



UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ
JEAN RICARDO PELISSER

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM A
MISTURA TERNÁRIA DE CINZA DE CASCA DE ARROZ, PÓ DE PEDRA E
BORRACHA DE PNEU

JEAN RICARDO PELISSER

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM A
MISTURA TERNÁRIA DE CINZA DE CASCA DE ARROZ, PÓ DE PEDRA E
BORRACHA DE PNEU

Trabalho de Iniciação Científica e Tecnológica
(TICT) apresentado como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro Civil pela
Universidade do Vale do Itajaí, Centro de
Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar

Orientador (a): Profa. Sílvia Santos, Dra.

Itajaí
2017

APÊNDICE N

FOLHA DE APROVAÇÃO

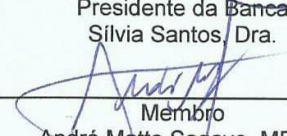
JEAN RICARDO PELISSER

Estudo do comportamento de concretos produzidos com a mistura ternária de cinza de casca de arroz, pó de pedra e borracha de pneu.

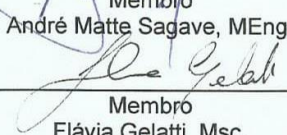
Trabalho de Iniciação Científica e Tecnológica aprovado como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil, apresentado ao Centro de Educação Superior de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar da Universidade do Vale do Itajaí, pela seguinte Banca Examinadora:



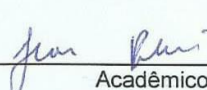
Presidente da Banca
Sílvia Santos, Dra.



Membro
André Matte Sagave, MEng.



Membro
Flávia Gelatti, Msc.



Acadêmico(a)
Jean Ricardo Pelisser

Itajaí, 26 de junho de 2017.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais por todo o apoio, amor, carinho, educação e dedicação que deram a mim. Pelas horas em que eu conversava com eles sobre problemas relacionado ao trabalho e sem ao menos compreenderem o assunto, sempre me estimularam e me ajudaram no que foi preciso.

Ao meu companheiro de pesquisa e amigo João Lugarini, agradeço pela ajuda em todas as etapas do trabalho, infinitas horas de laboratório e discussões da melhor forma de proceder. Sem sua ajuda a realização desse trabalho teria sido mais difícil.

A minha orientadora professora Dra. Sílvia Santos, pela sua dedicação, confiança, apoio e explicações, me ensinando e esclarecendo todas as dúvidas. Tenho certeza que não poderia ter escolhido orientadora melhor que a senhora.

Ao grupo de pesquisa e monitores Camila Gosenheimer, Camila Voltolini, Matheus Agustini, Rafael Vanini e Tainá Saramento, que não mediram esforços e sempre me ajudaram quando foi preciso.

Obrigado aos funcionários do LATEC, Hélio, Alfredo, Cristiane e Luís, que sempre me receberam e me auxiliaram com a maior paciência e dedicação em todos os ensaios realizados.

As engenheiras Débora Zolet, Gabriella Pedroni e Valkiria Zucchetto, que de forma indireta me ajudaram com suas pesquisas e sempre me ajudaram quando não sabia como desenvolver determinado ensaio.

As empresas parceiras da pesquisa, Caça Ruídos Artefatos de Borracha, C.E.R.B. Caseca, Cimento ITAMBÉ, GRACE RheoSet, Polimix Concreto Ltda, Grupo Max Mohr e Urbano Agroindustrial, que sempre apoiaram e ajudaram no que foi preciso. Um obrigado em especial a alguns funcionários dessas empresas, Cleiton Coelho, Fábio Bher, Fernando Brandes e Rafael Staudinger que acreditaram no trabalho realizado, por sempre estarem a disposição para ajudar no que fosse preciso.

A todos os professores do curso de engenharia civil, muito obrigado por transmitir todos os seus ensinamentos durante o período da graduação. Obrigado aos

professores André Matte Sagave e Flávia Gelatti, por aceitarem o convite e fazerem parte na apresentação do presente trabalho.

RESUMO

O concreto é um dos materiais mais consumidos na construção civil, sendo utilizado em quase todos os tipos de estruturas. Isso se deve pelo simples fato de seus materiais constituintes serem relativamente baratos e amplamente disponíveis. Porém, essa alta demanda pelo concreto implica em uma alta demanda pela matéria prima natural para a sua produção. Por isso os pesquisadores estão procurando novos materiais que possam ser incorporados ou substituídos na composição do concreto. A presente pesquisa teve o objetivo de verificar o comportamento técnico e viabilidade econômica de concretos produzidos com a mistura ternária de cinza de casca de arroz, pó de pedra e borracha de pneu triturada. Foram produzidos no total cinco tipos de concreto: um de referência, sem incorporação de resíduo; um com a substituição em massa em uma das areias do traço por pó de pedra no teor de 17%; outro com a substituição em massa em uma das areias do traço por pó de pedra e borracha de pneu triturada, nos teores de 17% e 8%, respectivamente; além de outros dois concretos utilizando as mesmas substituições de pó de pedra e borracha de pneu (17% e 8%), incluindo adição de 5% e 10% de cinza de casca de arroz sobre a massa de cimento. Os concretos foram analisados no estado fresco (abatimento de tronco de cone, consumo de aditivo e sua massa específica) e no estado endurecido (resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral). Entre os concretos que possuíam a mistura ternária de resíduos, não foi possível especificar qual deles seria o de melhor desempenho, pois ambos os concretos apresentaram comportamento semelhante entre si, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, muito embora não tenham atingido a resistência estabelecida de 40 MPa, aos 28 dias.

Palavras chave: concreto com resíduos; cinza de casca de arroz; pó de pedra; borracha de pneu triturada.

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Preparação do corpo de prova para o ensaio de tração por compressão diametral.....	27
Figura 2: Depósitos de pó de pedra	28
Figura 3: Fluxograma geral da pesquisa	39
Figura 4: Areias A e B	41
Figura 5: Distribuição granulométrica dos agregados miúdos.....	42
Figura 6: Distribuição granulométrica da composição das areias	42
Figura 7: Brita granítica	43
Figura 8: Distribuição granulométrica do agregado graúdo.....	44
Figura 9: Borracha de pneu triturada.....	45
Figura 10: Distribuição granulométrica da borracha de pneu triturada.....	46
Figura 11: Aparência da CCA in natura e CCA moída	47
Figura 12: Ensaio de índice de atividade pozzolânica (IAP)	48
Figura 13: Pó de pedra.....	48
Figura 14: Distribuição granulométrica do pó de pedra.....	49
Figura 15: Aditivo Tec-Multi 40.....	50
Figura 16: Aditivo ADVA CAST 525	51
Figura 17: Distribuição granulométrica do traço 17% de PP	53
Figura 18: Distribuição granulométrica do traço 8% BPT e 17% de PP	54
Figura 19: Ensaio de abatimento de tronco de cone (slump test)	56
Figura 20: Cura inicial dos corpos de prova	57
Figura 21: Tanque de cura dos corpos de prova.....	58
Figura 22: Corpos de prova após a retificação.....	62
Figura 23: Corpo de prova antes da ruptura.....	62
Figura 24: Corpo de prova após da ruptura	62
Figura 25: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	63
Figura 26: Corpos de prova após o ensaio de resistência à tração por compressão axial.....	64
Figura 27: Relação do consumo de aditivo e abatimento de tronco de cone	67
Figura 28: Curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, do REF	69

Figura 29: Curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, do CPP	70
Figura 30: Curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, do CPB	71
Figura 31: Curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, do CPB5	73
Figura 32: Curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, do CPB10	75
Figura 33: Curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, dos concretos produzidos.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de cimento Portland comercializados no Brasil	21
Quadro 2: Limite de distribuição granulométrica do agregado miúdo	22
Quadro 3: Limite de distribuição granulométrica do agregado graúdo	23
Quadro 4: Traço referência	51
Quadro 6: Procedimento de produção do concreto referência (REF)	59
Quadro 7: Procedimento de produção dos concretos com adição de CCA	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações do cimento CP-V ARI RS.....	40
Tabela 2: Especificações do cimento CP II-F-32.....	40
Tabela 3: Classificação das areias naturais	41
Tabela 4: Classificação do agregado graúdo	43
Tabela 5: Classificação da borracha de pneu triturada	45
Tabela 6: Classificação do pó de pedra	49
Tabela 7: Características técnica aditivo Tec-Multi 40	50
Tabela 8: Características técnica aditivo ADVA CAST 525.....	51
Tabela 9: Classificação granulométrica do traço com 17% de pó de pedra.....	52
Tabela 10: Classificação granulométrica do traço 8% BPT, 17% PP	53
Tabela 11: Descrição e quantidade de corpos de prova dos concretos produzidos..	55
Tabela 12: Características do dia da produção dos concretos.....	56
Tabela 13: Quantidade de material para a produção do concreto referência (REF) .	58
Tabela 14: Quantidade de material para a produção do concreto com pó de pedra (CPP)	59
Tabela 15: Quantidade de material para a produção do concreto com pó de pedra e borracha de pneu (CPB)	59
Tabela 16: Quantidade de material para a produção do concreto com adição de 5% de CCA (CPB5)	60
Tabela 17: Quantidade de material para a produção do concreto com adição de 10% de CCA (CPB10)	60
Tabela 18: Resultados das resistências à compressão médias das argamassas produzidas.....	65
Tabela 19: Resultado do abatimento de tronco de cone e consumo de aditivo	66
Tabela 20: Massa específica dos concretos produzidos	67
Tabela 21: Resultados de resistência à compressão axial médias do concreto REF	68
Tabela 22: Resultados de resistência à compressão axial médias do concreto CPP	70
Tabela 23: Resultados de resistência à compressão axial médias do concreto CPB	71
Tabela 24: Resultados de resistência à compressão axial médias do concreto CPB5	72

Tabela 25: Resultados de resistência à compressão axial médias do concreto CPB10	74
Tabela 26: Comparativo entre as resistências à tração por compressão diametral ..	78
Tabela 27: Custo de produção de 1m ³ de concreto avaliado	79
Tabela 28: Comparação de custo do concreto CPP à um concreto C35	79
Tabela 29: Comparação de custo dos concretos CPB, CPB5 e CPB10 à um concreto C35.....	80

APRESENTAÇÃO

Atendendo ao disposto no Regulamento do Curso de Engenharia Civil, submeto à consideração superior o presente TICT, realizado no período de março de 2017 a julho de 2017, bem como as considerações a respeito do mesmo.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
1.1.	Tema e problema de pesquisa	15
1.2.	Objetivos.....	17
1.2.1.	Objetivo Geral.....	17
1.2.2.	Objetivos Específicos	17
1.3.	Justificativa	17
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1.	Concreto de cimento Portland	19
2.1.1.	Materiais constituintes	19
2.2.	Propriedade do concreto	24
2.2.1.	Trabalhabilidade	24
2.3.	Adições.....	28
2.3.1.	Pó de pedra	28
2.3.2.	Cinza de casca de Arroz.....	30
2.3.3.	Borracha de pneu	33
3.	METODOLOGIA.....	37
3.1.	Perspectiva de pesquisa.....	37
3.3.	Procedimentos e instrumentos de coleta de dados	37
3.3.1.	Materiais utilizados	39
3.3.1.1.	Cimento	39
3.3.1.2.	Agregado miúdo	40
3.3.1.3.	Agregado graúdo	43
3.3.1.4.	Resíduos	44
3.3.1.5.	Água	49
3.3.1.6.	Aditivo.....	50
3.3.2.	Definição dos teores.....	51
3.3.3.	Equipamentos utilizados.....	55

3.3.4.	Produção dos concretos	55
3.3.4.1.	Produção do concreto referência (REF)	58
3.3.4.2.	Produção dos concretos com pó de pedra e borracha de pneu triturada	59
3.3.5.	Resistência à compressão axial	61
3.3.6.	Resistência à tração por compressão diametral	63
4.	APRESENTAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	65
4.1.	Índice de atividade pozzolânica da cinza de casca de arroz	65
4.2.	Concreto no estado fresco.....	65
4.2.1.	Abatimento de tronco de cone	65
4.3.	Concretos no estado endurecido	68
4.3.1.	Resistência à compressão axial	68
4.3.1.1.	Concreto referência - REF.....	68
4.3.1.2.	Concreto com pó de pedra – CPP	69
4.3.1.3.	Concreto com pó de pedra e borracha de pneu - CPB.....	71
4.3.1.4.	Concreto com pó de pedra, borracha de pneu e 5% de cinza de casca de arroz – CPB572	
4.3.1.5.	Concreto com pó de pedra, borracha de pneu e 10% de cinza de casca de arroz – CPB10.....	74
4.3.1.6.	Comparativo entre os concretos	76
4.3.2.	Tração por compressão diametral	77
4.4.	Viabilidade econômica dos concretos produzidos	78
4.5.	Seleção do melhor concreto produzido	80
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
	REFERÊNCIAS.....	85
	ANEXOS	90
	APÊNDICES	112

1. INTRODUÇÃO

1.1. Tema e problema de pesquisa

Não é de hoje que um dos principais materiais utilizados na construção civil no Brasil e no mundo é o concreto. Ele é utilizado em quase todos os tipos de estruturas, desde as mais simples até estruturas mais arrojadas, que demandam de uma resistência à compressão e durabilidade maior frente aos agentes agressivos. Para leigos é um material de fácil produção, pois geralmente é produzido somente com cimento, agregados miúdos (areia), agregado graúdo (brita), e água, materiais comuns no dia a dia. Mehta e Monteiro (2014) trazem que o concreto é um material tão utilizado no mundo por ser barato, de fácil disponibilidade e possui facilidade de ser moldado em diversos tipos de estruturas e formas. Entretanto, trata-se de um material de alta complexidade.

Em seu processo de produção, o concreto utiliza a matéria prima virgem, aquela que é retirada da natureza e que nunca foi usada antes. São facilmente encontradas em todas as áreas do mundo e a valores relativamente baixos, reiterando o motivo pelo qual o concreto é tão utilizado (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

Por ser um produto barato, a utilização do concreto nos últimos anos cresceu expressivamente. Segundo Mehta, Monteiro (2014) são utilizados anualmente, em média, 19 bilhões de toneladas de concreto e com esse consumo a matéria prima do concreto está ficando cada vez mais escassa.

Visando a proteção do meio ambiente, os órgãos ambientais estão criando medidas mais rígidas, que impedem a extração em larga escala de matéria prima, dificultando a liberação de alvarás para as mineradoras. Por isso é interessante criar alternativas sustentáveis, que procurem reutilizar produtos de outros setores da indústria como matéria prima para o concreto, para que ocorra a redução da extração de matéria prima natural e a proteção ambiental.

A Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) e outros centros de pesquisas estão à procura de novas formas de produção do concreto, utilizando resíduos de diversos setores industriais e agrícolas, visando a redução da utilização da matéria prima

natural, principalmente seus agregados e a redução do descarte irregular de resíduos prejudiciais ao meio ambiente.

Entre os resíduos gerados pelos setores industriais e agrícolas pode-se citar a cinza de casca de arroz (CCA), o pó de pedra (PP) e a borracha de pneu triturada (BPT).

A CCA, é um resíduo agrícola proveniente do processo de parboilização do arroz. Para a indústria do arroz somente a casca possui valor, sendo ela utilizada como combustível. Já a cinza é considerada um incômodo, sendo muitas vezes descartadas incorretamente em estradas vicinais, causando grandes impactos ao meio ambiente. Porém, a CCA possui um alto teor de sílica, podendo assim ser utilizada como pozolana com várias funções na construção civil, destacando-se a sua utilização como adição ao cimento no processo de produção do concreto (SANTOS, 1997).

Os benefícios da utilização da CCA na produção de concretos já foram comprovados por diversas publicações. Destacando-se recentemente as de Santos (2006), Guardiano (2013), Limberger (2015) e Sathawane, Vairagade e Kene (2013) sendo uma boa fonte de aproveitamento para a CCA, além de melhorar as propriedades do concreto com adições.

Já o PP é um resíduo de uma das matérias primas do concreto, os agregados. É resultado do processo de britagem das rochas. O PP não possui uma aceitação tão grande como a areia natural para a produção de concreto, gerando para as pedreiras volumosos depósitos de material, ocasionado em perdas econômicas para as mesmas. Por ser um material que possui teor de material pulverulento elevado, quando estocados em ambientes abertos, é facilmente levado pelo ar, causando danos ambientais (MENOSSE, 2004).

Seu uso como mistura de concretos é uma fonte viável, comprovado por Grigoli et al. (2012), Duarte (2013), Menezes; Moraes; Cabral (2014), Varela; Jacques (2015) e Padilha (2016).

A utilização da borracha de pneu triturada (BPT) em concreto é uma boa forma de descarte para este material oriundo de pneus inservíveis, já estudada por diversos

autores, destacando-se os trabalhos de Probst (2011), Guardiano (2013) e Limberger (2015).

Partindo dos pressupostos que a utilização da CCA e PP individualmente ou agrupadas já foram comprovadas como viáveis e que há um interesse contínuo por novas formas de produção do concreto a partir de resíduos provenientes de diversos setores e de diferentes origens, esse trabalho procurou obter respostas quanto a utilização desses resíduos em conjunto, verificando a possibilidade de uso combinado dos três resíduos (CCA, BPT e PP), para a produção de concretos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Verificar o comportamento técnico e viabilidade econômica de concretos produzidos com uma mistura ternária de cinza de casca de arroz, pó de pedra e borracha de pneu triturada.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Realizar a caracterização dos materiais utilizados: agregados miúdos, agregado graúdo, cinza de casca de arroz, pó de pedra e borracha de pneu triturada;
- b) Definir os teores de incorporação de resíduos;
- c) Produzir concretos com a introdução (substituição e/ou adição) de CCA, BPT e PP;
- d) Avaliar as propriedades dos concretos produzidos no estado fresco: abatimento de tronco de cone e demanda de aditivo;
- e) Avaliar as propriedades dos concretos produzidos no estado endurecido, resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral;
- f) Verificar a viabilidade econômica dos concretos com resíduos em relação concreto referência.

1.3. Justificativa

Com o crescimento populacional, a demanda pela construção e a procura por matéria prima só aumentou, ocasionando impactos naturais de mesma proporção. Em determinadas regiões, em um futuro próximo, haverá escassez de determinados

materiais pela extração descontrolada. Tendo isso em vista, as legislações nacionais ficam cada dia mais rígidas com as mineradoras, exigindo que haja um controle da quantidade de material extraído. Por isso, são necessários estudos que tentem encontrar materiais que possam ser reaproveitados, destinando-os para um descarte realmente ecológico. As adições em concreto são uma das formas de redução da utilização da matéria prima natural. O pó de pedra é um ótimo exemplo a ser utilizado pois, por ser um material resultante da britagem das rochas, a sua utilização evita a extração de um segundo material, (brita ou areia), além de ser uma nova utilização para um material que não possui bom valor agregado.

A utilização da CCA por sua vez, tende a contribuir pelos altos teores de sílica amorfa que apresenta, trazendo resultados positivos de durabilidade e resistência ao concreto. Sua utilização acaba desfogando os estoques de cinza das centrais beneficiadoras do cereal, evitando o seu descarte irregular. Sua utilização gera uma certa economia para os fabricantes de concreto, pois reduz a utilização do cimento, componente de maior valor na produção do concreto. Com a redução significativa do uso do cimento, substituído por CCA, contribui-se ainda para diminuição da emissão de CO₂ durante o processo de produção do clínquer.

Esse trabalho tem a intenção de criar uma nova fonte de descarte para os materiais, tanto para aqueles que são denominados inservíveis, quando para aqueles que, em determinados setores não possuem ou possuem baixo valor agregado.

Este trabalho justifica-se quando permite a reutilização de diversos materiais (orgânicos ou não) contribuindo com a redução da taxa de extração de matéria prima e com redução da geração de resíduos de diversos setores industriais, potencializando o descarte correto, com vista à sustentabilidade socioambiental. Além disso, os concretos produzidos com os materiais em estudo têm suas propriedades alteradas, tornando-os mais duráveis e mais eficientes frente as ações de agentes agressivos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Concreto de cimento Portland

Facilidade de moldagem, sua excelente resistência a água sem sofrer grandes deteriorações e seu custo de produção ser considerado um dos mais baixos em relação aos demais materiais estruturais, fazem o concreto ser o material mais utilizado no mundo (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

O concreto é chamado por alguns autores como sendo uma pedra artificial moldado pelo homem, que em seu estado endurecido é capaz de resistir a esforços similares às rochas naturais e em seu estado fresco é um composto plástico que possibilita a modelagem em fôrmas de diversos tamanhos e formas variadas. Diferente do aço e da madeira, o concreto possui alta resistência a água, sofrendo menor deterioração quando exposto a ela, razão pela qual é utilizado em estruturas de controle, armazenamento e transporte de água (PEDROSO, 2009).

É um material composto essencialmente de um meio aglomerante, que no qual são misturadas partículas de agregados. No concreto convencional o aglomerante é basicamente a união de cimento Portland e água e seus agregados miúdo e graúdo são respectivamente areia natural e pedra brita. Além disso, podemos citar a utilização de aditivos e adições de diversos materiais, na busca pela alteração das propriedades dos concretos convencionais, melhorando sua eficiência e durabilidade aos diversos meios onde é utilizado o concreto (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

2.1.1. Materiais constituintes

a) Aglomerante

O aglomerante utilizado na produção de concreto é o cimento. Ele é um material pulverulento composto por materiais silicosos e aluminatos de cálcio. Quando esses materiais são misturados à água reagem, resultando no enrijecimento da pasta (PETRUCCI, 1987). Por isso o cimento Portland é considerado um aglomerante hidráulico, ou seja, um material que para o seu endurecimento necessita reagir com a água e o seu produto final se torna resistente a água (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

Ainda segundo Mehta e Monteiro (2014), existem dois métodos de produção do cimento: via seca e via úmida. Todavia, as empresas estão priorizando a produção

do cimento por via seca, pela maior eficiência energética do sistema, se comparado ao sistema via úmida. Durante o processo de produção do cimento, em ambos os casos, é necessário que os materiais estejam completamente secos. Os fornos no processo via seca são mais econômicos, gastando o equivalente a 800 kcal de energia por quilograma de clínquer produzido contra 1400 kcal do processo via úmida.

O processo de fabricação do cimento por via seca inicia pela extração da matéria prima, calcário e a argila. Quando o calcário é extraído em pedreiras por meio da detonação de rocha, deve-se passar por dois britadores primários para que ocorra a diminuição do diâmetro da rocha. As matérias primas seguem para um moinho de bolas, onde elas são moídas e misturadas homogeneamente, resultando em um pó chamado de farinha crua. O processo seguinte é a queima da farinha, feita em fornos rotativos que atingem temperaturas de 1450°C, até a formação de pelotas, denominadas clínquer. O último passo é o resfriamento do clínquer, a sua moagem juntamente com o gesso, gerando assim o cimento Portland (NEVILLE, 2016).

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), existem 11 tipos de cimentos que são comercializados. Entretanto, alguns dos tipos citados no Quadro 1 são encontrados apenas em algumas regiões do país, por conta do tipo de adição e da matéria prima utilizada.

Quadro 1: Tipos de cimento Portland comercializados no Brasil

Tipo	Sigla	Classe	Norma
Cimento Portland Comum	CP I – Cimento Portland Comum	25, 32, 40	NBR 5732:1991
	CP I – Cimento Portland Comum com Adição	25, 32, 40	
Cimento Portland Composto	CP II – Cimento Portland Composto com Escória	25, 32, 40	NBR 11578:1991
	CP II – Cimento Portland Composto com Pozolana	25, 32, 40	
	CP II – Cimento Portland Composto com Filler	25, 32, 40	
Cimento Portland de Alto Forno	CP III – Cimento Portland de Alto Forno	25, 32, 40	NBR 5735:1991
Cimento Portland Pozolânico	CP IV – Cimento Portland Pozolânico	25, 32	NBR 5736:1991
Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	CP V ARI - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	-	NBR 5733:1991
Cimento Portland de Moderada Resistência a Sulfatos	MRS - Cimento Portland de Moderada Resistência a Sulfatos	25, 32	NBR 5737:1986
Cimento Portland de Alta Resistência a Sulfatos	ARS - Cimento Portland de Alta Resistência a Sulfatos	20	NBR 5737:1986
Cimento Portland Branco	CPB - Cimento Portland Branco	25, 32, 40	NBR 12989:1993

Fonte: Autor

b) Agregados

Segundo definição da NBR 9935:2011 agregados são materiais inertes, granulares, sem forma ou volume definidos, que possuem atributos para utilização em concretos e argamassas.

São materiais importantes, que ocupam pelo menos 75% do volume do concreto, sendo considerados um dos responsáveis pela sua qualidade, influenciado em várias propriedades do concreto (NEVILLE, 2016).

A NBR 9935:2011 apresenta várias definições e classificações dos agregados. Quanto a origem, a classificação se dá da seguinte forma:

- Agregado Natural– material pétreo granular, utilizado da mesma forma na qual encontrada na natureza, submetidos a lavagem, classificação ou britagem.

