

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E TECNOLOGIA PARA  
A AMAZÔNIA – CITA**

**Estudo sobre a utilização de cinza da casca da castanha do Brasil  
como adições em traços de concreto**

**Doriel Progênio dos Santos**

**RIO BRANCO  
2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E  
PÓS-GRADUAÇÃO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,  
INOVAÇÃO E TECNOLOGIA PARA  
AMAZÔNIA**



## **Estudo sobre a utilização de cinza da casca da castanha do Brasil como adições em traços de concreto**

**Doriel Progênio dos Santos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para Amazônia, da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Ciência e Inovação Tecnológica.

Orientadora Prof.<sup>a</sup> Dra. Anelise Maria Regiani

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

S237e Santos, Doriel Progênio dos, 1979-

Estudo sobre a utilização de cinza da casca da castanha do Brasil como adições em traços de concreto / Doriel Progênio dos Santos – 2015. 233 f.; 30 cm; il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Curso em Ciências e Inovação Tecnológica para a Amazônia , 2015.

Inclui referências bibliográficas e apêndice.

Orientadora: Profa. Dra. Anelise Maria Regiani.

1. Concreto. 2. Castanha do Brasil – casca. 3. Cinza de casca de castanha do Brasil (CCCB). I. Título.

---

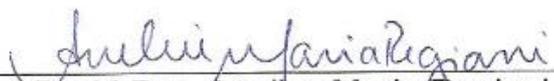
CDD: 624.1834

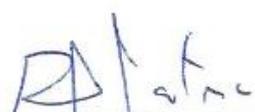
Bibliotecária: Alanna Santos Figueiredo.

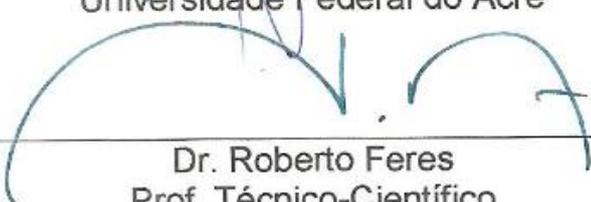
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E TECNOLOGIA PARA  
A AMAZÔNIA – CITA**

**Doriel Progênio dos Santos**

**Estudo sobre a utilização de cinza da casca da castanha do Brasil  
como adições em traços de concreto**

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dra. Anelise Maria Regiani  
Universidade Federal do Acre

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rogério Antônio Sartori  
Universidade Federal do Acre

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Roberto Feres  
Prof. Técnico-Científico

Dedico,

À minha mãe, pessoa responsável pela minha educação e por tudo que fez por mim até conseguir chegar neste momento. À minha irmã, meu saudoso pai, familiares e amigos. E a todos os professores com os quais eu tive contato, que permitiram eu ter conseguido me manter na trajetória do desenvolvimento pessoal, através do conhecimento.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, que permitiu me manter firme na caminhada, dando-me forças, renovando minhas esperanças e mostrando-me os caminhos por onde seguir na caminhada da vida até aqui.

À minha mãe, minha primeira professora, que permitiu que pudesse dar os primeiros passos na jornada dos estudos, conhecimento e formação profissional. Pelas dificuldades que passamos juntos, e por todas as conquistas que obtivemos em nossa família.

À minha irmã, companheira, amiga, confidente e pessoa que esteve sempre ao meu lado me ajudando nessa caminhada.

À professora Doutora Anelise Maria Regiani, que acreditou no meu trabalho, na minha capacidade profissional e principalmente pelo apoio, disposição de me ajudar e me mostrar os melhores caminhos no desenvolvimento desta Tese.

À Universidade Federal do Acre, instituição que permitiu a realização desse trabalho, permitindo que eu iniciasse minha trajetória na profissão de engenheiro civil e nos estudos acadêmicos.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram na minha caminhada até este momento.

“O homem é do tamanho do seu sonho”

Fernando Pessoa

## RESUMO

Este trabalho relata o estudo feito com traços de concretos utilizando quatro marcas de cimento disponíveis na cidade de Rio Branco – Acre, Brasil. Foram utilizadas as marcas CIPLAN, tipo CP II-Z, a NASSAU, tipo CP IV, a YURA, tipo CP IV e a ITAÚ, tipo CP IV, todas na classe de 32 MPa de resistência à compressão. Os estudos de traço trabalharam com três consumos de cimento levando em consideração a classificação de cada traço em pobre com 302,21 kg/m<sup>3</sup>, normal com 365,01 kg/m<sup>3</sup>, e rico com 460,83 kg/m<sup>3</sup>, buscando atender a resistência característica de 25 MPa aos 28 dias. O objetivo da utilização dos traços e marcas diferentes de cimentos Portland, foi de se estudar o comportamento dos concretos confeccionados com a adição da cinza da casca da castanha do Brasil (CCCB). Os traços foram compostos com agregados miúdos e graúdos disponíveis na localidade de estudo, sendo utilizado a areia fina do Rio Acre e pó de brita como agregados miúdos, em uma mistura de 60% de areia fina e 40% de pó de brita nos traços, para os agregados graúdos a composição foi feita com 30% de brita n°1 e 70% de brita classificada como 5/8". Além desses materiais, o estudo utilizou um aditivo químico polifuncional de pega normal chamado de Mastermix BF9®, da fabricante BASF, na proporção de 0,8% sobre o peso de cimento. As cinzas foram obtidas a partir da calcinação das cascas das castanhas do Brasil, após moídas e enquadradas em granulometria igual ou inferior a peneira de número 50, com abertura de malha de 0,3mm. Os percentuais adicionados de cinza foram de 1%, 1,5%, 3% e 5%, sendo aplicado em cada tipo de traço, com cada marca de cimento estudada. Os resultados obtidos com a presença da utilização da CCCB nos traços de concretos, foram a evidência da melhora da trabalhabilidade, consistência e redução do consumo de água para o abatimento especificado, também, leve aumento da resistência a compressão, porém não é possível atribuir esse benefício exclusivamente ao uso da cinza. Esses resultados só se confirmaram para os percentuais de adição de 1,5% e 3%, não observando melhoras significativas na adição de 1%, apresentando piora dessas características no percentual de 5%. Os melhores resultados foram para a adição de 3%. O trabalho conclui como benéfica a alternativa de utilização de CCCB como adições em concretos. Além de promover melhoras em algumas características dos concretos, também atinge o aspecto socioambiental, quando se propõem a retirar do meio ambiente um resíduo proveniente da cadeia produtiva da castanha do Brasil.

**Palavras-chave:** concreto, castanha, cinza, adições.

## ABSTRACT

This paper reports the study of specific traits using four cement brands available in the city of Rio Branco - Acre, Brazil. CIPLAN the marks were used, type CP II-Z, a NASSAU, CP type IV, the YURA, CP IV type and ITAU, type CP IV, all in class 32 MPa compressive strength. Trace studies worked with three cement consumption taking into account the classification of each trait in poor to 302.21 kg / m<sup>3</sup>, standard with 365.01 kg / m<sup>3</sup>, and rich with 460.83 kg / m<sup>3</sup>, seeking to meet the characteristic strength of 25 MPa at 28 days. The purpose of the use of features and different brands of Portland cement was to study the behavior of concrete made with the addition of ash bark Brazil nuts (CCCB). The traces were made with fine aggregates and adults available in the study location, and used the fine sand of the Acre River and crushed powder as fine aggregates in a mixture of 60% fine sand and 40% of gravel dust in traces, for coarse aggregate composition was made with 30% gravel paragraph 1 and 70% gravel classified as 5/8 ". Besides these materials, the study utilized a chemical additive polyfunctional handle normal call Mastermix BF9®, BASF manufacturer at a ratio of 0.8% on the cement weight. The ashes were obtained from the calcination of the shells of Brazil nuts after ground and framed in particle size equal to or less than number 50 sieve with a mesh aperture of 0.3 mm. The percentage of gray added were 1%, 1.5%, 3% and 5%, being applied to each type of stroke, with each brand of cement studied. The results obtained with the presence of the use of the CCCB in specific traits, were the evidence of improved workability, consistency and reduced water consumption for the abatement specified also slight increase in compressive strength, but you cannot assign this benefit exclusively to the use of gray. These results were confirmed only for the percentage of adding 1.5% and 3%, no significant improvements observed in the addition of 1% by presenting these characteristics fall in the percentage of 5%. The best results were for the addition of 3%. The paper concludes how beneficial the CCCB of using alternative as additions in concrete. In addition to promoting improvements in some characteristics of concrete also affects the environmental aspect, when it proposed to withdraw the environment from the one I reside nut production chain in Brazil.

**Keywords:** concrete, brown, gray, additions.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de dosagem de concretos com e sem aditivo	78
Figura 2 – Amostra dos agregados miúdos e graúdos utilizados	87
Figura 3 – Detalhe do agregado miúdo – areia fina	88
Figura 4 – Detalhe do agregado miúdo – pó de brita	88
Figura 5 – Detalhe do agregado graúdo – brita 5/8”	88
Figura 6 – Detalhe do agregado graúdo – brita nº 1	89
Figura 7 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	89
Figura 8 – Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo	90
Figura 9 – Gráfico da granulometria da areia do rio Acre	93
Figura 10 – Gráfico da granulometria do pó de brita	95
Figura 11 – Gráfico da granulometria da areia com pó de brita	97
Figura 12 – Gráfico da granulometria da brita 5/8”	99
Figura 13 – Gráfico da granulometria da brita nº 1	101
Figura 14 – Sacos de cimento Portland	104
Figura 15 – Microscopia da amostra 02	107
Figura 16 – Microscopia da amostra 02 det. A, B e C	107
Figura 17 – Microscopia da amostra 03	108
Figura 18 – Microscopia da amostra 03 det. A e B	108
Figura 19 – Microscopia da amostra 04	109
Figura 20 – Microscopia da amostra 04 det. A e B	109
Figura 21 – Microscopia da amostra 05	110
Figura 22 – Microscopia da amostra 05 det. A e B	110
Figura 23 – Detalhe da cinza moída	114
Figura 24 – Microscopia da amostra 01	116
Figura 25 – Microscopia da amostra 01 det. A-A e A-B	117
Figura 26 – Microscopia da amostra 01 det. A-A e A-B	117
Figura 27 – Microscopia da amostra 01 det. B-A e B-B	118
Figura 28 – Microscopia da amostra 01 det. B-A e B-B	118
Figura 29 – Microscopia da amostra 01 det. B-A e B-B	118
Figura 30 – Curvas médias de correlação entre resistência e a relação a/c	122
Figura 31 – Corpos de provas moldados após execução do traço de concreto	146
Figura 32 – Identificação dos corpos de prova	146

## LISTA DE TABELAS

Quadro 1 – Composição dos cimentos Portland comum e composto	44
Quadro 2 – Composição dos cimentos Portland de alto-forno e pozolânicos	46
Quadro 3 – Composição de cimento Portland de alta resistência inicial	46
Quadro 4 – Composição de cimento Portland branco	49
Quadro 5 – Nomenclatura dos cimentos Portland	51
Quadro 6 – Sentido da evolução de diversos parâmetros da dosagem	64
Quadro 7 – Quantidade produzida, valor de produção e valor médio (R\$/kg)	82
Quadro 8 – Participação em percentual e quantidade produzida	82
Quadro 9 – Produção e exportação da castanha-do-Brasil no mercado externo	83
Quadro 10 – Produção e exportação da castanha-do-Brasil por estado	84
Quadro 11 – Granulometria de agregado miúdo – areia do rio Acre	92
Quadro 12 – Granulometria de agregado miúdo – pó de brita	94
Quadro 13 – Composição granulométrica de agregado miúdo	96
Quadro 14 – Granulometria de agregado graúdo – brita 5/8”	98
Quadro 15 – Granulometria de agregado graúdo – brita n°1	100
Quadro 16 – Massas específicas e unitárias dos agregados	102
Quadro 17 – Elementos químicos nos cimentos	106
Quadro 18 – Elementos químicos da cinza da casca da castanha-do-Brasil	115
Quadro 19 – Massa específica dos agregados	120
Quadro 20 – Massa unitária dos agregados	120
Quadro 21 – Traços unitários para estudo experimental	124
Quadro 22 – Consumo de cimento por traço	125
Quadro 23 – Consumo de água por metro cúbico para cada tipo de traço	125
Quadro 24 – Valores em massa dos materiais para 1m <sup>3</sup>	126
Quadro 25 – Preparação dos agregados para 1m <sup>3</sup> de concreto pobre	128
Quadro 26 – Mapa de traço	128
Quadro 27 – Dosagem de materiais para produção de concreto pobre	130
Quadro 28 – Dosagem de materiais para produção de concreto normal	131
Quadro 29 – Dosagem de materiais para produção de concreto rico	132
Quadro 30 – Definição dos quantitativos de materiais para produção de corpos de prova	133
Quadro 31 – Ensaio individuais	134
Quadro 32 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão	149
Quadro 33 – Resumo dos traços e suas famílias	169

Quadro 34 – Comparativo dos valores das resistências à compressão	181
Quadro 35 – Comparativo das resistências à compressão aos 28 dias	192

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b>	17
2	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	20
2.1	CONCRETO E SUA IMPORTÂNCIA	20
2.1.1	Materiais constituintes	21
2.2	TIPO DE CONCRETO	22
2.3	PROPRIEDADE DO CONCRETO FRESCO	24
2.3.1	Concreto nas primeiras idades	24
2.3.2	Trabalhabilidade	25
2.3.2.1	Conceituação	25
2.3.2.2	Fatores que afetam a trabalhabilidade	26
2.3.3	Perda de abatimento	28
2.3.3.1	Conceituação e importância	28
2.3.3.2	Causas e controle	29
2.3.4	Segregação e exsudação	29
2.3.4.1	Conceituação e importância	29
2.3.4.2	Causas e controle	30
2.4	PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO	30
2.4.1	Características	31
2.4.2	Densidade	31
2.4.3	Resistência à abrasão	32
2.4.4	Durabilidade	32
2.4.4.1	Conceituação	32
2.4.4.2	Classificação e causas	33
2.5	CIMENTOS HIDRÁULICOS	35
2.5.1	Apresentação	35
2.5.2	Cimento Portland	35
2.5.3	Composição	35
2.5.4	Propriedades físicas	37
2.5.4.1	Densidade	37
2.5.4.2	Finura	38
2.5.4.3	Tempo de pega	38
2.5.4.4	Resistência	39

2.5.4.5	Exsudação	39
2.5.5	Propriedades químicas	40
2.5.5.1	Estabilidade	40
2.5.5.2	Calor de hidratação	40
2.5.5.3	Resistência aos agentes agressivos	41
2.5.5.4	Reação álcali-agregado	42
2.6	CLASSIFICAÇÃO DOS CIMENTOS	42
2.6.1	Cimento Portland comum e composto	43
2.6.2	Cimento Portland de alto-forno e pozolânico	45
2.6.3	Cimento Portland de alto resistência inicial	46
2.6.4	Cimento Portland resistente aos sulfatos	47
2.6.5	Cimento Portland de baixo calor de hidratação	48
2.6.6	Cimento Portland branco	48
2.6.7	Cimento para poços petrolíferos	49
2.7	PRESCRIÇÕES NORMATIVAS PARA O TIPO DE CIMENTO	50
2.8	AGREGADOS	52
2.8.1	Definição	52
2.8.2	Classificação	53
2.8.3	Propriedades físicas	53
2.8.3.1	Massa específica	53
2.8.3.2	Massa específica aparente	54
2.8.3.3	Porosidade	54
2.8.3.4	Compacidade	54
2.8.3.5	Índice de vazios	55
2.8.3.6	Granulometria	55
2.8.3.7	Módulo de finura	56
2.8.3.8	Superfície específica	56
2.8.3.8	Teor de umidade	56
2.8.3.10	Umidade superficial	57
2.8.3.11	Absorção de água	55
2.8.3.12	Inchamento	57
2.8.3.13	Coesão	58
2.8.3.14	Tenacidade	58

2.8.4	Agregados para o concreto	58
2.8.4.1	Condições gerais	58
2.8.4.2	Resistência mecânica	59
2.9	Propriedades	62
2.9.1	Objetivo e metodologia de dosagem	63
2.9.2	Fundamentos de dosagem experimental	64
2.9.2.1	Variação das propriedades fundamentais do concreto	64
2.9.2.2	Quantidade de água total, em função da trabalhabilidade	65
2.9.2.3	Granulometria do concreto	65
2.9.3	Considerações iniciais no estudo de dosagem	66
2.9.3.1	Fatores intervenientes ao tema dosagem	66
2.9.3.2	Critérios práticos de dosagem	66
2.9.3.3	Especificação dos fatores que influem na resistência	67
2.10	ROTEIRO PRÁTICO DE DOSAGEM	68
2.10.1	Caracterização dos materiais	68
2.10.1.1	Cimento	68
2.10.1.2	Agregados miúdos	68
2.10.1.3	Agregados graúdos	69
2.10.1.4	Aditivos	70
2.10.2	Estudo teórico	71
2.10.2.1	Conceitos fundamentais	71
2.10.2.2	Informações básicas	72
2.10.2.3	Cálculo de resistência de dosagem	73
2.10.2.4	Estudo experimental	75
2.10.2.4.1	Determinação do teor ideal de argamassa para traço 1:5,0	75
2.10.2.4.2	Obtenção dos traços auxiliares	75
2.10.2.4.3	Determinação da correlação consumo de cimento e traço	77
2.10.2.5	Traço definitivo	78
2.10.2.5.1	Diagrama de dosagem	78
2.10.2.5.2	Parâmetros do traço definitivo	79
2.10.2.5.3	Correção do traço	79

2.11	CASTANHA-DO-BRASIL	80
2.11.1	Identificação	80
2.11.2	Produção da castanha-do-Brasil	81
2.11.3	Caracterização da casca da castanha-do-Brasil	84
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	86
3.1	MATERIA PRIMA	86
3.1.1	Agregados	86
3.1.2	Cimentos	103
3.1.3	Aditivo químico	111
3.1.4	Casca da castanha-do-Brasil	113
3.1.4.1	A cinza da casca da castanha-do-Brasil	113
3.2	MÉTODOS	119
3.2.1	Estudo de traço	119
3.2.2	Cálculo de dosagem	121
3.2.3	Adição de cinza da casca da castanha-do-Brasil ao concreto	128
3.2.4	Nomenclatura dos ensaios	128
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	134
4.1	ENSAIO DE ABATIMENTO E ENSAIOS UNITÁRIOS	146
4.2	MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	146
4.3	ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	147
4.4	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	147
4.4.1	Definição da idade de rompimento	147
4.4.2	Ensaio de resistência à compressão e resultados	148
4.4.3	Análise e comparação dos ensaios de resistência à compressão	166
5	<b>CONCLUSÕES</b>	193
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	196
	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	197
	<b>APÊNDICE</b>	200

## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia de confecção de concretos e estudos de traços de concreto, abrange uma variedade significativa de possibilidades afim de atender necessidades específicas, seja de construções de pequeno, médio ou grande porte. Essa característica demanda dos estudiosos dessas tecnologias, em geral, uma busca de soluções e alternativas viáveis no que diz respeito aos aspectos técnicos, econômico e prático, cada vez mais sustentáveis.

Existe uma ampla quantidade de estudos, pesquisas e trabalhos desenvolvidos na área da confecção de concreto com finalidade estrutural. Sabe-se hoje, que o concreto é o segundo material mais consumido no mundo (METHA; MONTEIRO, 2008), perdendo em quantidade somente para a água, e há expectativas que esse quadro mude com o desenvolvimento e uso dos aditivos químicos. Por isso, todo trabalho que tenha como função descobrir novos aspectos sobre estudos alternativos com os concretos, tem sua relevância. Em particular, estudos envolvendo materiais que são incluso nos traços de concretos, tem apresentado papel significativo no que diz respeito a respostas desses concretos, quanto ao seu desempenho de um modo geral. Grande parte desses materiais são incluídos nas misturas que compõe esses concretos na forma de um adicional, um elemento que é incluído de forma a proporcionar uma característica nova a esse concreto, e por isso, recebem o nome genérico de adições. Essas adições podem apresentar origens diversas, que vão variar de acordo com as respostas esperadas desses concretos e com os objetivos de cada estudo em particular; basicamente se tem duas linhas de trabalho a respeito de adições, a primeira se trata de produtos que são incluídos de forma a não alterar a composição e quantidades originais dos traços já existentes, ou seja, são adicionados aos concreto no processo de produção. A segunda linha, trata de adição com substituição parcial do cimento no traço de concreto, neste caso, o percentual do material adicionado é retirado em quantidade de cimento, geralmente medidos em peso. Nesta pesquisa, a decisão tomada a respeito da adição, se refere ao primeiro caso.

É objeto dessa pesquisa estabelecer um estudo com adições com a cinza da casca da castanha do Brasil (CCCB) para dar novas características ou obter comportamento benéfico desse concreto confeccionado com a CCCB. O trabalho consiste em realizar estudos de traços de concreto, fazendo variar em quatro tipos de

marcas de cimento Portland, com percentuais de adição da CCCB, variando entre 1%, 1,5%, 3% e 5% em relação ao peso de cimento de cada traço de concreto a ser estudado. Também fará parte da confecção desses concretos o uso de aditivo químico com características de promover melhor trabalhabilidade, consistência, ganho de resistência e redução do fator água/cimento. A comparação dos resultados buscará avaliar o comportamento desses concretos com as variações definidas em cada tipo de traço de concreto a ser estudado, e identificar qual ou quais misturas apresentam melhores características e desempenho.

Uma das principais justificativas está relacionada a necessidade mundial de se encontrar alternativas para promover melhoria das características dos concretos de forma sustentável, portanto, a utilização de uma determinada adição que possa promover um benefício nos concretos, com a redução de um outro recurso natural, já se torna ponto favorável, levado em conta o consumo crescente de concreto, utilização de cimento e recursos naturais não renováveis. No caso em particular da pesquisa, essa alternativa vem de um produto que é, de forma geral, o fim de uma cadeia produtiva atrelada ao uso da castanha do Brasil. A CCCB a ser utilizada como adição nos estudos de traço de concretos, tem sua origem dos restos das cascas da castanha do Brasil; há todo um trabalho de exploração comercial sobre essa castanha, utilizando-a de diversas formas, seja no consumo na forma de alimentos, nos produtos de cosméticos, entre outros. A casca, que surge como um resíduo, de modo geral, tem seu uso em forma de biomassa para geração de energia nas indústrias de produção, como geração de calor para estufas que secagem das castanhas, ou ainda para fornos de produção de alimentos derivados da castanha do Brasil. Sobra, portanto, a cinza dessa casca, que vem sendo descartada no meio ambiente sem um controle específico; em alguns casos há utilização como adubo, porém, de forma incipiente. Esta pesquisa se propõe em promover o fechamento desse ciclo, quando utiliza essa cinza da casca da castanha do Brasil, como adição nos concretos, buscando um benefício às características dos concretos e também a condição de promover uma contribuição para redução do impacto ambiental gerado por essa cadeia produtiva das castanha do Brasil. Por fim, também se espera promover um benefício com a redução de consumo de algum dos insumos utilizados nos concretos em função da utilização da CCCB, o que poderá reduzir o consumo de produtos não renováveis como a água, utilizados na confecção dos concretos.

Dentre as características e principais contribuições esperadas estão a melhoria das características dos concretos que receberem a adição da CCCB, principalmente nos aspectos de sua trabalhabilidade, redução do consumo de água em função do uso das cinzas, desempenho na melhoria das resistências à compressão dos concretos, redução dos custos de produção, que podem surgir de acordo com as respostas obtidas do uso da CCCB e promover um fechamento de ciclo da produção e utilização da castanha do Brasil, onde até então, não se havia um destino específico e adequado para utilização das cinzas. O estudo da pesquisa poderá promover essa opção para utilização desses resíduos, quando propõem o uso da cinza como uma adição nos traços de concretos.

