde (2001), os agregados convencionais para a construção civil são os insumos mais consumidos no mundo. O termo “agregados para a construção civil” é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção.

Vários estudos relataram que a resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade do concreto com borracha de pneu diminuem significativamente com o aumento das qualidades de borracha em substituição ao agregado.

Segundo Najim e Hall (2010), os mecanismos responsáveis por esta redução na resistência são, a significativa disparidade entre o módulo de elasticidade dos agregados de borracha e da pasta de cimento endurecida.

Guneyisi (*et al.*, 2004), em seus estudos, sugerem que, com 50% de substituição em volume do agregado total por borracha de pneu podem provocar reduções na resistência a compressão, resistência a tração e módulo de elasticidade de 86%, 80% e 83%, respectivamente.

Zheng (*et al.*, 2008) verificaram que a relação de resistência a tração/compressão para o concreto com borracha de pneu, utilizando resíduo de borracha com dimensões de 2,62 mm, em substituições de volume do agregado graúdo em 15%, 30% e 45%, foram de 0,68, 0,71 e 0,75, respectivamente.

Bewick (*et al.*, 2010) desenvolveram o controle tecnológico no estado fresco dos concretos que produziram com a substituição parcial em volume do agregado graúdo por resíduos de borrachas em 0%, 20% e 40%, de acordo com os resultados encontrados, a substituição parcial em volume dos agregados graúdos por resíduo de pneu melhora significativamente a trabalhabilidade dos concretos quando se mantém constante a relação água/cimento.

Em termos práticos, para evitar reduções significativas nas propriedades mecânicas, vários pesquisadores têm recomendado que o teor máximo de agregado a ser substituído por borracha não deve exceder 20% (KHATIB *et al.*, 1999), 25% (KHALOO *et al.*, 2008) e até 30% (ZHENG *et al.*, 2008) do volume total do agregado.

3. METODOLOGIA

3.1. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental deste trabalho, de acordo com a Figura. 1, foi planejado de forma a trabalhar com fatores controláveis para posteriormente, através de tratamento estatístico, pelo software *Statística 8.0*, avaliar a influencia de cada fatores nas variáveis de resposta.

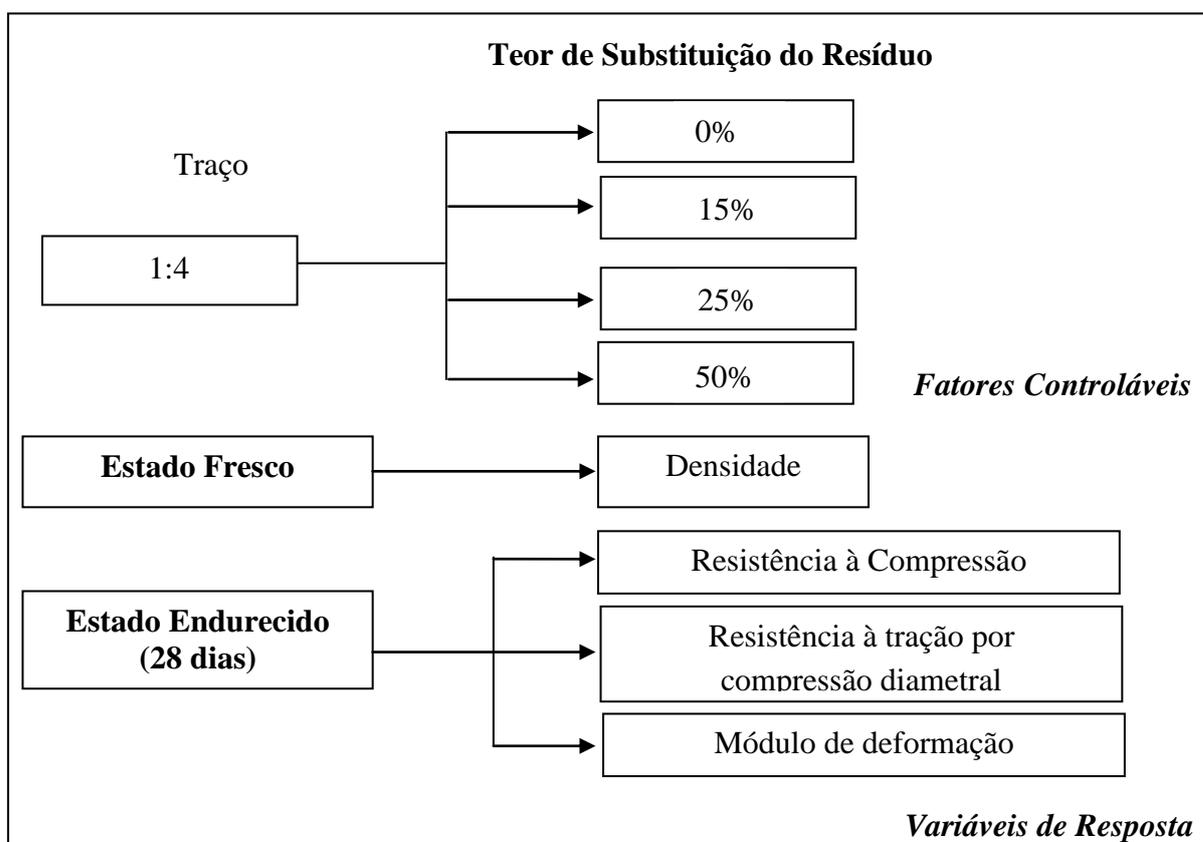


Figura 1 – Organograma do programa experimental

3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.2.1. Cimento Portland

Para esta pesquisa, será utilizado como aglomerante hidráulico o cimento denominado CP II - Z, sua composição contém de 6 a 14% de pozolana. O Cimento Portland composto tem diversas possibilidades de aplicação e por isso é um dos cimentos mais utilizados no Brasil. Suas propriedades atendem desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, concreto massa e concreto para pavimentos.

Quando o cimento chegou no Laboratório de Preparo de Amostras e de Técnicas Construtivas (LAPATEC) da URI ele foi acondicionado em sacos plásticos, ficando assim totalmente protegido de intempéries. Em seguida, foram feitos os ensaios para a sua caracterização física, como a determinação do índice de finura conforme a NBR 11579 (2012) e a determinação da massa específica de acordo com a NM 23 (2001).