- Agregado artificial – material granular, resultado de um processo de industrialização, no qual são alteradas as propriedades químicas ou físico-químicas.
- Agregado reciclado – obtido por meio de processos de reciclagem de rejeitos industriais, mineralógicos ou da construção civil.
- Agregados especiais – materiais cujas propriedades podem atribuir aos concretos ou argamassas um desempenho que auxilie no atendimento de solicitações específicas em casos não usuais

Em geral os agregados naturais utilizados em concretos são areia, pedregulho e pedra britada, vindos de jazidas naturais. Que compreendem mais de 90% do total dos agregados usados na produção do concreto (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

Porém, para a utilização em concretos, a melhor classificação dos agregados fica de acordo com a NBR 7211:2009, onde é dividido em apenas 2 itens, agregados miúdos e agregados graúdos.

- Agregado miúdo

São denominados agregado miúdo os grãos passantes pela peneira de 4,75 mm e que ficam retidas na peneira de abertura de 150 μm (ABNT NBR 9935:2011). Eles devem seguir os limites estabelecidos pela NBR 7211:2009, conforme o Quadro 2.

Quadro 2: Limite de distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona utilizável	Zona ótima
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 μm	15	35	55	70
300 μm	50	65	85	95
150 μm	85	90	95	100
NOTAS				
1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.				
2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20				
3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,5				

Fonte: ABNT NBR 7211, 2009, p.5.

- Agregado graúdo

São agregados passantes pela peneira de abertura de 75 mm e que ficam retidos na peneira com abertura de 4,75 mm, conforme requisitos da NBR 7211:2009 (ABNT NBR 9935:2011), apresentado no Quadro 3.

Quadro 3: Limite de distribuição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D ¹				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 - 5
63 mm	-	-	-	-	5 - 30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	5 - 25 ²	87 - 100	-
19 mm	-	2 - 15 ²	65 ² - 95	95 - 100	-
12,5 mm	0 - 5	40 ² - 65 ²	92 - 100	-	-
9,5 mm	2 - 15 ²	80 ² - 100	95 - 100	-	-
6,3 mm	40 ² - 65 ²	92 - 100	-	-	-
4,75 mm	80 ² - 100	95 - 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-
1) Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.					
2) 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					

Fonte: ABNT NBR 7211:2009, p.7.

c) Aditivos

A NBR 11768:2011 define aditivos como sendo produtos adicionados em pequenas quantidades modificando algumas das propriedades do concreto, para melhor adequa à determinadas condições.

Para a sua plena eficiência os aditivos dependem basicamente da qualidade dos materiais utilizados, o cimento, relação água cimento, correta granulometria dos agregados utilizados e etc. (VERÇOZA, 1987).

Os aditivos são classificados segundo a norma NBR 11768:2011 em nove tipos:

- Plastificante (tipo P) – Aumenta o índice de consistência do concreto sem haver alteração da água de amassamento, ou redução de 6% da água de

amassamento para produzir um concreto com consistência adequada para determinados casos.

- Retardador (tipo R) – Aumenta o tempo de início e fim de pega do concreto.
- Acelerador (tipo A) – Reduz o tempo de início e fim de pega do concreto além de aumentar a resistência do concreto nas primeiras idades.
- Plastificante retardador (tipo PR) – Aditivo que combina os efeitos dos aditivos plastificante e retardador.
- Plastificante acelerador (tipo PA) – Aditivo que combina os efeitos dos aditivos plastificante e acelerador.
- Aditivo incorporador de ar (Tipo IAR) – incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto. Para Bauer, Noronha e Bauer (2015) os incorporadores de ar agem como um fluido, substituindo uma parte da água, resultando em uma melhor fluidez do concreto.
- Aditivo superplastificante (tipo SP) - Aumenta o índice de consistência do concreto sem haver alteração da água de amassamento, ou redução de 12% da água de amassamento para produzir um concreto com consistência adequada para determinados casos.
- Aditivo superplastificante retardador (tipo SPR) - Aditivo que combina os efeitos dos aditivos superplastificantes e retardador.
- Aditivo superplastificante acelerador (tipo SPA) - Aditivo que combina os efeitos dos aditivos superplastificantes e acelerador.

2.2. Propriedade do concreto

2.2.1. Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma propriedade do concreto fresco composta por outras duas características: consistência e coesão. Consistência é definida pelo grau de umidade presente na mistura (NEVILLE, 2016). Já a coesão caracteriza-se pela facilidade de adensamento e acabamento, sendo avaliadas pela capacidade de desempenamento e pela resistência à exsudação e segregação (MEHTA, MONTEIRO, 2014). Na grande maioria dos casos os concretos com maiores adições de água apresentam uma trabalhabilidade melhor, porém, a quantidade de água utilizada deve ser dosada de acordo com cada traço, visto que a sua utilização em excesso pode interferir na resistência do concreto.

Há diversos fatores que afetam a consistência e a coesão e por isso esses dois componentes da trabalhabilidade podem trabalhar de forma diferente. Em geral a consistência e/ou coesão são controlados pela quantidade de água na mistura, o teor de cimento, a granulometria dos agregados, aditivos utilizados e outras características físicas que afetam a perda de abatimento (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

A NBR NM 67: 1998 apresenta a forma de determinação da trabalhabilidade do concreto por meio ensaio de abatimento de tronco de cone, (popularmente conhecido com *slump test*). É aplicado para concretos plásticos e coesivos, produzidos em laboratórios ou em obras e determina a consistência do concreto fresco por meio da medida de seu assentamento.

2.2.2. Massa específica

A NBR 9833:2008 define massa específica do concreto como sendo a massa de unidade de volume do concreto fresco incluindo o volume de ar aprisionado ou incorporado ao concreto.

Uma das formas de classificar o concreto é por meio de sua massa específica. Segundo Mehta e Monteiro (2014), o concreto pode ser classificado da seguinte forma:

- Concreto normal, produzidos com agregado miúdo natural e agregado graúdo de britagem, possuem massa específica na ordem de 2400 kg/m^3 .
- Concreto leve possuem massa específica menor que 1800 kg/m^3 , são produzidos com agregados, que assim como o concreto, devem possuir massa específica inferior aos agregados convencionais.
- Concreto pesado é usado como blindagem de radiação, é produzido com agregados com alta densidade e possui massa específica superior a 3200 kg/m^3 .

2.2.3. Resistência aos esforços mecânicos

Em projetos de estruturas o concreto é considerado o material mais adequado a resistir às tensões de compressão. A resistência do concreto é avaliada em função do processo de hidratação do cimento, sendo um processo relativamente lento.

Geralmente os ensaios de resistência a compressão de concreto são feitos por meio de ruptura de corpos de provas, curados em ambientes com temperatura e umidade controlada por 28 dias (MEHTA, MONTEIRO, 2014).

O ensaio de resistência à compressão axial de concretos é o ensaio mais comum, sendo considerado o principal ensaio realizado com concreto no estado endurecido. Sua grande fama é em decorrência da sua facilidade de execução e às várias características do concreto que podem ser avaliadas por meio desse ensaio (NEVILLE, 2016).

Ainda segundo o autor citado anteriormente, o resultado obtido por meio desse ensaio pode ser afetado pelo tipo de corpo de prova utilizado, pelo tipo de molde, pelo tempo e tipo de cura realizada nos corpos de prova e pela velocidade de aplicação do carregamento na hora da ruptura.

Neville (2016) ainda diz que os resultados obtidos por meio do ensaio de resistência à compressão axial realizados em laboratório nem sempre serão os mesmos resultados encontrados nas estruturas, pois os fatores humanos podem prejudicar a qualidade final do concreto. Esses fatores humanos podem ser devido ao adensamento inadequado, segregação ou cura mal realizada.

A NBR 5739:2017 é a norma em que regulamenta o ensaio de resistência à compressão axial de corpos de prova cilíndricos.

2.2.4. Resistência à tração

Embora o concreto não seja um material projetado para resistir a esforços de tração, o seu conhecimento é essencial para a determinação da carga em que a fissuração inicia. A ausência de fissuras em estruturas de concreto é importante para a manutenção e prolongamento de sua vida útil, prevenindo o aparecimento de corrosão nas armaduras (NEVILLE, 2014).

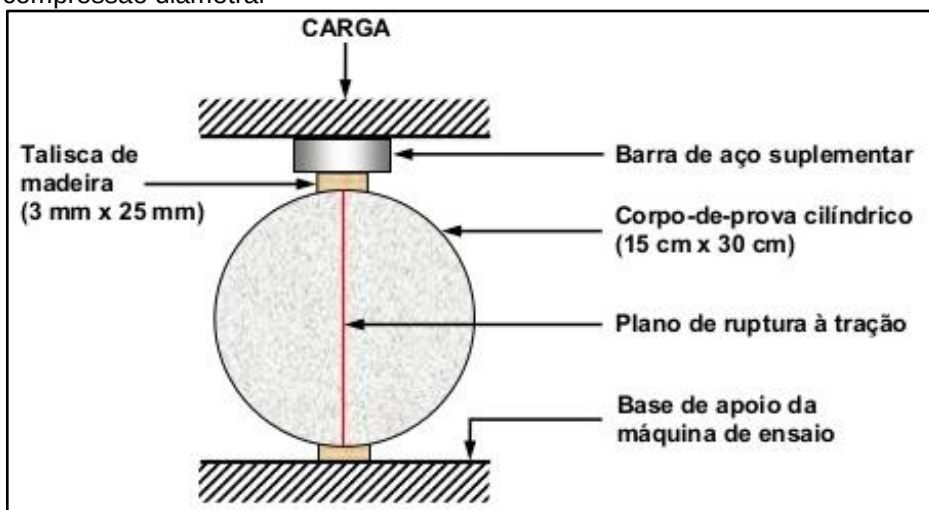
Existem três tipos de ensaios que determinam a resistência a tração: tração direta, tração na flexão e tração por compressão diametral. De acordo com Mehta, Monteiro (2014), o ensaio de tração direta não é muito utilizado pois os dispositivos de ancoragens dos corpos de prova produzem tensões secundárias, que quando ignoradas afetam o resultado do ensaio.

O ensaio de tração por compressão diametral (*splinting test*), é conhecido internacionalmente como o Ensaio Brasileiro. Esse ensaio foi desenvolvido por Lobo Carneiro em 1943, durante a abertura da Avenida Presidente Vargas, no Rio de Janeiro (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004). Segundo a NBR 7222:2011, o ensaio consiste posicionar o corpo de prova na horizontal aplicando cargas de compressão. Entre os pratos da prensa e o corpo de prova são colocadas duas tiras de fibra de madeira, com o objetivo de concentrar a carga nesses pontos. As dimensões das tiras de madeira são as seguintes:

- Base deve conter 15% do diâmetro do corpo de prova;
- Altura de $3,5 \pm 0,5$ mm;
- Comprimento equivalente ao corpo de prova.

A Figura 1 ilustra o preparo do corpo de prova para a ruptura.

Figura 1: Preparação do corpo de prova para o ensaio de tração por compressão diametral



Fonte: PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2010, p.3 *Apud* MEHTA, MONTEIRO 2008

A resistência à tração por compressão diametral deve ser calculada utilizando a equação 1.

$$f_{ct, sp} = \frac{2xF}{\pi \times d \times l}$$

1

Onde:

$f_{ct, sp}$: Resistência à tração por compressão diametral, em MPa;

F: força máxima obtida no ensaio;

d: Diâmetro do corpo de prova, em mm;

l: comprimento do corpo de prova, em mm.

2.3. Adições

2.3.1. Pó de pedra

Por definição da NBR 9935:2011, pó de pedra é um material granular resultante da britagem de rocha, que passa na peneira de malha de 6,3 mm. A geração do PP se dá após uma série de britagens, sendo apenas o último material a ser separado. De todos os produtos provenientes das britagens das rochas, o PP é utilizado apenas em aplicações marginais. Desta forma esse material fica estocado nas pedreiras, gerando graves impactos ambientais, principalmente em decorrência do seu alto teor de material pulverulento, que é facilmente carregado pelo ar, como pode ser visto na Figura 2 (ALMEIDA; SAMPAIO; SILVA, 2005).

Figura 2: Depósitos de pó de pedra



Fonte: MENOSSI, 2004, p.4.

As principais diferenças entre o PP e a areia são seu alto teor de material fino e a forma dos grãos, que são mais angulosos do que a areia. Esses aspectos são em decorrência dos tipos de rochas e do tipo de britador empregado. As rochas basálticas tendem a se fragmentar mais facilmente que as rochas graníticas e com o auxílio dos britadores de maior eficiência (mandíbula, martelo, vertical de impacto e cone) o teor de material fino se eleva (GRIGOLI *et al.*, 2012).

A utilização do PP como agregado miúdo no concreto vem gerando grande interesse por parte dos pesquisadores, pois em aspectos econômicos a sua utilização beneficia as pedreiras, agregando valor a um material oriundo de rejeito que até então

não possuía valor comercial, desafogando os grandes estoques das pedreiras e passando a ser um produto mais acessível (MENOSSEI, 2004).

Em seu estudo, Menossi (2004) propôs a substituição da areia natural presente no concreto por adições parciais de pó de pedra. Foram selecionados 4 teores de pó de pedra, 25%, 50%, 75% e 100% e foram estudados diversos métodos de dosagem experimental, Fundação de Ciência e tecnologia (CIENTEC), Instituto Nacional de Tecnologia (INT), ABCP e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e Escola Politécnica da USP(IPT-EPUSP). O método escolhido foi o IPT-EPUSP, por se tratar de um método mais econômico que os demais e que se adequou melhor as características do material. O estudo de Menossi (2004) concluiu que o pó de pedra possui todas as características necessárias para ser usado como agregado miúdo. A porcentagem de finos do material influencia diretamente na resistência à compressão e trabalhabilidade, sendo que os traços produzidos sem a parte fina do material apresentaram características físicas e químicas inferiores aos concretos com a presença dos finos. Outros dois fatores importantes da pesquisa são que os concretos produzidos com a adição atingiram valores de resistência a compressão até 66% maiores que ao concreto produzido com a areia natural, e houve ainda a diminuição do consumo de cimento.

Já Duarte (2013) analisou a viabilidade da utilização do pó de pedra proveniente de rochas de gnaisses para a produção de concretos com resistência de 20 MPa, 25 MPa e 30 MPa, adições de pó de pedra de 10%, 30%, 50%, 100% e o teor máximo de aditivo permitido pelo fabricante. Foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial e absorção de água e posteriormente submetidos ao ensaio de difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura. O autor indicou a adição de 10% de pó de pedra como o melhor teor para todas as misturas produzidas, pois apresentou, em todas as classes de resistência, melhores valores de resistência mecânica e absorção de água. A composição de 100% de adição de pó de pedra e o uso de aditivo, apresentou aumento no valor da resistência em comparação a mesma composição sem o aditivo, reduzindo a absorção d'água, comprovando a eficiência do aditivo.

Varela, Jacques (2015) produziram concretos com adição de pó de pedra no teor de 40%, pois esse teor de adição foi o que se enquadrou melhor na faixa

granulométrica dos agregados miúdo proposta pela NBR 7211:2009. Foram produzidos concretos com diferentes fck, (20 MPa, 30 MPa, 35 MPa, 40 MPa e 50 MPa), sendo que cada faixa de resistência foi produzido com e sem a adição de pó de pedra (referência). Foi avaliado para cada concreto a sua resistência a compressão axial com 1, 7 e 28 dias e a propagação de onda ultrassônica na idade de 28 dias. Os resultados obtidos mostraram que todos os concretos com adição de pó de pedra atingiram resistências semelhantes ao concreto referência, sendo que os concretos com classe de resistência mais baixa obtiveram resultados superiores aos concretos sem adição. A velocidade de propagação da onda ultrassônica foi maior nos concretos com a adição do pó de pedra. Segundo os autores, a utilização do pó de pedra como substituição parcial do agregado miúdo se mostrou viável, gerando inúmeros ganhos econômicos e diminuindo os impactos ambientais gerados pela extração da areia.

2.3.2. Cinza de casca de Arroz

O arroz é uma planta originária de regiões da África, Índia e sudeste Asiático. A partir da colheita do arroz são gerados grandes estoques de casca de arroz, que pelo seu alto teor calorífico são geralmente utilizados como combustível para o processo de parboilização do cereal (TASHIMA, 2006).

Após a queima da casca é gerada a CCA, que ao contrário de sua casca, não possui valor para o setor agrícola. Em muitos casos o seu descarte é feito de forma incorreta, poluindo os mananciais de água e gerando grandes problemas ambientais (SANTOS, 1997).

A CCA possui em sua composição química basicamente sílica amorfa, sendo que a atividade pozolânica está diretamente ligada ao seu processo de combustão. O fator temperatura é essencial para determinar o aparecimento da sílica no estado amorfo (mais reativa) ou em estado cristalino. Porém os teores de sílica presentes na CCA giram em torno de 74% a 97%, independentemente do seu processo de queima (TASHIMA, 2006).

Segundo Isaia *et al* (2010), a CCA utilizada em concretos estruturais deve possuir alta reatividade química, para que as reações pozolânicas processem de forma mais favorável e potencializando o desempenho do concreto. No entanto os

engenhos de arroz nacionais e empresas privadas não possuem o interesse no beneficiamento correto da casca do arroz. Pois segundo elas o investimento em equipamentos é relativamente alto para um setor que não é atrativo até o momento.

A utilização de CCA em concretos traz muitos benefícios à mistura. Sua atividade pozolânica melhora as características do concreto aumentando sua durabilidade, reduzindo indiretamente a geração de CO₂, pela simples substituição do cimento. E por fim, contribui principalmente para remoção da CCA descartada incorretamente na natureza (BÚRIGO, 2011). Por isso que as pesquisas com adições de CCA vem sendo constantemente realizadas.

Santos (2006) propôs a viabilização da fabricação e utilização da cinza da casca de arroz de baixo teor de carbono para a produção de concreto de alto desempenho. O estudo realizado pela autora consistiu em selecionar previamente a melhor CCA testadas em diferentes tempos de moagem, tempos de retenção no forno e temperaturas de queima. Com o material escolhido foi produzido concreto com adição de 15% de CCA substituindo o cimento em volume absoluto, concreto referência (sem adição alguma) e concretos com adição de 8% de sílica ativa. Foram avaliadas as resistências mecânicas e a durabilidade dos concretos frente ao ataque dos sulfato e reação álcali-agregado. Os concretos com a adição de CCA apresentaram resultados de resistência mecânica e durabilidade semelhantes aos concretos produzidos com sílica ativa e superiores ao concreto referência.

Já Cordeiro, Filho e Fairbairn (2009) analisaram o emprego da cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono em concretos convencionais e concretos de alto desempenho. Foram realizadas adições de 10%, 15% e 20% em relação a massa do cimento estudando as propriedades de tensão de escoamento e viscosidade plásticas do concreto, juntamente com a resistência à compressão axial nas idades de 7, 28, 90 e 180 dias e a sua penetração de íons de cloreto. Os resultados obtidos foram que os concretos produzidos, (convencional e alto desempenho), com adição de 20% tiveram valores de resistência à compressão axial maiores na idade de 180 dias. Os resultados ainda indicaram que a utilização da cinza ultrafina produz melhorias significativas nas propriedades do concreto.

Isaia *et al.* (2010), pesquisou a utilização da cinza de casca de arroz *in natura* e residual, queimada sem controle de temperatura e sem moagem com o intuito de simplificar o processamento da CCA. Os autores estudaram a sequência de colocação e o tempo de mistura dos materiais na betoneira, para obter o melhor desempenho de moagem. Foram realizados concretos com adições de 15% e 20% de CCA natural e moída. Foram realizados diversos ensaios destacando-se os de resistência à compressão axial, tração por compressão diametral, módulo de elasticidade e retração total. O estudo resultou que a adição de 15% de CCA natural (N15) alcançou resistências de 25, 30 e 40 MPa e os consumos de cimento foram inferiores ao concreto referência. Nos demais ensaios o concreto N15 foi o que se destacou como o mais viável, embora tenha perdido resistência à tração e módulo de elasticidade aos 28 dias. Concretos com adições de 25% de CCA não se tornaram viáveis pois só obtiveram resistências semelhantes ao concreto referência com idades mais avançadas e com consumo de cimento maior, além de não alcançarem resultados melhores que aqueles com adições de 15%.

Pedroni e Santos (2016) avaliaram por meios de ensaios de resistência a compressão axial e profundidade de carbonatação, a possibilidade de produção de concreto de alto desempenho (CAD), utilizando em sua composição de borracha de pneu triturada e cinza de casca de arroz. As autoras produziram inicialmente dois concretos referência, o primeiro sem incorporação de resíduos e o segundo apenas com 3% de borracha de pneu substituindo a areia fina do traço. Foram produzidos 3 outros tipos de concreto, sendo que além dos 3% de borracha de pneu, continham em sua composição teores de 5, 8 e 15% de substituição em volume absoluto de cinza de casca de arroz ao cimento Portland. O traço de com 3% de borracha de pneu e 15% de cinza de casca de arroz foi o melhor concreto que atendeu as condições iniciais propostas pelas autoras, em relação à trabalhabilidade, resistência e profundidade de carbonatação.

Padilha (2016), teve o objetivo avaliar concretos produzidos com resíduos de pó de pedra e cinza de casaca de arroz, por meio dos ensaios de abatimento de tronco de cone, massa específica, resistência à compressão axial, módulo de elasticidade estático e profundidade de carbonatação. Foram produzidos oito tipos de concreto sendo eles: referência, um com 40% de substituição em massa de areia natural por pó de pedra e outros seis concretos produzidos com os mesmos 40% de pó de pedra

porém com o a substituição em volume absoluto de cinza de casca de arroz, nos teores de 4, 5 e 9% e nos tempos de moagem de 5, 8 e 10 minutos. O concreto que possuía os teores de 9% de cinza de casca de arroz, 5 minutos de moagem e 40% de pó de pedra, apresentou os melhores resultados atendendo os critérios da pesquisa. Apresentou abatimento de tronco de cone dentro dos limites estabelecidos, sua massa específica foi relativamente semelhante ao concreto referência, além de apresentar valores de resistência a compressão axial e módulo de elasticidade maiores que os demais concretos e pouca variação na profundidade de carbonatação. Além disso foi o traço em que mais se aproximou do objetivo de produzir um concreto sustentável e garantir requisitos de resistência e durabilidade para fins estruturais.

Sathawane, Vairagade e Kene (2013), realizaram em seu estudo experimental a utilização de cinza volante e a cinza de casca de arroz como substituição parcial do cimento. Foram produzidos no total oito concretos, partindo com os teores de 30% de cinza volante e 0% de cinza de casca de arroz, aumentando gradualmente a proporção de cinza de casca de arroz em 2,5% e diminuindo gradualmente a proporção de cinza volante em 2,5%. Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial, utilizando corpos de prova cilíndricos com dimensões de 150x150x150mm, nas idades de 7, 14, 28, 56 e 90 dias, resistência a flexão em corpos de prova com dimensões de 150x150x700mm aos 28 dias e resistência a tração por ruptura de corpos de prova de concreto utilizando corpos de prova com as dimensões de 150mm de diâmetro por 300 mm de comprimento, aos 28 dias de cura. Os resultados obtidos por meio dos ensaios demonstraram que o concreto com 22,5% de cinza volante e 7,5% de cinza de casca de arroz é o que melhor se enquadrou nos parâmetros da pesquisa, apresentando ganho de resistência à compressão axial de 30,15% em relação ao concreto com apenas cinza volante, porém apresentou uma redução de 8,73% em relação ao concreto referência. Já as resistências a flexão e tração por ruptura de corpo de prova apresentaram ganho de resistência na ordem de 4,57% e 9,58% em relação ao concreto referência.

2.3.3. Borracha de pneu

A borracha de pneu que é utilizada para a produção de concretos é proveniente dos chamados 'pneus inservíveis'. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2013),

pneus inservíveis são aqueles que já atingiram a sua vida útil, não sendo mais possível a sua recuperação e utilização como meio de rodagem.

A destinação final dos pneus inservíveis é extremamente importante, pois o seu tempo de decomposição na natureza é indeterminado e a sua destinação incorreta gera diversos problemas. Quando são queimados liberam gases tóxicos, contaminando o solo e a água; quando abandonados nos cursos d'água obstruem os canais, córregos e galerias, limitando a vazão de escoamento, facilitando os casos de enchentes. Causam indiretamente a proliferação de doenças, além de prejuízos financeiros aos órgãos públicos e a própria população (MOROSINI, 2006).