Portanto, de forma específica, os objetivos se direcionam para uma contribuição ambiental e a melhoria das características dos concretos. No primeiro caso, todo trabalho que tenha esse foco e possa promover alternativas para permitir a sustentabilidade ambiental, por si só já tem seu valor, porém no caso em particular a pesquisa vem se associando a uma cadeia produtiva que abrange, desde as grandes empresas produtoras, até famílias que tem suas rendas voltadas para uma economia extrativista sustentável. Por fim, no segundo caso, a região Norte, em particular o estado do Acre, pode se beneficiar com essa pesquisa por estar envolvido em um ambiente com grande produção de castanha do Brasil.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONCRETO E SUA IMPORTÂNCIA

Dados retirados de um artigo publicado pela Scientific American (BRUNAUER; COPELAND, 1964) mostravam nessa data, a importância do concreto como material de construção e principalmente o seu consumo, aproximadamente 63 milhões de toneladas de cimento Portland foram convertidos em 500 milhões de toneladas de concreto só nos Estados Unidos naquela época, e o consumo mundial, passaria de três bilhões de toneladas (BRUNAUER; COPELAND, 1964). Segundo Metha e Monteiro (2008), após quarenta anos, esse consumo mundial, passou para a ordem de 11 bilhões de toneladas métricas ao ano. Publicações mais recentes, como a divulgada pela WBCSD (World Business Council of Sustainable Development), mostra que o consumo mundial em 2006 foi entre 21 e 31 bilhões de toneladas. No Brasil esse consumo seria da ordem de 51 milhões de metros cúbicos anuais, de acordo com estudo realizado pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), com perspectivas para um consumo de 72,3 milhões em 2017. Também foi identificado no estudo coordenado pela e8 Inteligência e a UBM Brazil um aumento na produção de concretos dosados em centrais de 180% em sete anos, no período entre 2005 e 2012. Esses dados mostram a importância do concreto nas obras de diversos usos e ainda, o seu papel no desenvolvimento da sociedade moderna.

O concreto moderno ou aqueles considerados da era moderna, segundo a ASTM C125, é definido como material compósito que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregado; no concreto de cimento hidráulico, esse aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água. A norma regulamentadora da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), NBR 12655:2006 em seu item 3.1.1 define Concreto de Cimento Portland como sendo o material formado pela mistura homogênea de cimento, agregado miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim ou sílica ativa), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água). Por fim, a NBR 6118:2003 em seu item 3.1.1 define concreto estrutural como

sendo o termo que se refere ao aspecto completo das aplicações do concreto como material estrutural.

### 2.1.1 Materiais Constituintes

O Agregado é um material granular, como a areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto-forno ou resíduos de construção e de demolição (METHA; MONTEIRO, 2008). A sua classificação leva em consideração, basicamente, três aspectos a serem considerados, que são quanto a sua origem, sua massa específica e sua granulometria. Segundo Petrucci (1998), quanto a sua origem, podemos classifica-los como naturais e artificiais. Primeiro são aqueles encontrados no meio ambiente, prontos para o uso, tais como as areias, pedregulhos ou seixos rolados. Segundo, são os agregados provenientes da intervenção humana, para se alcançar as características desejadas, como as areias artificiais e pedras britadas. Outra classificação leva em consideração a massa específica, definindo como leves, normais e pesados (PETRUCCI, 1998). De acordo com a especificação da NBR 12655:2006, em seus itens 3.1.20 e 3.1.21, agregado leve é aquele que apresenta massa específica  $\leq 1.800 \text{ kg/m}^3$  e agregado denso ou pesado aqueles com massa específica  $\geq 3.000 \text{ kg/m}^3$ . A terceira classificação, se refere ao tamanho dos agregados, definindo-os de forma genérica em dois tipos, agregado miúdo e agregado graúdo. Define-se como agregado miúdo aquele material que passa peneira n° 4 de malha 4,75mm e agregado graúdo o material que fica retido na peneira de n°4 de malha 4,75mm (PETRUCCI, 1998).

A argamassa é uma mistura de areia, cimento e água (METHA; MONTEIRO, 2008). Essa mistura pode ser entendida como a parte do concreto sem a presença do agregado graúdo, a qual cria um meio adequado para aglutinação dos materiais envolvidos e permite regular o comportamento, principalmente, no que diz respeito a sua fluidez.

Águas utilizadas para a confecção de concretos devem apresentar características semelhantes ou iguais aquelas utilizada para o consumo humano. Essa é uma recomendação prática e simplificada para determinar a importância de se utilizar uma água de boa procedência e qualidade. De fato, a água utilizada no amassamento do concreto não deve conter impurezas que possam vir a prejudicar as

reações entre ela e os compostos do cimento (PETRUCCI, 1998). Porém, pequenas quantidades de impurezas podem ser toleradas pois não apresentam, pelo menos, aparentemente, efeitos danosos. Em geral, águas que contêm menos do que 2.000 partes por milhão (0,2% em peso) de sólidos dissolvidos podem ser usadas sem precauções na confecção de concretos (PETRUCCI, 1998). Sobre as substâncias que atacam o concreto em relação a água utilizada, Bauer (2000) destaca que, pode-se observar que os constituintes do cimento endurecido, principalmente as combinações hidratadas da cal com a sílica, alumina e óxido de ferro, podem reagir quimicamente com diferentes substâncias. A resistência do cimento pode apresentar-se diminuída e, nos casos mais extremos, sua coesão pode desaparecer, principalmente pela lixiviação do cimento endurecido e pela expansão provocada por novas combinações sólidas no cimento endurecido (BAUER, 2000).

Cimento é um material seco, finamente pulverizado, que por si só não é uma aglomerante, mas desenvolve propriedade aglomerante como resultado de hidratação, através de reações químicas entre os minerais do cimento e a água (METHA; MONTEIRO, 2008). O cimento passa a ser chamado de hidráulico, quando os produtos dessa hidratação ficam estáveis no meio aquoso. Dentre estes cimentos, o mais conhecido e utilizado na construção de um modo geral, é o chamado de cimento Portland, que obteve esse nome por apresentar características semelhantes as rochas encontradas na ilha britânica de Portland, e sua composição está essencialmente formada por silicatos reativos de cálcio. Silicatos de cálcio hidratados formados durante a hidratação do cimento Portland, são os principais responsáveis por sua característica adesiva e são estáveis em meio aquoso (METHA; MONTEIRO, 2008). Os constituintes fundamentais do cimento Portland são a cal ( $\text{CaO}$ ), a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), o óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), certa proporção de magnésia ( $\text{MgO}$ ), e pequena porcentagem de anidrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ), adicionado após a calcinação, por fim, componentes em menores quantidades, considerados como impurezas, óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) e outras substâncias de menor importância (BAUER, 2000).

Aditivos e adições são definidos como materiais que não sejam agregados, cimento e água, e que sejam adicionados à dosagem do concreto imediatamente antes ou durante a mistura (METHA; MONTEIRO, 2008). É necessário, antes da utilização destes produtos o entendimento de suas funções e benefícios. Segundo Petrucci (1998), vale ressaltar que um aditivo ou adição, nunca pretenderá corrigir

defeitos intrínsecos ao concreto, provenientes de dosagem incorreta ou colocação mal feita, assim, nenhum impermeabilizante poderá suprir as deficiências de um concreto mal proporcionado e poroso, por exemplo. A classificação pode ser baseada na ação ou nos efeitos (BAUER, 2000); o critério da ação se caracteriza pelos efeitos químicos, físicos ou físico-químicos dos aditivos, modificando a solubilidade dos compostos do cimento Portland no aspecto químico. Nos efeitos físicos há uma ação na natureza tensoativa, alterando a tensão superficial da fase líquida e a interface entre as fases sólidas e gasosas (BAUER, 2000). Os efeitos, embora apresentando menor precisão científica, estão relacionados ao comportamento que os mesmos proporcionam aos concretos, portanto, apresentam-se de forma variada e com características específicas de acordo com suas finalidades. Como afirmam Metha e Monteiro (2008), uma única classificação não pode abranger todos os aditivos e adições para concreto, por isso torna-se conveniente agrupá-los nas três categorias: substâncias químicas tensoativas, substâncias químicas modificadoras de pega e adições minerais.

## 2.2 TIPOS DE CONCRETO

Em termos de definição, a NBR 8953:2011, aplica-se três termos para definição do concreto, são eles: concreto normal (C), com massa específica seca de acordo com a ABNT NBR 9778, compreendida entre  $2.000\text{kg/m}^3$  e  $2.800\text{kg/m}^3$ ; concreto leve (CL), com massa específica seca de acordo com a ABNT NBR 9778, inferior a  $2.000\text{kg/m}^3$ ; e concreto pesado ou denso (CD), com massa específica seca de acordo com a ABNT NBR 9778, superior a  $2.800\text{kg/m}^3$ .

Quanto a sua classificação para fins estruturais os concretos podem se dividir em dois grupos, I e II, conforme a resistência característica de compressão ( $f_{ck}$ ) como determina a NBR 8953:2011. As classes de resistências para o grupo I iniciam com a nomenclatura C20 e vai até C50, variando de 5 unidades, e suas respectivas resistências iniciam, respectivamente em 20 MPa e vai até 50 MPa, variando a cada 5 unidades. Para os concreto deste último grupo, permite-se adotar os critérios de normas internacionais, caso de ausência de norma brasileira (NBR 8953:2011). Para as resistências características à compressão de 10 e 15 MPa, com as respectivas classes C10 e C15, não são classificados como concretos estruturais. Outra classificação diz respeito a consistência do concreto no estado fresco, determinado

pelo ensaio de abatimento do tronco de cone, realizado pela ABNT NBR NM 67. Há, nesse caso, uma correlação entre a medida do abatimento observada no ensaio e a sua classificação, levando em consideração que essa medida do abatimento é obtida em milímetros. Portanto, as classes, ficam definidas como Classe S10, abatimento maior ou igual que 10 e menor que 50; Classe S50, abatimento maior ou igual que 50 e menor que 100; Classe S100, abatimento maior ou igual que 100 e menor que 160; Classe 160, abatimento maior ou igual que 160 e menor que 220; Classe S220, abatimento maior que 220.

Para comercialização e produção de concretos dosados em centrais e usinas de produção, outras nomenclaturas são utilizadas, com a finalidade de definir um tipo específico, geralmente associado a sua utilização e aplicação em obra. O Manual do Concreto Dosado em Central (ABESC, 2007), define alguns destes tipos, sendo eles os concretos rolado, bombeado, resfriado, colorido, projetado, de alta resistência inicial, fluído, pesado, leve, de alto desempenho, convencional, submerso, entre outros possíveis.

## 2.3 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

### 2.3.1 Concreto nas primeiras idades

O conceito de primeiras idades no concreto fresco, se refere a um pequeno período de tempo, os dois primeiros dias após a produção (METHA; MONTEIRO, 2008). Nesse período várias operações são realizadas, relacionadas desde a etapa do preparo, misturas dos materiais, transportes, aplicação, lançamento, adensamento, acabamentos, cura, desmoldagem ou desformas. Todas essas operações podem ser afetadas pelas características desse concreto em seu estado fresco. Logo, é essencial a necessidade do controle e da qualidade dessas operações iniciais, para garantir que o resultado final permita o funcionamento adequado dos elementos estruturais. Assim como afirmam Metha e Monteiro (2008), as deficiências no concreto fresco, como a perda da trabalhabilidade no lançamento, segregação e exsudação durante o adensamento, ou uma taxa excepcionalmente baixa de ganhos de resistência, podem prejudicar o produto final e reduzir a vida útil. Em artigo

publicado no Rilem Bulletin, em Abril de 1982, no Symposium on Concrete at Early Ages, Paris, S.G. Bergstrom (1982) alertou, em suas conclusões sobre o tema:

“O tempo não é uma medida muito boa para as ‘primeiras idades’. O tempo que o concreto leva para atingir certa maturidade depende de muitos fatores: tipo de cimento, reatividade do cimento, temperatura, aditivos, adições, etc. De uma forma geral, o fator tempo não é significativo, se você estiver especificando o caso muito cuidadosamente. É claro, então, que o grau de hidratação fornece uma indicação muito melhor que, no entanto, nem sempre está disponível, sob o ponto de vista prático...Todas as idades menores, são evidentemente primeiras idades, o que significa que a definição depende da forma como você usará o concreto...Quando se procura definir a liberação da área onde se vai trabalhar, poder-se-ia assumir, como regra prática, para o concreto convencional, em condições normais, aquele tempo como 24 horas; outros poderiam recomendar cerca de 48 horas, mas isso é só para indicar uma ordem de grandeza...”

Embora esse período definido como primeiras idades do concreto, tenha um prazo muito curto, muitas das operações que ocorrem podem afetar substancialmente a qualidade e o resultado esperado, e ao contrário do que se possa pensar, esses problemas não estão relacionados apenas com as características e qualidades dos materiais, más também, com as operações realizadas nesse período de primeiras idades, sendo elas a proporção adequada dos materiais, mistura, lançamento e acabamento, trabalhabilidade e cura (METHA; MONTEIRO, 2008).

### 2.3.2 Trabalhabilidade

#### 2.3.2.1 Conceituação

O concreto em seu estado é constituído, essencialmente, de agregados miúdo e graúdo, envoltos em uma pasta de cimento, composta por solução aquosa de água e grãos de cimento, e ar presente nessa pasta (BAUER, 2000). O ar presente, encontra-se envolvido pela pasta de cimento, na forma de bolhas ou em espaços interligados, determinando assim, a plasticidade ou a falta dela na mistura. Bauer (2000), afirma que os valores da resistência e de outras propriedades do concreto

endurecido são limitados pela composição de sua matriz, em especial pelo seu teor de cimento. Essa composição pode ser expressa pela relação vazios/cimento, considerando como vazios o volume de ar e água da matriz. Na maioria dos casos, os vazios são preenchidos principalmente por água, tornando possível estabelecer a composição da matriz em termos de fator água/cimento, ficando discutível quando a mistura possui ar incorporado artificialmente.

A ASTM C-125 define trabalhabilidade, a propriedade que determina o esforço exigido para manipular uma quantidade de concreto fresco, com perda mínima de homogeneidade. O termo manipular inclui as operações de primeiras idades como lançamento, adensamento e acabamento (METHA; MONTEIRO, 2008). Bauer (2000), afirma que o comportamento físico mais importante da trabalhabilidade é a consistência, termo esse, que representa propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionadas com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes, tendo em vista a uniformidade e a compacidade do concreto e o bom rendimento da execução (TORRES; ROSMAN, 1956).

A consistência, medida, principalmente, pelo ensaio de abatimento de tronco de cone, determinado pela NBR NM 67, o qual define um índice simples da mobilidade ou da fluidez do concreto fresco. A necessidade de esforço para fazer o adensamento do concreto determinado pelas suas características de fluidez e por quão fácil for a redução dos vazios no concreto, sem afetar sua estabilidade (METHA; MONTEIRO, 2008).

A estabilidade, pode ser entendida como o índice determinado para representar a capacidade de retenção de água, oposto da exsudação, e também, para a capacidade de retenção dos agregados graúdos na massa do concreto fresco, oposto à segregação (METHA; MONTEIRO, 2008).

### 2.3.2.2 Fatores que afetam a trabalhabilidade

Torna-se muito mais apropriado, estudar os fatores que afetam a consistência e a coesão, do que a trabalhabilidade em propriamente. Isso se justifica, porque esses dois componentes da trabalhabilidade podem ser influenciados de forma oposta pela mudança de uma variável específica. De modo geral, sua influência sobre a consistência e coesão, a trabalhabilidade das misturas de concreto são afetadas pelo

consumo de água ou de cimento, pela granulometria do agregado e outras características físicas, pelos aditivos, adições e pela perda de abatimento (SCANLON, 1994).

Segundo o ACI 211.1, para uma dada dimensão máxima característica do agregado graúdo, o abatimento ou a consistência do concreto tem correlação direta com a quantidade de água na mistura, independente de outros fatores como granulometria do agregado e consumo de cimento. Misturas com consistência muito fluida tendem a segregar e exsudar, afetando o acabamento. Misturas com consistência muito seca podem ser difíceis de lançar e adensar, e o agregado graúdo pode segregar no lançamento (METHA; MONTEIRO, 2008).

Sobre o consumo de cimento, Metha e Monteiro (2008), afirmam que em um concreto de cimento Portland convencional, com um dado consumo de água, a redução considerável do consumo de cimento tende a produzir misturas ásperas com acabamento precário. As misturas de concreto com consumo muito elevado de cimento, ou alta proporção de finos, apresentam excelente coesão, mas tendem a ficar viscosas.

As características dos agregados, como o tamanho do agregado graúdo influenciam na quantidade de água necessária para atingir uma determinada consistência. Também deve ser observado que, areias muito finas ou angulosas necessitam de mais água para se obter uma consistência específica (METHA; MONTEIRO, 2008).

Aditivos e adições, de um modo geral, tem efeito direto na trabalhabilidade. Quando a quantidade de água de uma determinada mistura de concreto é mantida constante, a incorporação de aditivos redutores de água aumentam o abatimento, proporcionando maior fluidez. O ar incorporado faz aumentar o volume da pasta e melhora a consistência, para um determinado consumo de água, tornando-o mais fluido, aumentando também a coesão pela redução da exsudação e da segregação. Adições de pozolanas tendem a reduzir a exsudação e aumentar a coesão do concreto. As cinzas volantes, quando utilizadas para substituir parcialmente o agregado miúdo, apresentam um aumento na consistência (METHA; MONTEIRO, 2008).

### 2.3.3 Perda de Abatimento

#### 2.3.3.1 Conceituação e Importância

A perda de abatimento é entendida como a perda de consistência do concreto fresco com o passar do tempo.

Esse é um acontecimento considerado normal e esperado para as misturas de concreto. Isso é o resultado da pega da pasta de cimento Portland ao sofrer o processo de hidratação, causando o enrijecimento do concreto. Essa perda de abatimento vai ocorrer no momento em que a água livre da mistura é consumida pelas reações de hidratação, como afirma Metha e Monteiro (2008).

Em condições consideradas normais, o volume de produtos de hidratação é pequeno durante os primeiros trinta minutos após a adição de água ao cimento, e a perda de abatimento é insignificante. Após esse período, o concreto inicia o processo de perda de abatimento a uma determinada taxa que é função, do tempo, da temperatura, da composição do cimento e aditivos e adições presentes (METHA; MONTEIRO, 2008). Em certas condições, misturas que apresentem perda acentuada de abatimento durante os primeiros trinta a sessenta minutos, podem dificultar as operações de mistura, transporte, lançamento, adensamento e acabamento, podendo impossibilitar essas operações.

Esse enrijecimento prematuro do concreto fresco pode significar alguns resultados práticos, que interferem, além da qualidade, em fatores ligados diretamente a produção como cita Metha e Monteiro (2008). Acréscimo de torque na caçamba da betoneira, necessidade de mais água na betoneira ou no canteiro de obras, aderência do concreto dentro da caçamba do caminhão betoneira, dificuldades para bombear e lançar o concreto, maior consumo de mão-de-obra para operações de trabalho e acabamento, queda da produtividade e qualidade da mão-de-obra, perda de resistência, durabilidade e outras qualidades quando a dosagem de água é excessiva ou não é misturada de forma homogênea.

Em casos onde há falha na fiscalização, controle e qualidade do concreto nos canteiros de obra, as equipes de concretagem, frequentemente, adotam a péssima prática de adicionar mais água ao concreto, sendo necessário ou não. Falhas de desempenho vão surgir no concreto, atribuídas à adição inadequada da água de

amassamento que foi utilizada de forma inadequada ou não considerada nos cálculos da dosagem inicial (METHA; MONTEIRO, 2008).

#### 2.3.3.2 Causas e Controle

Os principais problemas relacionados a perda de abatimento são o emprego de cimento de pega normal, período extraordinariamente longo para operações de mistura, transporte, lançamento, adensamento ou acabamento, alta temperatura do concreto devido ao calor de hidratação excessivo e ao emprego de materiais estocados em locais de temperatura ambiente muito alta (METHA; MONTEIRO, 2008).

Problemas relacionados a perdas de abatimento são mais frequentes em lares com climas mais quentes. Quanto maior a temperatura em que o concreto for misturado, manuseado e lançado, maior será a probabilidade de que a perda de abatimento se torne causa de problemas operacionais. Em climas quentes e secos, é comum a recomendação de manter os agregados em áreas cobertas e resfriados com água. De acordo com Tuthill (1970), o uso de gelo em escamas como substituição parcial ou total da água de amassamento é a melhor forma para reduzir a temperatura do concreto.

#### 2.3.4 Segregação e Exsudação

##### 2.3.4.1 Conceituação e Importância

Pode ser entendida por segregação, como a separação dos constituintes da mistura, impedindo a obtenção de um concreto com características de uniformidades razoáveis (BAUER, 2000). A diferença de tamanho dos grãos do agregado e massa específica dos constituintes que se encontram as causas primárias da segregação, porém, seu aparecimento pode ser controlado pela escolha conveniente da granulometria e pelo cuidado com todas as operações que envolvem o adensamento.

Existem dois tipos de segregação, a primeira é uma característica das misturas de concreto, e a segunda é característica das misturas de concreto (METHA;

MONTEIRO, 2008). Os grãos maiores do agregado tendem a se separar dos demais, seja depositando-se nos fundos das formas ou deslocando-se das demais rapidamente. A segunda forma, é mais comum nas misturas muito plásticas, onde se manifesta a separação da pasta, como afirma Bauer (2000).

A exsudação, é um fenômeno cuja manifestação externa é o surgimento de água na superfície após o concreto ter sido lançado e adensado, porém, antes da sua pega (METHA; MONTEIRO, 2008). É uma forma particular de segregação, em que a água da mistura tende a se elevar à superfície do concreto recém lançado, provocado pela impossibilidade de os constituintes sólidos fixarem toda a água da mistura, dependendo em grande escala, das propriedades do cimento.

#### 2.3.4.2 Causas e Controle

Como principal resultado da exsudação, o topo da camada de concreto pode tornar-se muito úmido e, sendo a água impedida de evaporar, poderá resultar uma camada de concreto poroso, fraco e de pouca durabilidade (BAUER, 2000). Metha e Monteiro (2008), afirmam que uma combinação de consistência inadequada, quantidade excessiva de partículas do agregado graúdo com densidade muito alta ou muito baixa, pouca quantidade de partículas finas e métodos impróprios de lançamento e adensamento estão dentre as causas principais de segregação e exsudação em concreto. A exsudação também pode causar enfraquecimento da aderência pasta-agregado e aumento de permeabilidade (BAUER, 2000).

Um aumento no consumo de cimento e o uso de adições minerais e incorporadores de ar são, também, medidas empregadas para combater o fenômeno da exsudação nas misturas de concreto. Cabe destacar que cimentos com grandes quantidades de  $C_3A$  (aluminato tricálcico), e de álcalis, que apresentam maior perda de abatimento, tendem a reduzir a exsudação como resultado da rápida formação de sulfoaluminato hidratados, como a etringita (METHA; MONTEIRO, 2008).

## 2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

### 2.4.1 Características

O concreto é considerado como um sólido a partir de sua pega, sendo um material em constante evolução, em especial a respeito de sua resistência mecânica à compressão. Sensível às modificações do meio ambiente em que ele está inserido, como as físicas, químicas e mecânicas, apresentando reações geralmente lentas, que vão se manifestar de acordo com sua história ao longo do tempo. A sua idade e histórico vão condicionar as características importantes e algumas propriedades (BAUER, 2000).

Ainda segundo Bauer (2000), essas características e propriedades, de modo geral serão responsáveis pela qualificação do concreto. Devendo ser consideradas, entretanto, em termos relativos, segundo a qualidade exigida para a finalidade específica de uma construção. Um exemplo prático é o caso de um determinado tipo de concreto apresentar durabilidade aceitável quando a estrutura se apresenta em um ambiente protegido de determinados agentes desintegradores, e esse mesmo concreto não ser mais apropriado quando exposto a esses elementos, como no caso de concreto em estruturas hidráulicas e aqueles utilizados em edificações. Portanto, o conhecimento das propriedades, de suas possibilidades e limitações e dos fatores que iram condicionar o material concreto, que vão permitir ao engenheiro escolher o material adequado para o trabalho em cada obra específica.

### 2.4.2 Densidade

A densidade para concretos considerados comuns, confeccionados com agregados normais, varia de acordo com o processo de adensamento utilizado na sua produção, sofrendo influência, em menor escala, do meio ambiente em que são mantidos em razão da variação da proporção de água contida nos seus poros. Bauer (2000), apresenta valores referenciais para densidades levando em consideração essa condição, sendo eles, concreto não adensado com  $2,1 \text{ t/m}^3$ , concreto comprimido com  $2,2 \text{ t/m}^3$ , concreto socado com  $2,25 \text{ t/m}^3$  e concreto vibrado entre  $2,3$  a  $2,4 \text{ t/m}^3$ , sendo este último o valor comumente utilizado no meio prático. No caso do concreto

considerado armado, com a presença de aço, a densidade varia com a proporção de aço das armaduras contidas no concreto. Para a determinação, pode-se utilizar da proporção indicada por  $2,37 + 0,70 \cdot f$  (BAUER,2000), sendo  $f$  o consumo de aço por metro cúbico, sendo assim, para 100kg de aço por metro cúbico, teríamos a densidade de 2,45 t/m<sup>3</sup>. É comum no meio prático de obra, se estimar, para contas rápidas e aproximadas de cálculo de peso, o uso de 2,5 t/m<sup>3</sup> para o concreto com armaduras de aço, considerado como concreto armado.