Nas tabelas 1, 2, 3 e 4, estão informações sobre o tipo de cimento utilizado na pesquisa, como sua nomenclatura e materiais constituintes especificados em norma, assim como as suas propriedades físicas segundo o fabricante, norma e ensaios feitos no LAPATEC, e as propriedades química e mecânicas respectivamente, segundo o fabricante e norma.

Tabela 1 - Nomenclatura e conteúdo do cimento composto.

Designação/Sigla	Classe	Conteúdo dos componentes (% em massa)			
		Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland composto com pozolana CP II – Z	25 32 40	94-76	-	6-14	0-10

Fonte: Itambé, 2016

Tabela 2 - Caracterização física do cimento.

Características Avaliadas	Tipo de Cimento Portland - CP II Z – 32		
	Resultados (LAPATEC)	Resultados (Fabricante)	Exigências da NBR 11578
Massa Específica (g.cm ⁻³)	2,88	2,96	-
Expansão à quente (mm)	-	0,23	≤ 5
Tempo de pega (h:min)	Início	-	04:14
	Fim	-	05:00
Consistência Normal (%)	-	28,10	-
Finura Blaine (cm ² /g)	-	3,529	-
Resíduo peneira # 200µm (%)	3,03	1,85	-
Resíduo peneira # 325 µm (%)	-	9,12	-

Fonte: Itambé, 2016

Tabela 3 - Caracterização química do cimento.

Parâmetros Avaliados (% de massa)	Tipo de Cimento Portland - CP II Z – 32	
	Resultados (fabricante)	Exigências da NBR 11578
Al_2O_3	6,63	-
SiO_2	22,49	-
Fe_2O_3	3,09	-
CaO	53,48	-
MgO	3,81	$\leq 6,5$
SO_3	2,56	≤ 4
Perda ao fogo	5,58	$\leq 6,5$
CaO livre	0,71	-
Resíduo insolúvel	12,23	≤ 16
Equivalente alcalino (Na_2O_{eq})	0,80	-

Fonte: Itambé, 2016

Tabela 4 - Caracterização mecânica do cimento.

Características Avaliadas	Tipo de Cimento Portland - CP II Z – 32		
		Resultados (fabricante)	Exigências da NBR 11578
Resistência à compressão (MPa)	1 dia	11,8	-
	3 dias	25,2	$\geq 10,0$
	7 dias	32,1	≥ 20
	28 dias	40,9	≥ 32

Fonte: Itambé, 2016

3.2.2. Agregado graúdo

O agregado graúdo natural que será utilizado na pesquisa consiste em uma brita de origem basáltica, chamada comercialmente de brita 1. Para a sua caracterização foram realizados ensaios, tais com massa específica, absorção, massa unitária e composição granulométrica.

Para o ensaio de composição granulométrica, foram seguidas as recomendações da NM 248 (2003), e obtida a dimensão máxima característica do agregado correspondente à abertura nominal, em milímetros, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5% em massa, e o modulo de finura que corresponde à soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, dividida por 100.

Conforme a NM 45 (2006), foi realizado o ensaio de massa unitária que é a relação entre a massa do agregado lançada no recipiente e o volume do mesmo.

Na tabela 5, encontra-se os resultados da caracterização do agregado graúdo, realizados no LAPATEC e também as exigências da NBR 7211(2009), a qual especifica agregados para concreto. Para a realização destes ensaios os agregados foram submetido a um processo de quarteamento para que todas as amostras ficassem com o mesmo material.

Tabela 5 - Caracterização do agregado graúdo natural.

Abertura das peneiras (mm)	Média retida (%)	Média retida acumulada (%)	Exigências da NBR 7211/2009 para a zona d/D ^a 9,5/25 Média retida acumulada (%)
25,00	0,00	0,00	0 – 5
19,00	3,71	3,71	2 – 15 ^b
12,50	66,11	69,82	40 ^b – 65 ^b
9,50	17,58	87,40	80 ^b – 100
6,30	11,93	99,32	92 – 100
4,75	0,55	99,87	95 – 100
2,36	0,12	100,00	–
1,18	0,01	100,00	–
Dimensão máxima característica (mm)		19	^a Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo. ^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2.
Massa específica (g/cm ³)		2,57	
Massa unitária (g/cm ³)		1,31	
Absorção de água (%)		2,98	
Módulo de finura		6,91	

A média da amostra retida acumulada do agregado graúdo atendem as especificações da distribuição granulométrica prescritas nas NBR 7211(2009).

3.2.3. Agregado miúdo

O agregado miúdo natural que será utilizado na pesquisa consiste em uma areia média de origem quartzosa. Para a sua caracterização foram realizados ensaios de massa específica, massa unitária, composição granulométrica e absorção. Todos os ensaios foram realizados conforme normas.

Para o ensaio de composição granulométrica, seguiu as recomendações da NM 248 (2003), e obtida a dimensão máxima característica do agregado correspondente à abertura nominal, em milímetros, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5% em massa, e o modulo de finura que corresponde à soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, dividida por 100.

Na tabela 6, encontra-se os resultados da caracterização do agregado miúdo, realizados no LAPATEC e também as exigências da NBR 7211(2009), a qual especifica agregados para

concreto. Para a realização destes ensaios os agregados foram submetido a um processo de quarteamento para que todas as amostras ficassem com o mesmo material.

Tabela 6 - Caracterização do agregado miúdo natural.

Abertura das peneiras (mm)	Média retida (%)	Média retida acumulada (%)	NBR 7211/09 - Média retida acumulada (%)			
			Limites inferiores		Limites superiores	
			Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona Utilizável
6,30	0,00	0,00	0	0	0	7
4,75	0,00	0,00	0	0	5	10
2,36	0,00	0,00	0	10	20	25
1,18	0,33	0,33	5	20	30	50
0,60	16,76	17,09	15	35	55	70
0,30	61,50	78,58	50	65	85	95
0,15	15,57	94,15	85	90	95	100
Fundo	5,85	100,00	–	–	–	–
Dimensão máxima característica (mm)			1,18	O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90. O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20. O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.		
Massa específica (g/cm ³)			2,62			
Massa unitária (g/cm ³)			1,59			
Absorção de água (%)			1,90			
Módulo de finura			0,80			

A média da amostra retida acumulada do agregado graúdo atendem as especificações da distribuição granulométrica prescritas nas NBR 7211(2009).

3.2.4. Resíduos de Borracha

O resíduo de borracha de pneu utilizado neste trabalho é beneficiado e será doado por uma empresa recicladora. Para a sua caracterização foram realizado ensaios de composição granulométrica (NM 248/2003), determinação da massa específica (NM 53/2009) e massa unitária (NM 45/2006).