Ainda segundo Morosini (2006), até a presente data não existia um método de descarte ambientalmente seguro e economicamente viável. Os pneus inservíveis no Brasil são descartados basicamente de cinco formas:

- a) Coprocessamento de resíduos em fornos de fábricas de cimento - Consiste na utilização dos pneus como substituto dos combustíveis fósseis para a produção de cimento, abastecendo os fornos rotativos de clínquer.
- b) Coprocessamento na usina de xisto-betuminoso - Semelhante ao coprocessamento do cimento. Utilizado nos fornos para o processamento do xisto.
- c) Fabricação de asfalto-borracha - Método mais eficaz na atualidade. Consiste na substituição dos agregados naturais do asfalto por adições de borracha de pneu triturada, dividindo-se em 3 processos. Processo seco, substituindo pequenas quantidades de agregado mineral por borracha de pneu. Processo úmido e *Terminal Blend*, utilizam o pneu como ligante da mistura asfáltica, sendo aquecido a 190°C obtendo propriedades semelhantes as emulsões asfálticas convencionais.
- d) Laminação - Processo mecânico que resulta na fabricação de solas de sapatos, percintas de sofás e outros produtos.
- e) Regeneração - Substituição de borracha virgem por borracha regenerada, utilizadas na produção de artefatos, tapetes, pisos industriais, peças automotivas entre outros.

A utilização da borracha de pneu em concretos é uma fonte de descarte sustentável, pois semelhante ao processo de fabricação do asfalto, a borracha de pneu é utilizada como um substituto parcial dos agregados naturais do concreto, minimizando os danos causados pela extração de matéria prima natural e criando uma forma de descarte adequado para os pneus.

Os trabalhos citados a seguir são referências que comprovam que a utilização da borracha de pneu pode se tornar viável futuramente para a produção de concreto.

Barbosa (2006) estudou a produção de concretos utilizando adições parciais de borracha de pneu em substituição parcial ao agregado miúdo e cinza de casca de arroz em substituição a massa do cimento. Os concretos foram avaliados frente a ensaios mecânicos e de durabilidade, comparando-os com concreto convencional. Os concretos com as adições apresentaram propriedades mecânicas, resistência a abrasão e impactos superiores ao concreto convencional. As formas de rupturas dos corpos de provas com adições apresentaram comportamentos diferenciados, sendo que foi possível verificar a redução da fragilidade e aumento da capacidade de absorção de energia. Por fim a autora relata que a incorporação das adições de cinza de casca de arroz e borracha de pneu nos concretos de alto desempenho se tornou viável pois os resultados dos ensaios foram superiores ao concreto convencional.

Probst (2011) avaliou a viabilidade técnica da substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneu para a produção de concretos. Foram feitos ensaios de resistência a compressão axial e módulo de elasticidade estático para comprovar a eficiência da adição. Os teores de adição estudados foram da ordem de 5%, 10% e 15% de substituição da areia natural avaliando as suas resistências nas idades de 1, 7, 14 e 28 dias. O estudo realizado por Probst comprovou que a substituição de 5% de borracha alcançou a resistência à compressão aos 28 dias mantendo o módulo de elasticidade em um valor viável. Os demais teores de adição não se tornaram viáveis pois a sua resistência à compressão não atendeu aos limites mínimos dispostos na NBR 6118:2003 (NBR vigente na época do ensaio).

Guardiano (2013), realizou um estudo com o objetivo de avaliar o desempenho de concretos produzidos com resíduos de borracha de pneu e cinza de casca de arroz. Esse estudo foi feito por meio de ensaios de compressão axial e módulo de

elasticidade estático, sendo produzidos dois tipos de concreto. O primeiro com apenas adições de 10% e 15% de borracha de pneu e o segundo com os mesmos teores de borracha de pneu, mas com uma adição de cinza de casca de arroz com teores de 10% e 15%, em relação a massa do cimento. O concreto produzido com 10% de borracha e 10% de cinza foi o que melhor atendeu aos critérios da pesquisa, pois a sua trabalhabilidade ficou dentro dos limites estabelecidos e atingiu resistências superiores aos demais concretos produzidos. Outro fator de suma importância foi o alto teor de resíduos incorporado por este concreto: 10% de cada um dos materiais sendo o enfoque principal da pesquisa.

Já Limberger (2015) desenvolveu o seu trabalho com enfoque na utilização da cinza de casca de arroz e borracha de pneu triturada para concretos com traços comercializados na região do Vale do Itajaí/SC. Ela elaborou concretos com substituição de 10% de borracha de pneu no lugar da areia, juntamente com três teores de cinza de casca de arroz, 5%, 10% e 15% em substituição ao cimento. Foram realizados ensaios de resistência a compressão axial e de trabalhabilidade. O estudo de Limberger comprovou que o concreto 10% de borracha e 15% de cinza de casca de arroz, apresentou trabalhabilidade dentro dos limites estabelecidos obtendo ganho de resistência a compressão aos 63 dias em decorrência do teor mais elevado de pozolana na mistura. Portanto, segundo a autora, dentro dos parâmetros da pesquisa, esse foi o melhor traço produzido, pois em questões sustentáveis foi o que incorporou a maior quantidade de resíduos, adquirindo propriedades mecânicas.

3. METODOLOGIA

3.1. Perspectiva de pesquisa

A pesquisa é de natureza aplicada, pois o projeto teve o objetivo a aplicação prática dos conhecimentos, além de solucionar problemas específicos da região do Vale do Itajaí – SC. Sua abordagem, quanto ao problema de pesquisa, é predominantemente quantitativa com traços qualitativos, pois foram gerados dados estatísticos, por meio da resistência à compressão axial e tração por compressão axial de corpos de prova e posteriormente os dados gerados foram analisados. Conforme os objetivos citados no capítulo 1, a pesquisa se enquadra como pesquisa descritiva e exploratória e por fim, de acordo com os procedimentos, a pesquisa é de caráter experimental.

3.2. População e participantes da pesquisa

A central dosadora de concreto MAX MOHR, situada na cidade de Itajaí – SC, cedeu o cimento CP V ARI RS além do aditivo Tec-Mult 40; a Cimento Itambé, situada em Itajaí – SC, cedeu o cimento CP II F – 32, utilizado no ensaio de índice de atividade pozolânica da cinza de casca de arroz, a central dosadora POLIMIX, situada na cidade de Camboriú – SC, cedeu as areias naturais e a brita 0; a mineração C.E.R.B. Caseca, também situada na cidade de Camboriú – SC, cedeu o pó de pedra em estudo; a empresa Urbano Agroindustrial, situada na cidade de Jaraguá do Sul – SC, cedeu a cinza de casca de arroz; e a empresa Caça Ruídos Artefatos de Borracha situada na cidade de Curitiba - PR cedeu a borracha de pneu triturada.

Todas as etapas da pesquisa foram realizadas no Laboratório de Pesquisas Tecnológica em Engenharia (LATEC) da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), situado na cidade de Itajaí – SC, disponibilizando todos os equipamentos necessários para todas as etapas da pesquisa. A pesquisa foi realizada no período de março a junho de 2017.

3.3. Procedimentos e instrumentos de coleta de dados

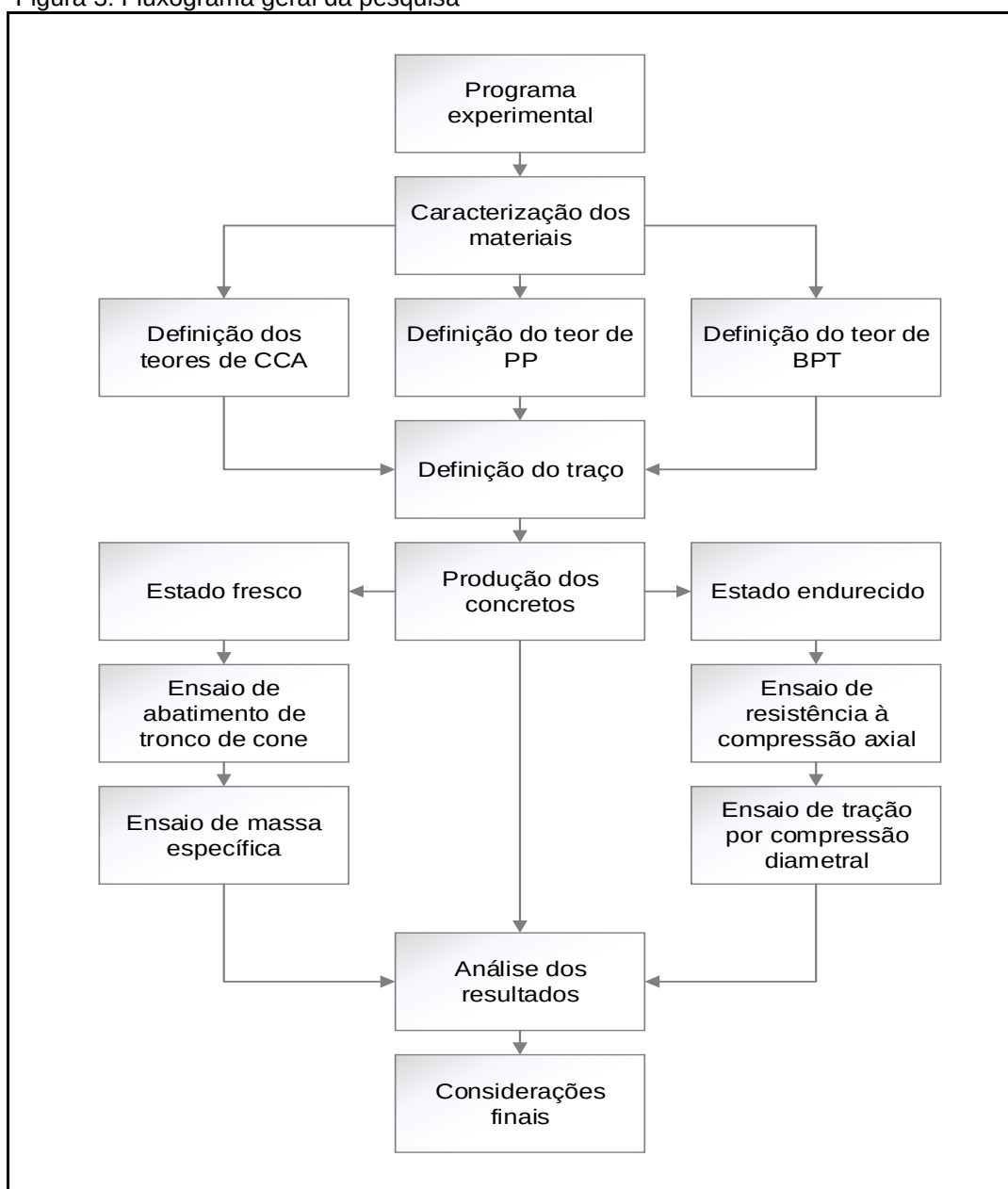
Inicialmente foi escolhido o traço a ser utilizado como referência a partir dos trabalhos de Barbosa (2006) e Pedroni, Santos (2016). O traço utilizado por Barbosa (2006) se tratava de um concreto de alto desempenho (CAD), utilizando

relação água/cimento (a/c) de 0,30. Pedroni, Santos (2016), optaram por elevar a relação a/c para 0,45, pois mesmo com a utilização do teor máximo de aditivo não foi possível atingir o abatimento de tronco de cone de (16 ± 2) cm. Já no presente trabalho, como foi utilizado a composição de outros três materiais além do materiais do traço original e como o objetivo principal do trabalho foi viabilizar a utilização dos resíduos na produção de concretos, e não a produção de um CAD, a relação a/c foi alterada para o índice de 0,55, sendo o abatimento de tronco de cone fixado em (10 ± 2) cm.

A escolha da utilização da CCA como adição a massa do cimento, partiram dos resultados obtidos por Padilha (2016) e Pedroni (2016). Ambos os trabalhos não obtiveram resultados significativos para que a utilização da CCA como substituição fosse mantido. Já os teores de BPT e PP foram definidos com base nas curvas granulométricas dos agregados.

Todos os materiais utilizados na pesquisa foram caracterizados de acordo com suas respectivas normas técnicas vigentes. Foi iniciada a produção dos concretos com e sem adições de resíduos, realizando os ensaios no estado fresco, abatimento de tronco de cone (NBR NM 67:1998) e massa específica (NBR 9833:2008); e no estado endurecido, os ensaios de resistência à compressão axial (NBR 5739:2007) e tração por compressão diametral (NBR 7222:2011). Posteriormente foram realizadas as análises dos resultados, as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros. O fluxograma da Figura 3 apresenta as etapas da pesquisa.

Figura 3: Fluxograma geral da pesquisa



Fonte: Autor

3.3.1. Materiais utilizados

3.3.1.1. Cimento

O cimento Portland usado como aglomerante principal na produção dos concretos foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial Resistente a Sulfatos, designado pela sua sigla CP V-ARI RS, (NBR 5733:1991).

O cimento utilizado é fabricado pela empresa VOTORANTIM CIMENTOS e foi produzido no município de Rio Branco do Sul - PR. A Tabela 1 apresenta as características principais do material, segundo o fabricante.

Tabela 1: Especificações do cimento CP-V ARI RS

Tabela 1: Especificações do cimento CP-V ARI RS						
Análise Física						
Início de pega	Fim de Pega	Consistência normal	Superfície específica de Blaine	Peneira #200mm	Peneira #325mm	Massa específica
3h42min	4h42mi	29,90%	4928 cm²/g	0,10%	1,1	3,02 g/cm³
Análise química						
Perda ao fogo		MgO	SO3	Resíduos insolúveis		
3,50%		5,60%	3,10%	11,90%		
Análise mecânica (Resistência à compressão axial - em MPa)						
1 dia		3 dias	7 dias	28 dias		
22,3		33,1	40,1	49,5		

Fonte: VOTORANTIM CIMENTOS, abril/2017

Para o ensaio do índice de atividade pozolânica da cinza de casca de arroz, foi utilizado o CP II-F-32, conforme prescrição da NBR 5752:2014. O cimento possui como fabricante a CIMENTO ITAMBÉ e as principais características do material são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Especificações do cimento CP II-F-32

Análise Física							
Início de pega	Fim de Pega	Consistência normal	Superfície especifica de Blaine	Peneira #200m m	Peneira #325m m	Massa específico a	
3h44min	4h26min	26,40%	3319 cm²/g	2,21%	13%	3,08 g/cm³	
Análise química							
Perda ao fogo	Al2O3	SiO2	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Resíduos insolúveis
4,70%	4,16%	18,49%	2,91%	60,72%	3,65%	2,77%	1,16%
Análise mecânica (Resistência à compressão axial - em MPa)							
1 dia	3 dias		7 dias		28 dias		
14,2	28,5		34,6		42,3		

Fonte: CIMENTO ITAMBÉ, maio/2017

3.3.1.2. Agregado miúdo

O traço utilizado possui a composição de duas areias naturais para a formação do agregado miúdo utilizado (Figura 4).

Figura 4: Areias A e B



Fonte: Autor

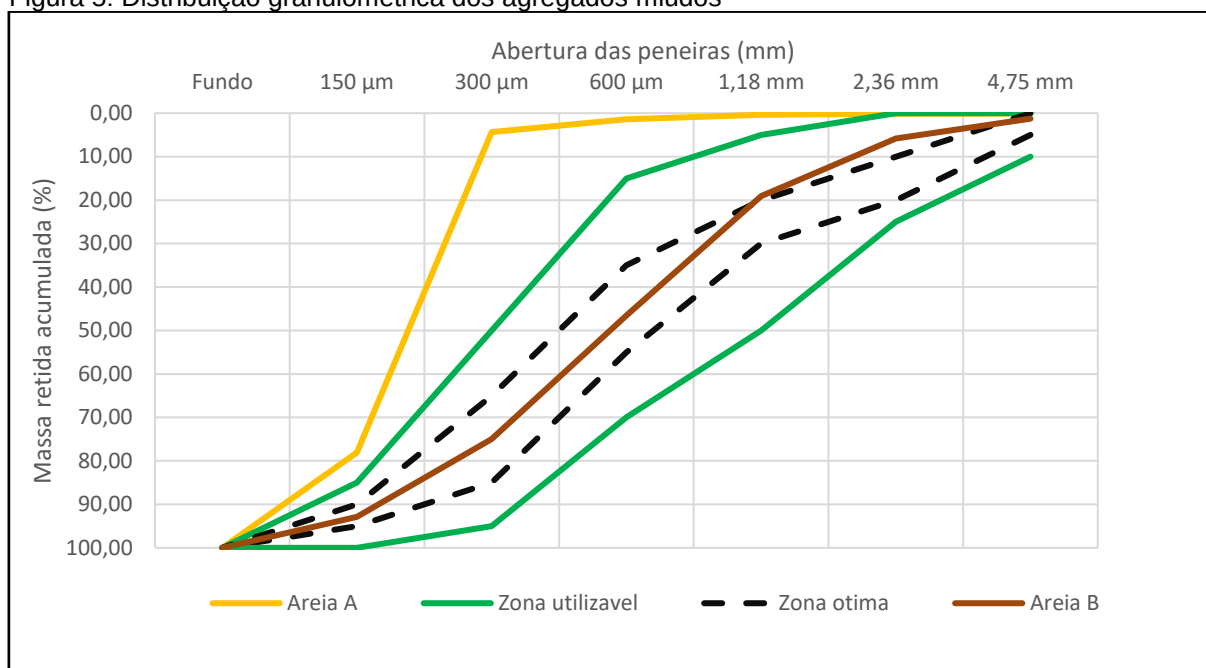
As areias foram caracterizadas por meio dos ensaios de composição granulométrica (NBR NM 248:2003), massa específica (NBR NM 52:2009), massa unitária (NBR NM 45:2006), teor de material pulverulento (NBR NM 46:2001) e posteriormente classificadas de acordo com a NBR 7211:2009. Os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 3 e na Figura 5.

Tabela 3: Classificação das areias naturais

Peneira ABNT	%Retida Média	% Retida Acumulada Média	%Retida Média	% Retida Acumulada Média
Abertura (mm)	Areia A		Areia B	
4,8	0,08	0,08	1,26	1,26
2,4	0,04	0,12	4,53	5,79
1,2	0,23	0,35	13,25	19,05
0,6	1,02	1,37	27,47	46,52
0,3	2,95	4,32	28,48	75,00
0,15	73,77	78,10	17,88	92,88
Fundo	21,90	100,00	7,12	100,00
Massa específica (g/cm³)	2,63		2,55	
Massa unitária (g/cm³)	0,00		1,53	
Módulo de finura	0,84		2,41	
Classificação	Não se enquadra nos limites da NBR 7211:2009		Enquadra no limite da zona utilizável da NBR 7211:2009	

Fonte: Autor

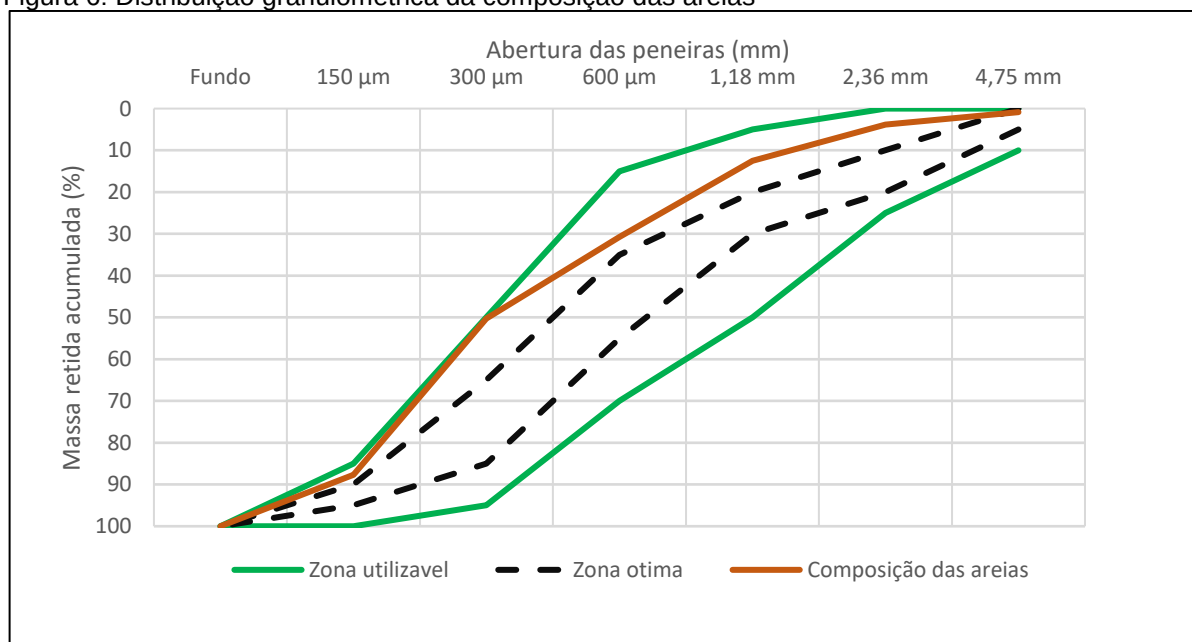
Figura 5: Distribuição granulométrica dos agregados miúdos



Fonte: Autor

A Areia “A” não se enquadra dentro dos limites prescritos pela NBR 7211:2009, apresentando granulometria mais fina que a Areia “B”, por sua vez, enquadra-se nos limites da zona utilizável da norma. Porém, a composição das duas areias, proposta pelo traço utilizado (35% da areia “A” + 65% da areia “B”), enquadra-se na zona utilizável da norma, como mostra a Figura 6.

Figura 6: Distribuição granulométrica da composição das areias



Fonte: Autor

3.3.1.3. Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi brita granítica (Figura 7), caracterizada por meio dos ensaios de granulometria (NBR NM 248:2003), massa específica (NBR NM 53:2009), massa unitária (NBR NM45:2006) e posteriormente classificado conforme a NBR 7211:2009. A Tabela 4 e a Figura 8 apresentam os resultados dos ensaios.

Figura 7: Brita granítica



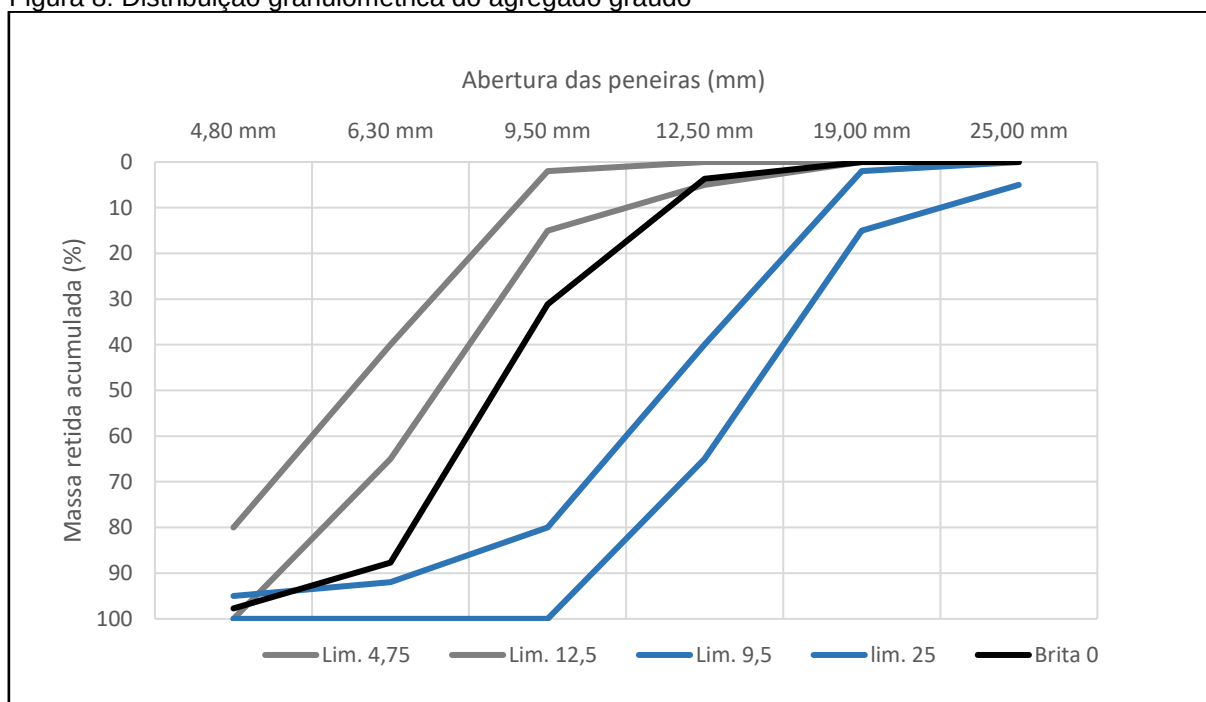
Fonte: Autor

Tabela 4: Classificação do agregado graúdo

Peneira ABNT	% Retida Média	% Retida Acumulada Média
Abertura (mm)	Brita 0	
25,00 mm	0,00	0,00
19,00 mm	0,00	0,00
12,50 mm	3,70	3,70
9,50 mm	27,42	31,12
6,30 mm	56,56	87,68
4,80 mm	10,04	97,72
2,40 mm	0,00	97,72
1,20 mm	0,00	97,72
0,60 mm	0,00	97,72
0,30 mm	0,00	97,72
0,15 mm	0,00	97,72
Fundo	2,28	100,00
Massa específica (g/cm³)	2,70	
Massa unitária (g/cm³)	1,48	
Módulo de finura (%)	6,17	
Classificação	Não se enquadra nos limites da NBR 7211:2009	

Fonte: Autor

Figura 8: Distribuição granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Autor

A brita utilizada não se enquadra em nenhum dos limites propostos pela NBR 7211:2009, porém o agregado apresenta mais de 90% do seu diâmetro, inferior a 9,5 mm, sendo comercialmente, classificada como brita zero.