#### 2.4.3 Resistência à abrasão

É a característica que apresenta importância, principalmente, para as superfícies do concreto sujeitas a movimentação de cargas ou atrito. A deterioração ou destruição da estrutura do material se processa pelo rompimento dos grãos dos agregados e pela retirada deles da pasta do concreto. Para eliminação do problema, a melhora na qualidade da pasta de cimento e o acabamento superficial adequado, podem contribuir para uma elevada resistência à abrasão. De uma forma geral, a resistência à abrasão cresce proporcionalmente com a resistência à compressão do concreto entre 200 e 400 kg/cm<sup>2</sup>, com resistências inferiores a 200 kg/cm<sup>2</sup>, o desgaste cresce mais rapidamente (BAUER, 2000).

#### 2.4.4 Durabilidade

##### 2.4.4.1 Conceituação

O ACI Committee 201, define a durabilidade do concreto de cimento Portland, como a capacidade de resistir à ação de intempéries, ataque químico, abrasão, ou qualquer outro processo de deterioração. Preservará sua forma, qualidade e capacidade de uso originais quando exposto ao ambiente de uso para o qual foi projetado (MATHA; MONTEIRO, 2008). Bauer (2000) afirma que este conceito deve ser entendido em termos relativos, proporcionado pelo conhecimento do comportamento desse material, sujeito a deterioração em maior ou menor grau, frente a determinadas situações, que podem conduzir ao desenvolvimento progressivo e

normalmente lento de desordem que, em um processo contínuo, podem conduzir a uma desagregação completa da estrutura.

Quase sempre, entretanto, esses processos destrutivos podem ser interrompidos, corrigindo-se as causas da destruição progressiva, reconduzindo a estrutura a condições de sobrevivência (BAUER, 2000).

#### 2.4.4.2 Classificação e Causas

Segundo Metha e Gerwick (1982), as causas da deterioração do concreto se agrupam em físicas e químicas. No caso da primeira, há uma divisão em duas categorias. A primeira trata do desgaste superficial ou perda de massa devido à abrasão, erosão e cavitação e a segunda trata da fissuração devida a gradientes normais de temperatura e umidade, cristalização de sais nos poros, carregamento estrutural e exposição a temperaturas extremas, como congelamento ou fogo. As causas químicas são agrupadas em três categorias, sendo a primeira relacionada a hidrólise de componentes da pasta por água mole, a segunda são reações de troca catiônica entre fluidos agressivos e a pasta de cimento e por fim, as reações químicas que levam à formação de produtos expansivos, como ataque por sulfatos, reação álcali-agregado e corrosão da armadura no concreto (METHA; MONTEIRO, 2008).

Os autores afirmam, que essa distinção entre causas físicas e químicas de deterioração é arbitrária, pois na prática elas quase sempre se superpõem. É o caso, por exemplo, da perda de massa superficial por desgaste e a fissuração aumentam a permeabilidade do concreto, tornando-se a causa primária de um ou mais processos de deterioração química. Outro exemplo é o da lixiviação dos componentes da pasta de cimento endurecida, por água mole ou fluidos ácidos, aumentará a porosidade do concreto, tornando o material mais vulnerável à abrasão e a erosão.

A abrasão, como já citada por Bauer (2000), apresenta sua importância significativa nos concretos, em especial nas obras de pavimentos, hidráulicas, túneis e vertedouros.

A ação de corrosão do concreto por águas puras, se manifesta, principalmente, pelo efeito excessivo de CO<sub>2</sub> no lençol freático, se manifestando nas fundações. Muitas estruturas de concreto mostram a existência desse processo pela presença de depósitos superficiais de coloração branca e eflorescência. Misturas bem dosadas e

adensadas de baixa permeabilidade constituem um mecanismo de defesa para evitar a ação desse tipo de água (BAUER, 2000).

O ataque do concreto por águas sulfatadas é discutido desde a utilização moderna dos cimentos (BAUER, 2000). As águas que contêm sulfato de sódio, magnésio e cálcio agem sobre o concreto por dois mecanismos. Uma ação mecânica de micro fissuras proveniente da cristalização dos sais presentes em consequência da evaporação de água, quando as estruturas são intermitentemente sujeitas à inundação e posterior secagem conduz, ao fim, a uma destruição progressiva do concreto. Os sulfatos reagem quimicamente com a cal hidratada e o aluminato de cálcio, formando sulfato de cálcio e sulfo aluminato de cálcio, respectivamente. Estes produtos são formados com uma certa expansão causadora do fissuramento e conseqüentemente destruição do material.

Sobre os agentes químicos, várias são as situações que podem afetar o elemento concreto e suas propriedades. Tanques e reservatórios de concreto tem sido utilizados para armazenamento de várias espécies de líquidos, alguns com potencial para prejudicar a durabilidade do concreto (BAUER, 2000). Pisos de concreto em instalações industriais e também em outras finalidades, sofrem deterioração por ação de líquidos químicos e outros materiais postos em contato com o concreto.

## 2.5 CIMENTOS HIDRÁULICOS

### 2.5.1 Apresentação

Os cimentos hidráulicos, ou aqueles, resistentes à água, são basicamente constituídos de cimentos Portland e suas modificações (METHA; MONTEIRO, 2008). Muitas propriedades do concreto confeccionados com cimentos Portland, se desenvolvem como resultado das reações químicas entre os compostos do cimento Portland e a água, isso ocorre devido as reações de hidratação que são acompanhadas por alterações na matéria e liberação de energia. Os cimentos Portland não atendem totalmente as necessidades da indústria da construção do concreto, segundo Metha e Monteiro (2008), há a necessidade de se desenvolver cimentos especiais, com a finalidade de suprir essas necessidades. Dentre elas pode-se destacar as composições específicas, características de hidratação e propriedades

importantes dos cimentos pozolânicos, cimentos de escórias de alto-forno, cimentos expansivos, cimentos de pega e endurecimento rápidos, cimentos brancos e coloridos, cimentos para poços de petróleo e cimentos aluminosos.

### 2.5.2 Cimento Portland

A definição de Bauer (2000) para cimento Portland é o produto obtido pela pulverização de clínquer constituído essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, com uma certa proporção de sulfato de cálcio natural, contendo, eventualmente, adições de certas substâncias que modificam suas propriedades ou facilitam seu emprego. A NBR 12655, define cimento Portland como o aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante essa operação, a quantidade necessária, de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a essa mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores indicados nas normas específicas. Já a ASTM C 150 define como um cimento Portland como um cimento produzido pela moagem de clínqueres constituídos essencialmente por silicatos de cálcio hidráulicos e uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfato de cálcio.

Bauer (2000), define o clínquer como o produto de natureza granulosa, resultante da calcinação de uma mistura mineral específica, conduzida até a temperatura de sua fusão incipiente. Metha e Monteiro (2008), especifica clínqueres são nódulos de 5 a 25mm de diâmetro de material sinterizado que é produzido quando uma mistura de matérias primas de composição pré-determinada é aquecida em altas temperaturas.

### 2.5.3 Composição

O cimento Portland é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre (PETRUCCI, 1998). Esses silicatos e aluminatos complexos, ao serem misturados com água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, que pode então oferecer elevada resistência mecânica,

como afirma Petrucci (1998). É corrente, na nomenclatura dos compostos do cimento, considera-los formados por corpos binários contendo oxigênio, aos quais se dá o nome de seus componentes. E também dar destaque a esses componentes nas fórmulas dos compostos complexos que constituem o cimento Portland.

Cal, sílica, alumina e óxido de ferro são os componentes essenciais do cimento Portland e constituem, geralmente, 95 a 96% do total na análise de óxidos (BAUER, 2000). A magnésia, que parece permanecer livre durante todo o processo de calcinação, está usualmente presente na proporção de 2 a 3%, limitada, pelas especificações, a uma máximo permissível de 5%. Bauer (2000) afirma ainda que no Brasil, esse limite é um pouco superior, em torno de 6,4% e os óxidos menores aparecem em proporção inferior a 1%, excepcionalmente 2%.

A mistura de matérias primas que contenham, em proporções convenientes, os constituintes anteriores relacionados, finamente pulverizada e homogeneizada, é submetida à ação do calor no forno, os produtos de cimento, até a temperatura de fusão incipiente, que resulta na obtenção do clínquer. Nesse processo ocorrem combinações químicas, principalmente no estado sólido, que conduzem à formação dos seguintes compostos. Silicato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$ ); Silicato bicálcico ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$ ); Aluminato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$ ); Ferro aluminato tetracálcico ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AFe}$ ). As propriedades dos cimentos são, entretanto, relacionadas diretamente com as proporções dos silicatos e aluminatos. As proporções destes últimos podem ser determinados a partir do resultado da análise em óxidos. Denomina-se essa operação a determinação da composição potencial do cimento (BAUER, 2000).

Petrucci (1998) alerta para o conhecimento dos componentes essenciais encontrado no cimento Portland, sendo eles a Cal (CaO), componente essencial, presente em uma porcentagem de 60 a 67%. Na maior parte provém da decomposição do carbonato de cálcio; só em uma proporção muito pequena é que se encontra em estado de liberdade no cimento artificial; em igualdade de condições, pode-se dizer que as propriedades mecânicas do Portland aumentam com o teor de cal, desde que se encontre completamente combinada. A Sílica ( $\text{SiO}_2$ ), pode variar de 17 a 25%, e se encontra combinada com outros componentes e provem sobretudo de argilas usadas como matéria prima; é da sua combinação com a cal que resultam os componentes mais importantes. A Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), tem seu teor variando, geralmente, entre 3 a 8%, o composto formado pela combinação desse óxido com a cal acelera a

pega do aglomerante e reduz sua resistência aos sulfatos, razão pela qual a quantidade presente deve ser pequena; praticamente não pode prescindir da alumina porque, agindo como fundente, facilita, com as temperaturas correntes na indústria, o desenvolvimento das reações na formação do clínquer. O óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), aparece geralmente no cimento Portland em quantidades pequenas, de 0,5 a 6%, combinado com outros óxidos presentes; o óxido de ferro, em quantidades não muito elevadas, é útil pelo seu papel de fundente, desenvolvendo uma ação mais enérgica do que a alumina. O Anidro sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ), tem sua origem no sulfato de cálcio adicionado ao cimento para regular sua pega, retardando-a; as especificações para o teor máximo é de 3%, considerando-se perigosa sua presença acima desse limite, em virtude da formação do sulfoaluminato. A magnésia ( $\text{MgO}$ ), no cimento, provém do carbonato de magnésio presente no calcário, geralmente sob a forma de dolomita ( $\text{CaCO}_3, \text{MgO}_3$ ), ou em pequena quantidade, na argila; seu teor varia de 0,1 a 6,5%, admitindo-se, no cimento Portland, que a magnésia não se encontre combinada, podendo se tornar expansivo acima de certos limites, agindo de forma nociva sobre a estabilidade de volume das argamassas e concretos. Os álcalis óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), encontram-se com teores de 0,5 a 1,3%, desenvolvendo papel de fundentes na cozedura e agindo como aceleradores da pega.

## 2.5.4 Propriedades Físicas

### 2.5.4.1 Densidade

A densidade absoluta do cimento Portland é usualmente considerada como  $3,15 \text{ t/m}^3$  embora possa variar para valores ligeiramente inferiores (BAUER, 2000). A utilidade do conhecimento do valor da densidade se encontra nos cálculos do valor de consumo do produto na misturas feitas com volumes específicos do produto. Na pasta de cimento a densidade tem seu valor variável com o tempo, aumentando à medida que progride o processo de hidratação. Esse fenômeno, que apresenta características complexas, recebe o nome de retração. Podendo atingir a retração no período de 24 horas, cerca de 7mm por metro na pasta pura, 4,5mm por metro na argamassa padrão e 2mm por metro em concretos dosados a  $350\text{kg/cimento/m}^3$ .

#### 2.5.4.2 Finura

É entendida como uma noção relacionada aos tamanhos dos grãos. Comumente definida em duas características distintas, a primeira está relacionada ao tamanho máximo do grão, quando as especificações estabelecem uma proporção em peso do material retido na operação de peneiramento em malha de abertura definida; a segunda forma é dada pelo valor da superfície específica (BAUER, 2000).

A finura e mais especificamente a superfície específica, é o fator que determina a velocidade da reação de hidratação do mesmo e tem também sua influência comprovada em muitas qualidades de pasta, argamassas e dos concretos, como afirma Bauer (2000).

É determinada durante o processo de fabricação para o controle de produção, e ainda, em ensaios de recepção do produto (BAUER, 2000). As especificações brasileiras NBR 5732, NBR 5733 e NBR 11578, prescrevem limite de retenção na peneira de nº 200 de malha 75 micra de abertura. Para os cimentos Portland de alta resistência inicial, tal índice deve baixar a 6%.

#### 2.5.4.3 Tempo de Pega

A pega do cimento compreende a evolução das propriedades mecânicas da pasta no início do processo de endurecimento, sendo essencialmente físicas, porém, com consequência em um processo químico de hidratação (BAUER, 2000). Artificialmente definido como o momento em que a pasta adquire certa consistência que a torna imprópria a um trabalho, e esse conceito pode ser aplicado tanto à argamassa quanto aos concretos nos quais a pasta de cimento está presente, com finalidade de aglutinar os agregados.

O termo pega se refere à solidificação da pasta de cimento. O início da solidificação, chamado de início de pega, marca o ponto em que a pasta se torna não trabalhável. Da mesma forma, as operações de lançamento, compactação e acabamento do concreto se tornam difíceis após esse estágio (METHA; MONTEIRO, 2008). A pasta necessita de um tempo para se tornar completamente rígida, esse tempo marca o fim de pega, que não deve ser excessivo para evitar problemas no processo construtivo.

Ao final da pega, a pasta de cimento Portland tem pouca ou nenhuma resistência porque representa apenas o início da hidratação do  $C_3S$  (Silicato tricálcico), o principal composto presente. Uma vez iniciada a hidratação do  $C_3S$ , a reação continua agindo rapidamente por várias semanas. O progressivo preenchimento dos espaços vazios na pasta com produtos de reação resulta na redução da porosidade e permeabilidade e no aumento da resistência (METHA; MONTEIRO, 2008).

#### 2.5.4.4 Resistência

A resistência mecânica dos cimentos é determinada pela ruptura à compressão de corpos-de-prova realizados com argamassa. O processo de determinação da resistência é descrito pela NBR 7215, no qual se utiliza de um cilindro de 10cm de altura por 5cm de diâmetro. Os corpos-de-prova, executados com base nessa NBR, são conservados em câmara úmida por 24 horas, e a seguir imersos em água até a data do rompimento, que ocorre geralmente nas idades de 1, 3, 7, e 28 dias. Para o cimento Portland ordinário, a especificação brasileira NBR 5732, exige aos três dias de idade, resistência mínima de 8 MPa. Aos sete dias, 15 MPa e, aos 28 dias, 25 MPa (BAUER, 2000).

#### 2.5.4.5 Exsudação

Fenômeno de segregação que ocorre nas pastas de cimento (BAUER, 2008). Os grãos de cimento, sendo mais pesados que a água que os envolve, são forçados por gravidade, a uma sedimentação. Resulta dessa tendência de movimentação dos grãos para baixo um afloramento do excesso de água, expulso das porções inferiores.

## 2.5.5 Propriedades Químicas

### 2.5.5.1 Estabilidade

É a característica ligada a ocorrência eventual de indesejáveis expansões volumétricas posteriores ao endurecimento do concreto e resulta da hidratação de cal e magnésia livre nele presentes (BAUER, 2000). A presença de grandes proporções de cal livre (CaO), esse óxido, ao se hidratar posteriormente ao endurecimento, aumento de volume, criando tensões internas que conduzem à microfissuração, e pode provocar a desagregação mais ou menos completa do material. Isso pode ocorrer quando prevalecem temperaturas superiores a 1.900°C no processo de fabricação do clínquer e resulta na supercalcinação da cal.

Determina-se a estabilidade do cimento pelos ensaios de expansão em autoclave, onde a pasta de cimento é submetida a uma processo acelerado de endurecimento em temperatura elevada, de modo a fazer aparecer, em sua provável grandeza, a expansão resultante da hidratação, tanto da cal quanto da magnésia livre (BAUER, 2000).

### 2.5.5.2 Calor de hidratação

Durante o processo de endurecimento do cimento, considerável quantidade de calor se desenvolve nas reações de hidratação. Essa energia térmica produzida merece especial atenção, principalmente pela elevação de temperatura, resultante de grandes volumes de concreto, os quais conduzem ao aparecimento de trincas de contração ao fim do resfriamento da massa. O desenvolvimento de calor varia com a composição, especialmente com as proporções de silicato e aluminato tricálcicos (BAUER, 2000).

Para os valores do calor de hidratação do cimento, Bauer (2000), estabelece uma variação, para cimentos Portland, entre 85 e 100 cal/g, reduzindo-se para 60 a 80 cal/g nos cimentos de baixo calor de hidratação. Determina, ainda, que os valores de hidratação dos componentes do cimento são, para C<sub>3</sub>S, 120 cal/g; C<sub>2</sub>S, 62 cal/g; C<sub>3</sub>A, 207 cal/g; C<sub>4</sub>AF, 100 cal/g; Magnésia, 203 cal/g e Cal, 279 cal/g.

O método mais comum para determinar o calor de hidratação do cimento é o calor de dissolução, no qual amostras secas de cimento em pó e de cimento parcialmente hidratado são dissolvidas em mistura de ácidos nítrico e clorídrico numa garrafa térmica. A elevação da temperatura devidamente corrigida pela eliminação dos fatores estranhos ao fenômeno determina as medidas do calor de dissolução das amostras, por diferença, o calor de hidratação do cimento é calculado (BAUER, 2000).

O interesse do conhecimento do valor do calor de hidratação do cimento está na possibilidade do estudo da evolução térmica durante o endurecimento do concreto em obras volumosas.

#### 2.5.5.3 Resistência aos agentes agressivos

Nos concretos em contato com água e com a terra podem ocorrer fenômenos de agressividade. Ambos podem conter substâncias químicas suscetíveis a reações com certos constituintes do cimento presentes nos concretos. O cimento constitui o elemento mais suscetível ao eventual ataque, já que os agregados são de natureza predominantemente inerte. Os cimentos hidratados são elementos submetidos a ataque químico; o hidróxido de cálcio presente na proporção de 15 a 20% do peso do cimento original constitui o ponto mais vulnerável (BAUER, 2000).

As águas puras de fontes graníticas ou oriundas do degelo atacam o cimento hidratado por dissolução da cal existente, alcançando cerca de 1,3 grama por litro nas temperaturas correntes, segundo Bauer (2000). Águas ácidas que apresentem certa proporção de gás carbônico dissolvido, agem sobre a cal do cimento hidratado em processo que varia em função da taxa de concentração do anidrido carbônico. Águas podem ser igualmente agressivas quando contêm outros ácidos, como os presentes em resíduos industriais e águas provenientes de charcos contendo ácidos orgânicos, em ambos os casos há exaustão da cal, e um ataque posterior dos sais constituintes do cimento hidratado, deixando no concreto um esqueleto sem coesão e inteiramente prejudicado nas suas características mecânicas e outras (BAUER, 2000).

Águas sulfatadas atacam o cimento hidratado por reação do sulfato com aluminato, produzindo um sulfoaluminato com grande aumento de volume. Essa expansão interna é responsável pelo fissuramento, e como consequência, facilita o ataque, conduzindo o processo a completa deterioração do material. Águas paradas,

contendo mais de meio grama de sulfato de cálcio por litro, e águas correntes com mais de 0,3g podem, em geral, ser consideradas perigosas, como afirma Bauer (2000).

Águas do mar contém numerosos sais em solução, entre eles, os sulfatos de cálcio, o sulfato de magnésio e o cloreto de sódio. A presença do cloreto de sódio, contribui para aumentar a solubilidade da cal. O pequeno conteúdo de ácido carbônico contribui como medida de proteção, pela formação de carbono insolúvel (BAUER, 2000).

#### 2.5.5.4 Reação álcali-agregado

Identifica-se como reação álcali-agregado a formação de produtos gelatinosos acompanhada de grande expansão de volume pela combinação dos álcalis do cimento com a sílica ativa finamente dividida, eventualmente presente nos agregados. Por constituir importante risco na durabilidade dos concretos, merece detalhada investigação quando do uso de agregados oriundos de novas fontes (BAUER, 2000), sem conhecimento prévio de seus comportamentos, origem e potenciais reativos.

## 2.6 CLASSIFICAÇÃO DOS CIMENTOS

Os cimentos foram originariamente fabricados segundo as especificações dos consumidores que encomendavam, das fábricas, o produto com certas características convenientes a um trabalho. A partir de 1904, quando as primeiras especificações da ASMT foram introduzidas, a indústria limitou-se a produzir alguns tipos de cimento. Em cada país, a indústria produz os cimentos padronizados pelo organismo normalizador nacional, limitando em uma determinada quantidade de tipos (BAUER, 2000). No Brasil, são produzidos vários tipos de cimentos, oficialmente normalizados. Também tem-se a fabricação de cimento branco para uso não estrutural, que é um cimento Portland ordinário, praticamente isento de óxidos de ferro.

As especificações da ANBT, NBR 5732, NBR 11578 e NBR 5733, definem os cimentos como cimento Portland Comum, cimento Portland Composto e cimento Portland de Alta Resistência Inicial, respectivamente.

No Brasil, vários são os tipos de cimento Portland existentes, apresentando diferenças, principalmente em função de sua composição (ACBP, 2002). Os principais tipos oferecidos no mercado e os mais empregados nas diversas obras de construção civil são os cimentos Portland comum, composto, de alto-forno e pozolânico. Em menor escala são produzidos os cimentos Portland de alta resistência inicial, resistente a sulfatos, branco, de baixo calor de hidratação, para poços petrolíferos, como indica a BT 106 da ABCP (2002).

Também se divide as classes de cimentos Portland pelo seu tipo, determinando uma numeração de 1 a 5, e separando eles em função de suas características e finalidades, de acordo com o processo de fabricação.

O cimento tipo 1 ( I ) é o cimento Portland comum utilizado nos trabalhos gerais de construção, onde nenhuma das características diferenciadoras dos tipos restantes são exigidas e constituintes em um desenvolvimento natural do cimento fabricado antes de 1936, quando foi introduzida essa classificação (BAUER, 2000).

O cimento tipo 2 ( II ), conhecido como modificado, é um cimento com desenvolvimento moderado de calor de hidratação. Foi muito utilizado nas pavimentações antes da técnica de incorporação de ar (BAUER, 2000), e recomendado para construções volumosas e de porte moderado.

O cimento tipo 3 ( III ), é o cimento de alta resistência inicial, diferenciando-se do tipo 1 pela proporção mais elevada de  $C_3S$  e menor finura (BAUER, 2000).

O cimento tipo 4 ( IV ), é um cimento de calor de hidratação muito baixo, destinado ao emprego em construções volumosas de grande porte. Isso é conseguido pela redução na proporção de  $C_3A$  e  $C_3S$  (BAUER, 2000).

O cimento tipo 5 ( V ) é destinado ao emprego em obras onde a resistência ao ataque às águas sulfatadas é importante. Nesse produto a proporção de  $C_3A$  é substancialmente reduzida (BAUER, 2000).

### 2.6.1 Cimento Portland comum e compostos

O primeiro cimento Portland lançado no mercado brasileiro, conhecido como CP, correspondente atualmente ao CP I, um cimento Portland comum utilizado sem quaisquer adições além do gesso (ACBP, 2002).

Esse material passou a ser utilizado na maioria das aplicações usuais como termo de referência para comparação com as características e propriedades dos tipos de cimento posteriormente aparecidos. Foi a partir do amplo domínio científico e tecnológico sobre o cimento Portland comum que se pôde desenvolver outros tipos de cimento, com o objetivo inicial de atender a casos especiais. Com o tempo verificou-se que alguns desses cimentos, inicialmente imaginados como especiais, tinham desempenho equivalente ao do cimento Portland comum original, atendendo plenamente às necessidades da maioria das aplicações usuais e apresentando, em muitos casos, inclusive, alguma vantagem adicional. A partir dos bons resultados dessas conquistas e a exemplo de países tecnologicamente mais avançados, como os da União Europeia, surgiu no mercado brasileiro em 1991 um novo tipo de cimento, o cimento Portland composto, cuja composição é intermediária entre os cimentos Portland comuns e os cimentos Portland com adições de alto-forno e os pozolânicos, estes últimos já disponíveis há algumas décadas.

Abaixo é apresentado no Quadro 1, as composições dos cimentos Portland comum e composto, como indicado no BT 106 da ABCP (2002).