Na tabela 7, encontram-se os resultados da caracterização do mesmo, segundo a NBR 7211(2009), a qual especifica agregados para concreto.



Figura 2 – Resíduo de Borracha de Pneu

Tabela 7 - Caracterização do agregado graúdo de resíduo de borracha.

Abertura das peneiras (mm)	Média retida (%)	Média retida acumulada (%)	Exigências da NBR 721/2009 para a zona d/D ^a 9,5/25 Média retida acumulada (%)
25,00	0	0	
19,00	0	0	
12,50	2,51	2,51	0 – 5
9,50	21,43	23,94	2 – 15 ^b
6,30	44,38	68,32	40 ^b – 65 ^b
4,80	14,61	82,93	80 ^b – 100
2,40	13,78	96,71	92 – 100
1,20	2,6	99,31	95 – 100
Fundo	0,7	100,00	–
Dimensão máxima característica (mm)		25	^a Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo. ^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.
Massa específica (g/cm ³)		1,09	
Massa unitária (g/cm ³)		0,50	
Absorção de água (%)		1,3	
Módulo de finura		6,99	

3.2.5. Tratamento Químico da Borracha

Este tratamento será realizado de acordo como descreve Marques (2005), a borracha de pneu, depois de peneirada será tratada com solução saturada de hidróxido de sódio comercial na proporção de 1:1. Para cada 500g de água, serão colocadas 500g de NaOH. Esta quantidade de material será o suficiente para tratar 500g de borracha de pneu.

O material ficará imerso por 30 minutos na solução, depois lavado com água corrente até que seu pH volte a ser 7 (neutro). Este parâmetro será controlado através de fitas indicadoras de pH. Após esta etapa o material será deixado para secar na sombra até a estabilização de sua massa.

3.2.6. Aditivo Superplastificante

Nesta pesquisa, foi utilizado como aditivo químico um superplastificante, que atua como dispersante do material cimentício, propiciando super plastificação e alta redução água, tornando o concreto com maior trabalhabilidade sem alteração do tempo de pega. Recomendado para fabricação de todo tipo de concreto onde se necessita baixa relação água cimento (a/c) e alta fluidez, sendo compatível com todos os tipos de cimento Portland.

Este aditivo atende requisitos da norma brasileira de aditivos para concreto Portland NBR 11768 (2011). A quantidade de aditivo para a dosagem foi de 0,1% em relação a massa de cimento.

3.3. DOSAGEM EXPERIMENTAL

3.3.1. Método de dosagem dos concretos

Para a elaboração dos concretos desta pesquisa foi adotada a metodologia de dosagem experimental IPT/EPUSP, proposto por Helene e Terzian (1992).

Conforme o método, primeiramente foi confeccionado um concreto de traço intermediário (1:5), depois um concreto com traço pobre (1:6,5) e um traço rico (1:3,5). O concreto intermediário foi ajustado até atingir o teor de argamassa ideal (α_i), capaz de proporcionar a melhor trabalhabilidade e coesão, assim como um bom envolvimento da brita nas misturas, para respeitar o abatimento de 100 ± 20 mm. O teor de argamassa ideal foi de 52% e os resultados obtidos na concretagem são informados na tabela 8.

Tabela 8 - Resultado da dosagem experimental.

Traço unitário	Relação água/cimento	Resistência Média (MPa)	Consumo de cimento (kg/m ³)	Relação água/materiais secos (%)	Abatimento (mm)
1:3,5	0,41	34,63	471,38	9,19	120
1:5	0,52	28,19	356,99	8,59	100
1:6:5	0,66	21,09	284,19	8,74	100

A partir da dosagem experimental, com o auxílio do diagrama de dosagem experimental, foi definida a resistência característica do concreto aos 28 dias (fck), esta resistência foi fixada em 25 MPa, e a partir desta resistência determinou-se o fator água/cimento, proporções de agregado miúdo e graúdo para cada unidade de cimento, além da obtenção do fator água/cimento. A trabalhabilidade foi outro fator fixo, portanto, o abatimento requerido de tronco cone de 100 ± 20 mm.

Os teores de substituição de agregado graúdo pela borracha foram de 15, 25 e 50%, e como variável de resposta foi analisado as propriedades dos concretos no estado fresco e endurecido.

Nas tabelas 9 e 10, são apresentadas as características de cada teor de substituição, e o número de corpos de prova que foram moldados para cada ensaio e o teor de substituição proposto para esta pesquisa.

Tabela 9 - Características de cada teor de substituição.

Traço	Traço unitário	Teor de argamassa (%)	Relação água/cimento	Consumo de cimento	Aditivo (%)	Teor de substituição (%)
1:4	1:1,6:2,4	52	0,45	425,46	0,1	0
					0,02	15
					0,01	25
					0,02	50

Tabela 10 - Número de corpos de prova.

Ensaio	Normas	Idade de ensaio (dias)	Teor de substituição (%)	Nº de CP's
Resistência à compressão uniaxial	NBR 5739/2007	28	0	4
			15	4
			25	4
			50	4
Resistência à tração por compressão diametral	NBR 7222/2011	28	0	4
			15	4
			25	4
			50	4
Módulo de elasticidade	NBR 8522/2008	28	0	4
			15	4
			25	4
			50	4
Total de CP's				48

3.3.2. Moldagem e cura dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova seguiu as determinações da NBR 5738 (2003), para moldagem e cura de corpos de prova de concreto. Os corpos de prova foram moldados em fôrmas metálicas, que visam à redução de perdas da pasta de cimento e de variabilidade dimensional de cada traço. Estas fôrmas apresentaram dimensões cilíndricas de 10 x 20 cm, e foram untadas com óleo mineral. Após moldados e devidamente vibrados, em mesa vibratória, os corpos de prova foram identificados. Em 24 horas os mesmos puderam ser desmoldados e posteriormente dispostos em uma câmara úmida até completar a idade dos ensaios, os 28 dias.

O processo de adensamento foi produzido através do auxílio da mesa vibratória de modo a garantir uma mistura adequada dos materiais, conforme mostra a figura. 3. Após moldados e devidamente vibrados, os corpos de prova foram identificados com informações da quantidade de substituições utilizadas, figura. 4.



Figura 3 – Mesa Vibratória



Figura 4 – Cp's Moldados e Identificados

Após 24 horas os mesmos foram desmoldados e posteriormente dispostos em câmara úmida, conforme figura. 5, até completar a idade dos ensaios, os 28 dias.