3.3.1.4. Resíduos

a) Borracha de pneu triturada

A borracha foi utilizada da mesma forma como foi entregue pelo fornecedor, não sendo submetida a nenhum tratamento que modificasse suas propriedades (Figura 9). Sendo caracterizada pela sua composição granulométrica (NBR 248:2003), posteriormente, classificada de acordo com a NBR 7211:2009. A Tabela 5 e a Figura 10 apresentam os resultados dos ensaios.

Figura 9: Borracha de pneu triturada



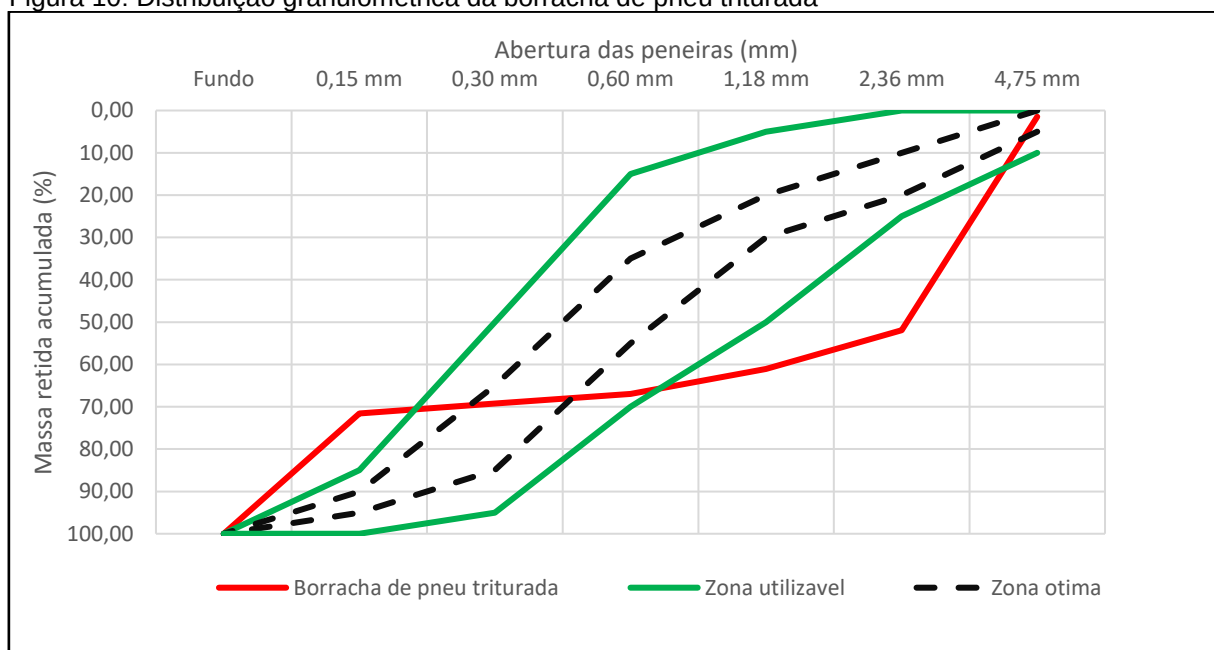
Fonte: Autor

Tabela 5: Classificação da borracha de pneu triturada

Peneira ABNT	% Retida Média	% Retida Acumulada Média
Abertura (mm)	Borracha de pneu triturada	
4,8	1,48	1,48
2,4	50,46	51,94
1,2	9,14	61,08
0,6	5,85	66,93
0,3	2,34	69,27
0,15	2,32	71,59
Fundo	28,41	100,00
Massa específica (g/cm ³)	0,98	
Massa unitária (g/cm ³)	0,71	
Módulo de finura (%)	3,22	
Classificação	Não se enquadra nos limites da NBR 7211:2009	

Fonte: Autor

Figura 10: Distribuição granulométrica da borracha de pneu triturada



Fonte: autor

A borracha de pneu, como pode ser visto na Figura 10, não se enquadrando em nenhum dos limites propostos pela NBR 7211:2009. Analisando os resultados obtidos percebe-se que mais de 50% do material ficou retido na peneira 2,4 mm, além de aproximadamente 30% ter ficado retido na peneira de 0,15 mm.

b) Cinza de casca de Arroz

A CCA utilizada como aglomerante secundário foi caracterizada pelos ensaios de massa específica conforme descrito na NBR 16605:2017 e índice de atividade pozolânica (IAP), conforme a NBR 5752:2014.

Antes da realização dos ensaios de caracterização, a CCA foi previamente moída na betoneira por 5 minutos, utilizando o agregado graúdo do traço como carga de moagem. A Figura 11 apresenta a CCA antes e após a moagem.

Figura 11: Aparência da CCA *in natura* e CCA moída



Fonte: Autor

O ensaio de IAP (Figura 12), determina se a CCA utilizada pode ser caracterizada como material pozolânico para o concreto. O ensaio consiste em produzir duas argamassas, a primeira, utilizada como referência, utiliza cimento CP II-F-32, areia normal e água; e a segunda contem 25% de massa de cimento substituída pelo material pozolânico, nesse caso a CCA moída. Para cada argamassa era determinado o índice de consistência normal (*flow*), sendo que a segunda argamassa deveria apresentar a variação de ± 10 mm em relação a primeira. Como a segunda argamassa apresentou consistência bem abaixo que a argamassa referência, foi necessária a utilização de um aditivo superplastificante (ADVA CAST 525 – fabricante Grace RheoSet), até atingir a consistência prevista pela norma. Foram moldados seis corpos de prova para cada argamassa, sendo curados em câmara úmida durante 28 dias. Passado esse período os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial e posteriormente calculado o índice de atividade pozolânica da CCA utilizada.

Figura 12: Ensaio de índice de atividade pozolânica (IAP)



Fonte: Autor

c) Pó de pedra

Assim como a borracha de pneu triturada o pó de pedra foi utilizado (Figura 13), como substituto parcial a um dos agregados miúdos, a sua classificação foi feita da mesma forma que as areias, composição granulométrica (NBR 248:2003), massa específica (NBR NM 52:2009), massa unitária (NBR NM 45:2006), teor de material pulverulento (NBR NM 46:2001) e posteriormente classificada de acordo com a NBR 7211:2009. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6 e na Figura 14.

Figura 13: Pó de pedra



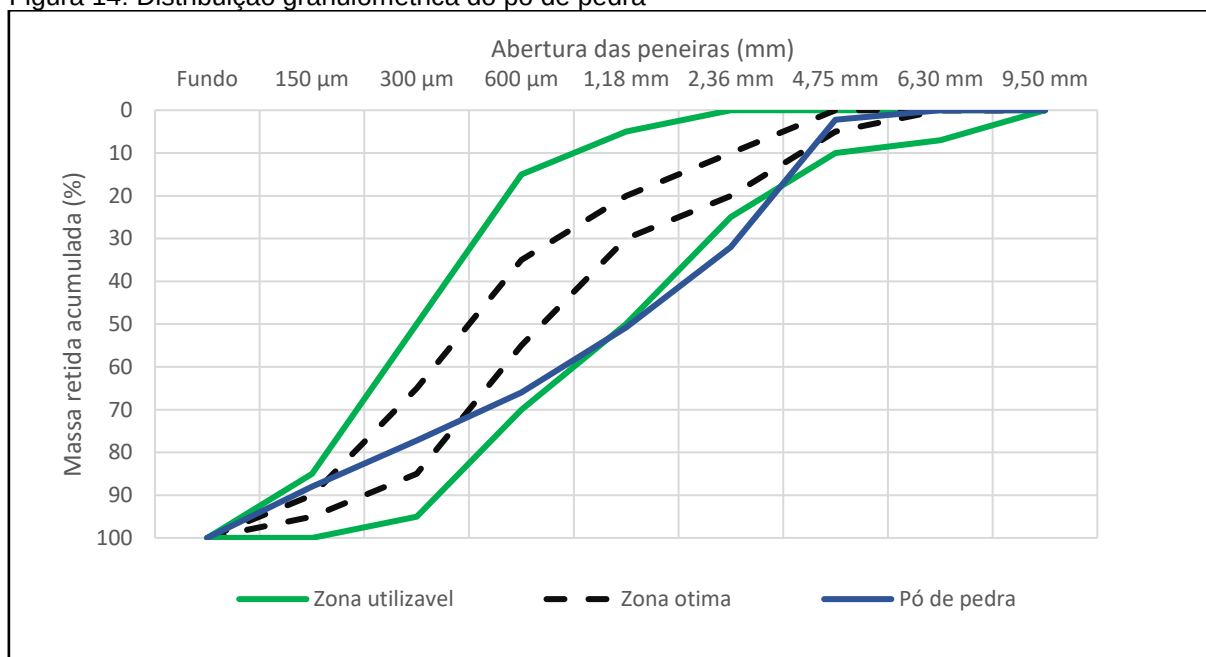
Fonte: Autor

Tabela 6: Classificação do pó de pedra

Peneira ABNT	% Retida Média	% Retida Acumulada Média
Abertura (mm)	Pó de pedra	
4,8	2,20	2,20
2,4	29,81	32,02
1,2	18,78	50,80
0,6	15,20	66,00
0,3	11,21	77,20
0,15	10,81	88,01
Fundo	11,99	100,00
Massa específica (g/cm ³)	2,73	
Massa unitária (g/cm ³)	1,68	
Módulo de finura (%)	3,16	
Classificação	Não se enquadra nos limites da NBR 7211:2009	

Fonte: Autor

Figura 14: Distribuição granulométrica do pó de pedra



Fonte: Autor

De acordo com a NBR 7211:2009, o pó de pedra em estudo não se enquadrou em nenhum dos limites fixados pela norma

3.3.1.5. Água

A água utilizada na produção dos concretos foi fornecida pela SEMASA, concessionária responsável pela rede de abastecimento de água do município de Itajaí – SC.

3.3.1.6. Aditivo

O aditivo utilizado para a produção dos concretos foi o Tec-Mult 40 (Figura 15), tem como fabricante a Grace RheoSet sendo classificado como aditivo plastificante possuindo dosagem na ordem de 0,4 a 0,8% da massa do aglomerante. Segundo o fabricante, o aditivo cumpre as especificações da NBR 11768:2011 como um aditivo tipo PN e de acordo com a ASTM C 494:2010 como tipo A e F (Tabela 7).

Figura 15: Aditivo Tec-Multi 40



Fonte: Autor

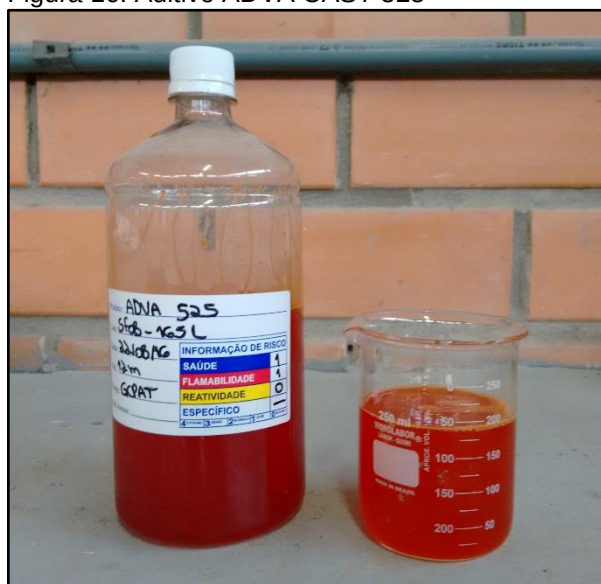
Tabela 7: Características técnica aditivo Tec-Multi 40

Dosagem	0,4 a 0,8%
Aspecto	Líquido
Coloração	Amarelado a âmbar
Massa específica	$1,08 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$
Função	Plastificante
Base química	Policarboxilato

Fonte: Grace RheoSet

Para o ensaio de Índice de atividade pozolânica (IAP), conforme prescrito na NBR 5752:2014, foi utilizado o aditivo superplastificante ADVA CAST 525, produzido pela Grace RheoSet (Figura 16), aditivo à base de policarboxilatos. Suas características atendem a NBR 11768:2011 sendo um aditivo do Tipo SP II e estão descritas na Tabela 8.

Figura 16: Aditivo ADVA CAST 525



Fonte: Autor

Tabela 8: Características técnica aditivo ADVA CAST 525

Dosagem	0,15 a 0,8%
Aspecto	Líquido
Coloração	Amarelo claro
Massa específica	1,06 kg/m ³
Função	Superplastificante
Base química	Policarbozilato

Fonte: Grace Rheoser

3.3.2. Definição dos teores

O traço adotado (Quadro 4) como referência possui como resistência característica (f_{ck}) de 40 MPa, e um consumo de cimento de 406,49kg/m³. O valor do abatimento de tronco de cone (*slump test*) foi fixado em (10 ± 2 cm), trata-se de um concreto estrutural, passível de lançamento por meio de bamba de concreto.

Quadro 4: Traço referência

Cimento	Areia "A"	Areia "B"	Brita 0	A/C
1	0,61	1,13	2,41	0,55

A utilização da CCA como adição partiu dos resultados obtidos por Padilha (2016) e Pedroni (2016). Em ambos os trabalhos as autoras utilizaram a CCA como substituição ao volume do cimento, porém não alcançaram resultados significativos. Portanto para o presente trabalho foi escolhido a utilização da CCA como adição, nos teores de 5% e 10% em relação a massa do aglomerante.

O tempo de moagem da CCA utilizada foi baseado no trabalho de Padilha (2016), a qual utilizou em seu estudo três tempos de moagem, 5, 8 e 10 minutos. Quando analisados o índice de atividade pozolânica e a resistência à compressão da autora, percebe-se que não houve diferenças significativas entre os tempos de moagem. Portanto o tempo de moagem de 5 minutos foi escolhido por ser o que mais economiza energia durante a produção dos concretos.

O processo de moagem da CCA foi o mesmo utilizado por Padilha (2016), Pedroni (2016) e Pedroni, Santos (2016), sendo utilizada a moagem a seco dentro da betoneira, utilizando o agregado graúdo do próprio traço como carga de moagem. O método foi adotado pelas autoras pois tem o objetivo de viabilizar a moagem da CCA “*in natura*” em obras ou em centrais dosadora de concreto.

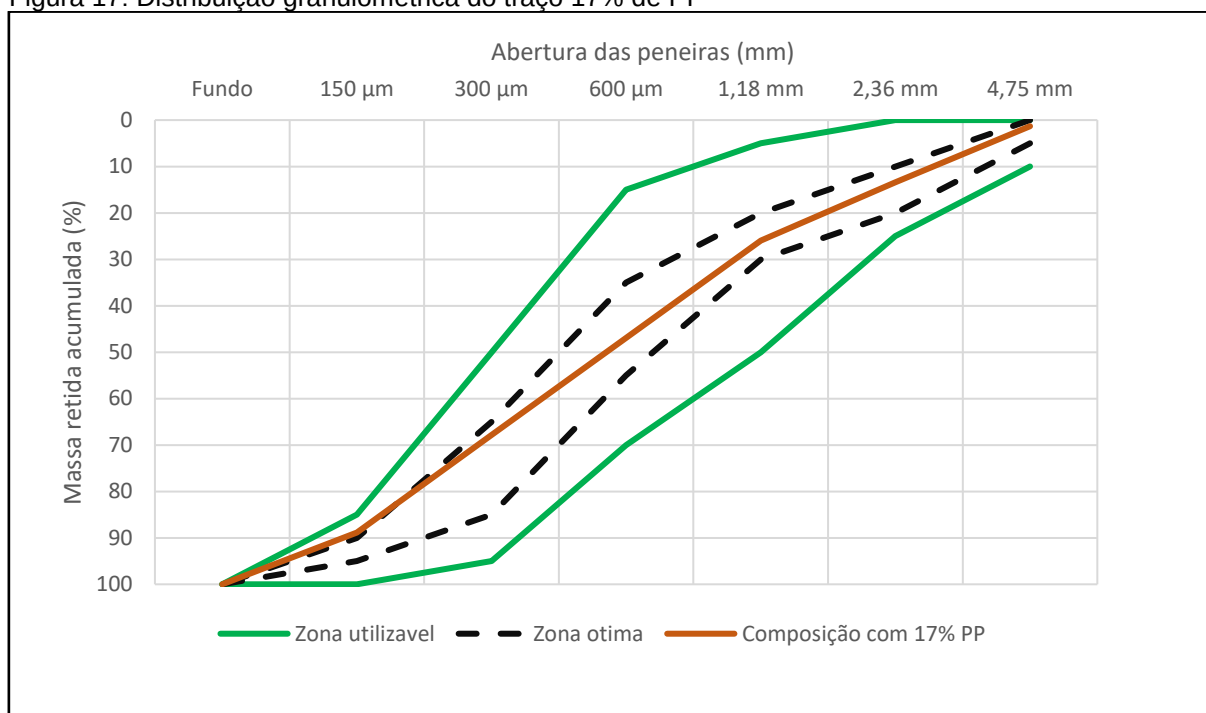
Os teores de PP e BPT utilizados na pesquisa foram definidos com base na curva granulométrica das areias. Como pode ser visto na Figura 6, a composição granulométrica das duas areias ficou dentro dos limites utilizáveis da NBR 7211:2009. O teor de PP fixado foi de 17% de substituição na areia “A” obtendo uma granulometria melhor que a composição apenas das duas areias naturais, como pode ser visto na Tabela 9 e a Figura 17. A escolha em substituir do PP na areia “A” foi em decorrência da areia “A” possui uma granulometria muito fina sendo necessário um consumo de aditivo maior para atingir o abatimento de $(10 \pm 2 \text{ cm})$.

Tabela 9: Classificação granulométrica do traço com 17% de pó de pedra

Peneira ABNT	% Retida Acumulada Média
Abertura (mm)	Composição 17% PP
4,8	1,21
2,4	9,23
1,2	21,08
0,6	41,70
0,3	62,65
0,15	89,39
Fundo	100,00
Módulo de finura	2,25
Classificação	Se enquadra nos limites da zona utilizável da NBR 7211:2009

Fonte: Autor

Figura 17: Distribuição granulométrica do traço 17% de PP



Fonte: Autor

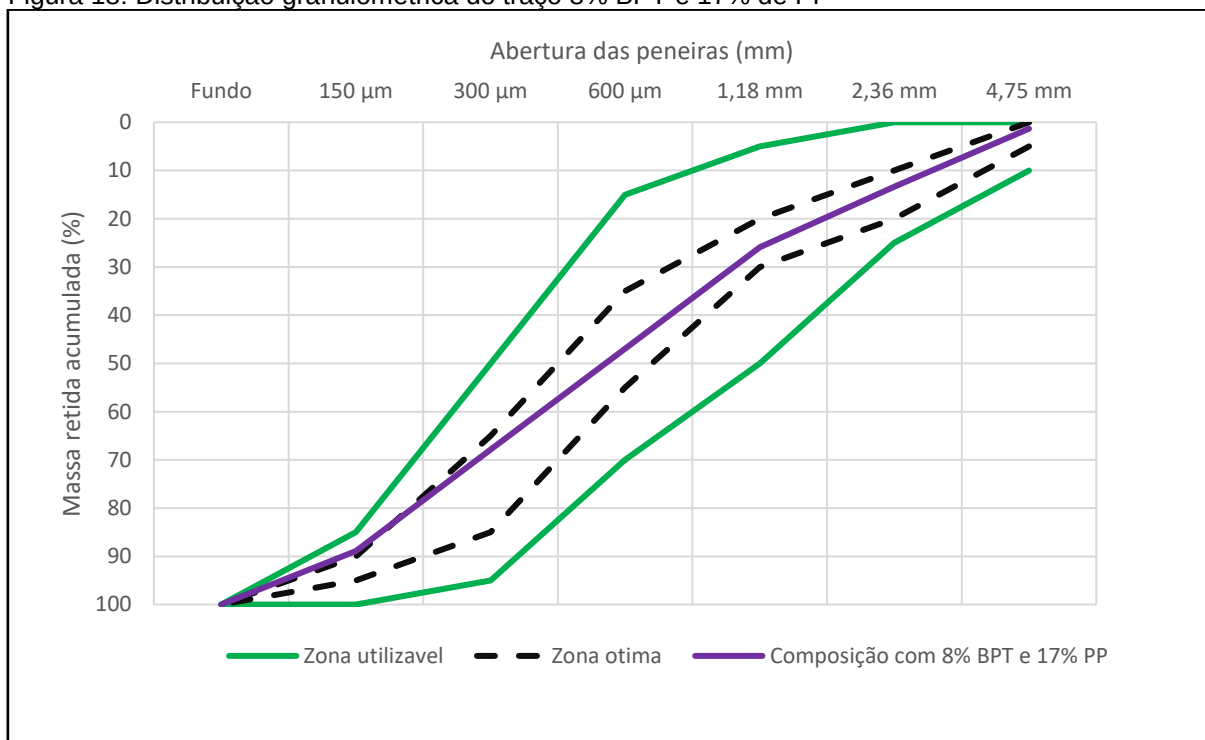
O teor de BPT foi fixado em 8% sendo também substituído na areia “A”. Assim, como a composição granulométrica do PP e areias naturais, a granulometria da composição de todos os materiais (8% BPT, 17% e 75% areias naturais), apresentou granulometria mais bem distribuída que a composição com apenas as areias naturais, como pode ser visto na Tabela 10 e na Figura 18. A composição se enquadrou nos limites da zona utilizável da NBR 7211:2009.

Tabela 10: Classificação granulométrica do traço 8% BPT, 17% PP

Peneira ABNT	% Retida Acumulada Média
Abertura (mm)	Composição 8% BPT 17% PP
4,8	1,21
2,4	9,23
1,2	21,08
0,6	41,70
0,3	62,65
0,15	89,39
Fundo	100,00
Módulo de finura	2,44
Classificação	Se enquadra nos limites da zona utilizável da NBR 7211:2009

Fonte: Autor

Figura 18: Distribuição granulométrica do traço 8% BPT e 17% de PP



Fonte: Autor

Com os teores definidos foram elaborados 5 traços a serem produzidos. O traço referência, sem a adição de resíduos; um traço com a substituição em massa na areia “A” de 17% de PP; um traço com a substituição em massa na areia “A” de 8% de BPT e 17% de PP; um traço com a adição de 5% CCA em relação a massa do cimento Portland moída por 5 minutos, juntamente com 8% de BPT e 17% de PP em relação a massa da areia “A” e um traço com a adição de 10% CCA em relação a massa do cimento Portland moída por 5, juntamente com 8% de BPT e 17% de PP em relação a massa da areia “A”.

Em parceria ao atual trabalho está sendo desenvolvido uma pesquisa¹ com o objetivo de analisar o comportamento dos concretos produzidos com idade mais avançadas. Portanto a Tabela 11 apresenta a descrição dos concretos e a quantidade de corpos de prova utilizados no presente trabalho e a quantidade total produzida.

¹ LUGARINI, J. Utilização de cinza de casca de arroz, borracha de pneu triturada e pó de pedra na produção de concreto. Acadêmico 6º período do curso de Engenharia Civil – Univali. Sob orientação – Professora Sílvia Santos, Dra. Data de início: março 2017 – Término previsto: 2018

Tabela 11: Descrição e quantidade de corpos de prova dos concretos produzidos

Sigla	Descrição	% de resíduo	Nº de corpos de prova utilizados nesse trabalho	Nº de corpos de prova produzidos
REF	Concreto referência	0	24	96
CPP	Concreto + Pó de pedra	17%	24	96
CPB	Concreto + Pó de pedra + Borracha de pneu	17% + 8%	24	96
CPB 5	Concreto + Pó de pedra + Borracha de pneu + CCA	17% + 8% + 5%	24	96
CPB 10	Concreto + Pó de pedra + Borracha de pneu + CCA	17% + 8% + 10%	24	92
TOTAL			120	476

Fonte: Autor

3.3.3. Equipamentos utilizados

Para a produção dos concretos foram utilizados os equipamentos disponibilizados pelo LATEC, com destaque para:

- Balança de precisão, marca KN WAAGEN com capacidade de 15kg e precisão de 0,1g;
- Balança da marca Toledo com capacidade de 100kg e precisão de 20g;
- Betoneira da marca Menegotti com capacidade de 320 litros, de eixo inclinado e pá solidária à cuba;
- Prensa hidráulica EMIC, modelo MUE100/PC200; NO5781/5782/NS054/038, com capacidade de 100 toneladas e precisão de $\pm 1\%$ das faixas de utilização;
- Retífica da marca STUHLERT.

3.3.4. Produção dos concretos

O volume de concreto produzido foi de 166 litros, quantidade suficiente para a moldagem dos 96 corpos de prova necessários para cada traço.