Quadro 1 – Composição dos cimentos Portland comum e compostos  
(BT 106 ABCP, 2002)

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Gesso + Clínquer	Escória granulada de alto-forno (E)	Material pozolânico (Z)	Material carbonático (F)	
Comum	CP I	100		-		NBR 5732
	CP I S	99 – 95		1 – 5		
Composto	CP II-E	94 – 56	6 – 34	-	0 – 10	NBR 11578
	CP II-Z	94 – 76	-	6 – 14	0 – 10	
	CP II-F	94 – 90	-	-	6 – 10	

Atualmente aos cimentos compostos são os mais encontrados no mercado brasileiro, correspondendo aproximadamente 75% da produção industrial, sendo utilizados na maioria das aplicações, em substituição ao antigo CP (ABCP, 2002).

## 2.6.2 Cimento Portland de alto-forno e pozolânicos

Na busca de alternativas para redução do consumo energético na produção de cimentos Portland, surgiu a possibilidade do uso de escórias granuladas de alto-forno e materiais pozolânicos.

As escórias granuladas de alto-forno apresentam propriedades hidráulicas latentes, isto é, da forma como são obtidas endurecem quando misturadas com água. Contudo, as reações de hidratação das escórias são tão lentas que limitariam sua aplicação prática se agentes ativadores, químicos e físicos, não acelerassem o processo de hidratação.

A cal liberada durante a hidratação do clínquer é o principal ativador químico da escória quando esta é adicionada ao cimento, ao passo que a ativação física é conseguida pelo aumento da finura quando a escória é moída separada ou conjuntamente com o clínquer (ABCP, 2002).

Os materiais pozolânicos, ao contrário das escórias granuladas de alto-forno, não reagem com a água da forma como são obtidos. Entretanto, quando finamente divididos, reagem com o hidróxido de cálcio em presença de água e na temperatura ambiente, dando origem a compostos com propriedades aglomerantes. Por essa razão, os materiais pozolânicos são utilizados conjuntamente com o clínquer, pois o hidróxido de cálcio é um produto normalmente resultante da hidratação deste (ABCP, 2002).

A adição de escória e materiais pozolânicos modifica a microestrutura do concreto, diminuindo a permeabilidade, a difusibilidade iônica e a porosidade capilar, aumentando a estabilidade e a durabilidade do concreto. Tais fatores repercutem diretamente no comportamento do concreto, melhorando seu desempenho ante a ação de sulfatos e da reação álcali-agregado. Outras propriedades são também alteradas, incluindo a diminuição do calor de hidratação, o aumento da resistência à compressão em idades avançadas, a melhor trabalhabilidade e outros (ACBP, 2002).

Dado o fato de as escórias granuladas de alto-forno e os materiais pozolânicos terem menor velocidade de hidratação em relação ao clínquer, os cimentos com adição desses materiais podem apresentar, em igualdade de condições, menor desenvolvimento inicial de resistência. Entretanto, na prática, verifica-se que as

resistências efetivamente alcançadas em todas as idades superam os limites mínimos estabelecidos pelas normas técnicas da ABNT, que especificam os valores necessários às aplicações mais usuais (ABCP, 2002).

Quadro 2 – Composição dos cimentos Portland de alto-forno e pozolânicos  
(BT 106 ABCP, 2002)

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + Gesso	Escória granulada de Alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático	
Alto-forno	CP III	65 – 25	35 – 70	-	0 – 5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85 – 45	-	15 – 50	0 – 5	NBR 5736

### 2.6.3 Cimento Portland de alta resistência inicial

O cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) embora contemplado pela ABNT como norma separada do cimento Portland comum, é na verdade um tipo particular deste, que tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade (ABCP, 2002).

Quadro 3 – Composição de cimento Portland de alta resistência inicial  
(BT 106 ABCP, 2002)

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (%em massa)		Norma Brasileira
		Clínquer + Gesso	Material Carbonático	
Alta resistência inicial	CP V – ARI	100 – 95	0 – 5	NBR 5733

Há, entretanto, uma tendência mundial de abandonar a classificação do cimento de alta resistência como sendo um tipo específico do qual se exijam limitações de composição. Assim, a classificação do cimento de alta resistência inicial como qualquer tipo de cimento Portland (comum, composto, de alto-forno, pozolânico) que apresente adicionalmente a propriedade de desenvolver altas resistências iniciais já é adotada nos países da União Europeia. O mesmo fato deverá ocorrer no Brasil com os trabalhos de revisão da norma brasileira NBR 5733, no âmbito do Mercosul para adoção de norma única nos países integrantes desse Mercado (ABCP, 2002).

O princípio de considerar quatro ou cinco tipos básicos de cimento classificados por sua composição (porcentagem de clínquer e adições) e tipos especiais derivados dos tipos básicos, que apresentem certas peculiaridades ou características, já é adotado no Brasil; os tipos especiais normalizados são os cimentos Portland resistentes aos sulfatos e os cimentos Portland de baixo calor de hidratação (ABCP, 2002).

#### 2.6.4 Cimento Portland resistentes aos sulfatos

Os cimentos Portland resistentes aos sulfatos são aqueles, como o próprio nome diz, que têm a propriedade de oferecer resistência aos meios agressivos sulfatados, tais como os encontrados nas redes de esgotos de águas servidas ou industriais, na água do mar e em alguns tipos de solos. De acordo com a norma NBR 5737, quaisquer um dos cinco tipos básicos (CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI) podem ser considerados resistentes aos sulfatos, desde que obedeçam a pelo menos uma das seguintes condições (ABCP, 2002).

Segundo o BT 106 da ABCP (2002), segue as recomendações e característica principais como, teor de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) do clínquer e teor de adições carbonáticas de, no máximo, 8% e 5% em massa, respectivamente. Cimentos do tipo alto-forno que contiverem entre 60% e 70% de escória granulada de alto-forno, em massa. Cimentos do tipo pozolânico que contiverem entre 25% e 40% de material pozolânico, em massa. Cimentos que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos.

No primeiro e no último caso o cimento deve atender ainda a uma das normas NBR 5732, 5733, 5735, 5736 e 11578. Se o cimento original for o Portland de alta resistência inicial, NBR 5733, admite-se a adição de escória granulada de alto-forno ou de materiais pozzolânicos, para os fins específicos da NBR 5737, como indica o BT 106 (2002).

#### 2.6.5 Cimento Portland de baixo calor de hidratação

O aumento da temperatura no interior de grandes estruturas de concreto devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento pode levar ao aparecimento de fissuras de origem térmica, que podem ser evitadas se forem usados cimentos com taxas lentas de evolução de calor, os chamados cimentos Portland de baixo calor de hidratação. Os cimentos Portland de baixo calor de hidratação, de acordo com a NBR 13116, são aqueles que geram até 260 J/g e até 300 J/g aos 3 dias e 7 dias de hidratação, respectivamente, e podem ser qualquer um dos tipos básicos. O ensaio é executado de acordo com a norma NBR 12006 – Determinação do Calor de Hidratação pelo Método da Garrafa de Langavant (ABCP, 2002).

#### 2.6.6 Cimento Portland branco

O cimento Portland branco é um tipo de cimento que se diferencia dos demais pela coloração. A cor branca é conseguida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxidos de ferro e manganês e por condições especiais durante a fabricação, especialmente com relação ao resfriamento e à moagem do produto (ABCP, 2002).

No Brasil o cimento Portland branco é regulamentado pela norma NBR 12989, sendo classificado em dois subtipos: cimento Portland branco estrutural e cimento Portland branco não estrutural.

O estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, possuindo as classes de resistência 25, 32 e 40, similares às dos outros tipos de cimento. Já o cimento Portland branco não estrutural não tem indicação de classe e é aplicado, por exemplo, no rejuntamento de azulejos e na fabricação de ladrilhos

hidráulicos, isto é, em aplicações não estruturais, sendo esse aspecto ressaltado nas embalagens, para evitar uso indevido por parte do consumidor (ABCP, 2002).

Quadro 4 – Composição de cimento Portland branco  
(BT 106 ABCP, 2002)

Tipo de cimento Portland	Código de identificação (sigla + classe)	Composição (% em massa)		Norma Brasileira
		Clínquer branco + Gesso	Material Carbonático	
Branco estrutural	CPB – 25 CPB – 32 CPB – 40	100 – 75	0 – 25	NBR 12989
Branco não estrutural	CPB	74 – 50	26 – 50	

#### 2.6.7 Cimentos para poços petrolíferos

Constitui um tipo de cimento Portland de aplicação bastante específica, qual seja a cimentação de poços petrolíferos. O consumo desse tipo de cimento é pouco expressivo quando comparado ao dos outros tipos de cimentos normalizados no País. O cimento para poços petrolíferos (CPP) é regulamentado pela NBR 9831 e na sua composição não se observam outros componentes além do clínquer e do gesso para retardar o tempo de pega. No processo de fabricação do cimento para poços petrolíferos são tomadas precauções para garantir que o produto conserve as propriedades reológicas, em especial a plasticidade, necessárias nas condições de pressão e temperatura elevadas presentes a grandes profundidades, durante a aplicação nos poços petrolíferos (ABCP, 2002).

## 2.7 PRESCRIÇÕES NORMATIVAS PARA OS TIPOS DE CIMENTO PORTLAND

Os vários tipos de cimento normalizados são designados pela sigla e pela classe de resistência. As siglas correspondem ao prefixo CP acrescido dos algarismos romanos de I a V, conforme o tipo do cimento, sendo as classes indicadas pelos números 25, 32 e 40. As classes de resistência apontam os valores mínimos de resistência à compressão garantidos pelo fabricante, após 28 dias de cura, como indicado no BT 106 da ABCP (2002).

A determinação da resistência à compressão deve ser feita por um método de ensaio normalizado pela ABNT, a NBR 7215 - Cimento Portland – Determinação da Resistência à Compressão. O método consiste em preparar, sob condições padronizadas de laboratório, uma argamassa com a proporção de uma parte de cimento para três partes em massa de areia padrão e relação água/cimento igual a 0,48. São moldados para cada idade de cura, 1, 3 e 7 dias para o cimento Portland de alta resistência inicial e 3, 7 e 28 dias para os demais tipos, quatro corpos cilíndricos de 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura, que são ensaiados após o tempo de cura em uma máquina de compressão chamada de prensa (ABCP, 2002).

Até o ano de 1979 a unidade em que se expressava a resistência à compressão do corpo-de-prova padronizado era o quilograma-força por centímetro quadrado (kgf/cm<sup>2</sup>). Seguindo recomendação do INMETRO, o órgão normativo do Governo Federal que tornou obrigatória a adoção do Sistema Internacional de Unidades (SI), essa unidade passou a ser expressa em megapascal (MPa) e as classes de resistência dos cimentos tiveram, por consequência, a supressão de um zero na sua identificação, uma vez que 1 MPa corresponde aproximadamente a 10 kgf/cm<sup>2</sup> (ABCP, 2002).

Quadro 5 – Nomenclatura dos cimentos Portland  
(BT 106 ABCP, 2002)

Nome Técnico		Sigla	Classe	Identificação do tipo e classe	
Cimento Portland comum NBR 5732	Cimento Portland comum	CP I	25	CP I – 25	
			32	CP I – 32	
	40		CP I – 40		
Cimento Portland comum com adições	Cimento Portland comum com adições	CP I – S	25	CP I – S – 25	
			32	CP I – S – 32	
			40	CP I – S – 40	
Cimento Portland composto NBR 11578	Composto com escória		CP II – E	25	CP II – E – 25
				32	CP II – E – 32
				40	CP II – E – 40
Composto com pozolana	CP II – Z	25		CP II – Z – 25	
		32		CP II – Z – 32	
		40		CP II – Z – 40	
Composto com filer		CP II – F	25	CP II – F – 25	
			32	CP II – F – 32	
			40	CP II – F – 40	
Cimento Portland de alto forno NBR 5735			CP III	25	CP III – 25
				32	CP III – 32
				40	CP III – 40
Cimento Portland pozolânico NBR 5736		CP IV	25	CP IV – 25	
			32	CP IV – 32	
Cimento Portland de alta resistência inicial NBR 5733		CP V – ARI	-		
Cimentos Portland resistentes aos sulfatos NBR 5737		-	25 32 40	Sigla e classe dos tipos originais acrescido do sufixo RS	
Cimento Portland de baixo calor de hidratação NBR 13116		-	25 32 40	Sigla e classe dos tipos originais acrescido do sufixo BC	
Cimento Portland branco NBR 12989	Estrutural	CPB	25	CPB – 25	
			32	CPB – 32	
		40	CPB – 40		
	Não estrutural	CPB	-	CPB	
Cimento para poços petrolíferos NBR 9831		CPP	G	CPP – classe G	

## 2.8 AGREGADOS

### 2.8.1 Definição

Entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia (PETRUCCI, 2008).

Podem ser considerados como agregados as rochas britadas, os fragmentos rolados nos leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas, proveniente de alterações de rocha. Suas aplicações podem ser variadas, atendendo os lastro de ferrovias, bases para calçamento, pista de rolamento de estradas, na composição para revestimento betuminoso, e como material granuloso e inerte na confecção de argamassa e concretos (PETRUCCI, 2008).

As propriedades do concreto hidráulico ou betuminoso, dependem da massa específica aparente, da porosidade, da composição granulométrica, da forma e da textura dos agregados (FARIAS; PALMEIRAS, 2007). A composição mineralógica dos agregados, bem como sua porosidade, afeta a resistência, a compressibilidade e a sanidade dos concretos endurecidos. O consumo de cimento Portland ou de ligante betuminoso é altamente dependente da superfície específica e da porosidade dos grãos de agregados.

As características do agregado dependem da micro estrutura da rocha matriz, expressa pela sua porosidade, massa específica e composição mineralógica, bem como de sua exposição prévia, grau de intemperismo, e das condicionantes do processo de fabricação, como o uso de explosivos, tipo de britadores, entre outros. De acordo com esses condicionantes, as propriedades dos agregados, podem ser divididas em três grupos, segundo Metha e Monteiro (2008).

O primeiro grupo apresenta características que dependem da porosidade, como massa específica aparente, absorção de água, resistência, módulo de elasticidade e sanidade. O segundo depende da composição química e mineralógica, sendo elas resistência, módulo de elasticidade, substâncias deletérias presentes e cargas elétricas. E o terceiro apresenta característica que dependem das condições prévias e condicionantes de fabricação, como a forma e textura das partículas. Algumas propriedades físicas são definidas para uma partícula individual, mas, na maior parte dos casos são determinadas para uma conjunto ou massa de partículas

dentro de uma dada classe granulométrica, representando um valor médio para uma dada classe geral, há procedimentos específicos para agregados graúdos e para agregados miúdos (FARIAS; PALMEIRAS, 2007).

## 2.8.2 Classificação

Os agregados podem ser classificados segundo sua origem, dimensões das partículas e o peso específico aparente (BAUER, 2000). Segundo sua origem podem ser naturais, sendo aqueles que se encontram disponíveis no meio ambiente em forma de partículas como as areias e cascalhos; e os industrializados, são os que apresentam sua composição obtida por processos industriais, e nesses casos a matéria-prima pode ser rocha, escória de alto-forno e argilas. Segundo suas dimensões, são divididos entre agregados miúdos, como as areias, e agregado graúdo, como as britas e cascalhos. Segundo o peso específico aparente, nesse caso, conforme a densidade do material que constitui as partículas, os agregados são classificados em leves, médios e pesados.

## 2.8.3 Propriedades físicas

### 2.8.3.1 Massa específica

Também conhecida como massa específica absoluta, ou ainda massa específica real, é entendida como a massa de uma unidade de volume do material de que se constituem os grãos do agregado (BAUER, 2000). Segundo Petrucci (1998), é a unidade de volume, excluindo deste os vazios permeáveis e os vazios entre os grãos.

A determinação da massa específica de agregado miúdo é feita, conforme estabelece a NBR 9976, com auxílio do frasco especial, denominado frasco de Champan, que permite medir o volume total ocupado pelos grãos da amostra de agregado, cuja massa específica é previamente medida em estado seco. Na determinação da massa específica do agregado graúdo, conforme a NBR 9937, a amostra é secada em estufa até peso constante, isto é, até que seu peso determinado

em duas medições consecutivas, espaçadas não menos de duas horas, não difiram entre si mais de 0,1%. (BAUER, 2000).

#### 2.8.3.2 Massa específica aparente

A massa específica aparente, também conhecida como massa barimétrica, é a massa da unidade de volume do agregado, por exemplo, um metro cúbico de granito britado tem a massa de 2.698 quilogramas, em média, logo, sua massa específica aparente é de 2.698 kg/m<sup>3</sup>, porém, este valor pode variar, dependendo do grau de adensamento e, conseqüentemente, da compactidade do agregado (BAUER, 2000). De acordo com a NBR 7251, a massa específica aparente é determinada preenchendo-se com agregado, até as bordas, um recipiente de dimensões conhecidas, deixando-o cair de altura não mais de 10cm. A massa específica aparente também é determinada para agregados adensados, conforme a NBR 7810. O ensaio é o mesmo, porém com a diferença do modo de enchimento do recipiente, apiloando cada uma com soquete manual.

#### 2.8.3.3 Porosidade

O agregado é material granular, e o espaço que, naturalmente fica entre os grãos é denominado vazios (BAUER, 2000). Em um dado volume de um agregado, os grãos ocupam um espaço referente ao material propriamente e o restante, representa o volume de vazios. A porosidade pode ser definida como a relação entre o volume de vazios existentes e o volume do agregado.

#### 2.8.3.4 Compactidade

Definida com a relação entre o volume total ocupado pelos grãos e o volume do agregado (BAUER, 2000). Num mesmo agregado, a porosidade e a compactidade não são constantes, variam com o grau do adensamento. Depende da forma dos grãos, da distribuição granulométrica e das resistências à abrasão e à friabilidade.

### 2.8.3.5 Índice de vazios

Relação entre o volume total de vazios e o volume total dos grãos (BAUER, 2000).

### 2.8.3.6 Granulometria

O agregado é formado por misturas de grãos de extensa gama de tamanhos. Se um determinado agregado é retido em peneira de abertura de dimensão  $a$ , e passa na peneira de abertura de dimensão  $b$ , pode ser denominado *agregado a/b*. Essa relação chama-se graduação do agregado, recebendo as dimensões  $a$  e  $b$  o nome genérico de diâmetro (BAUER, 2000). Por exemplo o agregado 4,8/19,5 é o agregado que passa na peneira 19,5mm e é retido na peneira de 4,8mm. Isto, porém, não é suficiente para caracterizar o agregado.

Para a caracterização é necessário conhecer quais são as parcelas constituídas de grãos de cada diâmetro, expressas em função da massa total do agregado. Para conseguir isso, divide-se, por peneiramento, a massa total em faixas de tamanhos de grãos e exprime-se a massa de cada faixa em percentual de massa total. As peneiras que se usam para ensaiar agregados têm aberturas padronizadas pela NBR 5734 (ABNT NBR NM ISO 3310-1:2010). Esta norma define quatro séries de peneiras de aberturas crescentes geometricamente. A razão de uma série para outra é de 1,189, e a primeira é chamada de série normal, as seguintes são as intermediárias (BAUER, 2000).

A NBR 7211 (2005), define agregado miúdo como o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 $\mu$ m, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1. E define como agregado graúdo o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75mm, e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

### 2.8.3.7 Módulo de finura

Soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100 (ABNT NBR 7211, 2005).

Se num ensaio de distribuição granulométrica somam-se as porcentagens retidas até cada peneira da série normal e se divide por 100, essa grandeza recebe o nome de módulo de finura do agregado (BAUER, 2000).

### 2.8.3.8 Superfície específica

É entendida como a soma das superfícies de todos os grãos contidos na massa unitária de agregado (BAUER, 2000). Admite-se como área da superfície de um grão do agregado, como uma esfera de igual diâmetro, entretanto, o grão real tem superfície de área sempre maior que a esfera. A forma dos grãos de brita é irregular e sua superfície é extremamente rugosa. Para a mesma granulometria, os agregados com grãos mais regulares têm menor superfície específica.

Quanto menores forem os grãos necessários para determinada massa de agregado, tanto maiores serão a quantidade e a superfície específica deles. A superfície específica serve para bem caracterizar a finura de uma material granulado, e será tanto maior quanto mais fino ele for; quando os grãos chegam às dimensões de alguns micrometros, a superfície específica atinge valores da ordem de  $28\text{m}^2/\text{N}$  ou  $2.800\text{cm}^2/\text{g}$ , como é o caso dos cimentos e esse valor cai rapidamente para materiais mais grossos. Por suas características, a superfície específica tem aplicação quase que somente em materiais de grande finura, de grãos menores que 80 micrometros, cujas curvas granulométricas são obtidas por ensaios de sedimentação (BAUER, 2000).

### 2.8.3.9 Teor de umidade

Definida pela relação entre massa de água absorvida pelo agregado e preenchendo total ou parcialmente os vazios, e a massa desse mesmo agregado quando seco. Os vazios do agregado miúdo podem se tornar parcial ou totalmente

cheios de água. Se parcialmente cheios, o agregados é considerado úmido; se completamente cheio, o agregado é considerado saturado. Nos agregados miúdos, os tamanhos dos vazios podem ser menores ou da ordem da espessura de uma película de água de absorção (BAUER, 2000). Por isso, o agregado pode ter seus grãos afastados uns dos outros pela película de água. Esse fenômeno recebe o nome de inchamento, por isso, nos agregados graúdos, em que os tamanhos dos vazios são muito maiores que a espessura da película de água, não ocorre o inchamento.

#### 2.8.3.10 Umidade superficial

É a água absorvida pelos grãos dos agregados miúdos (BAUER, 2000). O ensaio é feito pela NBR 9775 (2011). Empregando-se um frasco graduado especial denominado frasco de Chapman, mede-se o volume e, conseqüentemente, sabe-se o peso da água absorvida. Esse peso, expresso em porcentagem do peso do agregado seco, é o teor de umidade superficial.

#### 2.8.3.11 Absorção de água

A absorção é o fenômeno que ocorre devido a porosidade existente no material agregado.

#### 2.8.3.12 Inchamento

É o aumento de volume que a areia seca sofre ao absorver água.

O procedimento para determinação do inchamento se inicia com a amostra previamente seca em estufa, sendo seus pesos específicos aparentes determinados para diversos teores de umidade. Calcula-se para cada teor, o coeficiente de inchamento, sendo ele a relação entre o volume úmido do agregado com determinado teor de umidade e o volume do mesmo agregado quando seco (BAUER, 2000). A NBR 6467 (2006), trata do método de ensaio de determinação do inchamento.

### 2.8.3.13 Coesão

A coesão de um material granular é a resistência ao cisalhamento quando o material não está sujeito à compressão (BAUER, 2000). A coesão é desprezível nos agregados graúdos e as areias úmidas apresentam uma resistência ao cisalhamento causada pela tensão capilar da água, que é chamada coesão aparente. Quando secas ou saturadas, as areias não têm coesão.

### 2.8.3.14 Tenacidade

Propriedade dos materiais de se fraturarem sob alta tensão, com pequena ou média deformação.

## 2.8.4 Agregados para o concreto

### 2.8.4.1 Condições gerais

Os agregados constituem um componente importante no concreto, contribuindo com cerca de 80% do peso e 20% do custo de concreto estrutural sem aditivos, de fck da ordem de 15 MPa (BAUER, 2000). Cabe ressaltar que essa referência, não pode ser aplicada às características locais da cidade de Rio Branco – Acre, condições de disponibilidade, acesso, transporte e outros elementos regionais impedem de utilizar essa referência de 20% do custo para o valor dos concretos estruturais. A experiência profissional de campo e comercial, mostra que esse valor pode chegar até 65% do custo dos concretos estruturais produzidos em central.

Suas características apresentam larga gama de variação, que leva a uma necessidade de estudos e controle de qualidade antes e durante sua utilização e nas aplicações em execução de obras. Não devem apresentar reações na presença de cimentos e ser estáveis perante os agentes que irão atuar em contato com os concretos. Excluem-se os agregados provenientes de rochas macias, friáveis ou de baixa resistência à compressão, ou ainda, que contenha matéria piritada, gesso e componentes ferrosos. Apresentar isenção de argilas e matéria orgânica, ou de

materiais que prejudicam sua aderência à argamassa ou interfiram na pega e no endurecimento (BAUER, 2000).

#### 2.8.4.2 Resistências mecânicas

Os agregados naturais e os produzidos de rochas sãs, como os granitos, gnaisse, basalto, hematita, barita, assim como os de escória de alto-forno, têm resistência à compressão muito superior à da argamassa de concretos de composição usual, não apresentando, sob o ponto de vista da resistência, qualquer restrição ao uso em concretos de características normais (BAUER, 2000). No caso de concretos de muito alta resistência, como aqueles que se obtêm com cimentos de alta resistência e adição de micro sílica, a resistência dos grãos do agregado pode ser insuficiente, rompendo-se o concreto por fratura dos grãos, mesmo com agregado graúdo provindo de granito.