Figura 5 - CP's desmoldados e dispostos em câmara úmida

3.4. MÉTODOS DE ENSAIO

3.4.1. Ensaio de abatimento tronco cone

Este ensaio, também é conhecido como Slump test, através dele foi possível determinar da trabalhabilidade do concreto. O ensaio, seguiu os procedimentos especificados na NM 67 (1998), foi realizado o ensaio para cada teor de substituição e os resultados, estão apresentados na Tabela 11. A figura 6 mostra que cumpriu-se com o abatimento em $100 \pm 20\text{mm}$.



Figura 6 - a) Execução do Slump test; b) Slump 100mm.

Tabela 11 - Slump test.

Teor de substituição (%)	Abatimento (mm)
0	125*
15	100
25	95
50	90

*slump fixado em $100 \pm 20\text{mm}$, mas devido a condições climáticas na hora de concretagem o slump ficou de 125mm.

3.4.2. Ensaio de densidade

O ensaio para a determinação da densidade do concreto, seguiu as especificações da NBR 9833 (2009), que especifica a determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico do concreto no estado fresco. Esta avaliação foi realizada para todos os teores de substituição parcial do resíduo, além da mistura de referência. Para a realização do ensaio, foi separado 4 fôrmas de corpos de prova de cada teor e feito a pesagem antes e depois da concretagem. Subtraindo a massa do recipiente vazio da massa do recipiente cheio, tem-se a massa do concreto.

3.4.3. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos

O ensaio segundo a NBR 5739/2007, especifica o método que deve ser utilizado para obter a resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a NBR 5738/2003, no qual estabelece os requisitos exigíveis para os processos de extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. O corpo de prova cilíndrico é colocado perpendicular ao eixo longitudinal da prensa hidráulica, como mostra a figura. 7, onde é inserido tensões até a ruptura para medida da resistência.

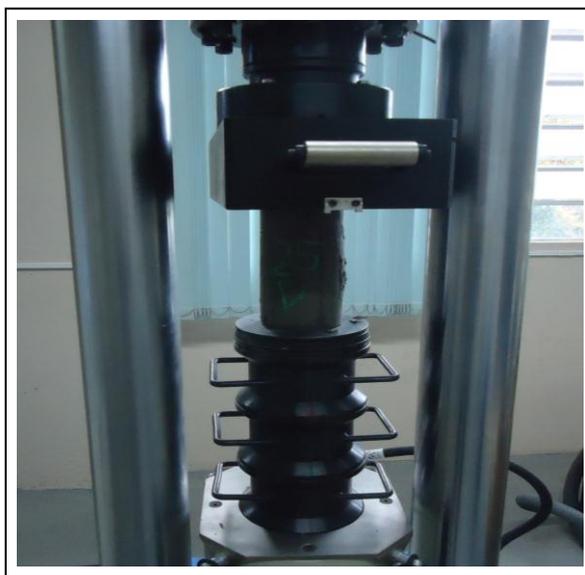


Figura 7 - Corpo de prova após compressão uniaxial

3.4.4. Determinação da resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral, baseado na NBR 7222/2011, trata-se de um ensaio para obtenção de resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de concreto. No ensaio, os corpos de prova de concreto cilíndrico, são

submetidos a cargas de compressão ao longo de duas linhas axiais diametralmente opostas, conforme figura. 8. A carga é aplicada continuamente a uma velocidade constante até a ruptura do corpo de prova. A compressão produz uma tensão de tração transversal uniforme ao longo do diâmetro vertical.



Figura 8 - Corpo de prova durante a tração por compressão diametral

3.4.5. Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão

O método empregado para o ensaio de módulo de elasticidade, segue as especificações da NBR 8522/2008 que prescreve a determinação do módulo estático de elasticidade à compressão do concreto endurecido, em corpos de prova cilíndricos sob carregamento estático, Fig. 9 à compressão axial simples, utilizando a prensa hidráulica.

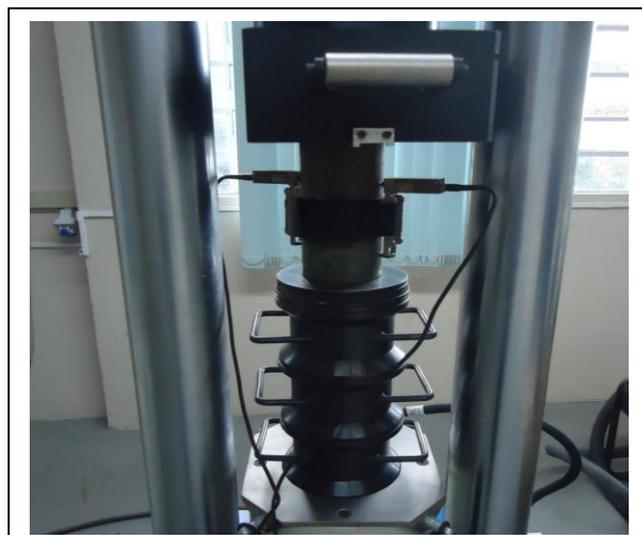


Figura 9 - Corpo de-prova durante módulo de elasticidade

3.5. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para maior confiabilidade nos dados, foi realizado um tratamento estatístico nos resultados desta pesquisa com a aplicação do método de análise de variância simples (*One Way ANOVA*). Esta análise é proposta com significância estatística de 5%, usando o *software STATISTICA* versão 8.0, o qual buscou avaliar se os fatores de controle causaram efeitos significativos na variável de resposta medida.

Para analisar se os dados obtidos na pesquisa são estatisticamente iguais ou diferentes, determinando quais são as técnicas que oferecem os melhores resultados, contou-se com o auxílio do método de teste de Tukey, que é utilizado para testar toda e qualquer diferença significativa entre duas médias de tratamento. Ele consiste na construção de uma diferença mínima significativa para as médias de tal forma que o conjunto testado revele suas discrepâncias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

Segundo Silva (2011), a resistência à compressão uniaxial é uma propriedade de extrema importância na avaliação das estruturas de concreto. Em projetos estruturais, a resistência é o parâmetro mais utilizado, pois está relacionado à capacidade do elemento em resistir a esforços sem entrar em colapso. Os resultados médios de resistência à compressão uniaxial para os concretos estudados estão apresentados na tabela 12.