Os materiais utilizados foram previamente pesados e as formas metálicas foram preparadas com a aplicação de uma fina camada de óleo conforme requisitos da NBR 5738:2015. A produção dos 166 litros de concreto foi feita em duas etapas, seguindo a mesma sequência de produção. Esse método de produção foi adotado em

decorrência do alto volume de concreto, não sendo possível adensar e moldar todos os corpos de prova durante o tempo de reação do aditivo.

A determinação da consistência dos concretos foi realizada pelo ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*), conforme requisitos da NBR NM 67:1998 (Figura 19). Também para a análise mais aprofundada do *slump test*, foram registradas as condições climáticas, dias e horários de produção para de cada concreto, como pode ser visto na Tabela 12.

Figura 19: Ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump test*)



Fonte: Autor

Tabela 12: Características do dia da produção dos concretos

Concreto	Dia da moldagem	Temperatura (°C)	Umidade relativa	Clima	Início da produção (horas)
REF	27/03/2017	28°	93%	Chuvoso	9:00
CPP	03/04/2017	23°	95%	Nublado	10:00
CPB	05/04/2017	25°	90%	Nublado	9:45
CPB5	10/04/2017	27°	88%	Ensolarado	9:45
CPB10	12/04/2017	23°	64%	Ensolarado	10:30

Fonte: Autor

A moldagem e cura dos corpos de prova de cada traço produzido, foi realizada de acordo com a NBR 5738:2015. Após a moldagem, os corpos de prova foram colocados em local protegido, em superfície horizontal e livre de vibrações, por um período de 24 horas (Figura 20) para a realização da cura inicial. Após a cura inicial, os corpos de prova foram desmoldados e armazenados imersos em um taque de cura com água saturada com hidróxido de cálcio (Figura 21), e permaneceram nesse local até a data de realização dos ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral.

Figura 20: Cura inicial dos corpos de prova



Fonte: Autor

Figura 21: Tanque de cura dos corpos de prova



Fonte: Autor

O ensaio de massa específica dos concretos foi realizado conforme NBR 9833:2008. Para cada traço foram pesados 12 corpos de prova separadamente e foram medidas suas dimensões. O processo de cálculo da massa específica será realizado com o peso do corpo de prova, dividido pelo seu volume.

3.3.4.1. Produção do concreto referência (REF)

A quantidade de materiais utilizados para a produção do concreto referência é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13: Quantidade de material para a produção do concreto referência (REF)

	Cimento (kg)	Areia A (kg)	Areia B (kg)	Brita 0 (kg)	Água (kg)	Aditivo	
						Max (g)	Utilizado (g)
166 litros	67,42	41,13	76,19	162,49	37,08	539,40	0
83 litros	33,71	20,56	38,10	81,25	18,54	269,70	0

Fonte: Autor

O procedimento de produção do concreto referência seguiu as etapas descritas do Quadro 6.

Quadro 5: Procedimento de produção do concreto referência (REF)

Etapas	Procedimento
1	Umedecer a betoneira, para evitar a perda da água de amassamento para as paredes da betoneira e remover a água em excesso;
2	Adicionar todo o agregado graúdo e parte da água do traço e acionar a betoneira durante 30 segundos;
3	Adicionar todo o cimento CP V e mais uma parte da água, tampar a boca da betoneira e aciona-la por 1 minuto;
4	Desligar a betoneira e raspar a parede da betoneira para retirada do material aderido;
5	Adicionar todo o agregado miúdo (areia A e areia B), adicionar mais uma parte da água e acionar a betoneira por mais 2 minutos;
6	Colocar o restante da água com a betoneira ligada, durante os 2 minutos de mistura da etapa 5
7	Desligar a betoneira e realizar o ensaio de abatimento de tronco de cone;
8	Caso o slump de 10 ± 2 cm não seja atingido no passo 7, adicionar 1/4 do aditivo e misturar por mais 2 minutos
9	Repetir o passo 8 até obter o slump desejado

Fonte: Autor

3.3.4.2. Produção dos concretos com pó de pedra e borracha de pneu triturada

A quantidade de materiais utilizados para a produção do concreto com pó de pedra (CPP) e o concreto com pó de pedra e borracha de pneu triturada (CPB) são apresentadas na Tabela 14 e 15 respectivamente.

Tabela 14: Quantidade de material para a produção do concreto com pó de pedra (CPP)

	Cimento (kg)	Areia A (kg)	Pó de pedra (kg)	Areia B (kg)	Brita 0 (kg)	Água (kg)	Aditivo	
							Max (g)	Utilizado (g)
166 litros	67,42	20,90	20,23	76,19	162,49	37,08	539,40	0,00
83 litros	33,71	10,45	10,11	38,10	81,25	18,54	269,70	0,00

Fonte: Autor

Tabela 15: Quantidade de material para a produção do concreto com pó de pedra e borracha de pneu (CPB)

	Cimento (kg)	Areia A (kg)	Pó de pedra (kg)	Borracha de pneu (kg)	Areia B (kg)	Brita 0 (kg)	Água (kg)	Aditivo	
								Max (g)	Utilizado (g)
166 litros	67,42	11,46	20,23	9,44	76,19	162,49	37,08	539,40	134,85
83 litros	33,71	5,73	10,11	4,72	38,10	81,25	18,54	269,70	67,42

Fonte: Autor

O procedimento de produção dos concretos CPP e CPB seguiu as mesmas etapas do concreto referência, descritas do Quadro 6, apresentando diferença somente no item 5, onde o PP e a BPT foram adicionadas na betoneira junto com as areias “A” e “B”

3.3.4.3. Produção dos concretos com a adição da cinza de casca de arroz

Os concretos com a adição de CCA são divididos em dois concretos. O primeiro possui a adição de 5% sobre a massa do aglomerante, além das substituições em massa de 17% de pó de pedra e 8% de borracha de pneu sobre a areia A do traço (CPB5). O segundo concreto possui adição de 10% sobre a massa do aglomerante, além das demais substituições de 17% de pó de pedra e 8% de borracha de pneu sobre a massa da areia A (CPB10). A quantidade de materiais utilizados para a produção do concreto CPB5 e o concreto CPB10 são apresentadas nas respectivas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16: Quantidade de material para a produção do concreto com adição de 5% de CCA (CPB5)

	Cimento (kg)	CCA (kg)	Areia A (kg)	Pó de pedra (kg)	Borracha de pneu (kg)	Areia B (kg)	Brita 0 (kg)	Água (kg)	Aditivo	
									Max (g)	Utilizado (g)
166 litros	67,42	3,37	11,46	20,23	9,44	76,19	162,49	37,08	539,40	134,85
83 litros	33,71	1,69	5,73	10,11	4,72	38,10	81,25	18,54	269,70	67,42

Fonte: Autor

Tabela 17: Quantidade de material para a produção do concreto com adição de 10% de CCA (CPB10)

	Cimento (kg)	CCA (kg)	Areia A (kg)	Pó de pedra (kg)	Borracha de pneu (kg)	Areia B (kg)	Brita 0 (kg)	Água (kg)	Aditivo	
									Max (g)	Utilizado (g)
152 litros	61,81	6,18	10,51	18,54	8,65	69,84	148,95	33,99	494,45	309,03
76 litros	30,90	3,09	5,25	9,27	4,33	34,92	74,48	17,00	247,22	154,52

Fonte: Autor

Durante a pesagem dos materiais para a produção do concreto CPB10 verificou-se que não havia borracha de pneu suficiente para a produção de 166 litros de concreto. Portanto foi necessário a diminuir para 152 litros e 88 corpos de prova. Essa alteração não influenciou os ensaios programados, pois o volume inicial estava dimensionado com 10% de sobra.

O procedimento de produção dos concretos CPB5 e CPB10 seguiram as etapas descritas do Quadro 7.

Quadro 6: Procedimento de produção dos concretos com adição de CCA

Etapa	Procedimento
1	Adicionar todo o agregado graúdo juntamente com toda a CCA acionar a betoneira durante 5 minutos para a moagem;
2	Desligar a betoneira e adicionar todo o aglomerante e uma parte da água, tampar a boca da betoneira e aciona-la por 1 minuto;
3	Desligar a betoneira e raspar a parede da betoneira para retirada do material aderido;
4	Adicionar todo o agregado miúdo (areia A, areia B, pó de pedra e borracha de pneu), adicionar mais uma parte da água e acionar a betoneira por mais 2 minutos;
5	Colocar o restante da água com a betoneira ligada, durante os 2 minutos de mistura da etapa 5
6	Desligar a betoneira e realizar o ensaio de abatimento de tronco de cone;
7	Caso o slump de 10 ± 2 cm não seja atingido no passo 6, adicionar 1/4 do aditivo e misturar por mais 2 minutos
8	Repetir o passo 7 até obter o slump desejado

Fonte: Autor

3.3.5. Resistência à compressão axial

Os corpos de prova selecionados para a realização do ensaio de resistência à compressão axial permaneceram no tanque de cura até a data do ensaio, nas idades 7 e 28 dias. As únicas exceções foram os corpos de prova ensaiados com 1 dia, pois foram submetidos apenas à cura inicial. Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados de acordo com a NBR 5739:2007. Os corpos de prova foram previamente retificados (Figura 22) de acordo com a NBR 5738:2015, para proporcionar ao corpo de prova uma superfície plana, livre de ondulações.

Figura 22: Corpos de prova após a retificação



Fonte: Autor

Os ensaios foram realizados da seguinte forma, o corpo de prova era centralizado entre os pratos da prensa (Figura 23). Iniciou a aplicação do carregamento em velocidade constante sobre o corpo de prova. O carregamento só era cessado quando o corpo de prova apresentava ruptura (Figura 24) e/ou diminuição de carga.

Figura 23: Corpo de prova antes da ruptura



Fonte: Autor

Figura 24: Corpo de prova após da ruptura



Fonte: Autor

3.3.6. Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado somente aos 28 dias de idade, com oito corpos de prova por traço, realizado de acordo com a NBR 7222:2011. A preparação dos corpos de prova era realizada da seguinte forma: os corpos de prova eram retirados do tanque de cura, secos e na base e topo do corpo de prova era desenhada uma linha diametral, formando um plano axial entre elas. Os corpos de prova foram centralizados no equipamento, seguindo as orientações das linhas previamente desenhadas. Entre os corpos de prova e os pratos da prensa era posicionado duas tiras de fibra de madeira (Figura 25) com as dimensões de 3,5 mm de altura, 1,5 cm de largura e 20 cm de comprimento. Os pratos da prensa e os corpos de prova eram ajustados na posição correta e então era aplicada a carga continua a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa, até a ruptura do corpo de prova (Figura 26).

Figura 25: Ensaio de resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Autor

Figura 26: Corpos de prova após o ensaio de resistência à tração por compressão axial



Fonte: Autor

4. APRESENTAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Índice de atividade pozolânica da cinza de casca de arroz

Argamassa referência apresentou *flow table* médio de 234,33mm enquanto a argamassa com a substituição de 25% da massa do aglomerante por CCA apresentou *flow table* médio de 252,60mm, utilizando 2,5g de aditivo.

Os resultados de índice de atividade pozolânica (IAP), realizado com a cinza de casca de arroz moída por cinco minuto, utilizando o agregado graúdo do traço como carga de moagem são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Resultados das resistências à compressão médias das argamassas produzidas

Traço	Argamassa Referência	Argamassa com CCA moída
Resistência à compressão axial média (MPa)	27,45	22,17

Fonte: Autor

Segundo a NBR 12653:2014, para que determinado resíduo seja considerado material pozolânico é necessário o índice de atividade pozolana, calculado dividindo-se o valor médio de resistência da argamassa com CCA, pelo valor médio atingido pela argamassa referência, seja $\geq 90\%$. A argamassa em estudo obteve IAP de 81%, não sendo considerado, portanto, material pozolânico. Tal resultado foi semelhante ao valor encontrado por Pedroni (2016), a qual utilizou o mesmo tempo de moagem e obteve resultado de 89,25%, também não se caracterizando a CCA utilizada por ela como material pozolânico.

4.2. Concreto no estado fresco

4.2.1. Abatimento de tronco de cone

Todos os concretos em estudo atingiram o abatimento de tronco de cone fixado em (10 ± 2) cm, sem ultrapassar os limites de dosagem de aditivo indicado pelo fabricante, além disso, os concretos apresentaram uma mistura bem argamassada, coesa, sem a verificação de desagregação e exsudação. A Tabela 19 apresenta os resultados dos abatimentos de tronco de cone e o consumo de aditivo para cada traço.

Tabela 19: Resultado do abatimento de tronco de cone e consumo de aditivo

Traço	Abatimento de tronco de cone (cm) *	Consumo de aditivo (g)	Consumo de aditivo (%)
REF	9,50	0,00	0,00
CPP	8,00	0,00	0,00
CPB	8,00	134,85	0,20
CPB5	10,30	134,85	0,20
CPB10	10,50	337,12	0,50

* Média de três determinações

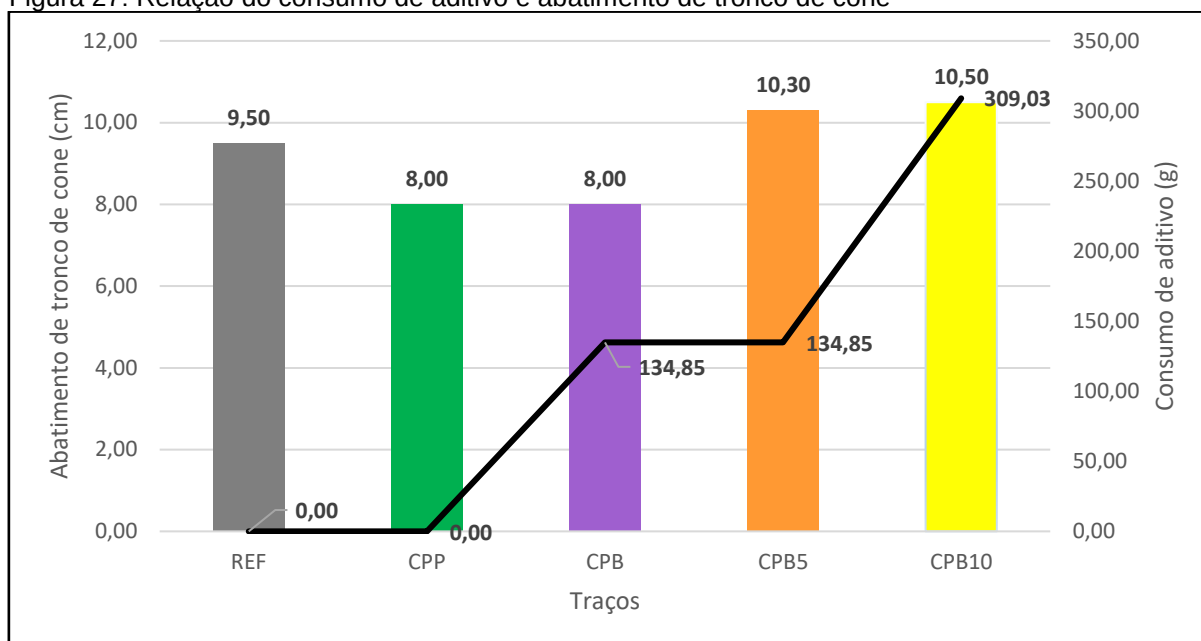
Fonte: Autor

É possível perceber que para os concretos REF e CPP não houve a necessidade do uso de aditivo para atingir o abatimento esperado. Porém quando se compara esses dois concretos fica claro que a utilização de resíduos reduz (de 9,5 para 8 cm) o abatimento do concreto. O PP utilizado possui granulometria mais fina e consequentemente maior superfície específica que a composição das areias “A” e “B” do concreto REF, ocasionando uma diminuição do abatimento.

Os concretos CPB e CPB5 consumiram o mesmo teor de aditivo, porém o concreto CPB5 apresentou abatimento superior ao CPB, isso ocorreu, pois, o aditivo age sobre as partículas mais finas da mistura. A inserção de CCA moída aumenta o teor de finos do concreto, contribuindo, dentro de certos limites, para maior ação do aditivo.

Assim como o esperado o concreto CPB10 foi o que mais consumiu aditivo, utilizando 62,5% da quantidade máxima de aditivo. Isso ocorreu porque esse concreto possui todos os resíduos dos concretos anteriores, 17% de PP, 8% de BPT além dos 10% CCA utilizados como adição. A Figura 27 resume o comportamento, no estado fresco, para os concretos produzidos, corroborando para uma maior demanda de aditivo à medida que aumenta a inserção de resíduos nas misturas.

Figura 27: Relação do consumo de aditivo e abatimento de tronco de cone



Fonte: Autor

4.2.2. Massa específica

Para a determinação da massa específica dos traços em estudo foram realizadas 12 determinações, sendo calculadas as suas médias, desvios-padrão e coeficiente de variação e não existindo de valores espúrios entre as amostras (Tabela 20).

Tabela 20: Massa específica dos concretos produzidos

Traço	Massa específica (kg/m³)	Desvio-padrão (kg/m³)	Coeficiente de Variação (%)
REF	2324,50	7,35	0,32
CPP	2324,54	19,88	0,86
CPB	2285,62	19,94	0,87
CPB5	2273,40	10,88	0,48
CPB10	2231,37	19,00	0,85

Fonte: Autor

Analisando os resultados obtidos é possível perceber que os concretos REF e CPP possuem massas específicas praticamente iguais, ou seja, a substituição parcial da Areia “A” por pó de pedra não influenciou significativamente em sua massa específica. Já os concretos CPB, CPB5 e CPB10, quando comparados ao concreto REF apresentaram diminuição em sua massa específica na ordem de 1,67%, 2,20% e 4,00% respectivamente. Essa diminuição ocorreu pela utilização dos resíduos, especialmente a BPT, que possui massa específica menor que os materiais originais.

Avaliando os concretos de um modo geral apenas as combinações do concreto REF/CPF e CPB/CPB5 foram considerados iguais. As demais combinações entre as massas específicas dos concretos se diferiram entre si.

4.3. Concretos no estado endurecido

4.3.1. Resistência à compressão axial

Neste item serão apresentados os resultados de todos os concretos produzidos avaliando seus desempenhos em cada idade. Vale lembrar que foram ensaiados 4 corpos de prova para as idades de 1 e 7 dias. A média de resistência para essas idades foram calculadas com três valores, excluindo-se sempre o menor valor obtido no ensaio.

Para a idade de 28 dias, como foram ensaiados 8 corpos de prova, foi analisada a presença de valor espúrio na amostra e os dados foram submetidos análise múltipla de médias proposta por Duncan (NANNI, 1986)².

4.3.1.1. Concreto referência - REF

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial de todas as idades do concreto REF são apresentados na Tabela 21 e na Figura 28. Para as idades de 1 e 7 dias, apesar de serem moldados quatro corpos de prova, o cálculo da resistência à compressão média foi calculada utilizando apenas três valores, excluindo o menor valor entre os corpos de prova avaliados. Para a idade de 28 dias as médias foram realizadas com oitos corpos de provas, não apresentando valor espúrio na amostra.

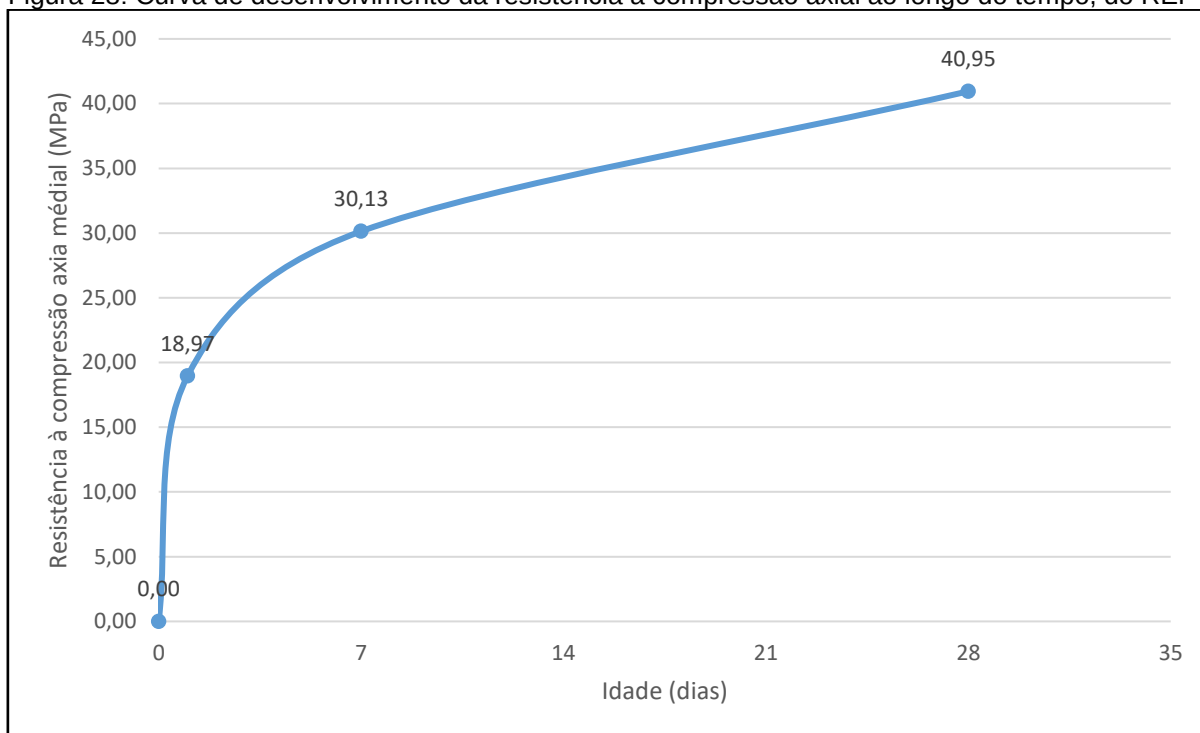
Tabela 21: Resultados de resistência à compressão axial médias do concreto REF

Idade (dias)	Resistência à compressão axial média (MPa)	Desvio-padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
1	18,97	1,08	5,69
7	30,13	1,10	3,64
28	40,95	1,46	3,57

Fonte: Autor

² Planilha desenvolvida pelo professor André Matte Sagave, M.Eng., UNIVALI, 2016.

Figura 28: Curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, do REF



Fonte: Autor

O valor de desvio-padrão para a idade de 28 dias ficou em 1,46MPa sendo classificado pela NBR 7212:2012, nível 1 enquanto que seu coeficiente de variação obteve valor de 3,57%, classificando como excelente, como prescrito na NBR 5739:2007.

Analisando o desenvolvimento de resistência do concreto REF percebe-se que o seu crescimento foi evoluindo gradualmente ao longo do tempo, conforme esperado, apresentando crescimento de 58,83% entre as idades de 1 e 7 dias, e de 35,91% entre as idades de 7 e 28 dias. Vale destacar que o acentuado ganho de resistências nas primeiras idades se deve a utilização do cimento CP-V ARI RS, com o qual obteve-se 18,97 MPa já no primeiro dia analisado.

4.3.1.2. Concreto com pó de pedra – CPP

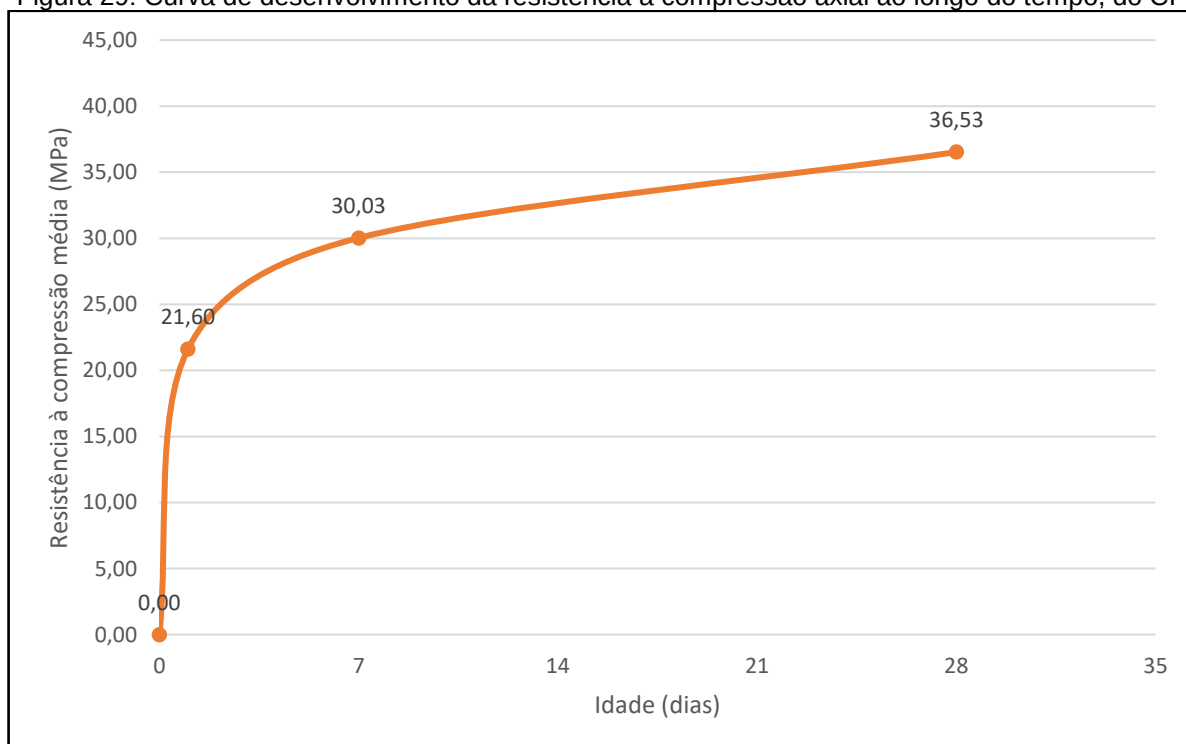
Os resultados obtidos de resistência à compressão axial do concreto CPP são apresentados na Tabela 22 e na Figura 29. Para as idades de 1 e 7 dias, as médias da resistência à compressão axial foi calculada utilizando apenas três valores, excluindo o menor valor entre os corpos de prova avaliados. Para a idade de 28 dias as médias foram realizadas com oitos corpos de provas, não apresentando valor espúrio na amostra.