No caso de esforços de tração e choque, geralmente alguns dos esforços que os agregados graúdos sofrem durante o processo de produção dos concreto, geram tensões muito abaixo das taxas de ruptura dos agregados, portanto, estas característica dos agregados, no processo de produção, não necessitam ser levadas em consideração.

A resistência à abrasão necessita ser considerada, principalmente, em casos de aplicações específicas dos concreto, como pistas de aeroportos, vertedouros, barragens e outras situações na qual o concreto sofre forte atrição. Nesses caso faz-se necessário o uso de agregados com alta resistência à abrasão.

Fragilidade ou esmagamento, são as características dos grãos de agregados que não é levada em conta na aplicação em concreto (BAUER, 2000). Mesmo as rochas mais frágeis como o basalto, têm propriedade muito além das mínimas necessárias para que os grãos não se alterem durante o preparo e posterior lançamento.

Sobre a forma dos grãos dos agregados graúdos, influi diretamente na qualidade do concreto, alterando a trabalhabilidade, afetando as condicionantes de bombeamento, lançamento e adensamento (BAUER, 2000). Os grãos irregulares têm maior superfície específica que os considerado de forma cúbica e tem ainda, o inconveniente de dificultar o processo de lançamento, podendo ficar presos entre as

barras de armadura. A alta trabalhabilidade possível com concreto preparados com pedregulhos, tipo cascalho, deve-se a forma redonda do agregado e a uma superfície mais lisa. Quando se aumenta a porcentagens de agregados com formas alongadas e lamelares, o concreto perde trabalhabilidade. Para se conseguir obter de um concreto produzido com brita de alto teor de grãos disformes a mesma resistência de um concreto produzido com brita de baixo teor, há a necessidade de fazer alterações no traço de concreto. Considerando o primeiro caso, o concreto terá de ser feito com um traço mais rico, com maior quantidade de cimento, e mais água de amassamento, tornando ele em um concreto com maior custo de produção. Por outro lado, os grãos de agregado com forma irregular, apresentam maior aderência da argamassa, em função da sua forma e textura, resultando em concretos com maiores resistências, quando mantidas as mesmas características de um traço inicial, do que aqueles concretos produzidos com agregados com forma cúbica e de superfície lisa.

A presença de impurezas, em especial nos agregados miúdos, apresenta maior efeito nocivo no concreto, já no caso dos agregados graúdos, impurezas proveniente de natureza pulverulenta apresenta a mesma influência que o material impalpável dos próprios agregados; neste caso materiais finos, inferiores a 0,076 mm, tornam-se mais pernicioso (BAUER, 2000), pois estes grãos misturam-se com os do cimento, criando descontinuidade na argamassa e reduzindo a resistência do concreto. A grande superfície específica desse material requer maior quantidade de água, afim de manter a mesma trabalhabilidade. A relação água/cimento, passa a requerer maior quantidade de cimento, aumentando a retração e a permeabilidade do concreto.

Fragmentos macios e friáveis presentes no agregado são altamente perniciosos, alteram a distribuição granulométrica e introduzem material de alta absorção de água, o que altera a trabalhabilidade e a resistência do concreto. Por exemplo o azeite e óleo podem atacar quimicamente o concreto. Eles penetram nos poros do concreto seco, e por sua ação lubrificante, reduzem a resistência. Os óleos de baixa viscosidade se apresentam como os mais prejudiciais, eles penetram profundamente e destroem a aderência entre a argamassa, os grãos e a armação, podendo resultar na segregação do concreto, como afirma Bauer (2000).

A norma ABNT NBR 7211 (2009), determina limites de aceitação referente a qualidade desses agregados, entre eles 1,5% de presença de torrões de argila, 0,5% de materiais carbonosos presentes para concreto aparentes e 1,0% para os demais concretos, 3,0% de presença de material pulverulento para concretos submetidos a

desgastes superficiais e 5% para os demais. Trata das impurezas orgânicas a ABNT NBR NM 49 (2001), determina que a solução em contato com a amostra, deve apresentar coloração mais clara que a solução padrão, caso contrário a areia deve ser submetida aos ensaios de qualidade especificados pela NBR 7211 (2009). A ABNT NBR 7221 (2012), determina que o resultado de ensaio de qualidade é expresso pelas resistências médias à compressão aos 3, 7 e 28 dias dos corpos-de-prova confeccionados com a amostra da areia, comparativamente aos confeccionados com a areia normal, segundo a norma ABNT NBR 7214 (2012).

Segundo Bauer (2000), deve-se ter especial atenção para que os agregados não apresentem condições de uma possível reação com os álcalis do cimento. A reação do cimento com alguns agregados, reativos, produzem um aumento de volume, que leva à deterioração das estruturas. Agregados naturais contêm sílica hidratada e certas rochas carbonosas reagem intensamente. Os fatores que influenciam a intensidade da reação dependem, principalmente, do teor de álcalis totais do cimento, forma como o álcali é liberado, relação  $K_2O/Na_2O$ , dosagem do concreto, granulometria do agregado e reatividade do agregado.

#### 2.8.5 Propriedades do concreto ligadas ao agregado

A primeira delas é a resistência à compressão do concreto, que depende diretamente do fator água/cimento, e este por sua vez depende da distribuição granulométrica do agregado (BAUER, 2000). Essa distribuição granulométrica deve permitir uma mistura de máxima compactidade, compatível com a peça a concretar.

Retração é uma propriedade do agregado que não apresenta influência no concreto.

A durabilidade exige que o agregado seja inerte, não reagindo com agentes ao que o concreto esteja exposto, não comprometendo com a presença de produtos que possam reagir com o aço das armaduras, e nem apresentar componentes mineralógicos que reajam com o meio ambiente ou com o cimento.

A forma dos grãos é a característica que mais afeta a propriedade da trabalhabilidade do concreto, sendo mantida as demais variáveis do traço. A sua distribuição granulométrica, também é outro fator que afeta diretamente a

trabalhabilidade do concreto; agregados muito finos necessitam de mais água para conseguir trabalhabilidade necessária ao tipo de concreto desejado. Por exemplo, uma argamassa, para ter a mesma trabalhabilidade com agregados diferentes, necessitará de tanto mais água quanto mais elevada for a superfície específica, e mais fino for o agregado.

Bauer (2000), afirma que a distribuição granulométrica dos agregados tem influência na permeabilidade do concreto, havendo a necessidade de dosar os agregados de maneira a se obter uma mistura de máxima compactidade, afim de se conseguir os concretos menos permeáveis. No caso da mistura final apresentar uma distribuição descontínua, os concretos resultam permeáveis e de baixa trabalhabilidade.

A higroscopia ou ascensão capilar, diminui quando aumenta o diâmetro médio dos capilares (BAUER, 2000). Para um determinado concreto, que apresente uma elevação do nível de água externo, haverá um aumento da pressão capilar, dando lugar ao que ocorre na permeabilidade, aumentando a vazão com a ascensão capilar. Para concretos sem problemas de permeabilidade, é possível reduzir a ascensão capilar preparando-se concretos sem finos ou com areia grossa, resultando grandes capilares. Com a finalidade de evitar ao mesmo tempo a permeabilidade e a higroscopia, a solução recomendada por Bauer (2000) é o emprego de aditivos incorporadores de ar no concreto.

## 2.9 ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO

Para obtenção de concreto com determinado desempenho e características, é necessário uma seleção criteriosa dos materiais componentes; esse seria o passo inicial de todo processo de confecção de concretos. Em seguida, é estabelecer o processo conhecido como dosagem do concreto, que tem por finalidade encontrar a combinação correta dos componentes. Como no processo de dosagem de concreto há vários fatores intervenientes que influenciam diretamente nos resultados práticos, podendo divergir ou necessitar de adaptações, quando comparados com os parâmetros definidos em teoria, faz-se importante que técnicos responsáveis por desenvolver e controlar essa dosagem, conheçam os princípios básicos e procedimentos comumente aplicados (METHA; MONTEIRO, 2008).

### 2.9.1 Objetivo e metodologia de dosagem

A dosagem do concreto pode ser entendida como o processo de obtenção da combinação correta de cimento, agregados, água, adições e aditivos, para produzir o concreto com as especificações desejadas (METHA; MONTEIRO, 2008).

Um dos objetivos, segundo Metha e Monteiro (2008), é obter um produto que atenda a certos requisitos pré-determinados. De um modo geral, dois grupos de requisitos são mais importantes; são eles, a trabalhabilidade do concreto no estado fresco e a resistência do concreto no estado endurecido. Outro objetivo da dosagem é obter uma mistura de concreto que satisfaça os requisitos de desempenho ao menor custo possível. Isso envolve decisões a respeito da seleção de materiais componentes que sejam não apenas adequados, mas também disponíveis a preços razoáveis.

As principais propriedades do concreto endurecido são normalmente expressas pelo projetista das estruturas enquanto que as propriedades do concreto fresco são determinadas pelas técnicas de execução (HELENE; TERZIAN, 1993). Cabe ao tecnologista de concreto conciliar essas exigências, através de um concreto o mais econômico possível. A compatibilidade entre as características ótimas do concreto fresco para uma determinada situação e aquelas exigidas após seu endurecimento não é facilmente obtida, uma vez que os parâmetros importantes de dosagem evoluem em sentidos opostos, segundo se pretende satisfazer as exigências para concreto fresco ou para concreto endurecido.

Quadro 6 – Sentido da evolução de diversos parâmetros da dosagem em função da trabalhabilidade, da resistência mecânica e do custo

(HELENE; TERZIAN, 1993)

Parâmetro de dosagem do concreto	Concreto fresco	Concreto endurecido	Para redução do custo
	Para uma boa trabalhabilidade	Para uma boa resistência	
Granulometria do agregado miúdo	De preferência fina	De preferência grossa	Grossa
Relação gráudo/miúdo	A diminuir	A aumentar	Maior possível
Consumo de água	A aumentar até certo ponto	A diminuir	A aumentar
Granulometria total	Contínua	Descontínua	A disponível
Dimensão máxima característica do agregado	Média	Pequena	A maior possível
Geometria do grão	Esférica	Irregular	Esférica

A dosagem do concreto pode ser entendida como sendo a adequada proporção dos materiais constituintes (HELENE; TERZIAN, 1993).

## 2.9.2 Fundamentos da dosagem experimental

### 2.9.2.1 Variação das propriedades fundamentais do concreto endurecido

As principais propriedades a considerar são a resistência aos esforços mecânicos e a resistência aos agentes agressivos (PRETRUCCI, 1998). A respeito aos esforços mecânicos, é de entendimento comum, no meio técnico, que todas as propriedades do concreto endurecido melhoram com a redução da relação água/cimento empregada na sua confecção, desde que a quantidade de água utilizada proporcione a trabalhabilidade necessária e compatível com o modo de produção. Com relação à resistência aos esforços mecânicos, utiliza-se normalmente, para a caracterização do concreto, a resistência à compressão. Resistências a outros

tipos de solicitação pode ser conseguida através de dados obtidos em ensaios de compressão.

Ao analisar o enunciado de Duff A. Abrams (1918), que diz “Dentro do campo dos concretos plásticos, a resistência aos esforços mecânicos, bem como as demais propriedades do concreto endurecido, varia na razão inversa da relação água/cimento”. Essa relação era originalmente expressa por Abrams (1918) como a relação entre o volume da água e o volume absoluto do cimento empregado, entretanto, hoje, essa relação é sempre expressa pela relação, em massa, das quantidades de água e cimento (PETRUCCI, 1998).

No que diz respeito a resistência aos agentes agressivos, esta característica está ligada ao termo durabilidade do concreto, que é definido pela ABNT NBR 6118 (2004) como a capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas; determina ainda, que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob condições ambientais, conservem suas segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

#### 2.9.2.2 Quantidade de água total, em função da trabalhabilidade

Ao relacionar a quantidade de água com a trabalhabilidade, está se relacionando, implicitamente, os fatores externos e internos que afetam a trabalhabilidade, em especial, na fase de produção do concreto (PETRUCCI, 1998). Para se obter um concreto com determinada trabalhabilidade, independente do traço utilizado, para proporções usuais, deve ser mantida a constância na quantidade de água total a ser empregada com determinados materiais.

#### 2.9.2.3 Granulometria do concreto

Além da determinação do traço total, cimento/agregado, e da quantidade de água, considerando a relação água/cimento ou teor água/materiais secos, deve-se determinar o desdobramento do traço, determinando as quantidades dos agregados miúdo e graúdo, que irão constituir o concreto, fixando a sua granulometria. Essa é considerada a fase mais difícil da dosagem (PETRUCCI, 1998).

### 2.9.3 Considerações iniciais no estudo de dosagem

#### 2.9.3.1 Fatores intervenientes ao tema dosagem

Para a definição do estudo de dosagem de concreto de cimento Portland, deve-se considerar os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção possível entre os materiais construtivos do concreto, conhecido comumente como traço de concreto (TUTIKIAN; HELENE, 2011). Há de se considerar os materiais possíveis de serem utilizados em um estudo de dosagem, Helene (2011), defende que uma quantidade de materiais pode receber uma atenção quanto sua utilização e função na dosagem de concreto, são eles os vários tipos de cimento, os agregados miúdos, agregados graúdos, a água, o ar incorporado, o ar aprisionado, os aditivos e adições, os pigmentos e as fibras. Cabe ainda destacar uma diferenciação no que se refere aos agregados, podendo eles serem de origem de reciclagem, artificiais ou industrializados e os de origem natural.

#### 2.9.3.2 Critérios práticos de dosagem

Com base em vários estudos de pesquisadores diversos, ao longo dos anos, métodos de estudos de dosagens foram desenvolvidos, cabendo ressaltar que alguns desses critérios precisam obedecer regras fundamentais, que devem estar presente em todo e qualquer caso. Cabe, portanto, ao técnico responsável pelo trabalho de estudar e desenvolver o trabalho de dosagem, conhecer o projeto, os materiais disponíveis, os equipamentos e a mão de obra para a realização dos estudos.

Uma vez conhecidas as informações consideradas iniciais já citadas, cabe ao técnico, conhecer e utilizar o melhor método às circunstâncias e ao seu modo de trabalho, determinar as curvas características de comportamento dos concretos preparados com os materiais disponíveis. Devendo ser estudado, pelo menos, as relações água/matéria seco e sua consistência. Uma vez conhecido os parâmetros resistência e consistência, para os materiais disponíveis, cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água, poderá ser calculada a dosagem e seus ajustes caso sejam necessários. Entre os critérios existentes, Bauer (2000), define como de aplicação

convenientes e que levam em conta características básicas do concreto como a resistência, estanqueidade, trabalhabilidade e retração mínima.

A trabalhabilidade é característica que exige estudo experimental (BAUER, 2000). A estanqueidade e resistência, advém da obtenção de um concreto tão denso quanto possível, ou seja, com a menor porcentagem de vazios que for possível. Dentre os concretos trabalháveis e com mínimo de vazios, o melhor será aquele mais rico em pasta, portanto, aquele que tiver a menor quantidade de areia ou a maior proporção do volume absoluto do agregado graúdo sobre o volume absoluto de areia.

### 2.9.3.3 Explicação dos fatores que influem na resistência

Vários são os fatores que intervêm na resistência à compressão do concreto da estrutura. Desde a heterogeneidade dos materiais, representada pelos agregados, o cimento, a água e eventualmente os aditivos, até o seu transporte, lançamento, adensamento e cura. No entanto, o controle da qualidade da resistência do concreto se restringe à resistência potencial do concreto, medida na saída da betoneira ou do caminhão betoneira (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

Com relação à explicação dos fatores que intervêm na resistência potencial do concreto, Mercer (1954) listou 60 causas de variação dos resultados de resistência à compressão do concreto. Se destacam como os fatores que influenciam na resistência à compressão do concreto a variabilidade do cimento, dos agregados, da água, dos aditivos e da proporção relativa desses materiais (TUTIKIAN; HELENE, 2011). Qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura, assim como, a eficiência das operações de ensaio e controle.

Os primeiros modelos matemáticos propostos para explicar o desenvolvimento da resistência à compressão a partir dos materiais constituintes do concreto, foram proposto por René Ferét e Duff A. Abrans. São modelos obtidos a partir de ensaios experimentais constituindo-se em correlações empíricas. Essa correlações têm sido confirmadas sistematicamente por vários pesquisadores, sendo universalmente aceitas como viáveis e bem representativas do fenômeno físico, apesar de não levar em consideração todos os aspectos envolvidos (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

## 2.10 ROTEIRO PRÁTICO DE DOSAGEM

### 2.10.1 Caracterização dos materiais

A caracterização tem por objetivo, conhecer as características dos materiais que apresentam grande influência no processo de dosagem do concreto. Há também outros parâmetros dos materiais ligados à tecnologia do concreto mas que exigem uma abordagem diferente, como o caso da durabilidade (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

#### 2.10.1.1 Cimento

A finura será o fator predominante na velocidade de reação de hidratação; o aumento da finura melhora a resistência, em especial a das primeiras idades, diminui a exsudação e outros tipos de segregação, aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão dos concretos, como afirmam Tutikian e Helene (2011). Por outro lado, ocorre a liberação de maior quantidade de calor e uma retração maior também, tornando os concretos mais suscetíveis ao fissuramento, como avalia a NBR 5732 (1991).

Quanto a perda ao fogo e os resíduos insolúveis, o cimento pode fornecer informações sobre até que ponto ocorreu a carbonatação e hidratação devido à exposição do cimento ao ar, portanto, caracterizando o envelhecimento do mesmo. Também é possível detectar a adição de substâncias estranhas, inertes, e insolúveis no ácido clorídrico, avaliada pela NBR NM 18 (2012).

A NBR 5739 (2007), verifica a resistência à compressão, podendo conhecer previamente o comportamento mecânico do cimento, em especial nas datas de verificação de 3, 7, 28 e 91 dias, contados após a fabricação do concreto.

#### 2.10.1.2 Agregados miúdos

A composição granulométrica, representa a proporção relativa expressa em forma de porcentagem que se encontram os grãos de um certo agregado, tem

importante influência sobre a qualidade dos concretos, agindo na compacidade e resistência, verificada pela NBR NM 248 (2003).

O módulo de finura está relacionado com a área superficial do agregado e conseqüentemente altera a água de molhagem para uma consistência. Deve ser mantido constante dentro de certos limites para evitar a alteração do traço, verificada pela NBR NM 248 (2003).

A massa única é representada pela relação entre a massa total de um certo volume de agregado e esse volume considerando-se os vazios existentes entre os grãos do agregado. É por meio da massa unitária que são feitas as transformações dos traços em massa para volume e vice-versa, verificada pela NBR NM 45 (2006).

A massa específica é a relação entre a massa e o volume de cheios, dos volumes dos grãos dos agregados, verificada pela NBR 9776 (1988).

O inchamento representa o aumento de volume de uma determinada massa de agregados, causado pela adsorção de água (TUTIKIAN; HELENE, 2011). É fundamental na importância de dosagem dos materiais em volumes; dependendo da umidade obtém-se diferentes massas de agregados para um mesmo volume de dosagem, sendo necessário a correção traço, verificado pela NBR 6467 (2006).

Apreciação petrográfica torna-se importante para o conhecimento da natureza dos agregados, e essa informação serve para os trabalhos de execução dos concretos; pois embora inertes, possuem características físicas, tais como modificação de volume por variação da umidade, e químicas, como a reação dos álcalis do cimento, que podem intervir no comportamento dos concretos (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

#### 2.10.1.3 Agregados graúdos

A composição granulométrica, ou a proporção relativa expressa em forma de porcentagem em que se encontra os grãos de um certo agregado, tem importante influência sobre a qualidade dos concretos, agindo na compacidade e resistência, verificada pela NBR NM 248 (2003).

Quanto a sua dimensão máxima característica, se torna mais econômico, quanto maior for essa dimensão. Está relacionada à trabalhabilidade do concreto

fresco, portanto, depende das fôrmas, do espaçamento entre as armaduras e do processo de transporte do concreto, verificada pela NBR NM 248 (2003).

Mistura ou composição dos agregados graúdos, com a finalidade de diminuir o custo do concreto, pode ser obtida de modo prático e simples, sem a necessidade de complicados cálculos ou difíceis traçados de curvas granulométricas, como afirmam Tutikian e Helene (2011).

Para a determinação adequada da mistura entre duas faixas granulométricas de pedras britadas, pode-se utilizar o método com base no estudo da massa unitária. A determinação deve ser feita individualmente em cada mistura de agregado, contendo diferentes teores de cada fração.

Os aditivos são materiais frequentemente presentes nos concretos e, no que se refere a dosagem do concreto, as análises devem observar aspectos como a massa específica, o aspecto e desempenho.

#### 2.10.1.4 Aditivos

As características destes materiais que necessitam de uma análise, quando utilizados na dosagem do concreto, se referem a sua massa específica, aspecto e desempenho (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

A massa específica deve ser verificada, pois mudanças ou utilização de produtos com massas específicas fora das especificações iniciais, podem levar a erros na dosagem.

O aspecto pode ser um indicativo do estado de qualidade de um aditivo, devendo ser observado sua conformidade em aspecto e cor do aditivo a ser utilizado, tomados como referências.

Para o desempenho, deve ser levado em consideração, as características propostas por esse determinado produto, como redução de água, aumento da resistência à compressão, melhora da trabalhabilidade do concreto, entre outras; e a sua avaliação econômica, ou seja, quanto em termos financeiros, poderá ser reduzido do custo do concreto com a utilização de um determinado aditivo, levando em consideração a possível redução do consumo de cimento por metros cúbicos, pela adição de aditivo específico.

## 2.10.2 Estudo teórico

### 2.10.2.1 Conceitos fundamentais

A relação água/cimento é o parâmetro mais importante do concreto estrutural. Definida essa relação e definidos certos materiais, a resistência e a durabilidade do concreto passam a ser únicas. O concreto é mais econômico quanto maior a dimensão máxima característica do agregado graúdo e menor o abatimento do tronco de cone, sua consistência mais seca (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

Correções assumidas como leis de comportamento, são as descritas a seguir.

$$f_{cj} = \frac{k_1}{k_2^{a/c}}, \text{ lei de Abrams} \quad (1)$$

$$m = k_3 + k_4 \cdot a/c, \text{ lei de Lyse} \quad (2)$$

$$C = \frac{1.000}{(k_5 + k_4 \cdot m)}, \text{ lei de Molinari} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{(1+a)}{(1+m)}, \text{ Teor de Argamassa Seca} \quad (4)$$

$$m = a + p \quad (5)$$

Onde, temos:

$f_{cj}$	resistência à compressão axial, à idade j, em MPa;
$a/c$	relação água/cimento em massa, em kg/kg;
$a$	relação agregado miúdo seco/cimento em massa, kg/kg;
$m$	relação agregados secos/cimento em massa, em kg/kg;
$\alpha$	teor de argamassa seca; deve ser constante para uma determinada situação, em kg/kg;
$p$	relação agregados graúdos secos/cimento em massa, em kg/kg;
$k_1, k_2, k_3,$ $k_4, k_5$ e $k_6$	agregados graúdos que dependem exclusivamente dos materiais, cimento, agregados miúdos, agregados graúdos e aditivos.

Há ainda, leis complementares que representam o consumo de cimento.

$$C = \frac{\gamma}{1+a+p+a/c}, \text{ consumo de cimento}/m^3 \quad (6)$$

$$C = \frac{(1.000-ar)}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + a/c}, \text{ consumo de cimento}/m^3 \quad (7)$$

$$C \cdot a/c, \text{ consumo de água}/m^3 \quad (8)$$

Onde, temos:

C	consumo de cimento por metro cúbico de concreto adensado em kg/m <sup>3</sup> ;
y	massa específica do concreto, medida no canteiro em kg/m <sup>3</sup> ;
y <sub>c</sub>	massa específica do cimento em kg/dm <sup>3</sup> ;
y <sub>a</sub>	massa específica do agregado miúdo em kg/dm <sup>3</sup> ;
y <sub>p</sub>	massa específica do agregado graúdo em kg/dm <sup>3</sup> ;
ar	teor de ar incorporado e/ou aprisionado por metro cúbico, em dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .

#### 2.10.2.2 Informações básicas

O estudo de dosagem parte da suposição que o concreto deve ter a capacidade de ser lançado e adensando adequadamente no interior do elemento estrutural (TUTIKIAN; HELENE, 2011). Para a garantia desse objetivo, faz-se necessário um trabalho prévio com a finalidade de identificar algumas informações básicas, sobre as condições que esse concreto será submetido. Essas informações apresentam-se com caráter de orientação, podendo ser modificadas em função da necessidade da obra e da experiência de cada profissional.