Tabela 12 - Resultados médios do ensaio de resistência à compressão uniaxial

Teor de substituição (%)	Resistência à compressão uniaxial média (MPa)	Coefficiente de variação (%)	Desvio Padrão
0	30,11	5	1,38
15	21,81	2,82	0,61
25	16,07	4,78	0,77
50	9,63	11	1,08

Pode-se perceber na tabela 12, que a resistência à compressão uniaxial média para os teores de 15%, 25% e 50% obtiveram um decréscimo de 27,56%, 46,62% e 68,01% respectivamente, se comparados a mistura de referência o teor de 0%.

Através do método de variância simples é possível observar na figura 10, a influência do teor de substituição do agregado de borracha sobre a resistência à compressão uniaxial dos concretos.

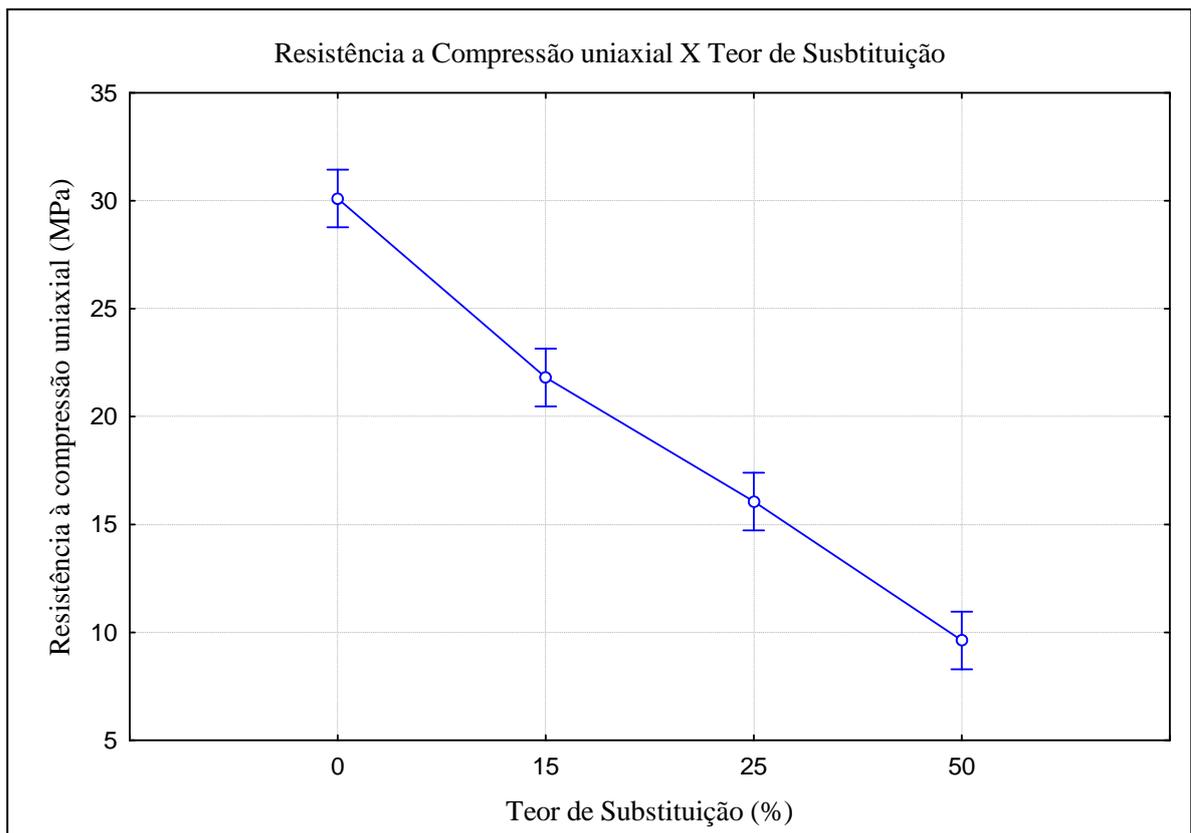


Figura 10 - Efeito do teor de substituição da borracha, na resistência à compressão uniaxial.

Observa-se no gráfico da figura 10 que houve um decréscimo significativo na resistência à compressão uniaxial entre a mistura de referência 0% com 30,11MPa, para o teor de substituição de 15% de borracha com 21,81MPa, 25% com 16,07MPa e 50% com 9,63MPa.

A perda na resistência à tração está associada à elevada deformação dos concretos produzidos com o resíduo de borracha. Além de o resíduo ser mais deformável, ele é obviamente menos resistente do que a pedra. Isto explica a elevada queda na resistência dos concretos produzidos com o resíduo de borracha de pneu.

De acordo com o Teste de Tukey, os valores de 15, 25 e 50% são considerados estatisticamente diferentes ao teor de 0%. Sendo assim percebe-se que a substituição da borracha exerceu influencia na resistência a compressão uniaxial isso se deve as características do resíduo.

4.2. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

De acordo com Magalhães (2009), em muitas obras e projetos, a resistência à compressão é a única propriedade especificada para o concreto que é efetivamente controlada, devido ao fato de ser facilmente determinada. Porém, somente o controle da resistência à compressão não é capaz de identificar a qualidade do concreto. Para Magalhães (2009), em algumas estruturas, as solicitações predominantes são de tração, demonstrando assim a importância de avaliar esta propriedade do concreto.

Os resultados médios de resistência à tração por compressão diametral para os concretos estudados estão apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Resultados médios do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

Teor de substituição (%)	Resistência à tração por compressão diametral média (MPa)	Coefficiente de variação (%)	Desvio Padrão
0	2,88	2,71	0,08
15	2,72	3,39	0,09
25	2,28	2,41	0,06
50	1,49	10,43	0,16

Conforme apresentado na tabela 13, é possível perceber que a resistência à tração por compressão diametral média para os teores de 15%, 25% e 50% obtiveram um decréscimo de 5,55%, 20,83% e 48,26% respectivamente, se comparados a mistura de referência o teor de 0%.

Através do método de variância simples, é possível observar na figura 11, a influência do teor de substituição de borracha sobre a resistência à tração por compressão diametral dos concretos.