Tabela 22: Resultados de resistência à compressão axial médias do concreto CPP

Idade (dias)	Resistência à compressão axial média (MPa)	Desvio-padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
1	21,60	0,85	3,96
7	30,03	0,99	3,30
28	36,53	1,20	3,28

Fonte: Autor

Figura 29: Curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, do CPP



Fonte: Autor

O valor de desvio-padrão para a idade de 28 dias ficou em 1,20MPa sendo classificado pela NBR 7212:2012, nível 1 enquanto que seu coeficiente de variação obteve valor de 3,28%, classificando como excelente, como prescrito na NBR 5739:2007.

A análise da curva de desenvolvimento do concreto CPP, mostra um ganho de 39,03% entre as idades de 1 e 7 dias e de 21,65% entre as idades de 7 e 28 dias.

Na idade de 1 dia o concreto CPP apresentou resistência de 21,60 MPa, 13,86% a mais que o concreto REF. Esse ganho de resistência na primeira idade se deve a um problema durante o rompimento do concreto CPP. Em decorrência dos horários de aulas do laboratório, os corpos de prova foram rompidos com 43 horas, superando as 24 horas previamente estipulada. Apresentando resultado superior ao concreto REF. Já para 7 dias as resistências entre os dois concretos foram

praticamente as mesmas, 30,13 MPa para o concreto REF e 30,03 MPa para o concreto CPP.

Aos 28 dias o concreto CPP não conseguiu atingir o f_{ck} de 40MPa, apresentando resistência média de 36,53 MPa. Desta forma, ficou 12,10% inferior à resistência média do concreto REF que foi de 40,95 MPa.

4.3.1.3. Concreto com pó de pedra e borracha de pneu - CPB

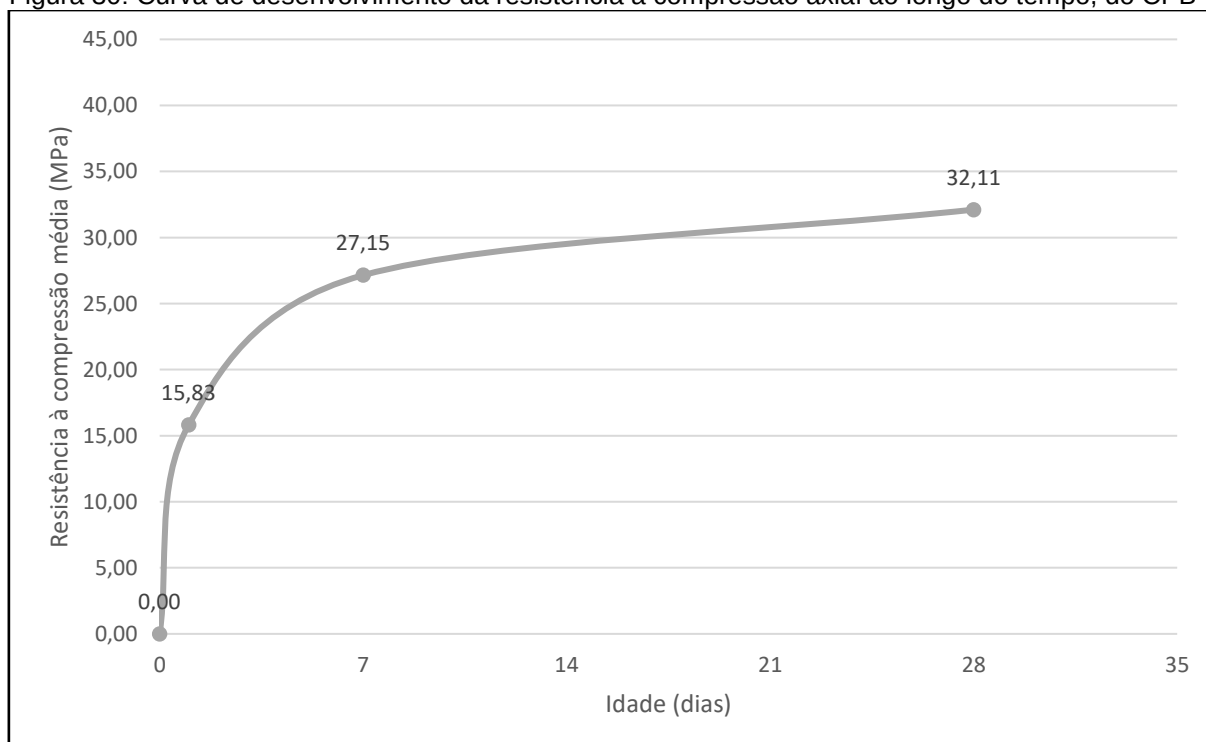
Os resultados obtidos de resistência à compressão axial do concreto CPB são apresentados na Tabela 23 e na Figura 30. Para as idades de 1 e 7 dias, a média da resistência à compressão axial foram calculada utilizando apenas três valores, excluindo o menor valor entre os corpos de prova avaliados. Para a idade de 28 dias as médias foram realizadas com oitos corpos de provas, não apresentando valor espúrio na amostra.

Tabela 23: Resultados de resistência à compressão axial médias do concreto CPB

Idade (dias)	Resistência à compressão axial média (MPa)	Desvio-padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
1	15,83	0,17	1,08
7	27,15	1,05	3,88
28	32,11	0,66	2,07

Fonte: Autor

Figura 30: Curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, do CPB



Fonte: Autor

O valor de desvio-padrão para a idade de 28 dias ficou em 0,66MPa sendo classificado pela NBR 7212:2012, nível 1 enquanto que seu coeficiente de variação obteve valor de 2,07%, classificando como excelente, como prescrito na NBR 5739:2007.

O desenvolvimento do concreto CPB, assim como os demais concretos, se deu de forma gradual, dentro do padrão esperado e obteve ganho de 71,51% entre as idades de 1 e 7 dias e de 18,27% entre as idades de 7 e 28 dias.

Para a idade de 1 dia o concreto CPB apresentou valor médio de resistência de 15,88 MPa, 19,46% a menos que a média do concreto REF e 36,02% a menos que a média do concreto CPP. Aos 7 dias essa queda da resistência ainda persistiu, obtendo valor médio de 27,15 MPa, ou seja, 10,98% a menos que a média das resistências do concreto REF (30,13 MPa) e 10,6% a menos que a médias das resistências do concreto CPP (30,03 MPa).

Para a idade de 28 dias, assim como o concreto CPP, não atingiu o f_{ck} fixada de 40 MPa, além disso apresentou o pior valor nessa idade entre todos os concretos estudados, obtendo apenas 32,11 MPa, 27,53% a menos que o concreto REF (40,95 MPa), e 16,47% a menos que o concreto CPP (37,40 MPa).

4.3.1.4. Concreto com pó de pedra, borracha de pneu e 5% de cinza de casca de arroz – CPB5

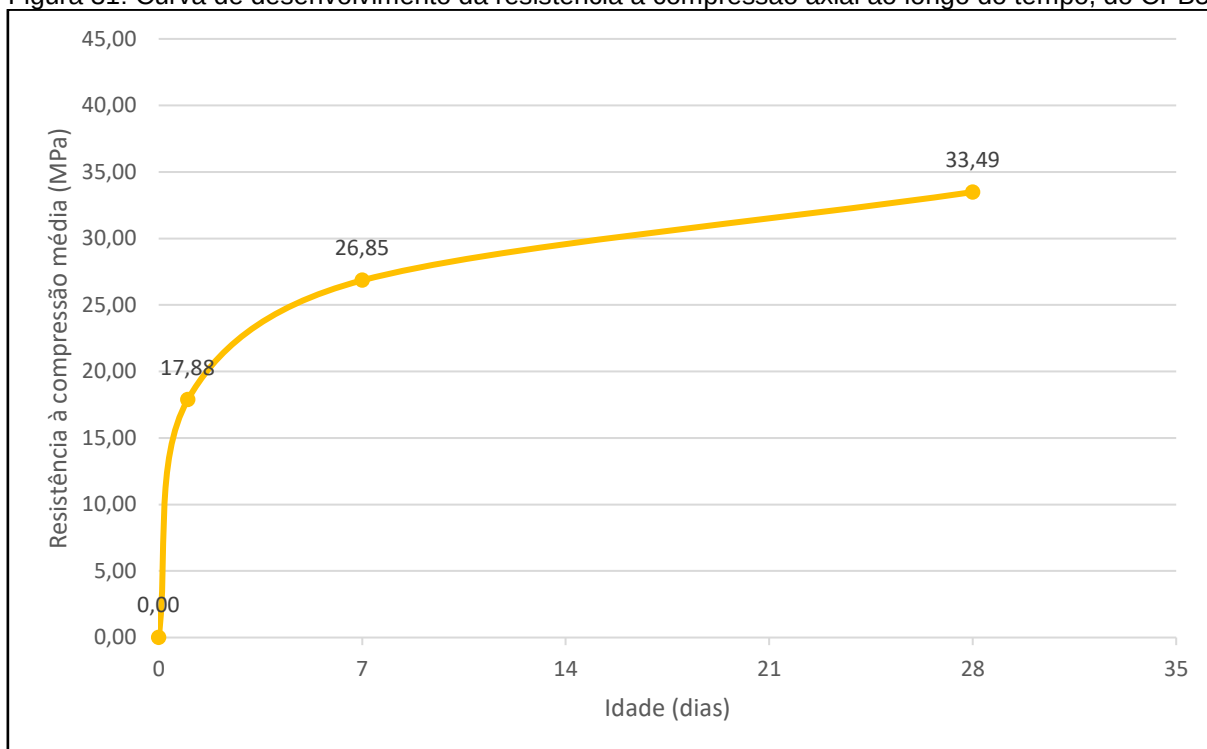
Os resultados obtidos de resistência à compressão axial do concreto CPB5 são apresentados na Tabela 24 e na Figura 31. Para as idades de 1 e 7 dias, as médias da resistência à compressão axial foi calculada utilizando apenas três valores, excluindo o menor valor entre os corpos de prova avaliados. Para a idade de 28 dias as médias foram realizadas com oitos corpos de provas, não apresentando valor espúrio na amostra.

Tabela 24: Resultados de resistência à compressão axial médias do concreto CPB5

Idade (dias)	Resistência à compressão axial média (MPa)	Desvio-padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
1	17,88	0,69	3,86
7	26,85	0,82	3,05
28	33,49	2,44	7,29

Fonte: Autor

Figura 31: Curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, do CPB5



Fonte: Autor

O valor de desvio-padrão para a idade de 28 dias ficou em 2,44MPa sendo classificado pela NBR 7212:2012, nível 1 enquanto que seu coeficiente de variação obteve valor de 7,29%, classificando como deficiente, como prescrito na NBR 5739:2007.

Avaliando o desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo do concreto CPB5 percebe-se que entre as idades de 1 e 7 dias, o concreto obteve um ganho de 50,17%, enquanto que entre as idades de 7 e 28 dias esse ganho não foi tão expressivo, obtendo apenas 24,73%.

Para a idade de 1 dia a resistência média atingida foi de 17,88 MPa, valor inferior aos concretos REF (18,97 MPa), CPP (21,60 MPa). Todavia, em relação ao concreto CPB (15,83%), obteve um ganho de aproximadamente 13%. Para a idade de 7 dias a média de resistência atingida foi de 27,40 MPa, apresentando decréscimo de aproximadamente 9,96% em comparação ao concreto REF, 7,3%. Quando comparado ao concreto com borracha – CPB, os valores obtidos foram praticamente iguais, ocorrendo uma perda mínima de 0,3 MPa (1,11%)

Para a idade de 28 dias, o concreto CPB5, assim como os demais concretos com resíduo, não atingiu a resistência estabelecida de 40 MPa, atingindo um valor

médio de 33,49 MPa, valor 26,31% inferior ao concreto REF (42,30 MPa), 9,08% menor que o concreto CPP (37,40 MPa) mas em relação ao concreto CPB (32,11 MPa) obteve um ganho de 4,3%.

4.3.1.5. Concreto com pó de pedra, borracha de pneu e 10% de cinza de casca de arroz – CPB10

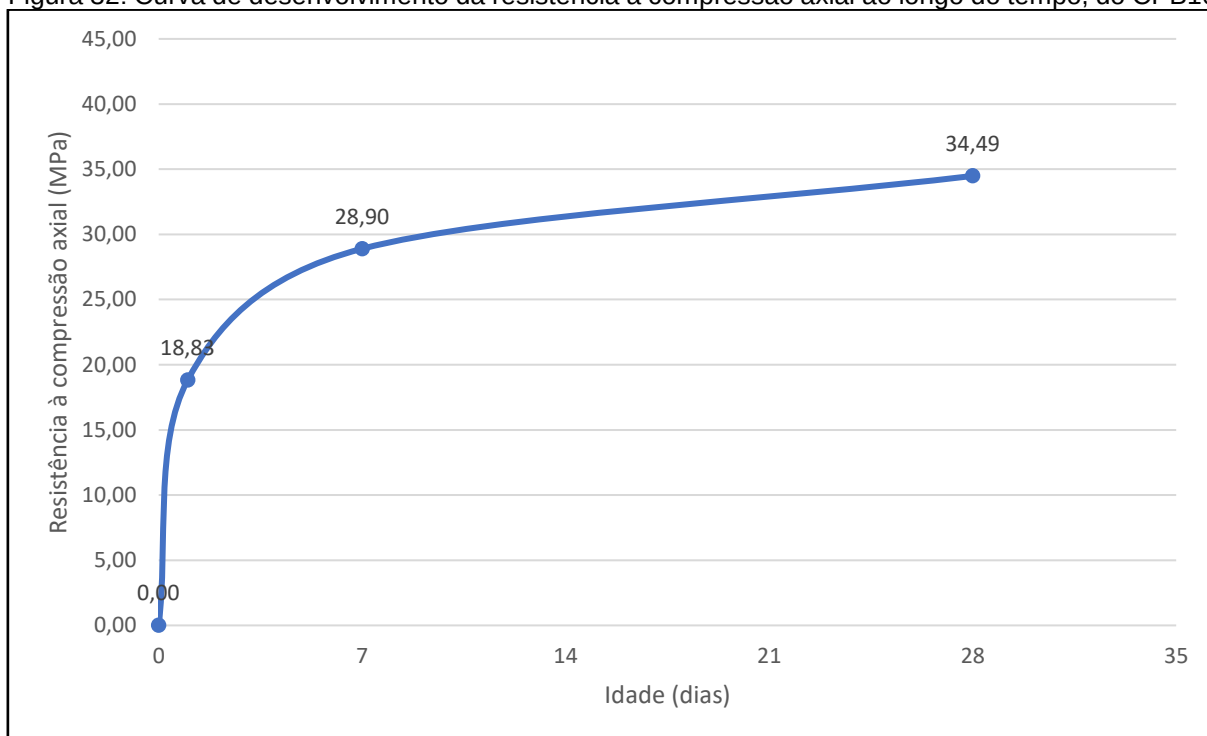
Os resultados obtidos de resistência à compressão axial do concreto CPB10 são apresentados na Tabela 25 e na Figura 32. Para a idade de 1 dia a média da resistência à compressão foi calculada com apenas três determinações, pois um dos valores obtidos estava agravando a média. Para a idade de 7 dias, a média da resistência à compressão axial foi calculada utilizando apenas três valores, excluindo o menor valor entre os corpos de prova avaliados. Para a idade de 28 dias as médias foram realizadas com oitos corpos de provas, não apresentando valor espúrio na amostra.

Tabela 25: Resultados de resistência à compressão axial médias do concreto CPB10

Idade (dias)	Resistência à compressão axial média (MPa)	Desvio-padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
1	18,83	0,92	4,90
7	28,90	0,71	2,45
28	34,49	3,19	9,26

Fonte: Autor

Figura 32: Curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, do CPB10



Fonte: Autor

O valor de desvio-padrão para a idade de 28 dias ficou em 3,19MPa sendo classificado pela NBR 7212:2012, nível 2 enquanto que seu coeficiente de variação obteve valor de 9,26%, classificando como deficiente, como prescrito na NBR 5739:2007.

Avaliando a curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial do concreto CPB10 é possível perceber o avanço de 53,47% entre as idades de 1 e 7 dias, apesar disso o seu crescimento entre as idades de 7 e 28 dias foi de 19,34%.

A resistência média obtida na idade 1 dia para o concreto CPB10 foi de 18,83 MPa, obtendo um ganho mínimo de 3,46% em comparação ao concreto REF (18,20 MPa), 18,95% maior que o concreto CPB (15,83 MPa) e 5,31 % superior ao concreto CPB5, porém sua resistência foi 14,71% inferior ao concreto CPP (21,60 MPa). Já para a idade de 7 dias apresentou resistência de 28,40 MPa, resistência 4,6% e 3,65% superior aos os concretos CPB (27,15 MPa) e CPB5 (27,40), porém para os concretos REF (30,13 MPa) e CPP (30,03 MPa) apresentou quedas percentuais de 9,96% e 9,60%.

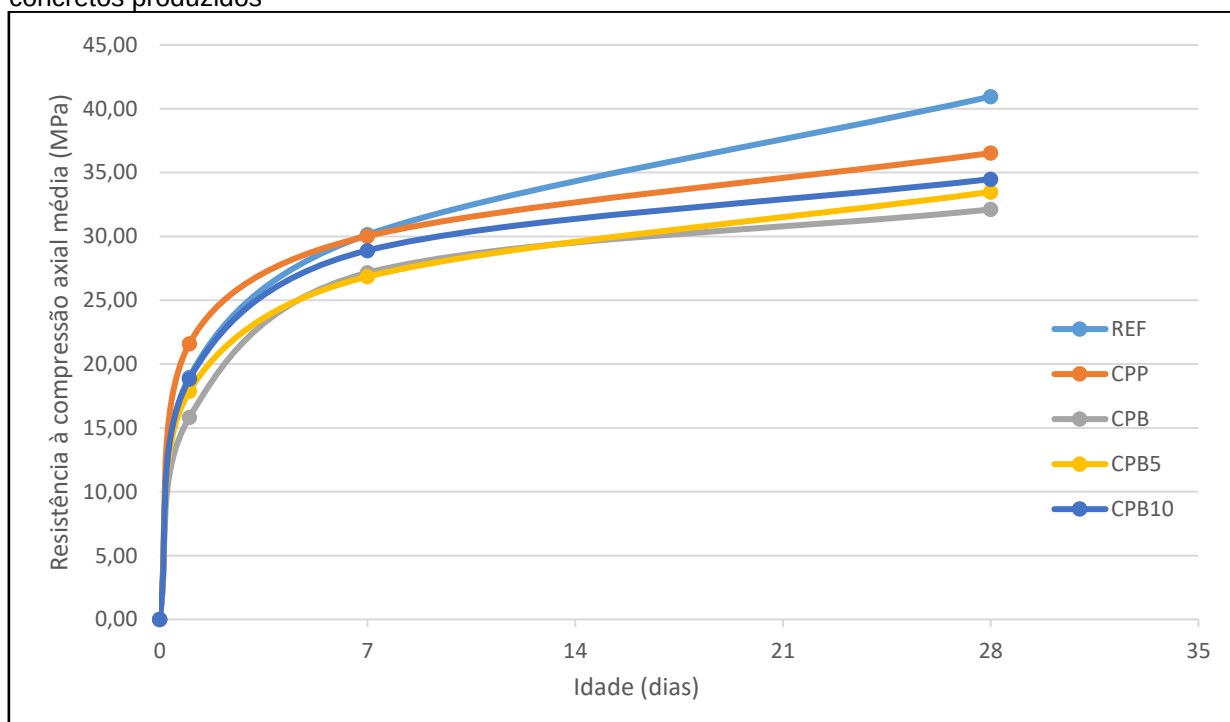
Avaliando o concreto CPB10 aos 28 dias, sua resistência à compressão axial não atingiu os 40 MPa fixados, obtendo apenas 34,49 MPa, sendo 18,73% inferior ao

concreto REF (40,95 MPa) e 5,91% menor que o concreto CPP. Já em relação aos concretos CPB (32,11 MPa) e CPB5 (33,40 MPa), o concreto CPB10 apresentou ganho de 7,41% e 3,26% respectivamente.

4.3.1.6. Comparativo entre os concretos

A Figura 33 apresenta o gráfico de desenvolvimento da resistência ao longo das idades em estudo, de todos os concretos produzidos.

Figura 33: Curva de desenvolvimento da resistência à compressão axial ao longo do tempo, dos concretos produzidos



Fonte: Autor

Realizando a análise múltipla de médias (NANNI, 1986) para a idade de 28 dias (ANEXO 15) pode-se afirmar que com 95% de confiança que o concreto REF difere de todos os outros, algo já esperado pois apenas esse concreto atingiu a resistência à compressão axial fixada em 40 MPa. Seguindo esse princípio o concreto CPP se difere do concreto CPBT, porém esses mesmos concretos quando avaliados separadamente com os concretos CPB5 e CPB10 não apresentam diferenças significativas.

Como já mencionado o concreto REF foi o único que atingiu a resistência esperada (40 MPa – classe C-40 da NBR 12655:2015), enquanto isso os concretos que utilizaram resíduos em sua composição se classificaram em classes inferiores. O

concreto CPP se caracterizou como sendo da classe de resistência 35 MPa enquanto isso os concretos CPB, CPB5 e CPB10 alcançaram resistências de acordo com a classe 30 MPa.

Analisando o concreto CPP, é visto que nas primeiras idades sua resistência foi superior a praticamente todos os concretos, porém a sua evolução ao longo do tempo foi diminuindo, sendo ultrapassado pelo concreto REF logo na idade de 7 dias. Por meio dessa análise é possível perceber que a utilização do pó de pedra na composição do concreto pode colaborar para os ganhos de resistência nas primeiras idades.

O concreto CPB, foi o concreto que obteve as piores resistências, quando analisado todas as idades. Logo na primeira idade seu desempenho foi 36,45% inferior ao concreto CPP, detentor na maior resistência. Apesar de possuir a maior evolução entre as idades de 1 e 7 dias (71,51%), chegando a ser o 3 melhor concreto na idade de 7 dias, na idade de 28 dias o CPB voltou a ser o concreto com a menor resistência. Os resultados obtidos pelo concreto CPB foram basicamente o esperado, pois como foi mencionado na fundamentação teórica, a utilização da borracha de pneu triturada em concretos leva à diminuição de sua resistência à compressão axial.

Quando avaliados os concretos CPB, CPB5 e CPB10 é visto a eficiência da CCA. Os concretos com sua incorporação obtiveram aumento de resistência em idade mais avançadas, nessa comparação logo na primeira idade os concretos com adição de 5 e 10% desse resíduo tiveram um ganho de 2 e 3 MPa em relação ao concreto CPB. O avanço das resistências é claro quando é analisado os desenvolvimentos desses concretos entre as idades de 7 e 28 dias. Os avanços adquiridos pelos concretos CPB5 e CPB10 foram de 24,73% e 19,34% enquanto o concreto CPB foi de apenas 18,27%

4.3.2. Tração por compressão diametral

A Tabela 26 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração por compressão diametral para os concretos avaliados.

Tabela 26: Comparativo entre as resistências à tração por compressão diametral

Traço	Resistência à tração Média (MPa)	Desvio-padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
REF	3,10	0,50	16,13
CPP	3,16	0,73	22,94
CPB	3,01	0,20	6,64
CPB5	2,91	0,56	19,42
CPB10	3,28	0,36	10,94

Fonte: Autor

Para a realização das médias das resistências a tração, nenhum dos valores foi considerado espúrio. Avaliando os desvios-padrão, para todos os traços ficaram inferior a 3 MPa, porém quando avaliamos o coeficiente de variação apenas o concreto CPP não possui confiabilidade em seu valor, sendo superior aos 20%.