A resistência característica do concreto à compressão ( $f_{ck}$ ): Necessita a consulta de projeto estrutural; sempre que não houver referência de data, deve-se adotar a idade j de 28 dias.

A determinação dos espaçamentos entre as barras de armaduras: Consultar projeto estrutural para definir regiões críticas, ou seja, os menores espaços para a passagem do agregado e em quais locais essas regiões são predominantes.

A escolha da dimensão máxima característica do agregado graúdo, seguindo as seguintes recomendações de espaçamentos (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

$D_{m\acute{a}x} \leq 1/3$  da espessura da laje;

$D_{m\acute{a}x} \leq 1/4$  da distância entre as faces das fôrmas;

$D_{m\acute{a}x} \leq 0,8$  do espaçamento entre armaduras horizontais;

$D_{\text{máx}} \leq 1,2$  do espaçamento entre armaduras verticais;

$D_{\text{máx}} \leq 1/4$  do diâmetro da tubulação de bombeamento de concreto.

Recomenda-se adotar o menor dos valores observados.

A definição dos elementos estruturais a serem concretados com o traço, tais como lajes, pilares, vigas, entre outros.

A escolha da consistência do concreto, medido através do ensaio de abatimento do tronco de cone, em função do tipo de elemento estrutura a ser concretado.

A definição da relação água/cimento (a/c) para atender às condições de durabilidade, sendo elas indicadas por Tutikian e Helene (2011) como:

$a/c \leq 0,65$  para peças protegidas e sem riscos de condensação de umidade;

$a/c \leq 0,55$  para peças expostas a intempéries, em atmosfera urbana ou rural;

$a/c \leq 0,48$  para peças expostas a intempéries, em atmosfera industrial ou marinha.

O uso de aditivo que for necessário condições especiais como maior plasticidade, obtida com uso de plastificantes ou superplastificantes, modificadores do tempo de pega e endurecimento, atuando no retardo ou na aceleração da reação, afetando o tempo de pega e endurecimento.

A estimativa de perda de argamassa do concreto no sistema de transporte e lançamento do concreto, podendo ser ocasionado por material aderido às fôrmas, bicas, armaduras, entre outros. Tutikian e Helene (2011) afirmam que essa perda pode atingir os valores de 2 a 4%.

### 2.10.2.3 Cálculo da resistência de dosagem

A correlação com a resistência de projeto é fundamental para a determinação de dosagem, para isso, se utiliza da equação indicada pela NBR 6118 (2014).

$$f_{cdj} = f_{ckj} + 1,65 \cdot S_d \quad (9)$$

Onde,

$f_{cdj} = f_{cmj}$  = Resistência à compressão de dosagem, a  $j$  dias de idade, em geral se utiliza os 28 dias como parâmetro, medida em mega pascal (MPa);

$S_{dj}$  = Desvio-padrão de dosagem, referido à idade  $j$ , em geral aos 28 dias, medida em mega pascal (MPa).

A escolha do desvio-padrão de dosagem, pode ser determinada de forma subjetiva, quando não se conhece pelo menos 30 resultados de rompimentos de corpos de prova de concreto da obra em questão (TUTIKIAN; HELENE, 2011), sendo eles:

- $S_{dj}$  3 MPa, sempre que a produção for em massa, com controle rigoroso da umidade dos agregados e com equipe bem treinada;
- $S_{dj}$  4 MPa, sempre que a produção for a volume, com controle rigoroso da umidade dos agregados e com equipe bem treinada;
- $S_{dj}$  5,5 MPa, sempre que a produção for a volume, e com equipe nova em fase de adaptação.

Os valores de  $S_d$ , são diferentes dos constantes na NBR 6118 e devem ser considerados como uma indicação baseada na experiência prática como afirmam Tutikian e Helene (2011). A norma NBR 12655 (2015), determina os valores nas seguintes condições:

- $S_d$  4,0 MPa, para condição A, aplicáveis às classes C10 até C80;
- $S_d$  5,5 MPa, para condição B, aplicáveis às classes C10 até C20 e classes C10 até C25;
- $S_d$  7,0 MPa, para condição C, aplicáveis às classes C10 e C15.

Outro critério para a determinação do desvio-padrão indicado por Tutikian e Helene (2011), pode ser obtido a partir dos resultados da obra, sempre que se dispor de mais de 30 exemplares utilizando a equação 10.

$$S_d^2 = \frac{S_{d1}^2 \cdot (n_1 - 1) + S_{d2}^2 \cdot (n_2 - 1) + \dots + S_{dp}^2 \cdot (n_p - 1)}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1) + \dots + (n_p - 1)} \quad (10)$$

Onde,

$S_d$  desvio-padrão obtido de amostras com  $n_1 > 6$  exemplares;

$n_i$  número de exemplares de cada amostra em questão;

$\sum n_i \geq$  que 30 exemplares.

#### 4.10.2.4 Estudo experimental

A fase experimental, segundo Tutikian e Helene (2011), parte do princípio que são necessários três pontos para poder montar o diagrama de dosagem, que correlaciona a resistência à compressão, a relação água/cimento, o traço e o consumo de cimento.

O início do estudo experimental parte da avaliação preliminar, com mistura em betoneira do traço 1:5,0, obedecendo a relação de uma unidade de cimento para cinco de agregados secos totais em massa. Com as informações obtidas nessa mistura, confeccionam-se mais duas, com traços definidos em 1:3,5, chamado de rico e em 1:6,5, chamado de pobre (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

##### 2.10.2.4.1 Determinação do teor ideal de argamassa para o traço 1:5,0

A falta de argamassa na mistura acarreta porosidade no concreto ou falhas de concretagem, por outro lado, o excesso proporciona um concreto de melhor aparência, mas aumenta o custo por metro cúbico, como também, o risco de fissuração por origem térmica e por retração de secagem.

O objetivo passa ser o de determinar o teor ideal de argamassa na mistura do concreto, através de variações no teor de argamassa da mistura, utilizando o traço estabelecido em 1:5,0, determina-se a proporção adequada por tentativas e observações práticas (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

##### 2.10.2.4.2 Obtenção dos traços auxiliares

A etapa seguinte do estudo de dosagem é produzir dois traços auxiliares, para possibilitar a montagem do diagrama de dosagem. Esses dois traços escolhidos apresentam uma variação de uma unidade e meia no teor de agregado total, para mais e para menos, em relação ao traço inicial definido como 1:5,0, denominado traço normal. Um fato que precisa ser observado é que os dois novos traços devem manter fixo o teor de argamassa ( $\alpha$ ) e o abatimento do tronco de cone, determinados para o traço normal.

A obtenção do traço mais rico, em teor de cimento é obtido da forma a seguir:

$$a_r + p_r = 3,5$$

$$\frac{1 + a_r}{1 + a_r + p_r} = \alpha$$

$$a_r = \alpha (1 + 3,5) - 1$$

$$p_r = 3,5 - a_r$$

Onde  $\alpha$  é o teor de argamassa seca do traço 1:5,0, já conhecido e  $a_r$  e  $p_r$  as quantidades de areia e pedra do traço rico.

A obtenção do traço pobre, em teor de cimento é obtido da forma a seguir:

$$a_p + p_p = 6,5$$

$$\frac{1 + a_p}{1 + a_p + p_p} = \alpha$$

$$a_p = \alpha (1 + 6,5) - 1$$

$$p_p = 6,5 - a_p$$

Onde  $\alpha$  é o teor de argamassa seca do traço 1:5,0, já conhecido e  $a_p$  e  $p_p$  as quantidades de areia e pedra do traço pobre.

Obtidos os traços individuais, rico e o pobre, é necessário realizar as misturas experimentais, efetuando as seguintes determinações:

- Relação água/cimento, necessária para obter a consistência desejada, o abatimento;
- Consumo de cimento por metro cúbico de concreto;
- Massa específica do concreto fresco;
- Abatimento do tronco de cone.

Em seguida molda-se os corpos-de-prova cilíndricos para a ruptura nas idades definidas pela NBR 5738 (2015).

### 2.10.2.4.3 Determinação da correlação entre consumo de cimento e traço

Com os dados obtidos na etapa experimental, podemos determinar a correlação baseada na Lei de Molinari. Os traços experimentais e os respectivos consumos de cimento são obtidos pelas relações a seguir:

1: 3,5 → 1:  $a_r$ :  $p_r$  ; com  $(a/c)_r$

$$C_r = \frac{\gamma_r}{1 + a_r + p_r + (a/c)_r}$$

1: 5,0 → 1:  $a$ :  $p$  ; com  $(a/c)$

$$C = \frac{\gamma}{1 + a + p + (a/c)}$$

1: 6,5 → 1:  $a_p$ :  $p_p$  ; com  $(a/c)_p$

$$C_p = \frac{\gamma_p}{1 + a_p + p_p + (a/c)_p}$$

Com base na equação de “Molinari”

$$C = \frac{1.000}{k_5 + k_6 \cdot m}, \text{ para um mesmo abatimentos, se obtem:}$$

$$C_r = \frac{1.000}{k_5 + k_6 \cdot 3,5}$$

$$C = \frac{1.000}{k_5 + k_6 \cdot 5,0}$$

$$C_p = \frac{1.000}{k_5 + k_6 \cdot 6,5}$$

### 2.10.2.5 Traço definitivo

#### 2.10.2.5.1 Diagrama de dosagem

Os resultados obtidos no estudo experimental serão utilizados para construir as correlações entre traço de concreto e a relação água/cimento,  $m = f(a/c)$ ; consumo de cimento e traço,  $C = f(m)$ .

A construção destas correlações dá origem ao chamado diagrama de dosagem, que é válido somente para o mesmo tipo e classe de cimento (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

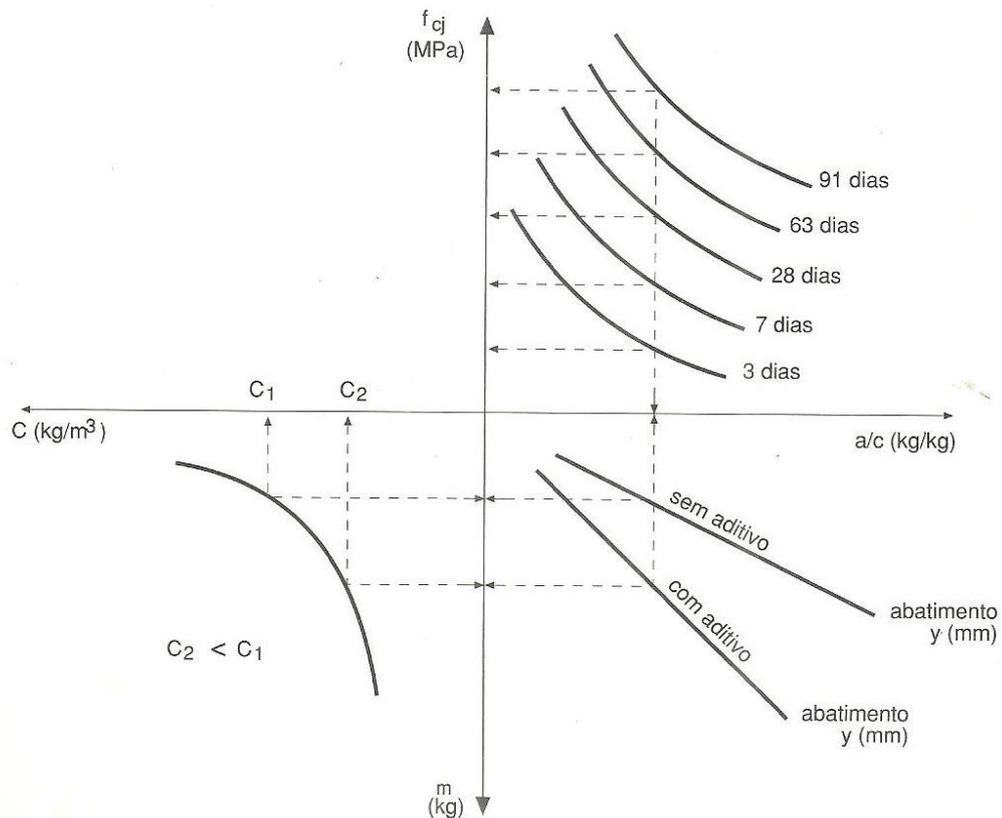


Figura 1 – Diagrama de dosagem de concretos com e sem aditivo (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

#### 2.10.2.5.2 Parâmetros do traço definitivo

Nesta etapa é obtido o traço do concreto que corresponde às premissas adotadas, portanto, pode-se obter, logo após o estudo experimental, um traço que permite iniciar a produção do concreto com bastante segurança (TUTIKIAN; HELENE, 2011), no sentido de atender os parâmetros desejados.

Os parâmetros considerados para o traço definitivo são os listados a seguir:

- Resistência característica do projeto:  $f_{ck}$  (MPa);
- Resistência de dosagem:  $f_{dj}$  (MPa);
- Relação água/cimento: obtida em função dos parâmetros de durabilidade;
- Relação água/cimento adotada;
- Traço unitário: (1 : m);
- Teor de argamassa seca: adotado no estudo experimental  $\alpha=(1+a)/(1+m)$ ;
- Traço unitário individual definitivo:  $a=\alpha \cdot (1+m)-1$ ;  $p=a-m$ ;
- Consumo de cimento ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ): obtido pela equação de correlação com o traço definitivo;
- Abatimento do tronco de cone (mm).

#### 2.10.2.5.3 Correção do traço

Deve-se observar que, após a ruptura dos corpos-de-prova nas idades estabelecidas, os resultados devem ser confrontados com os das curvas de referência. Tutikian e Helene (2011), afirmam que a necessidade ou não de correção do traço vai depender dos valores obtidos e do sistema de produção do concreto, avaliando-se a resistência e o desvio padrão, ficando a decisão ao profissional responsável. Ainda segundo Tutikian e Helene (2011), é recomendado observar que a resistência efetiva do concreto esteja próxima do valor de referência, com variação de mais ou menos o valor adotado para desvio padrão de dosagem.

## 2.11 CASTANHA-DO-BRASIL

### 2.11.1 Identificação

*Bertholletia excelsa* foi originalmente descrita em 1807 por Humboldt e Bonpland. No entanto, foi Poiteau, em 1825, o primeiro a dar à Lecythidaceae o status de família, removendo os gêneros *Bertholletia*, *Couratari*, *Couroupita* e *Gustavia* da família Myrtaceae, na qual eram tradicionalmente classificados (MORI e PRANCE, 1990).

O gênero *Bertholletia* homenageia L. C. Berthollet (1748-1822), famoso químico contemporâneo de Humboldt e Bonpland (MORI e PRANCE, 1990). A Castanheira do Brasil representa a única espécie existente no gênero *Bertholletia* e, embora exista uma considerável variação no tamanho, forma e número de sementes por fruto, não se constitui justificativa plausível para reconhecer mais de uma espécie (MORI e PRANCE, 1990).

Quanto a sua forma, pode atingir alturas de 30 a 60 m, com diâmetros na base do tronco superiores a 4 m. O tronco é retilíneo, cilíndrico e desprovido de ramos, com diâmetro a 1,30 m do solo, de 100 a 180 cm (EMBRAPA, 2004).

As ramificações, são em galhos, encurvados nas extremidades, compostos de folhas esparsas, alternadas, verde. Se apresentando escura na parte superior e pálida na inferior (EMBRAPA, 2004).

As flores se desenvolvem em panículas retas, verticais, racemosas nas extremidades dos ramos. O ovário é recoberto e o estilete estende-se normalmente além das anteras. Apresenta seis pétalas brancas, grandes, côncavas e decíduas (EMBRAPA, 2004).

O seu fruto é do tipo pixídio arredondado que pesa entre 200 g e 1,5 kg; contém de 12 a 25 sementes, que pesam de 4 a 10 g cada uma (EMBRAPA, 2004). As sementes, apresentam formato triangular-anguloso, transversalmente rugoso e estritamente comprimido. O comprimento varia entre 4 e 7 cm e a casca é bastante dura e rugosa (EMBRAPA, 2004).

A sua distribuição ocorre em toda a região amazônica, incluindo os estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Pará e norte dos Estados de Goiás e Mato Grosso. Presente em matas de terra firme, quase sempre em locais de difícil acesso, com dispersão natural abrangendo desde o Alto Orinoco até o Alto Beni, onde se

encontram Venezuela, Colômbia, Peru, Bolívia e Guianas. No entanto, as formações mais compactas ocorrem no Brasil (LORENZI, 2000).

#### 2.11.2 Produção da castanha-do-Brasil

O segmento agroindustrial da fruticultura no Brasil se destaca pela importância comercial e presença na pauta de exportação no agronegócio, representando uma taxa de 25% de negócio, obtendo-se uma produção aproximada de 30 milhões de toneladas por ano, de acordo com dados do IBGE (2010).

A maior parte da produção brasileira de fruticultura se direciona para o mercado interno, porém, a castanha-do-Brasil tem destaque na pauta de exportação, apresentando uma produção média de 34.000 toneladas nos períodos de 2008 a 2009, segundo dados do IBGE (2010). De acordo com valores oficiais apresentados por pesquisas governamentais, as relações comerciais e volumes de exportação sofrem alterações, oscilações nas quantidades, e alguns fatores podem justificar essa flutuação, tais como a elevação da produção extrativista em outros países, evolução das técnicas de produção dos outros países produtores, associado a dificuldades nos processos de manuseio e produção e uma série de fatores socioeconômicos e ambientais.

A produção, participação na produção e representação nas exportações são demonstradas nos quadros a seguir, e demonstram o impacto da castanha-do-Brasil, em particular na economia dos estados produtores, com participação efetiva do estado do Acre.

Quadro 7 – Quantidade produzida, valor da produção e valor médio (R\$/kg) da castanha-do-Brasil  
(SIDRA – IBGE, 2010)

Ano	Produção (kg)	Valor (Mil Reais)	Valor médio (R\$/kg)
2000	33.431.000	18.556.000	0,56
2001	28.467.000	27.695.000	0,97
2002	27.389.000	30.379.000	1,11
2003	24.894.000	24.587.000	0,99
2004	27.059.000	30.661.000	1,13
2005	30.975.000	46.866.000	1,51
2006	28.806.000	43.908.000	1,52
2007	30.406.000	45.492.000	1,50
2008	30.815.000	45.732.000	1,48
2009	37.467.000	52.261.000	1,39
Total	299.709.000	366.137.000	1,22

Quadro 8 – Participação em percentual, quantidade produzida, valor da produção e valor médio da castanha-do-Brasil por Unidade Federativa  
(SIDRA – IBGE, 2010)

Estado	Participação Produção (%)	Participação Valor (%)	Produção (kg)	Valor (Mil Reais)	Valor médio (R\$/kg)
Rondônia	11,4%	6,4%	34.062.000	23.381	0,69
Acre	28,7%	19,9%	85.936.000	72.739	0,85
Amazonas	31,9%	53,9%	95.522.000	197.524	2,07
Roraima	0,3%	0,1%	803.000	405	0,50
Pará	22,6%	15,8%	67.642.000	57.954	0,86
Amapá	3,3%	1,3%	9.876.000	4.660	0,47
Mato Grosso	2,0%	2,6%	5.868.000	9.474	1,61
Total	100,0%	100,0%	299.709.000	366.137	1,22

A associação das indústrias de beneficiamento, comércio e comunidades extrativistas de castanha-do-Brasil do baixo Amazonas (AICOMEX), aponta as principais dificuldades encontradas pelas indústrias produtoras, sendo elas:

- Obsolescência tecnológica das indústrias de beneficiamento, apresentando modernização somente a partir de 2008;
- Alto custo do processo de produção;
- Baixo nível de articulação da cadeia de produtiva;
- Acirrada concorrência entre as indústrias;
- Dificuldade para o acesso as novas áreas de extração;
- Dificuldades logísticas para acesso ao produto;
- Baixa qualidade do produto adquirido dado as práticas de manejo;
- Alto custo do financiamento de capital de giro para assegurar a safra;
- Baixa competitividade frente as indústrias da Bolívia e Peru;
- Fechamento de indústrias no Pará, no Acre e no Amazonas.

Quadro 9 – Produção e exportação da castanha-do-Brasil no mercado externo  
(SIDRA – IBGE, 2010)

Ano	Produção (kg)	Exportação (kg)			Consumo interno (%)
		Com casca	Sem casca	Total	
2000	33.431.000	13.566.005	5.361.990	18.927.995	43,4%
2001	28.467.000	7.902.773	2.649.222	10.551.995	62,9%
2002	27.389.000	6.949.131	2.693.655	9.642.786	64,8%
2003	24.894.000	5.617.681	1.329.220	6.946.901	72,1%
2004	27.059.000	10.296.366	3.095.042	13.391.408	50,5%
2005	30.975.000	13.057.660	4.183.500	17.241.160	44,3%
2006	28.806.000	11.215.521	1.862.981	13.078.502	54,6%
2007	30.406.000	13.982.688	2.330.276	16.312.964	46,3%
2008	30.815.000	12.736.055	1.013.128	13.749.183	55,4%
2009	37.467.000	9.047.217	837.158	9.884.375	73,6%
2010	-	8.141.735	856.403	8.998.138	-
Total	299.709.000	112.512.832	26.212.575	138.725.407	53,7%

Quadro 10 – Produção e exportação da castanha-do-Brasil no mercado externo por estados de origem, entre os anos de 2009 a 2010.

(SIDRA – IBGE, 2010)

Estado	Produção (kg)	Exportação (kg)			Exportação (%)
		Com casca	Sem casca	Total	
Rondônia	34.062.000	1.533.648	-	1.533.648	4,5%
Acre	85.936.000	39.603.154	230.761	39.833.915	46,4%
Amazonas	95.522.000	30.592.747	2.519.862	33.112.609	34,7%
Roraima	803.000	-	-	-	-
Pará	67.642.000	32.023.715	22.539.180	54.562.895	80,7%
Amapá	9.876.000	136.975	-	136.975	1,4%
Mato Grosso	5.868.000	424.607	-	424.607	7,2%
Total	299.709.000	104.314.846	25.289.803	129.604.649	43,2%

A associação AICOMEX, aponta como as principais dificuldade para o setor nesse segmento de exportação, a ausência de regulação adequada a realidade das atividade e práticas comerciais ilícitas presentes no setor.

Embora essa séries de dificuldades e ausência de controle e regulamentação no setor, assim como falta de políticas públicas que permitam oportunidade comercial para toda a cadeia produtiva, o que vale ressaltar é a demanda latente e capacidade produtiva dos estados e em particular, o estado do Acre. Essa demanda e capacidade de oferta de produção, vem corroborar com o objeto de estudo da pesquisa, pois, para toda a produção gerada, haverá uma geração residual de casca da castanha.

### 2.11.3 Caracterização da casca da castanha-do-Brasil

Dados da pesquisa sobre a análise físico-química e caracterização espectroscópica da casca da castanha-do-Brasil (CECHETTI et al. 2011), mostra que a produção anual em 2007 na floresta Amazônica foi de 30.000 toneladas, gerando uma quantidade enorme de cascas como resíduos. Assim, buscando encontrar alternativas para a utilização deste resíduo tem sido estudado o seu aproveitamento

na fabricação de tijolos (BRITO et al. 2010). Além disso, a casca pode ser utilizada como bioadsorvente no processo de remoção de corantes de efluentes têxteis.

Os principais constituintes da casca da castanha-do-Brasil são a lignina e a holocelulose que é constituída pela celulose e hemicelulose (BONELLI et al, 2001). O espectro no infravermelho obtido para a casca da castanha-do-Brasil, apresentou uma banda intensa em  $3424\text{ cm}^{-1}$  corresponde a estiramento da ligação O-H. Em  $1742$  e  $1626\text{ cm}^{-1}$  são observados os estiramentos C=O, que para a holocelulose tem sido atribuídos a ácidos carboxílicos e ésteres. Para a lignina estes estiramentos tem sido associados a cetonas alifáticas e cetonas aromáticas substituídas, respectivamente (PAWLAK; PAWLAK, 1997).

A banda observada em  $1517\text{ cm}^{-1}$  corresponde a vibrações do esqueleto aromático sendo característica da lignina (PAWLAK; PAWLAK, 1997). As bandas em  $1453$ ,  $1377$  e  $1319\text{ cm}^{-1}$  estão relacionadas com a deformação C-H. O sinal em  $823\text{ cm}^{-1}$  é atribuído a deformação aromática C-H e os sinais em  $668$  e  $608\text{ cm}^{-1}$  estão relacionados com a deformação fora do plano de hidrogênios ligados a carbonos insaturados. Em  $1160\text{ cm}^{-1}$  ocorre os estiramentos C-O e em  $1109$  e  $1060\text{ cm}^{-1}$  a deformação de OH do grupo C-OH.