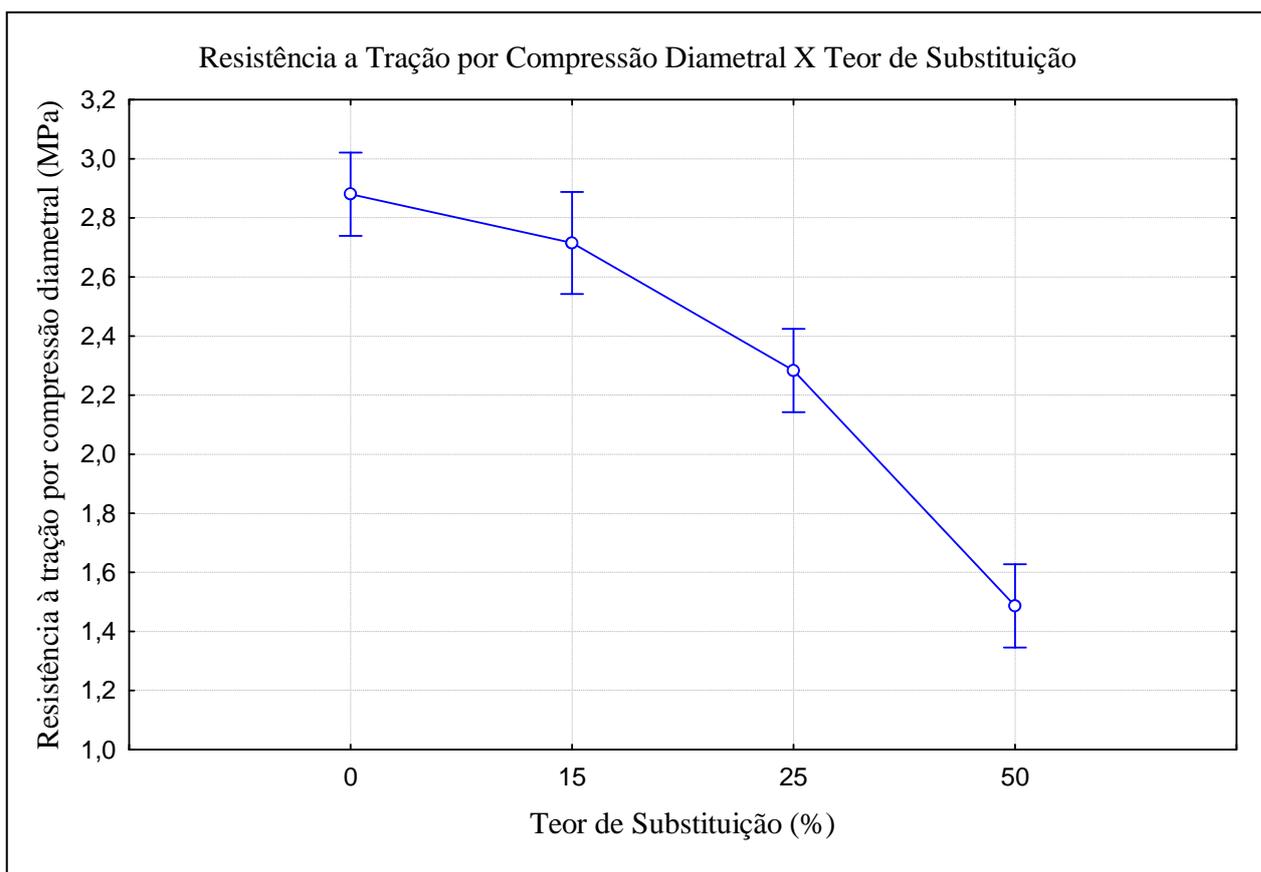


Figura 11 - Efeito do teor de substituição da borracha, na resistência à tração por compressão diametral.

Observa-se no gráfico da figura 11 que houve um decréscimo significativo na resistência à tração por compressão diametral entre a mistura de referência 0% com 2,88MPa, para os teores de substituição de 25% e 50% de borracha com 2,28MPa e 1,49MPa, respectivamente. Já o teor de 15% apresentou resistência de 2,72MPa, sendo assim, se comparado com o teor referência 0%, não apresentou decréscimo significativo.

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral, o elo fraco do concreto está na ligação entre o agregado graúdo e a argamassa do concreto. Sendo assim, a resistência à tração está vinculada à aderência entre estes elementos. Considerando que o resíduo de borracha de pneu possui aderência inferior à pedra, pela falta de rugosidade, pode-se concluir que este é um dos fatores que possivelmente influenciou na queda da resistência à tração. Este fato explica o comportamento apresentado na Fig. 11, onde houve uma queda brusca da resistência à tração entre os teores de 25% e 50%.

Com base no Teste de Tukey, os valores de 0% e 15% são considerados estatisticamente iguais entre si, mas se comparados aos demais teores 25% e 50%, são considerados estatisticamente diferentes.

4.3. MÓDULO DE ELASTICIDADE

Para Benetti (2012) apud. Metha e Monteiro (2008), o módulo de deformação do concreto exerce influência significativa em projetos estruturais visto que esta propriedade está associada à deformação máxima permitida, antes de o material adquirir deformação permanente. O módulo de deformação é uma propriedade que deve ser conhecida, pois influi no cálculo estrutural. Quando o módulo é conhecido, é possível determinar as flechas máximas admissíveis, permitindo a determinação dos limites do material, evitando, por exemplo, possíveis problemas com a fissuração do concreto (BENETTI, 2012 apud. LEVY, 2001).

Os resultados médios de módulo de elasticidade para os concretos estudados estão apresentados na tabela 14

Tabela 14 - Resultados médios do ensaio de módulo de elasticidade.

Teor de substituição (%)	Módulo de elasticidade média (Gpa)	Coefficiente de variação (%)	Desvio Padrão
0	31,396	6,05	1899,24
15	28,437	4,94	1404,45
25	23,787	6,35	1510,40
50	17,290	11,24	1944,20

Observa-se na tabela 14, que o módulo de elasticidade para os teores de 15, 25 e 50% obtiveram um decréscimo de 9,42%, 24,24% e 44,91% respectivamente, se comparados a mistura de referência o teor de 0%.

Através do método de variância simples é possível observar na Figura 12, a influência do teor de substituição de borracha sobre o módulo de elasticidade.