Ao analisar as resistências encontradas percebe-se que não é possível estabelecer um padrão de resistência por quantidade e tipo de resíduo utilizado. O concreto que obteve maior resistência à tração foi o CPB10, atingido valor de 3,28 MPa em contrapartida o concreto CPB5, concreto que utiliza os mesmos resíduos que o concreto CPB10 obteve a menor resistência, resultando em apenas 2,91 MPa, 12,71% a menos.

Apesar do concreto REF apresenta a maior resistência à compressão axial, no ensaio de tração por compressão diametral apresentou somente 3,10 MPa, sendo apenas o terceiro melhor concreto nesse quesito. Os Concretos CPP e CPB apresentaram valores de 3,16 MPa e 3,01 MPa.

Quando realizada a análise múltipla de médias (NANNI, 1986), revela que com 95% de confiança que não há distinção alguma entre os concretos. Que estatisticamente todos os concretos não diferem entre si.

4.4. Viabilidade econômica dos concretos produzidos

Para a elaboração da viabilidade econômica dos concretos produzidos foram levados em conta apenas os custos de cada material constituinte, não sendo avaliados os gastos com equipamentos, manutenção, consumo de combustível dos caminhões betoneira entre outros. O preço dos agregados e os resíduos utilizados foram disponibilizados pelas empresas em que foram coletados. Os custos do cimento CPV ARI RS e o aditivos Tec-Mult 40 foram disponibilizados pelos próprios

fabricantes. Os valores usados são referentes ao mês de junho do presente ano. A Tabela 27, apresenta o custo de produção de 1m³ dos concretos em estudo.

Tabela 27: Custo de produção de 1m³ de concreto avaliado

Materiais									
Traço	Cimento	CCA	Areia A	Areia B	PP	BPT	Brita 0	Aditivo	TOTAL (R\$/m³)
	Preço (R\$)								
	0,42/kg	0,03/kg	42,00/m³	38,00/m³	44,00/m³	0,07/kg	37,00/m³	6,60/kg	
REF	169,26	-	7,01	11,38	-	-	24,54	-	212,18
CPP	169,26	-	3,56	11,38	3,20	-	24,54	-	211,94
CPB	169,26	-	3,20	11,38	3,20	3,98	24,54	5,37	220,93
CPB5	169,26	0,51	1,95	11,38	3,20	3,98	24,54	5,37	220,19
CPB10	169,26	1,02	1,95	11,38	3,20	3,98	24,54	12,30	227,63

Fonte: Autor

Avaliando os custos de cada concreto, é visto que apenas o concreto CPP obteve redução do seu valor de produção enquanto os demais ficaram acima do valor do concreto REF (R\$ 212,18). Os concretos com a mistura binária e ternária, tiveram elevação em seu custo na ordem de 3,77% para o concreto CPB5, 4,12% para o concreto CPB e 7,28% para o concreto CPB10.

Quando analisados somente os concretos com incorporação de resíduos, o concreto CPB5 é mais econômico, sendo R\$ 7,44 mais barato que o CPB10. Apesar do CPB10 possuir o custo de produção maior, a sua utilização traria grandes benefícios ambientais.

Como foi citado no item 4.3.1.6, os concretos com resíduos se classificaram em classes inferiores ao concreto referência. Portanto as tabelas 28 e 29 apresentam os custos dos concretos em comparação a concretos de mesma classe de resistência à compressão axial.

Tabela 28: Comparação de custo do concreto CPP à um concreto C35

Materiais										
Traço	Cimento	CCA	Areia A	Areia B	PP	BPT	Brita 0	Brita 1	Aditivo	TOTAL (R\$/m³)
	Preço (R\$)									
	0,42/kg	0,03/kg	42,00/m³	38,00/m³	44,00/m³	0,07/kg	37,00/m³	37,00/m³	6,60/kg	
REF 35	143,66	-	6,58	13,45	-	-	13,35	13,42	13,66	204,12
CPP	169,26	-	3,56	11,38	3,20	-	24,54	-	-	211,94

Autor

Tabela 29: Comparação de custo dos concretos CPB, CPB5 e CPB10 à um concreto C35

Materiais										
Traço	Cimento	CCA	Areia A	Areia B	PP	BPT	Brita 0	Brita 1	Aditivo	TOTAL (R\$/m³)
	Preço (R\$)									
	0,42/kg	0,03/kg	42,00/m³	38,00/m³	44,00/m³	0,07/kg	37,00/m³	37,00/m³	6,60/kg	
REF 30	129,08	-	6,92	14,14	-	-	13,28	13,34	12,28	189,04
CPB	169,26	-	3,20	11,38	3,20	3,98	24,54	-	5,37	220,93
CPB5	169,26	0,51	1,95	11,38	3,20	3,98	24,54	-	5,37	220,19
CPB10	169,26	1,02	1,95	11,38	3,20	3,98	24,54	-	12,30	227,63

Autor

Quando comparamos os concretos com resíduos com concretos de convencionais de mesma classe, percebe-se que a diferença de custos fica ainda mais elevada. O concreto CPP obteve resistência à compressão axial referente a classe C35, e quando comparado o seu custo de produção à um concreto convencional de mesma classe ocorre um aumento de 3,83%.

Para os concretos CPB, CPB5 e CPB10, foram classificados como classe C30, e com isso a sua diferença de custo para um concreto convencional foi ainda maior. A diferença de custos desses materiais foram as seguintes: o concreto CPB é 16,87% mais caro enquanto os concretos CPB5 e CPB10 são respectivamente 16,48% e 20,41% mais caro que um concreto convencional de mesma classe de resistência.

4.5. Seleção do melhor concreto produzido

Conforme descrito 1.2, a seleção do melhor concreto foi feita apenas para os traços em que utilização a mistura ternária de cinza de casca de arroz, pó de pedra e borracha de pneu tritura.

Avaliando os desempenhos dos concretos CPB5 e CPB10 em seu estado fresco, para atingir o abatimento de tronco de cone fixado em (10 ± 2) cm, ambos os concretos necessitaram a utilização de aditivo. Porém o concreto CPB10 utilizou mais que o dobro da quantidade de aditivo, necessária para a produção do concreto CPB5. Quanto a massa específica, os dois concretos apresentaram valores inferiores ao concreto REF. Entretanto concreto CPB5 foi o que mais se aproximou, obtendo apenas 2,20% de massa específica a menos que o concreto REF.

No estado endurecido foram avaliados o desempenho dos concretos perante aos resultados apresentados nos ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral. Com relação a resistência à

compressão axial aos 28 dias, quanto a análise múltipla de média, a partir do teste de Duncan (NANNI, 1986), estatisticamente e com 95% de confiança ambos os concretos não diferem entre si, apresentando os mesmos resultados. Para os resultados da resistência à tração por compressão diametral, assim como sua resistência a compressão axial, estatisticamente ambos os concretos não se diferem entre si.

Analisando a viabilidade econômica desses concretos percebe-se que os dois possuíram valores superiores ao REF. O concreto CPB5 é mais viável economicamente, possuindo um custo de produção de R\$ 7,44 mais barato que o concreto CPB10, porém o concreto CPB10 possui em sua composição, maior quantidade de resíduo incorporado tornando o concreto mais viável a cunho ambiental.

Por fim, não é possível determinar qual dos concretos com a composição ternária de resíduos é o melhor perante aos parâmetros da pesquisa. Ambos os concretos não apresentaram resultados expressivos entre si, que justifique sua escolha como o melhor concreto produzido. Para tal escolha, seria necessário a realização de mais ensaios, como a durabilidade dos concretos e avaliar as suas resistências em idades mais avançadas, para que seja possível ocorrer diferença significativas entre os concretos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa teve início com a realização dos ensaios de caracterização dos materiais constituintes do concreto referência (agregados miúdos e agregado graúdo). O traço referência possui uma composição de duas areias, nas proporções de 35% de areia “A” e 65% de areia “B”. Quanto a granulometrias dos agregados miúdos, a areia “A” não se enquadrou nos limites prescritos pela NBR 7211:2009, entretendo a areia “B” se enquadrou na zona utilizável da norma. A composição das duas areias também se enquadrou na zona utilizável da NBR 7211:2009. O agregado graúdo utilizado não se enquadrou em nenhum dos limites propostos pela norma.

Posteriormente foram realizados os ensaios de caracterização dos resíduos. O pó de pedra utilizado como substituto parcial da areia “A”, isoladamente não se enquadrou nos limites propostos pela NBR 7211:2009, porém quando combinado com as areias, enquadrou o material na zona utilizável. A borracha de pneu triturada, assim como o pó de pedra, quando analisada separadamente, não se enquadra nos limites da norma, porém quando analisada a composição do traço CPB, a sua distribuição granulométrica se enquadrou na zona utilizável da NBR 7211:2009.

Para a etapa de produção dos concretos, todos atingiram o abatimento de tronco de cone fixado em (10 ± 2) cm, sendo que os concretos REF e PP não necessitaram a utilização de aditivo enquanto os demais concretos houve a incorporação de aditivo, porém valores menores que o limite de dosagem indicado pelo fabricante. Quanto a massa específica, o concreto CPP e REF apresentaram a mesma massa específica, enquanto os demais concreto apresentaram diminuição de sua massa em comparação ao concreto REF.

Quanto ao estado endurecido, nenhum concreto com incorporação de resíduo atingiu o f_{ck} de 40 MPa inicialmente pretendido, sendo classificados de resistência inferior. O concreto CPP foi o que mais se aproximou da resistência esperada aos 28 dias, seguido pelos concretos CPB10, CPB5 e CPB.

Percebe-se que a utilização dos resíduos influenciou diretamente nas resistências dos concretos. O pó de pedra, quando utilizado como único resíduo incorporado ao traço mostrou bons resultados logo nas primeiras idades, superando a resistência do concreto REF, porém não apresentou grandes avanços a partir dos 7

dias. A borracha de pneu triturada ocasionou em grandes perdas de resistências em todas as idades avaliadas quando comparados ao concreto REF. Os traços que utilizaram a borracha como resíduo atingiram as piores resistências entre todos os concretos avaliados.

A eficiência da cinza de casca de arroz para o aumento da resistência do concreto foi comprovada. Embora estatisticamente os concretos CPB, CPB5 e CPB10 serem considerado iguais, os concretos que utilizaram a CCA em sua composição obterão ganho em sua resistência.

Quanto a resistência à tração por compressão diametral estatisticamente todos os concretos foram considerados iguais nesse quesito. Porém não é possível determinar se a incorporação dos resíduos influenciou nos resultados obtidos. O CPB10, traço na qual possui a maior quantidade de resíduo incorporado, foi o concreto que obteve os melhores valores em contrapartida o concreto CPB5 obteve a pior resistência.

A viabilidade econômica da produção desses traços indica que apenas para o concreto com pó de pedra houve redução de custos. Os demais concretos, em virtude da utilização da borracha de pneu triturada e a adição de cinza de casca de arroz exigiram uma demanda maior de aditivo, o que resultou no aumento do custo final. Os concretos CPB5 e CPB10 se comparados ao concreto REF foram de 3,77% e 7,28%, respectivamente, mais caros.

No presente trabalho não foi possível determinar qual concreto com a mistura ternária de cinza de casca de arroz, pó de pedra e borracha de pneu tritura foi o melhor concreto. Os dois concretos produzidos apresentaram resultados semelhantes não havendo diferenças significativas que justificasse tal escolha.

Para trabalhos futuros recomenda-se avaliar o desempenho dos concretos com mistura ternária, em idades mais avançadas, pois concretos com a inserção da cinza de casca de arroz, apresentam melhores resultados ao longo do tempo. Já visto que até a idade de 28 dias não foi possível determinar qual concreto foi o melhor dentro do parâmetro da pesquisa. Além disso é importante realizar o ensaio de durabilidade nos concretos com a mistura ternária.

Sugere-se ainda a utilização de teores maiores de adição de cinza de casca de arroz, pois apesar que os concretos CPB5 e CPB10 serem estatisticamente iguais, analisando seus valores de resistência à compressão axial, o concreto CPB10 apresentou resultado superior. Juntamente com a utilização de teores maiores de CCA é importante avaliar qual a influência trará aos concretos a utilização de tempos maiores de moagem, analisando se a resistência obtida compensaria o gasto energético adicional.

A borracha de pneu triturada, para o presente trabalho, foi a grande vilã quando avaliado a perda de resistência dos concretos. Para trabalhos futuros é recomendável utilizar teores inferiores aos 8% utilizados, visto que a perda de resistência foi expressiva. Cabe ainda destacar que a BPT também influencia no módulo de elasticidade do concreto, (Padilha, Santos 2015, Pedroni, 2016), sendo indicado, também a análise dessa propriedade em misturas ternárias para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Salvador Luiz M. de; SAMPAIO, João Alves; SILVA, Valesca da Silveira. **Produção de areia artificial com base em finos de brita de granito**. Rio de Janeiro: Cetem - Centro de Tecnologia Mineral, 2005. 7 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 494: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. West Conshohocken, Pensilvânia, Eua, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732**: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

_____. **NBR 5733**: Cimento Portland de Alta Resistência. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

_____. **NBR 5735**: Cimento Portland de Alto Forno. Rio de Janeiro, 1991. 6 p.

_____. **NBR 5736**: Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

_____. **NBR 5737**: Cimento Portland Resistente a Sulfatos. Rio de Janeiro, 1992. 4 p.

_____. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

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

_____. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014. 4 p.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

_____. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central — Procedimento. Rio de Janeiro, 2012. 16 p.

_____. **NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

_____. **NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008. 11 p.

_____. **NBR 9935**: Agregados. Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 11578**: Cimento Portland composto - Especificação. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

_____. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011. 19 p.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015. 23 p.

_____. **NBR 12989**: Cimento Portland Branco. Rio de Janeiro, 1993. 5 p.

_____. **NBR 16605:2017**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017. 4 p.

_____. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

_____. **NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009. 6 p.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009. 8 p.

_____. **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. 6 p.

BARBOSA, Michele Beniti. **Utilização de resíduos de cinza de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho**. 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

BAUER, L.A. Falcão; NORONHA, M.A. Azevedo; BAUER, R.J. Falcão. Uso de aditivos no concreto IN BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2015. 488 p.

BÚRIGO, B. Viabilidade de produção de concreto com menor consumo de cimento. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2011.

CIMENTO ITAMBÉ. RELATÓRIO DE ENSAIOS DE CIMENTO. 2017. 1 p

CORDEIRO, Guilherme Chagas; TOLEDO FILHO, Romildo Dias; FAIRBAIRN, Eduardo de Moraes Rego. Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p.99-107, out./dez. 2009.

DUARTE, João Batista. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto de cimento Portland**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado)

- Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

GUARDIANO, Bruna Carolina. **Estudo e avaliação de concretos produzidos com resíduos de borracha de pneu e adição de cinza de casca de arroz**. 2013. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2013.

GRIGOLI, H. B. et al. Emprego do pó de pedra proveniente de diferentes britadores na produção do concreto. *Concreto*, São Paulo, n. 65, p. 25-31, jan./fev./mar. 2012.

ISAIA, Geraldo Cechella et al. Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural. Parte I: propriedades mecânicas e microestrutura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p.121-137, jan/mar 2010.

LIMBERGER, Karoline Parsianello. **Inserção de resíduos no concreto: cinza de casca de arroz e borracha de pneu triturada**. 2015. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2015.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 2014. 573 p.

MENEZES, A. J. R.; MORAIS, M. V.; CABRAL, A. E. B. **Análise do concreto autoadensável com substituição parcial de areia natural por areia de britagem**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 56., 2014, Natal. Anais...Natal: IBRACON, 2014. p. 1-16.

MENOSSE, Rômulo Tadeu. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Ilha Solteira, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Relatório de Pneumáticos Resolução CONAMA nº 416/09**. Brasília: Ibama, 2013.

MOROSINI, F. **A guerra dos pneus**. In: Seminário de inauguração da Casoteca Latino-Americana de Direito e Política Pública. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2006. Cap. 1. p. 66-90.

NANNI, L. F. **Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais**. 1996. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.

PADILHA, V.Z.; SANTOS, S. Utilização de cinza de casca de arroz e borracha de pneu triturada na produção de concreto. In: Congresso Brasileiro do concreto, 57., 2015, Bonito. **Anais...** Bonito: IBRACON, 2015.

_____. **Análise da resistência mecânica e durabilidade de concretos de resistências ordinárias produzidos com cinza de casca de arroz e pó de pedra.** 2016. 174 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2016.

PEDRONI, Gabriella Contesini. **Avaliação de elementos estruturais produzidos a partir de concreto com incorporação de resíduos.** Trabalho de Iniciação Científica. Curso de Engenharia Civil. Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Itajaí, jun., 2016

PEDRONI, Gabriella Contesini; SANTOS, Sílvia. Utilização de cinza de casca de arroz e borracha de pneu triturada na produção de concreto de alto desempenho. *In: Congresso Brasileiro do concreto*, 58., 2016, Belo Horizonte. **Anais...** Bonito: IBRACON, 2016.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto: Material Construtivo Mais Consumido no Mundo**, São Paulo, v. 53, p.14-19, Jan./Fev./Mar 2009. Trimestral.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland.** 11. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987. 307 p.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P.. **ESTRUTURAS DE CONCRETO.** São Paulo: Usp, 2004. 80 p.

PROBST, Camilla Ariane. **Viabilidade de produção de concreto com uso de resíduo de borracha de pneu.** 2011. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2011.

SANTOS, Sílvia. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos.** 1997. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

_____. **Produção e avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho.** 2006. 288 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SATHAWANE, Satish H.; VAIRAGADE, Vikrant S.; KENE, Kavita S. Combine Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on Concrete by 30% Cement Replacement. **Procedia Engineering**, v. 51, p.35-45, 2013.

TASHIMA, Mauro Mitsuchi. **Cinza de Casca de Arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland.** 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

VARELA, Artur Jacques Delfes; JACQUES, Giuliano. **Substituição parcial de agregado miúdo natural por pó de pedra na produção de concreto.** 2015. 106 f.

TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2015.

VERÇOZA, Enio José. **Materiais de construção**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra, 1987. 196 p.

VOTORANTIM CIMENTOS, (Org.). Boletim de ensaios de cimento. Rio Branco:, 2017. 1 p.

ANEXOS

Anexo 1 – Laudo completo do CP-V ARI RS, disponibilizado pela fabricante Votorantim Cimentos.

Boletim de Ensaios de Cimento															
Votorantim Cimentos															
Atualizado em:		05/05/2017			Produto:		CPV-ARI-RS Obras Especiais			Norma:		NBR 5733 e NBR 5737			
Mês e ano de referência		abr/17			Marca:		Votoran			Unidade:		Rio Branco			
Ensaio	Químicos				Físicos e mecânicos										
	Teores (%)				Finura(%)		Blaine	Aguar de coneiet (%)	Tempo Pega		Expansão a quente (mm)	Resist.à Compressão (MPa)			
	PF	MgO	SO3 para C3A>8	RI	#200	#325	(cm²/g)	consist.(%)	Início (min)	Fim (min)		1 Dia	3 Dias	7 Dias	28 Dias
Límites de Norma	≤ 4,5	≤ 6,5	≤ 4,5	N/A	≤ 6,0	N/A	≥ 3000	N/A	≥ 60	≤ 600	≤ 5,0	≥ 11,0	≥ 24,0	≥ 34,0	N/A
01/04/2017															
02/04/2017															
03/04/2017	3,6	5,5	3,2	14,5	0,2	1,1	4990	30,1	220	280	0,5	22,5	33,5	39,5	51,1
04/04/2017	4,0	5,9	3,2	8,5	0,3	2,5	4790	29,7	210	270	0,5	21,5	32,1	39,2	48,2
05/04/2017	3,8	5,6	3,1	9,8	0,0	0,9	5020	30,0	220	280	0,0	22,1	32,3	40,9	49,1
06/04/2017	3,7	5,7	3,2	8,2	0,1	1,7	4940	29,8	210	270	0,0	22,1	35,0	40,7	
07/04/2017	4,1	5,6	3,2	10,5	0,1	1,2	4970	29,8	210	270	0,5	22,5	33,3	40,0	
08/04/2017															
09/04/2017															
10/04/2017	3,5	5,7	3,1	14,0	0,1	1,3	4920	29,9	215	275	1,0	22,0	32,2	39,2	
11/04/2017	3,4	5,7	3,2	12,7	0,1	0,7	5020	29,8	220	280	1,0	24,3	34,4	40,7	
12/04/2017	3,3	5,7	3,2	10,9	0,1	0,7	4990	30,0	220	280	0,5	24,0	34,0	40,3	
13/04/2017	3,6	5,6	3,2	12,1	0,1	1,1	4990	29,8	210	270	0,5	23,4	34,6	40,6	
14/04/2017															
15/04/2017															
16/04/2017															
17/04/2017	3,4	5,6	3,1	13,6	0,0	0,6	4920	30,4	225	285	1,0	23,0	34,0	41,2	
18/04/2017	3,3	5,4	3,1	12,1	0,1	1,1	4920	30,3	230	290	0,0	24,1	33,1	40,5	
19/04/2017	3,6	5,6	3,1	12,1	0,2	1,6	4790	29,8	225	285	0,0	21,7	32,2	40,5	
20/04/2017	3,3	5,5	3,1	13,3	0,1	1,2	4840	30,0	240	300	0,0	21,3	33,6	38,8	
21/04/2017															
22/04/2017															
23/04/2017															
24/04/2017	3,3	5,5	3,0	11,9	0,1	1,2	4890	29,9	230	290	1,0	21,4	32,0	39,3	
25/04/2017	3,2	5,6	3,1	10,9	0,1	0,9	4970	29,6	220	280	0,0	22,5	32,0	40,6	
26/04/2017	3,3	5,5	3,2	12,2	0,1	1,1	4940	29,8	230	290	0,0	21,6	31,9	39,0	
27/04/2017	3,3	5,4	3,1	13,6	0,0	0,7	4890	29,6	225	285	0,0	21,0	32,3		
28/04/2017	3,2	5,6	3,1	13,3	0,0	0,8	4920	30,0	240	300	1,0	21,3			
29/04/2017															
30/04/2017															
01/05/2017															
Média	3,5	5,6	3,1	11,9	0,1	1,1	4928	29,9	222	282	0,4	22,3	33,1	40,1	49,5
Desvio Padrão	0,3	0,1	0,1	1,8	0,1	0,5	69	0,2	9	9	0,4	1,0	1,0	0,8	1,5
Mínimo	3,2	5,4	3,0	8,2	0,0	0,6	4790	29,6	210	270	0,0	21,0	31,9	38,8	48,2
Máximo	4,1	5,9	3,2	14,5	0,3	2,5	5020	30,4	240	300	1,0	24,3	35,0	41,2	51,1

Observações:

ME= 3,02 g/cm³


Abílio Estevão Galli Junior

Nome
Responsável Controle de Qualidade
Votorantim Cimentos S/A



Thomas Rheingger

Nome
Gerente da Fábrica
Votorantim Cimentos S/A

Central de Relacionamento com o Cliente: Capitais 4003 9894 | Demais localidades 0800 701 9894
Serviço de Atendimento ao Consumidor: 0800 701 9898
Site: www.vcimentos.com.br

Anexo 2 – Laudo completo do CP-II F 32, disponibilizado pela fabricante Cimentos Itambé.