O teor de umidade para as amostras da casca da castanha-do-Brasil analisadas foi de  $11,69 \pm 0,01\%$ . Mendes, Moraes e Sena (2007) ao determinarem o teor de umidade encontraram o valor de  $15,70\%$ . Ao determinar o teor de cinzas foi encontrado o teor de  $2,13 \pm 0,02\%$ . Este resultado foi próximo do valor descrito por Bonelli (2001), que foi de  $1,70\%$ .

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MATÉRIA PRIMA

Os estudos de confecção e dosagem de traços experimentais de concretos, para posterior rompimento no ensaio de resistência à compressão, teve como critério a utilização dos materiais disponíveis na localidade de estudo, cidade de Rio Branco – AC. Portanto, os trabalhos realizados foram com a finalidade de adequar as melhores condições dos traços aos materiais disponíveis no comércio local, isso se justifica mediante o atendimento de normas técnicas específicas atentando para a realidade do dia-a-dia das obras na cidade.

Para a confecção dos blocos de concreto foram adquiridos no comércio local, areia fina de rio, pó de brita, brita número 5/8”, brita número 1, brita número 2 e cimentos Portland dos tipos CP II, CP III e CP IV. Há outros agregados graúdos e eventualmente outros tipos de cimento, mas como os materiais citados são de uso corrente e por atenderem às necessidades do estudo, foram eleitos como os materiais escolhidos. Também foi utilizado aditivo químico encontrado no comércio local.

A seleção dos agregados, miúdos e graúdos, foi feita em coleta, por amostragem, nas pilhas de estoque no pátio de armazenamento da empresa Formate Concretos. Para a coleta, não houve uma separação específica dos agregados, ou seja, foi coletado o material disponível para comercialização, cuja finalidade foi a de reproduzir o experimento com as características dos materiais oferecidos à comercialização.

##### 3.1.1 Agregados

Os agregados selecionados para a confecção do estudo experimental dos traços de concreto são apresentados na figura 6. O item “A” representa a areia fina do rio Acre, proveniente de extração por draga na cidade de Rio Branco – AC. O “B” representa o pó de brita, também conhecido no mercado local como pó com pedrisco, podrisco e areia artificial. Embora o termo areia artificial não seja adequado para o material que se comercializa, este é o seu nome popular no mercado da cidade de Rio

Branco. O material “C” a brita número 1 (3/4”) e o “D” representa a brita classificada como 5/8”.

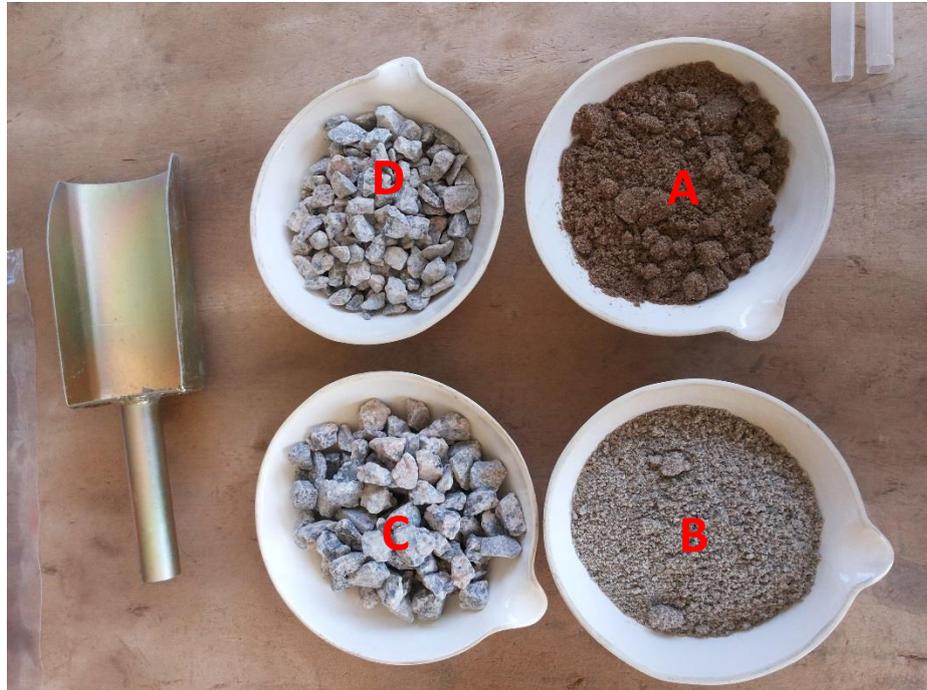


Figura 2 – Amostra dos agregados miúdos e graúdos utilizados na produção de concretos. A – areia fina do Rio Acre, B – pó de brita, C – brita nº1 e D – brita 5/8”

As figuras de 7 a 9 mostram imagens ampliadas dos agregados. O objetivo é permitir uma percepção das características físicas visuais dos materiais. Esta percepção traz uma análise importante. Finura excessiva dos agregados miúdos, presença de material pulverulento, irregularidade na forma dos grãos, forma lamelar do agregado graúdo, são alguns aspectos que podem ser analisados com uma inspeção visual, sem resultados de ensaios físicos. A partir dessas características, profissionais mais experientes na área de tecnologia do concreto podem avaliar previamente o comportamento dos concretos formulados com esses produtos. Nas imagens em questão, foi identificada a finura excessiva da areia e a leve presença de material pulverulento, o que permitiu prever aspectos relacionados a dificuldades na confecção dos traços, o que justifica a mistura dos agregados miúdos e graúdos.



Figura 3 – Detalhe do agregado miúdo – areia fina do rio Acre



Figura 4 – Detalhe do agregado miúdo – pó de brita



Figura 5 – Detalhe do agregado graúdo – brita 5/8"



Figura 6 – Detalhe do agregado gráudo – brita 1 (3/4”)

Os agregados utilizados na confecção do concreto são classificados como gráudos ou miúdos em consideração às prescrições normativas da ABNT/ NBR 7211 (2009).

A figura 10 e 11 mostram os limites granulométricos. Para os agregados miúdos e agregados gráudos, respectivamente.

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 ótima	Zona utilizável
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**

- O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.
- O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.
- O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Figura 7 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo (ABNT NBR 7211)

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 <sup>2)</sup>	87 – 100	-
19 mm	-	2 - 15 <sup>2)</sup>	65 <sup>2)</sup> - 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 <sup>2)</sup> - 65 <sup>2)</sup>	92 – 100	-	-

Figura 8 – Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo  
(ABNT NBR 7211)

O resultado da distribuição granulométrica da areia fina de rio (quadro 11 e figura 12) permite concluir que o material está fora das faixas granulométricas ótima e aceitável estabelecidas pela NBR7211, fato já conhecido no meio técnico local. A figura 12 mostra como a curva granulométrica da areia fica fora das faixas estabelecidas na NBR 7211, essa característica mostra como a areia é muito fina, apresentando maior parte dos seus grãos passantes nas peneiras 0,15mm e 0,3mm.

Porém, não há outra alternativa para areia em Rio Branco, cabendo ao estudo de traço, adotar uma sugestão mais adequada de utilização deste material.

Como alternativa, tem-se a utilização do pó de brita em conjunto com a areia fina do rio Acre para melhorar a granulometria do agregado miúdo e favorecer a redução da exsudação, fenômeno que se apresenta fortemente em concreto confeccionado utilizado somente a areia fina do rio Acre. No quadro 12 e na figura 13 são apresentados os resultados do ensaio granulométrico do pó de brita.

Isoladamente a areia não seria adequada para o uso, quando se analisa a sua granulometria. O pó de brita apresenta melhores condições de se enquadrar nas faixas granulométricas, mesmo assim, apresenta dois pontos fora da faixa estabelecida pela norma. Portanto, a composição em mistura, desses dois materiais tem a função de melhorar a característica granulométrica do agregado miúdo do traço de concreto.

O melhor resultado é uma composição de 60% em peso de areia fina para 40% em peso do pó de brita, para o total de agregado miúdo determinado no traço de

concreto. Apresentando a nova composição granulométrica, dos agregados miúdos, no quadro 13 e sua curva da composição pela figura 14.

Para a fração que compete aos agregados graúdos, foi trabalhado com a brita nº1, com diâmetro máximo de 19mm e a composição com outro material fora da série normal de peneiras da norma NBR 7211 (2009). Esse agregado graúdo recebe a classificação local em função da sua peneira passante ser a de bitola 5/8". É um agregado que tem seu uso muito difundido no mercado local e apresenta boa aceitação para trabalhos que teriam dificuldades em manusear a brita nº1 em concreto e necessitam de um agregado maior que a brita nº0, como os de uso em serviços de menor responsabilidade, como calçadas e concretos não estruturais.

O quadro 14 e a figura 15 apresentam os resultados para granulometria da brita 5/8" e o quadro 15 e a figura 16, para o da brita nº1. Ficando a composição enquadrada dentro da faixa granulométrica normativa, para a classificação de brita nº1.

A composição com a brita nº1 apresentou ótimos resultados quanto a distribuição granulométrica do agregado, trabalhabilidade dos concretos e facilidade na aplicação de concreto bombeados, por ajudar no transporte nas tubulações e nos mangotes. A composição trabalha foi a de 60% da brita 5/8" e 40% da brita nº1.

Essa composição foi adotada, levando em consideração os comportamentos observados em trabalhos de confecção de produção de concreto em escala industrial da concreteira e no bom comportamento que essa mistura favorece aos concretos nos aspectos a sua trabalhabilidade, manuseio, aplicação, resistência e consistência. Experiências anteriores em laboratório confirmaram essas características, por isso não houve a necessidade de confirmar através de uma nova curva granulométrica.

Quadro 11 – Granulometria de agregado miúdo – Areia do rio Acre  
(PROGÊNIO, 2015)

Ensaio físico de agregado miúdo para concreto								
Granulometria do agregado: Areia					Especificação NBR 7211			
Peneira (mm)	Retido (g)	Percentual retido (%)			Zona Utilizável		Zona Ótima	
		Indiv.	Acumulado					
9,5	0,0	0,0	-	-	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	-	-	0	7	0	0
4,8	0,0	0,0	-	0,0	0	10	0	5
2,4	0,0	0,0	-	0,0	0	20	10	20
1,2	0,0	0,0	-	0,0	5	50	20	30
0,6	0,0	0,0	-	0,0	15	70	35	55
0,3	57,0	11,4	11,4	11,4	50	95	65	85
0,15	332,0	66,4	77,8	77,8	85	100	90	95
0,075	106,0	21,2	99,0	-	100	100	100	100
< 0,075	5,0	1,0	-	-				
Total	500,0	100,0		89,2				
Diâmetro máximo do agregado: 0,3mm					Módulo de finura: 0,89			
Origem: Areia do rio Acre – Pátio da Formate (Distrito Industrial)								
Obs.: O material não se enquadra na faixa da norma								

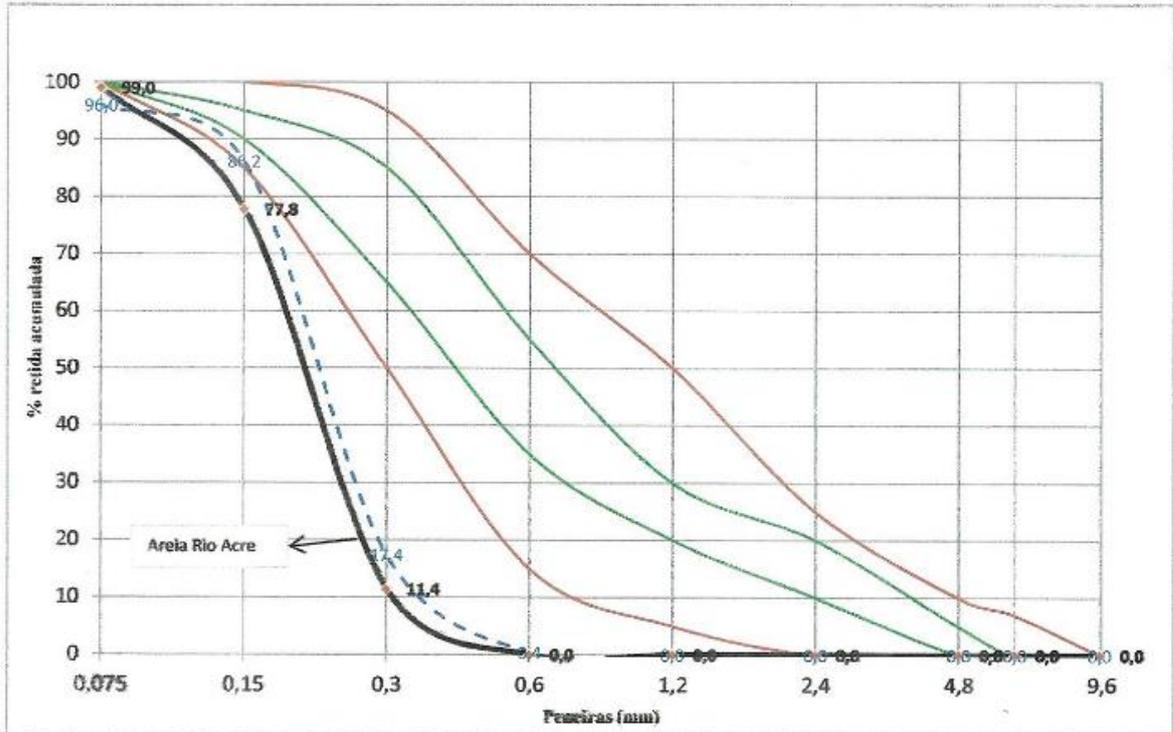


Figura 9 – Gráfico da granulometria da areia do rio Acre – Linhas verdes: zona ótima; Linhas Vermelhas: zona utilizável; Linhas preta e azul tracejada: granulometria da areia (PROGÊNIO, 2015)

Quadro 12 – Granulometria de agregado miúdo – Pó de brita.  
(PROGÊNIO, 2015)

Ensaio físico de agregado miúdo para concreto								
Granulometria do agregado: Pó de brita					Especificação NBR 7211			
Peneira (mm)	Retido (g)	Percentual retido (%)			Zona Utilizável		Zona Ótima	
		Indiv.	Acumulado					
9,5	0,0	0,0	-	-	0	0	0	0
6,3	0,0	0,0	-	-	0	7	0	0
4,8	0,0	4,0	4,0	4,0	0	10	0	5
2,4	0,0	23,7	27,7	27,7	0	20	10	20
1,2	0,0	21,9	49,6	49,6	5	50	20	30
0,6	0,0	17,0	66,7	66,7	15	70	35	55
0,3	57,0	12,8	79,5	79,5	50	95	65	85
0,15	332,0	7,7	87,2	87,2	85	100	90	95
0,075	106,0	6,3	93,5	-	100	100	100	100
< 0,075	5,0	6,5	-	-				
Total	999,0	100,0	-	314,7				
Diâmetro máximo do agregado: 4,8mm					Módulo de finura: 3,15			
Origem: Pedreira Fortaleza – Pátio da Formate (Distrito Industrial)								

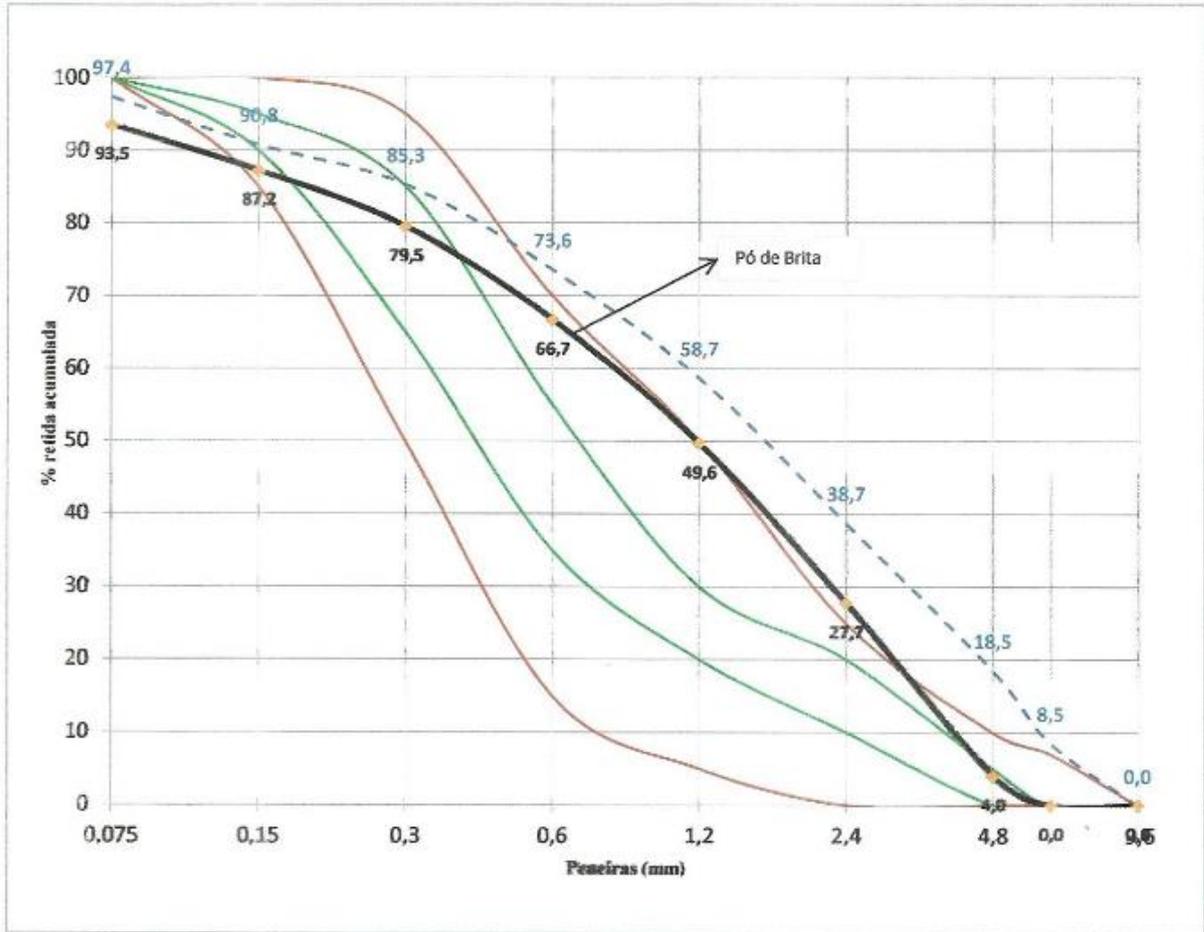


Figura 10 – Gráfico da granulometria do Pó de brita – Linhas verdes: zona ótima; Linhas Vermelhas: zona utilizável; Linhas preta e azul tracejada: granulometria do pó de brita  
(PROGÊNIO, 2015)

Quadro 13 – Composição granulométrica de agregado miúdo – Quantidade em massa de 60% de areia fina com 40% de pó de brita  
(PROGÊNIO, 2015)

Ensaio físico de agregado miúdo para concreto								
Areia fina 60% e pó de brita 40%								
Granulometria de agregado					Especificação NBR 7211			
Peneira (mm)	Retido (g)	Percentual retido			Zona ótima		Zona utilizável	
		Individual	Acumulado					
9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-
6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	-	7	-	-
4,8	65,0	6,5	6,5	6,5	-	10	-	5
2,4	93,0	9,3	15,8	15,8	-	25	10	20
1,2	93,0	9,3	25,1	25,1	5	50	20	30
0,6	125,0	12,5	37,6	37,6	15	70	35	55
0,3	248,0	24,8	62,5	62,5	50	95	65	85
0,15	188,0	18,8	81,3	81,3	85	100	90	95
0,075	148,0	14,8	96,1	-	100	100	100	100
<0,075	39,0	3,9	-	-	-	-	-	-
Total	999,0	100,0	-	228,8	-	-	-	-
Diâmetro máximo do agregado: 4,8mm					Módulo de finura do agregado: 2,29			
Origem da material: Pátio de estoque da Formate Concretos – Rio Branco, Acre.								

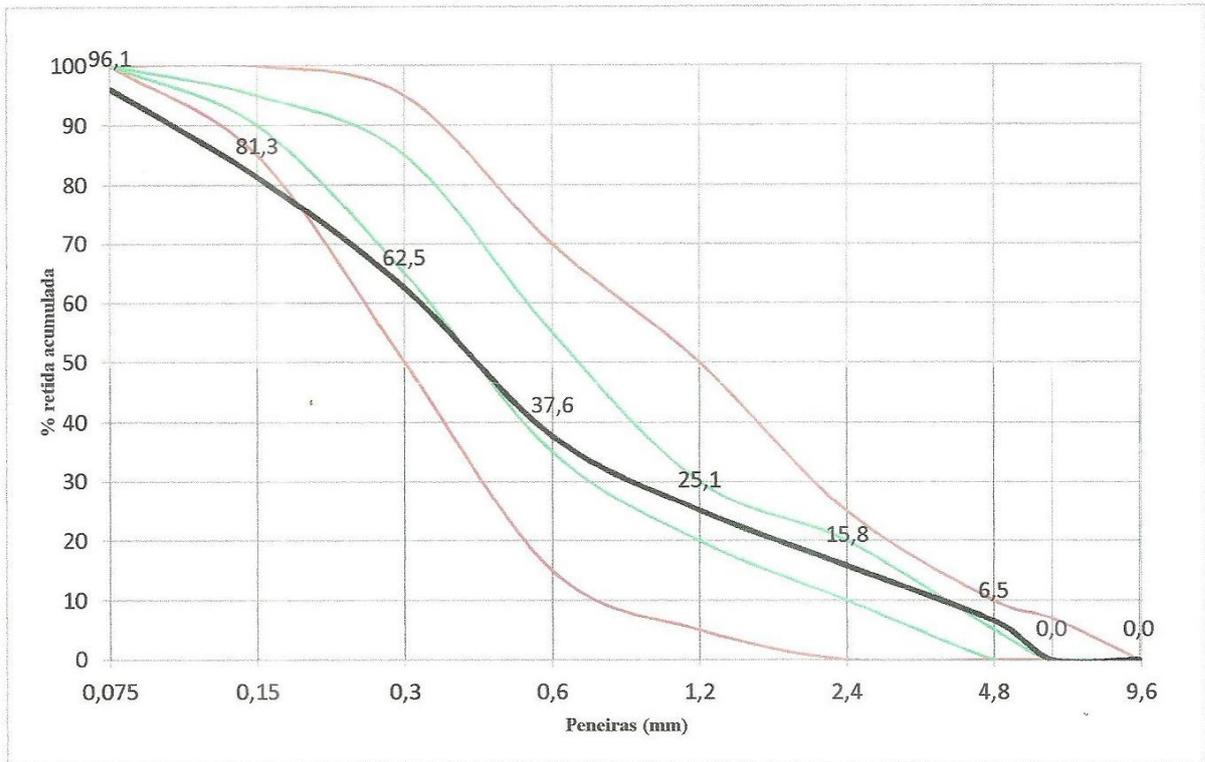


Figura 11 – Gráfico da granulometria da areia do rio Acre com pó de brita – Linhas verdes: zona ótima; Linhas Vermelhas: zona utilizável; Linhas preta: granulometria da composição dos agregados miúdos (PROGÊNIO, 2015)

Quadro 14 – Granulometria de agregado graúdo – Brita 5/8”.  
(PROGÊNIO, 2015)

Ensaio físico de agregado miúdo para concreto								
Granulometria do agregado: Brita 5/8”					Especificação NBR 7211			
Peneira (mm)	Retido (g)	Percentual retido (%)			4,8/12,5		9,5/25	
		Indiv.	Acumulado		Brita 0		Brita 1	
75	-	0	-	0				
63	-	0	-	-				
50	-	0	-	-				
38	-	0	-	0				
32	-	0	-	-				
25	-	0	-	-			0	5
19	-	0	-	0			2	15
12,5	945,0	18,9	18,9	-	0	5	40	65
9,5	2.326,0	46,5	65,4	65,4	2	15	80	100
6,3	1.570,0	31,4	96,8	-	40	65	92	100
4,8	62,0	1,2	98,1	98,1	80	100	95	100
2,4	17,0	0,3	98,4	98,4	95	100		
1,2	79,0	1,6	100,0	100,0				
0,6	-	0	-	-				
0,3	-	0	-	-				
0,15	-	0	-	-				
0,075	-	0	-	-				
< 0,075	-	0	-	-				
Total	4.999	100,0	-	661,9				
Diâmetro máximo do agregado: 12,5mm					Módulo de finura: 6,62			
Origem: Pedreira Fortaleza – Pátio da Formate (Distrito Industrial)								
Obs.: O material não se enquadra na faixa da brita 0 e nem na faixa da brita 1.								