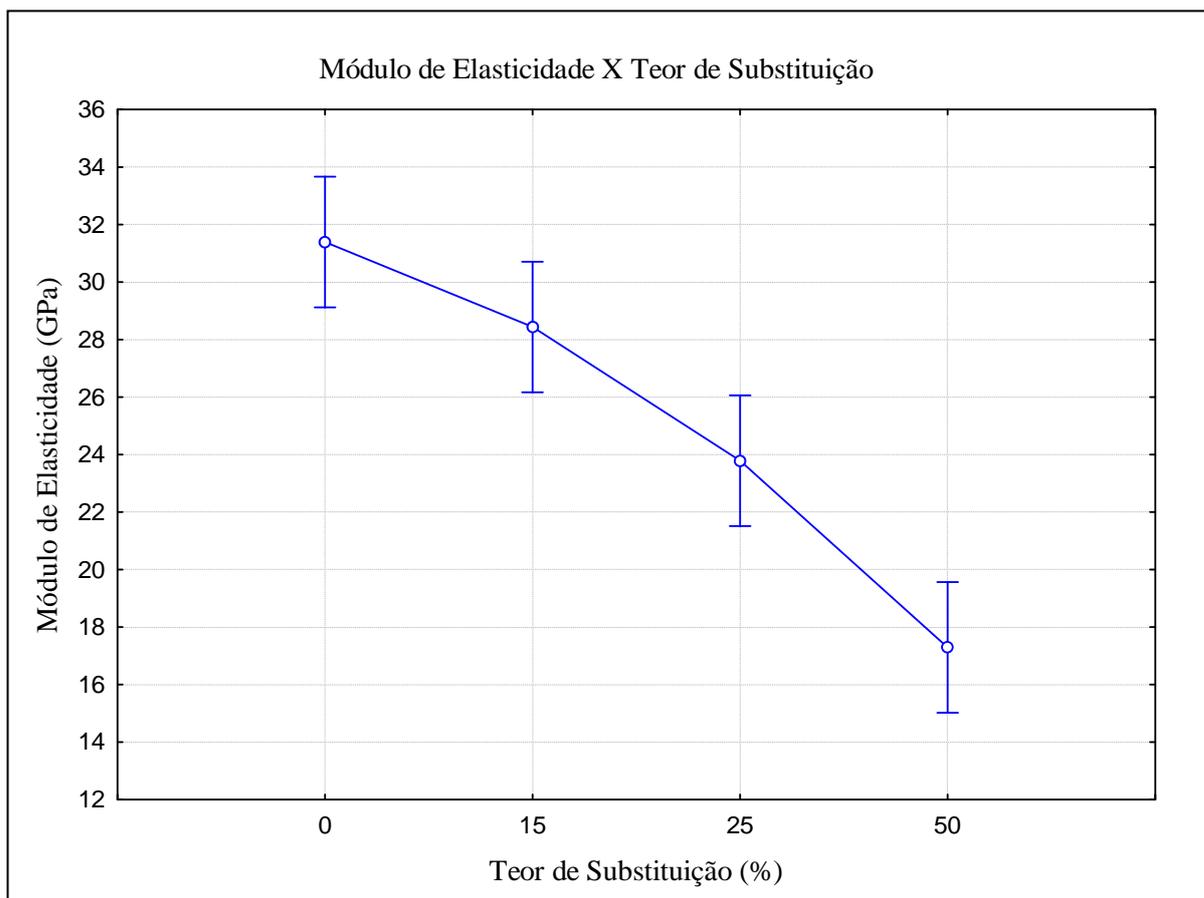


Figura 12 - Efeito do teor de substituição da borracha, no módulo de elasticidade.

Observa-se no gráfico da figura 12 que houve um decréscimo significativo na resistência à tração por compressão diametral entre a mistura de referência 0% com 31,39Gpa, para os teores de substituição de 25% e 50% de borracha com 23,78Gpa e 17,29Gpa respectivamente. Esse decaimento deve-se ao resíduo ser muito mais deformável do que a pedra e como consequência, os concretos produzidos com o pneu resultaram em uma maior deformação.

Com base no Teste de Tukey, os valores de 0% e 15% são considerados estatisticamente iguais entre si, mas se comparados aos teores de 25% e 50%, são considerados estatisticamente diferentes ao referência 0%.

4.4. DENSIDADE

O ensaio da densidade do concreto em estado fresco buscou verificar se os concretos produzidos com a incorporação do resíduo de borracha de pneu se enquadrariam na condição de concreto leve, onde a densidade deve ser menor ou igual a 2000 kg/m³, apesar de a massa específica do resíduo ser significativamente menor em relação ao agregado graúdo convencional, conforme apresentado na tabela 15.

Tabela 15 – Resultados médios do ensaio de densidade

Densidade (kg/m³) – Valores médios			
Teor de Substituição (%)	Estado Fresco		
	Média	Coefficiente de Variação (%)	Desvio Padrão
0	2330,09	0,60	14,20
15	2285,52	1,91	42,87
25	2254,96	0,57	12,06
50	1987,58	0,99	19,41

Verifica-se, com base nos resultados médios do ensaio de densidade dos concretos, que apenas o concreto com teor de 50% de substituição pode ser considerado leve.

5. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa buscou-se analisar a viabilidade do uso de resíduo de borracha em substituição parcial ao agregado graúdo natural, para produção de concretos, procurando uma maneira de reduzir os impactos ambientais causados pela disposição inadequada do resíduo.

Com isso foi possível concluir que:

- a) Quanto maior o teor de substituição de borracha, menor a resistência a compressão uniaxial, sendo que verificou-se um decréscimo de 46,62% e 68,01% para os teores de substituições de 50 e 100% em relação a mistura de referência 0%.
- b) A resistência a tração por compressão diametral, para o teor de substituição de 15%, apresentou um decréscimo de 5,55% quando comparado com o teor de referência, o que não apresentou influências significativas nesta propriedade do concreto.
- c) No ensaio de módulo de elasticidade, pode-se verificar que conforme aumenta o teor de substituição de borracha, diminui os valores de módulo. O concreto que apresentou melhor desempenho quando se comparado com o teor de 0%, foi o teor de 15% de substituição com o decréscimo não significativo de 9,42%.
- d) Verifica-se, com base nos resultados médios do ensaio de densidade dos concretos, que apenas o concreto com teor de 50% de substituição pode ser considerado leve.

É importante destacar que os concretos foram produzidos com materiais e técnicas específicas, isso faz com que para a utilização destes materiais precise ser feito estudos mais aprofundados e que os resultados obtidos devem ser considerados de forma restrita.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desta pesquisa foi possível notar que o aproveitamento do resíduo de borracha na construção civil está sendo cada vez mais difundido, já que o desafio é encontrar o equilíbrio entre a produção, o consumo e o descarte, a reciclagem destes materiais possibilita a redução dos impactos ambientais.