TIPO / CLASSE : **CP II-F-32**

RELATÓRIO DE ENSAIOS DE CIMENTO

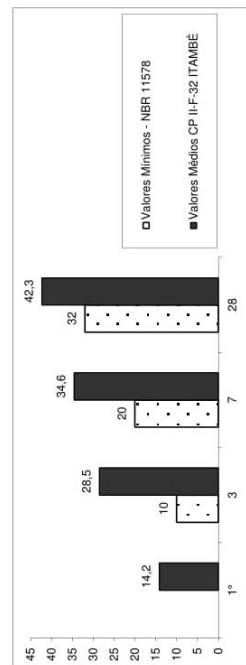
PERÍODO : mar/17
EMISSÃO : 03/05/17

Data	Químicos										Físicos									
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Perda Fogo	CaO Livre	Resid. Insol.	Equiv. Alcal.	Exp. Quente	Tempo de Pega		Blaine	# 200	# 325	Resistência à Compressão			
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		h : min	h : min				Fim	1 dia	3 dias	7 dias
02	4.13	18.27	3.03	61.00	3.62	2.68	5.07	0.50	1.02	0.64	0.00	03:50	04:30	3.430	1.40	10.70	14.2	30.1	37.1	44.6
06	4.21	18.51	3.03	60.73	3.40	2.76	4.62	0.39	1.20	0.67	0.50	03:45	04:30	3.320	2.20	13.00	14.1	29.9	36.7	43.0
08	4.08	18.41	3.02	60.54	3.34	2.76	4.53	0.50	0.99	0.66	0.00	03:50	04:30	3.270	2.50	13.10	15.5	31.0	35.1	43.8
10	4.23	18.57	2.87	60.90	3.49	2.79	4.74	0.56	1.00	0.67	0.50	03:50	04:30	3.390	2.00	12.40	15.2	31.0	36.3	43.6
14	4.32	18.69	2.87	60.72	3.77	2.81	4.67	0.53	1.04	0.69	0.00	03:40	04:30	3.380	2.40	13.30	15.1	28.8	35.3	42.2
16	4.24	18.76	2.89	61.09	4.07	2.75	4.76	0.79	0.88	0.68	0.00	03:50	04:30	3.220	2.70	13.70	13.3	26.4	31.3	40.1
20	4.17	18.61	2.81	60.80	4.05	2.73	4.72	0.79	0.96	0.68	0.00	04:00	04:45	3.200	2.60	14.10	13.1	24.9	31.7	40.1
22	4.22	18.67	2.98	61.07	3.90	2.77	4.69	0.90	1.59	0.67	0.00	03:50	04:30	3.350	1.80	14.30	14.4	27.5	33.9	42.0
24	4.17	18.64	2.93	61.14	3.98	2.81	4.63	0.79	1.18	0.68	0.00	03:45	04:30	3.390	2.90	14.30	13.7	27.3	33.3	42.4
28	3.99	18.10	2.75	60.02	3.24	2.81	4.75	0.87	1.07	0.68	0.00	03:25	04:00	3.310	1.80	12.70	13.2	28.8	34.9	41.1
30	3.95	18.14	2.83	59.87	3.27	2.80	4.51	0.73	1.85	0.68	0.50	03:20	04:00	3.250	2.00	12.80	14.2	27.8	34.8	42.6
Media	4.16	18.49	2.91	60.72	3.65	2.77	4.70	0.67	1.16	0.67	0.14	03:44	04:26	3.319	2.21	13.13	14.2	28.5	34.6	42.3
Sd	0.11	0.23	0.10	0.42	0.32	0.04	0.15	0.18	0.30	0.01	0.23	00:12	00:14	0.2	76.35	0.45	1.04	0.8	1.9	1.4
Min	3.95	18.10	2.75	59.87	3.24	2.68	4.51	0.39	0.88	0.64	0.00	03:20	04:00	3.200	1.40	10.70	13.1	24.9	31.3	40.1
Max	4.32	18.76	3.03	61.14	4.07	2.81	5.07	0.90	1.85	0.69	0.50	04:00	04:45	3.430	2.90	14.30	15.5	31.0	37.1	44.6

Obs.: A Norma da ABNT não prevê a determinação da Resistência à Compressão a um dia para o CP II-F-32.

A massa específica média do CP II-F-32 ITAMBÉ é 3,08 g/cm³ (NBR NM 23).

As datas do relatório se referem ao dia de expedição do cimento.



Anexo 3 – Laudo completo do aditivo Tec-Multi 40, disponibilizado pela fabricante Grace RheoSet.

TECMULT LINHA 900 FICHA TÉCNICA				
Linha de Produtos Tec-Mult Linha 900	Recomendações técnicas para aplicação	Dosagem recomendada para cada 100 Kg de cimento (*)	Aspectos / cor	Massa específica (ABNT 10908)
TEC MULT 40	Excelente poder dispersante permitindo grande redução da relação água/cimento e aumento de resistências iniciais e finais.	0,4 a 0,8%	Líquido amarelo a ambar	1,08 ± 0,02 g/cm3
TEC MULT 45	Produto especialmente desenvolvido para cimentos com adições. Prolongada manutenção de abatimento no concreto e com incremento de resistências finais.	0,4 a 0,8%	Líquido amarelo a ambar	1,08 ± 0,02 g/cm3

OBSERVAÇÕES

(*) Recomendamos a realização de ensaios prévios de laboratório e/ou campo para a determinação do teor ideal de aditivo a ser utilizado

Esperamos que as informações fornecidas aqui sejam úteis. Elas se baseiam em dados e conhecimentos considerados verdadeiros e precisos, e são oferecidas para consideração, pesquisa e verificação por parte do usuário, mas nós não garantimos os resultados a serem obtidos. Solicitamos que o usuário leia todas as declarações, recomendações ou sugestões juntamente com as nossas condições de venda, que se aplicam a todas as mercadorias que fornecemos. Nenhuma declaração, recomendação ou sugestão é destinada a qualquer uso capaz de infringir qualquer patente ou direito autoral. W. R. Grace & Co.-Conn., 62 Whittemore Avenue, Cambridge, MA 02140 (EUA). No Canadá: Grace Canada, Inc., 294 Clements Road, West, Ajax, Ontario, Canada L1S 3C6. Estes produtos podem estar cobertos por patentes ou patentes pendentes.

MRWR_TECMULT_1_BR JAN-2014

GRACE

Central de Atendimento ao Cliente (15) 3235-4781 - E-mail: pedidos@grace.com - Site: www.graceconstruction.com

Anexo 4 – Laudo completo do aditivo ADVA CAST 525, disponibilizado pela fabricante Grace RheoSet.

Dosificação

ADVA™ CAST 525 é um aditivo líquido pronto para o uso. Sua dosagem pode ser ajustada de acordo com aplicação, podendo variar de 0,15 a 0,8% sobre a massa de cimento.

Algumas condições podem requerer maiores dosificações do que o recomendado, porém estas devem ser indicadas pelo seu representante técnico **GRACE**.

Para aplicações de Concreto Auto-Adensável, é necessário realizar alguns ensaios prévios para determinar a dosificação otimizada do aditivo e do traço de concreto.

Fatores que influenciam na otimização da dosagem são os componentes da mistura do concreto, graduações dos agregados, forma geométrica e configurações dos reforços.

Consulte seu representante **GRACE Construction Products** para assistência quanto aos estudos de dosagem para o desenvolvimento do concreto Auto-Adensável.

Compatibilidade com os outros Aditivos

ADVA™ CAST 525 é compatível com todos os aditivos **GRACE**, incluindo os incorporadores de ar.

QUANDO UTILIZAR COMBINAÇÕES DE ADITIVOS ESTES DEVEM SER ADICIONADOS SEPARADAMENTE AO CONCRETO.

Características Principais

Tipo de produto: superplastificante

Aspecto: Líquido

Cor: Líquido amarelo claro

Validade: 1 ano

Massa específica: 1,06 kg/m³.

Fornecimento: O **ADVA™ CAST 525** é embalado em tambores de 220 kg, contentores de 1000 kg ou a granel.

Não contém cloreto.

Assistência Técnica

O departamento técnico da **Grace Construction Products** está a disposição de nossos clientes para o acesoramento e ensaios para otimizar as dosificações.

www.graceconstruction.com

Central de Atendimento ao Cliente - GRACE BRASIL LTDA.

Tel. (15) 3235-4734 / 3235-4781

e-mail: sac.gcpbrasil@grace.com

Esperamos que as informações fornecidas aqui sejam úteis. Elas se baseiam em dados e conhecimentos considerados verdadeiros e precisos, e são oferecidas para consideração, pesquisa e verificação por parte do usuário, mas nós não garantimos os resultados a serem obtidos. Solicitamos que o usuário leia todas as declarações, recomendações ou sugestões juntamente com as nossas condições de venda, que se aplicam a todas as mercadorias que fornecemos. Nenhuma declaração, recomendação ou sugestão é destinada a qualquer uso capaz de infringir qualquer patente ou direito autoral. W. R. Grace & Co.-Conn., 62 Whittemore Avenue, Cambridge, MA 02140 (EUA). No Canadá: Grace Canada, Inc., 294 Clements Road, West, Ajax, Ontario, Canada L1S 3C6.

Estes produtos podem estar cobertos por patentes ou patentes pendentes.

copyright 2004. W.R. Grace & Co. - Conn.

Impresso no Brasil

GRACE

Anexo 5 – Média sem valor espúrio, na determinação da massa específica do concreto REF.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	2325,23	média	2324,50
2	2320,59	Desvio padrão	7,35
3	2324,16	C.V.	0,32
4	2336,38		
5	2313,58	maior	2336,38
6	2315,31	menor	2313,58
7	2332,32	M+20%	2789,40
8	2315,67	M-20%	1859,60
9	2333,01		
10	2323,09		
11	2325,85		
12	2328,83		
13			
14			
15			

Nº de termos 12

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor **2313,58** T= 1,49 **Não espúrio**
 Para maior valor **2336,38** T= 1,62 **Não espúrio**

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 6 – Média sem valor espúrio, na determinação da massa específica do concreto CPP.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	2319,40	média	2324,54
2	2364,85	Desvio padrão	19,88
3	2298,02	C.V.	0,86
4	2312,41		
5	2314,64	maior	2364,85
6	2330,08	menor	2298,02
7	2344,70	M+20%	2789,45
8	2314,30	M-20%	1859,63
9	2301,16		
10	2343,75		
11	2337,61		
12	2313,59		
13			
14			
15			

Nº de termos 12

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor **2298,02** T= 1,33 **Não espúrio**
 Para maior valor **2364,85** T= 2,03 **Não espúrio**

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 7 – Média sem valor espúrio, na determinação da massa específica do concreto CPB.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	2281,50	média	2285,62
2	2266,44	Desvio padrão	19,94
3	2284,53	C.V.	0,87
4	2329,71		
5	2287,88	maior	2329,71
6	2310,73	menor	2257,98
7	2257,98	M+20%	2742,75
8	2272,81	M-20%	1828,50
9	2297,11		
10	2281,87		
11	2267,72		
12	2289,17		
13			
14			
15			

Nº de termos 12

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor **2257,98** T= 1,39 **Não espúrio**
 Para maior valor **2329,71** T= 2,21 **Não espúrio**

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 8 – Média sem valor espúrio, na determinação da massa específica do concreto CPB5.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$

Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	2286,56	média	2273,40
2	2273,88	Desvio padrão	10,88
3	2276,10	C.V.	0,48
4	2281,48		
5	2271,46	maior	2293,70
6	2277,24	menor	2253,06
7	2265,74	M+20%	2728,07
8	2263,44	M-20%	1818,72
9	2253,06		
10	2293,70		
11	2266,18		
12	2271,90		
13			
14			
15			
Nº de termos	12		

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor	2253,06	T= 1,87	Não espúrio
Para maior valor	2293,70	T= 1,87	Não espúrio

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 9 – Média sem valor espúrio, na determinação da massa específica do concreto CPB10.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	2217,91	média	2231,37
2	2216,46	Desvio padrão	19,00
3	2249,22	C.V.	0,85
4	2237,28		
5	2197,38	maior	2265,12
6	2246,63	menor	2197,38
7	2232,74	M+20%	2677,64
8	2234,64	M-20%	1785,09
9	2265,12		
10	2210,72		
11	2223,34		
12	2244,94		
13			
14			
15			

Nº de termos 12

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor **2197,38** T= 1,79 **Não espúrio**
 Para maior valor **2265,12** T= 1,78 **Não espúrio**

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 9 – Análise múltipla de médias – Duncan, para todas as massas específicas dos concretos produzidos.

Comparação múltipla de médias - Método Duncan					
Corpo de prova	REF	CPP	CPB	CPB5	CPB10
CP1	2325,23	2319,40	2281,50	2286,56	2217,91
CP2	2320,59	2364,85	2266,44	2273,88	2216,46
CP3	2324,16	2298,02	2284,53	2276,10	2249,22
CP4	2336,38	2312,41	2329,71	2281,48	2237,28
CP5	2313,58	2314,64	2287,88	2271,46	2197,38
CP6	2315,31	2330,08	2310,73	2277,24	2246,63
CP7	2332,32	2344,70	2257,98	2265,74	2232,74
CP8	2315,67	2314,30	2272,81	2263,44	2234,67
CP9	2333,01	2301,16	2297,11	2253,06	2265,12
CP10	2323,09	2343,75	2281,87	2293,70	2210,72
CP11	2325,85	2337,61	2267,72	2266,18	2223,34
CP12	2328,83	2313,59	2289,17	2271,90	2244,94

CPB10	CPB5	CPB	REF	CPP
2231,37	2273,39	2285,62	2324,50	2324,54

CPP-REF	0,04	23,20	não difere
CPP-CPB	38,92	27,92	difere
CPP-CPB5	51,15	30,79	difere
CPP-CPB10	93,18	32,89	difere
REF-CPB	38,88	23,20	difere
REF-CPB5	51,11	27,92	difere
REF-CPB10	93,14	30,79	difere
CPB-CPB5	12,23	23,20	não difere
CPB-CPB10	54,25	27,92	difere
CPB10-CPB5	42,03	23,20	difere

Anexo 10 – Média sem valor espúrio, na determinação da resistência à compressão axial, aos 28 dias, do concreto REF.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	42,30	média	40,95
2	42,50	Desvio padrão	1,46
3	40,60	C.V.	3,57
4	42,20		
5	38,70	maior	42,50
6	41,60	menor	38,70
7	39,10	M+20%	49,14
8	40,60	M-20%	32,76
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Nº de termos 8

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor **38,70** T= 1,54 **Não espúrio**
 Para maior valor **42,50** T= 1,06 **Não espúrio**

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 11 – Média sem valor espúrio, na determinação da resistência à compressão axial, aos 28 dias, do concreto CPP.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	37,40	média	36,53
2	36,50	Desvio padrão	1,43
3	35,10	C.V.	3,92
4	37,80		
5	36,40	maior	38,40
6	36,60	menor	34,00
7	34,00	M+20%	43,83
8	38,40	M-20%	29,22
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Nº de termos 8

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor	34,00	T= 1,76	Não espúrio
Para maior valor	38,40	T= 1,31	Não espúrio

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 12 – Média sem valor espúrio, na determinação da resistência à compressão axial, aos 28 dias, do concreto CPB.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	31,70	média	32,11
2	31,40	Desvio padrão	0,66
3	32,60	C.V.	2,07
4	32,20		
5	32,40	maior	33,10
6	32,40	menor	31,10
7	31,10	M+20%	38,54
8	33,10	M-20%	25,69
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Nº de termos 8

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor **31,10** T= 1,52 **Não espúrio**
 Para maior valor **33,10** T= 1,49 **Não espúrio**

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 13 – Média sem valor espúrio, na determinação da resistência à compressão axial, aos 28 dias, do concreto CPB5.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	33,40	média	33,49
2	33,80	Desvio padrão	2,44
3	28,70	C.V.	7,29
4	34,10		
5	36,40	maior	36,40
6	36,20	menor	28,70
7	31,90	M+20%	40,19
8	33,40	M-20%	26,79
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Nº de termos 8

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor **28,70** T= 1,96 **Não espúrio**
 Para maior valor **36,40** T= 1,19 **Não espúrio**

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 14 – Média sem valor espúrio, na determinação da resistência à compressão axial, aos 28 dias, do concreto CPB10.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	34,40	média	34,49
2	30,60	Desvio padrão	3,19
3	36,70	C.V.	9,26
4	35,20		
5	36,60	maior	38,10
6	38,10	menor	28,80
7	28,80	M+20%	41,39
8	35,50	M-20%	27,59
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Nº de termos 8

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor **28,80** T= 1,78 **Não espúrio**
 Para maior valor **38,10** T= 1,13 **Não espúrio**

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 15 – Análise múltipla de médias – Duncan, para as resistências à compressão axial, aos 28 dias, dos concretos produzidos.

Comparação múltipla de médias - Método Duncan					
Corpo de prova	REF	CPP	CPB	CPB5	CPB10
CP1	42,30	37,40	31,70	33,40	34,40
CP2	42,50	36,50	31,40	33,80	30,60
CP3	40,60	35,10	32,60	28,70	36,70
CP4	42,20	37,80	32,20	34,10	35,20
CP5	38,70	36,40	32,40	36,40	36,60
CP6	41,60	36,60	32,40	36,20	38,10
CP7	39,10	34,00	31,10	31,90	28,80
CP8	40,60	38,40	33,10	33,40	35,50

CPB	CPB5	CPB10	CPP	REF
32,11	33,49	34,49	36,53	40,95

REF-CPP	4,43	2,89	difere
REF-CPB10	6,46	3,48	difere
REF-CPB5	7,46	3,84	difere
REF-CPB	8,84	4,10	difere
CPP-CPB10	2,04	2,89	não difere
CPP-CPB5	3,04	3,48	não difere
CPP-CPB	4,41	3,84	difere
CPB10-CPB5	1,00	2,89	não difere
CPB10-CPB	2,38	3,48	não difere
CPB5-CPB	1,38	2,89	não difere

Anexo 16 – Média sem valor espúrio, na determinação da resistência à tração por compressão diametral, aos 28 dias, do concreto REF.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	4,02	média	3,10
2	3,35	Desvio padrão	0,50
3	3,52	C.V.	16,13
4	2,87		
5	2,88	maior	4,02
6	2,43	menor	2,43
7	2,82	M+20%	3,72
8	2,91	M-20%	2,48
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Nº de termos 8

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor	2,43	T= 1,34	Não espúrio
Para maior valor	4,02	T= 1,84	Não espúrio

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 17 – Média sem valor espúrio, na determinação da resistência à tração por compressão diametral, aos 28 dias, do concreto CPP.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	2,42	média	3,17
2	3,35	Desvio padrão	0,73
3	4,03	C.V.	22,94
4	4,16		
5	3,34	maior	4,16
6	2,36	menor	2,35
7	3,32	M+20%	3,80
8	2,35	M-20%	2,53
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Nº de termos 8

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor **2,35** T= 1,12 **Não espúrio**
 Para maior valor **4,16** T= 1,37 **Não espúrio**

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 18 – Média sem valor espúrio, na determinação da resistência à tração por compressão diametral, aos 28 dias, do concreto CPB.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	3,16	média	3,01
2	2,93	Desvio padrão	0,20
3	3,06	C.V.	6,64
4	2,78		
5	2,77	maior	3,30
6	2,89	menor	2,77
7	3,30	M+20%	3,62
8	3,21	M-20%	2,41
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Nº de termos 8

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor	2,77	T= 1,21	Não espúrio
Para maior valor	3,30	T= 1,44	Não espúrio

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 19 – Média sem valor espúrio, na determinação da resistência à tração por compressão diametral, aos 28 dias, do concreto CPB5.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	2,93	média	2,91
2	2,94	Desvio padrão	0,56
3	3,99	C.V.	19,42
4	3,42		
5	2,38	maior	3,99
6	2,65	menor	2,27
7	2,27	M+20%	3,49
8	2,69	M-20%	2,33
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Nº de termos 8

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor **2,27** T= 1,13 **Não espúrio**
 Para maior valor **3,99** T= 1,91 **Não espúrio**

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 20 – Média sem valor espúrio, na determinação da resistência à tração por compressão diametral, aos 28 dias, do concreto CPB10.

Teste de normalidade Kolmogorov - Smirnov - para $n > 6$
Nível de confiança de 95%

	Valores		
1	3,51	média	3,28
2	2,84	Desvio padrão	0,36
3	3,54	C.V.	10,94
4	3,06		
5	3,49	maior	3,81
6	3,14	menor	2,84
7	3,81	M+20%	3,93
8	2,84	M-20%	2,62
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Nº de termos 8

Calcular

Normalidade não descartada

Para menor valor **2,84** T= 1,22 **Não espúrio**
 Para maior valor **3,81** T= 1,48 **Não espúrio**

Observação: O valor considerado espúrio deverá ser removido dos valores de cálculo, efetuando-se então nova verificação

Anexo 21 – Análise múltipla de médias – Duncan, para as resistências à tração por compressão diametral, aos 28 dias, dos concretos produzidos.

Comparação múltipla de médias - Método Duncan					
Corpo de prova	REF	CPP	CPB	CPB5	CPB10
CP1	4,02	2,42	3,16	2,93	3,51
CP2	3,35	3,35	2,93	2,94	2,84
CP3	3,52	4,03	3,06	3,99	3,54
CP4	2,87	4,16	2,78	3,42	3,06
CP5	2,88	3,34	2,77	2,38	3,49
CP6	2,43	2,36	2,89	2,65	3,14
CP7	2,82	3,32	3,30	2,27	3,81
CP8	2,91	2,35	3,21	2,69	2,84

CCA5	PPBT	Ref	PP	CCA10
2,91	3,01	3,10	3,17	3,28

CPB10-CPP	0,11	0,71	não difere
CPB10-REF	0,18	0,86	não difere
CPB10-CPB	0,27	0,95	não difere
CPB10-CPB5	0,37	1,01	não difere
CPP-REF	0,07	0,71	não difere
CPP-CPB	0,15	0,86	não difere
CPP-CPB5	0,26	0,95	não difere
REF-CPB	0,09	0,71	não difere
REF-CPB5	0,19	0,86	não difere
CPB-CPB5	0,10	0,71	não difere

APÊNDICES

Apêndice 1 – Ensaios de caracterização da cinza de casca de arroz (CCA)

Massa específica aparente					
Frasco	Leitura inicial (ml)	Peso de CCA (g)	Leitura final (ml)	Diferença nas leituras	Massa específica aparente (g/cm³)
1	0,5	45	26	25,5	1,76
2	0		20	20	2,25
3	0		23	23	1,96
Média das massas específicas (g/cm³)					1,99

Argamassa Referência	
Flow table 1 (mm)	228,00
Flow table 2 (mm)	239,00
Flow table 3 (mm)	236,00
Flow table médio (mm)	234,33
Resistência CP 01 (MPa)	23,20
Resistência CP 02 (MPa)	22,20
Resistência CP 03 (MPa)	31,40
Resistência CP 04 (MPa)	26,10
Resistência CP 05 (MPa)	30,40
Resistência CP 06 (MPa)	31,40
Resistência média dos CP's	27,45

Argamassa com cinza de casca de arroz moída	
Quantidade de aditivo utilizado (g)	2,5
Flow table 1 (mm)	251,00
Flow table 2 (mm)	256,00
Flow table 3 (mm)	250,80
Flow table médio (mm)	252,60
Resistência CP 01 (MPa)	19,90
Resistência CP 02 (MPa)	19,30
Resistência CP 03 (MPa)	21,20
Resistência CP 04 (MPa)	29,20
Resistência CP 05 (MPa)	20,90
Resistência CP 06 (MPa)	22,50
Resistência média dos CP's	22,17

Índice de atividade pozolânica da CCA	81%
--	------------

Apêndice 2 – Ensaio de caracterização da areia natural “A”

Massa específica aparente	
Peso areia	500 g
Volume água	200 ml
Leitura	Variação
1	390,00 ml
2	390,00 ml
3	391,00 ml
Média	390,33 ml
Diferença leituras	190,33 ml
Massa específica aparente	2,63 g/cm³

Massa unitária		
Tara	7,29 kg	
Volume da caixa	15,00 dm³	
Leitura	Caixa + solo	Solo
1	29,22 kg	21,93 kg
2	29,74 kg	22,44 kg
3	29,81 kg	22,51 kg
Média	22,29 kg	
Massa unitária	1,49 g/cm³	

Apêndice 3 – Ensaios de caracterização da areia natural “B”

Massa específica aparente	
Peso areia	500 g
Volume água	200 ml
Leitura	Variação
1	395,00 ml
2	397,00 ml
3	397,00 ml
Média (ml)	396,33 ml
Diferença leituras	196,33 ml
Massa específica aparente	2,55 g/cm³

Massa unitária		
Tara	7,29 kg	
Volume da caixa	15,00 dm ³	
Leitura	Caixa + solo	Solo
1	30,04	22,75 kg
2	30,08	22,79 kg
3	30,80	23,51 kg
Média	23,01 kg	
Massa unitária	1,53 g/cm³	

Lavagem nº	1	2	3
Peso do material seco (g)	499,80	500,20	499,80
Peso do material seco após a lavagem (g)	430,80	426,90	435,70
Material pulverulento (%)	13,81	14,65	12,83
Média entre % de material pulverulento (%)	13,76		

Apêndice 4 – Ensaios de caracterização do pó de pedra

Massa específica aparente	
Peso areia	100 g
Volume água	200 ml
Leitura	Variação
1	235,00 ml
2	235,00 ml
3	240,00 ml
Média	236,67 ml
Diferença leituras	36,67 ml
Massa específica aparente	2,73 g/cm ³

Massa unitária		
Tara	7,29 kg	
Volume da caixa	15,00 dm ³	
Leitura	Caixa + solo	Solo
1	32,08 kg	24,79 kg
2	32,28 kg	24,99 kg
3	32,94 kg	25,65 kg
Média		25,14 kg
Massa unitária		1,68 g/cm ³

Lavagem nº	1	2	3
Peso do material seco (g)	500,60	500,20	500,10
Peso do material seco após a lavagem (g)	463,80	469,30	466,50
Material pulverulento (%)	7,35	6,18	6,72
Média entre % de material pulverulento (%)	6,75		

Apêndice 5 – Ensaios de caracterização da brita

Massa específica aparente	
Peso brita	100 g
Volume água	200 ml
Leitura	Variação
1	235,50 kg
2	235,50 kg
3	240,00 kg
Média	237,00 kg
Diferença leituras	37,00 kg
Massa específica aparente	2,70 g/cm³

Massa unitária		
Tara	14,22 kg	
Volume da caixa	20,70 dm³	
Leitura	Caixa + solo	Solo
1	44,92 kg	30,70 kg
2	44,78 kg	30,56 kg
3	44,70 kg	30,48 kg
Média		30,58 kg
Massa unitária	1,48 g/cm³	