Com base nos resultados da análise estatística realizada através do teste ANOVA, os diferentes teores de substituição demonstraram causar influência significativa em todas as propriedades analisadas. A NBR 6118:2014 estabelece que a menor resistência à compressão de concretos para fins estruturais é de 20MPa. Com base nesta classe mínima de resistência,

verifica-se que os concretos produzidos com borracha de pneu tem sua aplicação restrita para fins estruturais.

Tecnicamente e ambientalmente, o concreto com 15% e 25 % de substituição, que apresentaram resistência à compressão em torno de 20Mpa e 15Mpa poderão ser empregados para alguns serviços da construção agrícola como: preenchimento de blocos canaleta para a execução de verga e contra verga, lastro de concreto para base de fundações, postes para a rede elétrica, calçadas, pisos, meio fios, estacas –broca.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em função dos resultados obtidos, sugere-se estudar os seguintes temas:

- Reduzir os percentuais de substituição do agregado graúdo convencional por resíduo de borracha a fim de buscar um acréscimo na resistência à compressão uniaxial
- Estudo da durabilidade dos concretos produzidos com o resíduo de borracha e submissão do mesmo a tratamentos físico/químicos;
- Estudo condutividade térmica a fim de verificar se os concretos com borracha poderiam ser considerados como isolantes térmicos;
- Realização de ensaios para verificação da resistência à tração na flexão, pois é um dos parâmetros utilizados para o dimensionamento de pavimentações em concreto.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndrico.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 9833: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. **NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200).** Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland-Requisitos.** Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR NM 23: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 30: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2001.

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

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

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

_____. **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.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil.** In: IV Seminário de desenvolvimento sustentável e a construção civil – materiais recicláveis e suas aplicações, São Paulo/SP, 2001.

BEWICK RBP T; SALIM, H. A; JACKSON C. **Crumb rubber concrete panels under blast loads.** Air force research laboratory – Materials and manufacturing directorate. University of Missouri, Columbia MO, 2010.

BENETTI, J. K. **Avaliação do módulo de elasticidade dinâmico do concreto produzido com agregado graúdo reciclado de concreto.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo.

CIMINO, M. A.; ZANTA, V. M.. **Gerenciamento de pneumáticos inservíveis (GPI): análise crítica de ações institucionais e tecnologias para minimização.** Engenharia Sanitária e Ambiental, vol 10, no 4, pp 299-306, 2005.

FIORITI C. F., INO A., AKASAK, J. L. **Avaliações de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduo de borracha provenientes de recauchutagem de pneus.** Ambiente Construído, Porto Alegre, 2007; 7. 43 – 54.

FREITAS, C. **Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas.** Dissertação. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007

GALVÃO, J. C. A. **Estudo das propriedades dos concretos confeccionados com cimento CP V- ARI e CP II- F32, sob diferentes temperaturas de mistura e métodos de cura.** Curitiba, 2003.

GHALY, A.M. CAHILL, IV. JAMES, D. **Correlation of strength, rubber content and water to cement ratio in rubberized concrete.** Canadian Journal of civil Engineering, 2005 v. 32 1075 – 1081.

GIACOBBE, S. **Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento Portland com adição de borracha de pneu.** Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008

GUNEYISI, E; GESOGLU, M; OZTURAN, T. **Properties of rubberized concretes containing silica fume.** Cement and concrete research. 2004; 34: 2309-17

HELENE, P; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto** – São Paulo, PINI, 1993.

ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e Tecnologia. A Água no Concreto.** 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011

ITAMBE 2015. Disponível em: www.cimentoitambe.com.br .Acessado em: novembro 20015

JOHN, V. M.. **Desenvolvimento Sustentável, Construção Civil, Reciclagem e Trabalho Multidisciplinar.** São Paulo, 2006.

KHATIB, Z. K; BAYOMY, F. M. **Rubberized Portland cement concrete.** J Mater Civil Eng. 1999; 11:7

KHALOO, A, R; DEHESTANI, M; RAHMATABADI, P. **Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles.** Waste Manage. 2008; 28: 2472 - 82

KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil.** Dissertação de mestrado (Vinculada ao programa de pós-graduação em engenharia civil da UFSC). Florianópolis/SC, 127p, 2002.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e Alvenaria.** 2001. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

LEITE, M. B.. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição.** Tese de doutorado (vinculada ao programa de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul). Porto Alegre/RS, 236 p., 2001.

MAGALHÃES, F. C. **Estudo probabilístico da resistência à compressão e da resistência à tração na flexão dos concretos utilizados na construção do dique seco do estaleiro de Rio Grande, no superporto, em Rio Grande - RS.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.

MAYER FILHO, L. A. P. **Influência da adição de resíduo de pneu nas propriedades físicas do concreto.** São Paulo, 2006

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

NAJIM, K. B; HALL, M. R.. **A review of the fresh/hardened properties and applications for plain – (PRC) and self-compacting rubberized concrete (SCRC).** Construction and Building Materials. 2010; 24: 2043 – 2051

NETO, C. S. **Concreto: Ciência e Tecnologia. Agregados Naturais, Britados e Artificiais para Concreto.** 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

NOGUEIRA, L. G. S. **Utilização de RCD na confecção de um concreto sustentável.** Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – Fatecs. Brasília, 2013.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P.; CATOIA, T. CATOIA, B. **Estruturas de Concreto.** São Paulo, Março de 2010.

OLIVEIRA, M. J. E. **Agregado reciclado empregado na produção de concreto modificado com aditivo.** Exacta, São Paulo, Vol.4 – nov. 2006.

SILVA JUNIOR, F. A. DA. **Avaliação do efeito da adição do resíduo de borracha de pneu e brita calcária na formação de compósitos cimentícios.** Natal, RN, 2014

SILVA, C. V. **Contribuição ao estudo do desgaste superficial por abrasão em concretos empregados em pisos.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, E. F.; SILVA, M. R.; OLIVEIRA, M. O. F. **Resistências à tração por compressão diametral e por flexão de prismas em concretos de alto desempenho.** 2001. 43º Congresso Brasileiro do Concreto. Foz do Iguaçu.

VALLE, C. E.. Como se Preparar para as Normas ISO 14000: Qualidade Ambiental □ O Desafio de ser Competitivo Protegendo o Meio Ambiente. São Paulo, editora Pioneira, 2000.

ZHENG, L; SHARON, H.X; YUAN, Y. Experimental investigation on dynamic properties of rubberized concrete. Constr Build Mater. 2008; 22: 939-47