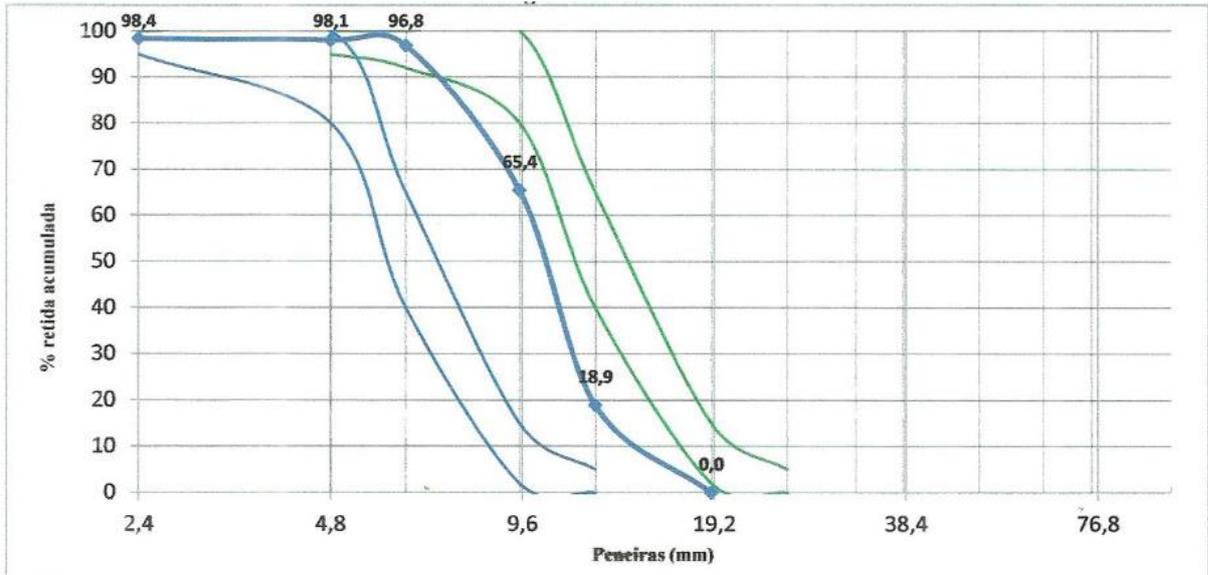


Figura 12 – Gráfico da granulometria da Brita 5/8" – Linhas verde: brita nº1; Linhas azul fina: brita nº 0; Linha azul grossa: brita 5/8" do ensaio (PROGÊNIO, 2015)

Quadro 15 – Granulometria de agregado graúdo – Brita 1 (3/4”).  
(PROGÊNIO, 2015)

Ensaio físico de agregado miúdo para concreto								
Granulometria do agregado: Brita 1 (3/4”)					Especificação NBR 7211			
Peneira (mm)	Retido (g)	Percentual retido (%)			4,8/12,5		9,5/25	
		Indiv.	Acumulado		Brita 0		Brita 1	
75	-	0	-	0				
63	-	0	-	-				
50	-	0	-	-				
38	-	0	-	0				
32	-	0	-	-				
25	-	0	-	-			0	5
19	120,0	2,4	2,4	2,4			2	15
12,5	3.800,0	75,8	78,2	-	0	5	40	65
9,5	655,0	13,1	91,3	91,3	2	15	80	100
6,3	386,0	7,7	99,0	-	40	65	92	100
4,8	38,0	0,8	99,8	99,8	80	100	95	100
2,4	11,0	0,2	100,0	100,0	95	100		
1,2	-	0	-	-				
0,6	-	0	-	-				
0,3	-	0	-	-				
0,15	-	0	-	-				
0,075	-	0	-	-				
< 0,075	-	0	-	-				
Total	5.010	100,0	-	693,5				
Diâmetro máximo do agregado: 19,0mm					Módulo de finura: 6,93			
Origem: Pedreira Fortaleza – Pátio da Formate (Distrito Industrial)								
Obs.: O material se enquadra parcialmente na faixa da brita 1.								

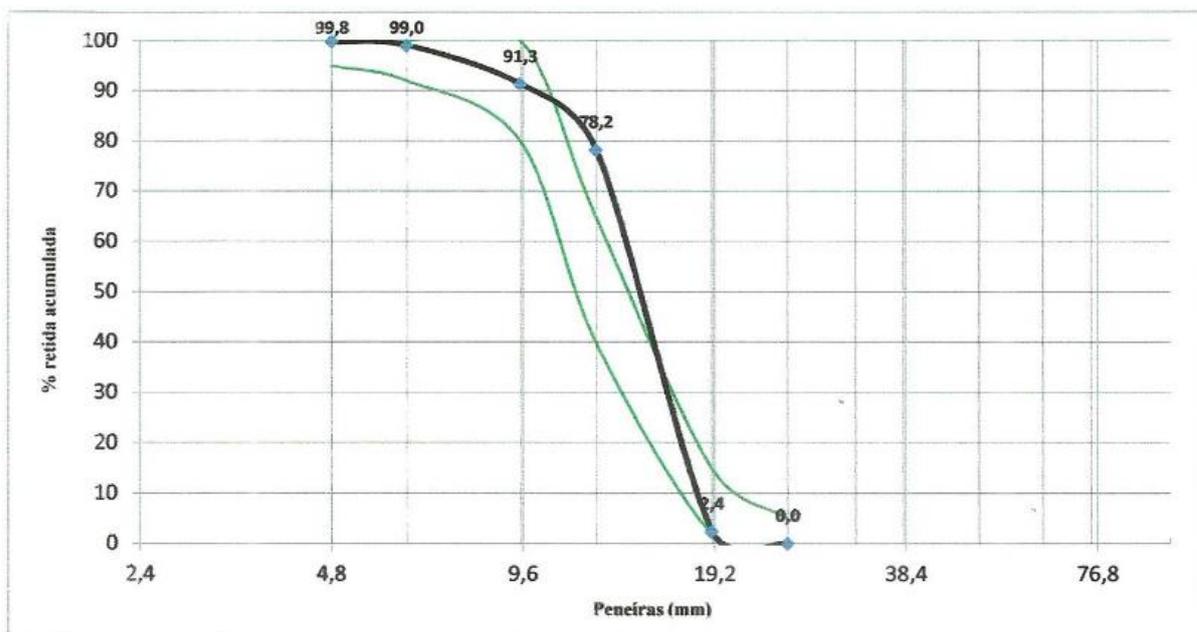


Figura 13 – Gráfico da granulometria da Brita 1 (3/4'') – Linhas verde: brita n°1; Linha preta: brita n°1 do ensaio (PROGÊNIO, 2015)

Quanto à caracterização de suas massas específicas real e unitária, os agregados apresentam os valores para a areia fina do rio Acre, massa específica real de  $2.625 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e massa unitária de  $1.433 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , o pó de brita apresentou uma massa específica real de  $2.582 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , e massa unitária de  $1.536 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , e a brita apresentou massa específica real de  $2.676 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e massa unitária de  $1.445 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Quadro 16 – Massas específicas e unitárias dos agregados  
(PROGÊNIO, 2015)

Massas específicas real e unitária		
Agregado	Massa específica real	Massa unitária
Areia	$2.625 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$1.433 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Pó de brita	$2.582 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$1.536 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Brita	$2.676 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$1.445 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

### 3.1.2 Cimentos

Para a confecção dos traços de concretos, o aglomerante utilizado foi o cimento Portland, recorrendo aos tipos e marcas disponíveis no mercado local na data do estudo. Essa decisão teve como fundamento, o fato de se trabalhar o estudo com as características locais de acesso a esse tipo de produto, ou seja, ter uma amostra para estudo com cimentos disponíveis no mercado local.

Os cimentos Portland utilizados se enquadravam na NBR 11578 (1997), para os cimentos nacionais e para o cimento Portland proveniente do Peru a norma especificada é a NTP 334.090 (2013) para Cimento Portland Pozolânico, tipo IP, que tem sua versão equivalente na norma brasileira com a NBR 5736 (1991).

As marcas nacionais utilizadas foram o cimento Portland ITAÚ – Cimento Portland Pozolânico, fabricado pela Votarantim cimentos, Tipo CP IV, classe 32 MPa. Cimento Portland NASSAU – Cimento Portland Pozolânico, Tipo CP IV, classe 32 MPa. Cimento Portland CIPLAN – Cimento Portland Composto, Tipo CP II-Z, classe 32 MPa. E o cimento Portland YAURA, Tipo IP, este último tem sua equivalência, conforma indica a empresa fabricante, com a classificação brasileira no Tipo CP IV, classe 32 MPa. A seleção e escolha destas marcas se deu exclusivamente, por representar a realidade do consumo na cidade, em particular, o surgimento da marca peruana na cidade, despertou muito interesse e ao mesmo tempo questionamentos quanto ao seu comportamento, por isso então, a decisão de incluir esta marca nos estudos desta pesquisa.



Figura 14 – Sacos de cimento Portland – A: cimento de marca ITAÚ, tipo CP IV e classe 32; B: cimento de marca NASSAU, tipo CP IV e classe 32; C: cimento de marca CIPLAN, tipo CP II – Z e classe 32; D: cimento de marca YURA, IP (tipo CP IV e classe 32)  
(PROGÊNIO, 2015)

Os ensaios de caracterização e análise química foram realizados no laboratório da Universidade Federal de São Carlos, pelo Departamento de Engenharia de Materiais, no Laboratório de Caracterização Estrutural. Foram realizados os ensaios de microscopia eletrônico de varredura – MEV MEGELLAN e difração de Raios X – DRX/CARACTERIZADO. Os ensaios foram realizados tanto nos aglomerantes, cimentos Portland, quando na cinza da casca da castanha do Brasil.

No caso da amostra 02, que corresponde ao cimento da marca ITAÚ, tipo CP IV, classe 32 MPa, o ensaio identificou a presença de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) em 32,29%, silicato de cálcio ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ) em 25,00%, óxido de magnésio (MgO) com 9,37%, óxido de titânio ( $\text{Na}_2\text{Ti}_9\text{O}_{19}$ ) em 18,80%, silicato de alumínio e cálcio de magnésio ( $54\text{CaO}\cdot 16\text{SiO}_2\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{MgO}$ ) com 5,21%, Gobbinsite

$[(\text{Na}\cdot 4\text{Ca}\cdot 0,94(\text{Si}_{10,4}\cdot \text{Al}_{5,6}\text{O}_{32})\cdot (\text{H}_2\text{O})_{16,185}]$  com 1,54%, silicato de alumínio ( $\text{Al}\cdot \text{Si}_{0,5}\cdot \text{O}_{2,5}$ ) com 1,54%, óxido nitrato de alumínio ( $\text{SiAl}_7\text{O}_2\text{N}_7$ ) em 6,25%.

Para a amostra 03, referente ao cimento de marca YURA, tipo IP com equivalência nacional para o CP IV classe 32 MPa, o resultado do ensaio apresentou silicato de cálcio ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ) em 36,00%, óxido de magnésio (MgO) com 3,18%, sódio óxido de titânio ( $\text{Na}_2\text{Ti}_9\text{O}_{19}$ ) com 25,12%, silicato de alumínio cálcio magnésio ( $54\text{CaO}\cdot 16\text{SiO}_2\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{MgO}$ ) com 10,40%, Gobbinsite  $\text{Na}_4\text{Ca}_{0,94}(\text{Si}_{10,4}\text{Al}_{5,6}\text{O}_{32})\cdot (\text{H}_2\text{O})_{16,185}$  com 3,25%, óxido nitrato de alumínio ( $\text{SiAl}_7\text{O}_2\text{N}_7$ ) com 10,51%, margerite ( $\text{CaAl}_2(\text{Si}_2\text{Al}_2)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) com 11,44%.

A amostra 04, que representa o cimento NASSAU, tipo CP IV, com os resultados do óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) com 56,22%, silicato de cálcio ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ) com 17,35%, óxido de magnésio (MgO) com 1,73%, óxido de titânio ( $\text{Na}_2\text{Ti}_9\text{O}_{19}$ ) com 4,17%, silicato de alumínio e cálcio de magnésio ( $54\text{CaO}\cdot 16\text{SiO}_2\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{MgO}$ ) com 4,63%, Gobbinsite ( $\text{Na}_4\text{Ca}_{0,94}(\text{Si}_{10,4}\text{Al}_{5,6}\text{O}_{32})(\text{H}_2\text{O})$ ) com 10,30%, óxido nitrato de alumínio ( $\text{SiAl}_7\text{O}_2\text{N}_7$ ) com 5,60%.

O cimento Portland da marca CIPLAN, tipo CP II-Z, classe 32 MPa, representa a amostra 05, com óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) com 28,09%, silicato de cálcio ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ) com 31,78%, óxido de magnésio (MgO) com 5,34%, óxido de titânio ( $\text{Na}_2\text{Ti}_9\text{O}_{19}$ ) com 8,34%, silicato de alumínio e cálcio de magnésio ( $54\text{CaO}\cdot 16\text{SiO}_2\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{MgO}$ ) com 9,25%, Gobbinsite ( $\text{Na}_4\text{Ca}_{0,94}(\text{Si}_{10,4}\text{Al}_{5,6}\text{O}_{32})(\text{H}_2\text{O})$ ) com 6,05%, óxido nitrato de alumínio ( $\text{SiAl}_7\text{O}_2\text{N}_7$ ) com 11,15%.

O quadro 17, apresenta um comparativo entre os elementos químicos identificados em relação as marcas de cimentos analisadas. A principal diferença em relação a presença dos elemento entre as marcas está no fato do cimento YURA não ter apresentado o dióxido de silício e o silicato de alumínio, este último também não foi identificado nas marcas NASSAU e CIPLAN. A margerite ( $\text{CaAl}_2(\text{Si}_2\text{Al}_2)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ), só foi identificada no cimento YURA. Quando comparada as marcas nacionais, o ITAÚ apresentou maiores quantidade de silicato de cálcio, magnésio e óxido de titânio, o NASSAU se destacou por apresentar maior quantidade de dióxido de silício.

Essas características de suas composições não interferem na aceitação para uso das marcas, pois todas apresentam como enquadradas nos padrões normativos, porém, podem alterar sensivelmente o comportamento e características dos concretos, por isso, adequações nos traços podem ser necessárias no momento da sua confecção.

Quadro 17 – Elementos químicos nos cimentos  
(PROGÊNIO, 2015)

Comparativo dos elementos químicos presentes nas marcas de cimento				
Cimento	ITAÚ	YURA	NASSAU	CIPLAN
Classificação	CP IV 32	IP (CP IV 32)	CP IV 32	CP II – Z 32
Elementos Químicos	Quantidade relativa identificada em relação à amostra ensaiada (%)			
Dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	32,29	-	56,22	28,09
Silicato de cálcio (Ca <sub>3</sub> SiO <sub>5</sub> )	25,00	36,00	17,35	31,78
Magnésio (MgO)	9,37	3,18	1,73	5,34
Óxido de titânio (Na <sub>2</sub> Ti <sub>9</sub> O <sub>19</sub> )	18,80	25,12	4,17	8,34
Silicato de alumínio e cálcio de magnésio (54CaO·16SiO <sub>2</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·MgO)	5,21	10,40	4,63	9,25
Gobbsite [(Na·4Ca·0,94(Si <sub>10,4</sub> ·Al <sub>5,6</sub> O <sub>32</sub> )·(H <sub>2</sub> O) <sub>16,185</sub> ]	1,54	3,25	10,30	6,05
Silicato de alumínio (Al·Si <sub>0,5</sub> ·O <sub>2,5</sub> )	1,54	-	-	-
Óxido nitrato de alumínio (SiAl <sub>7</sub> O <sub>2</sub> N <sub>7</sub> )	6,25	10,51	5,60	11,15
margerite (CaAl <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> )O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> )	-	11,44	-	-

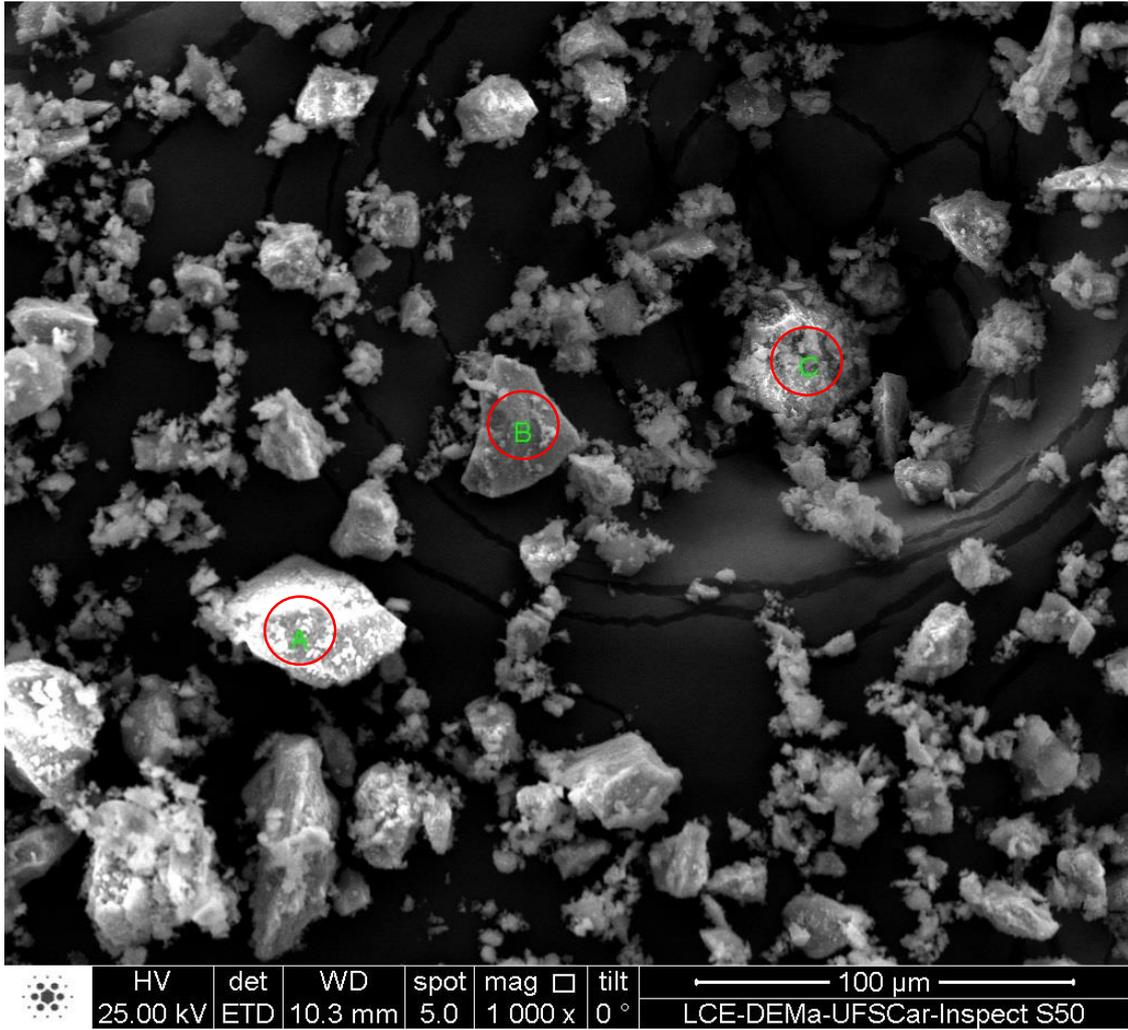


Figura 15 – Microscopia da amostra 02, detalhe A, B e C – (ITAÚ)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)

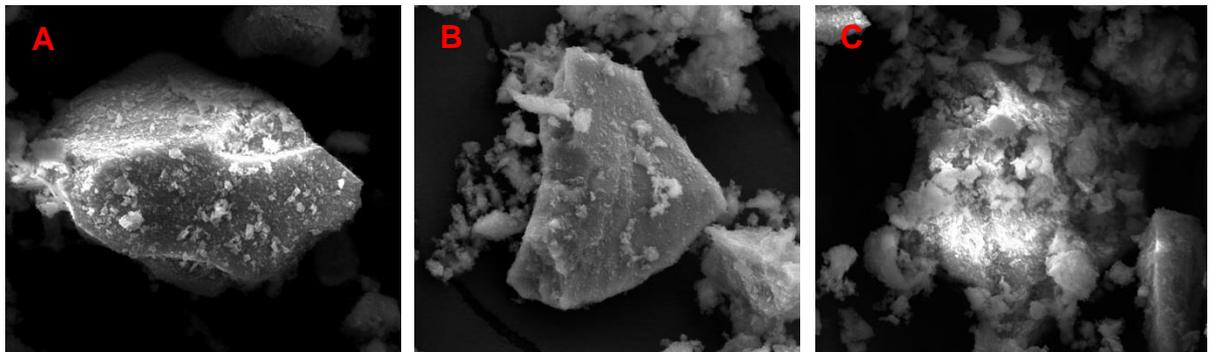


Figura 16 – Microscopia da amostra 02, detalhe A, B e C – (ITAÚ)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)

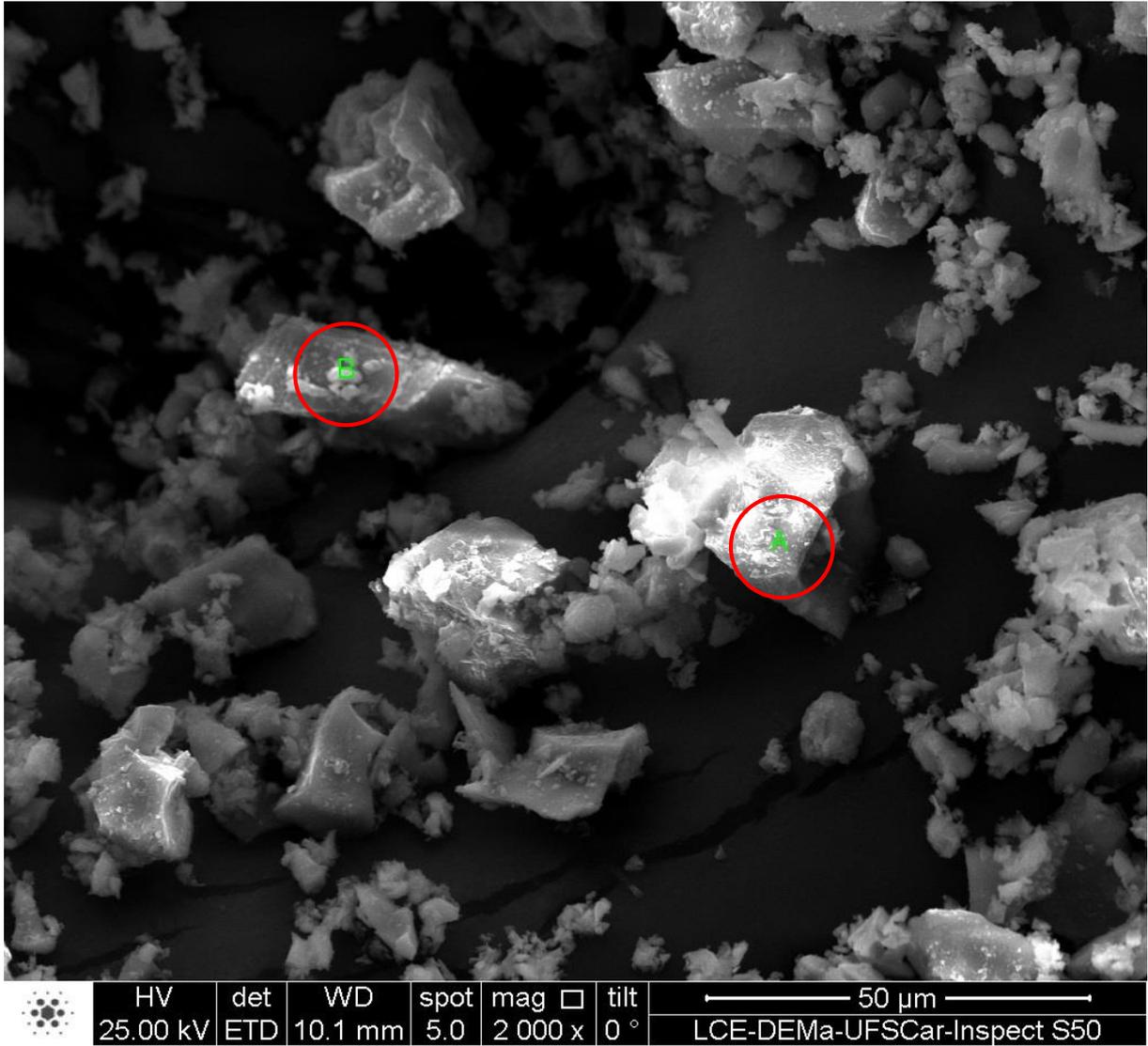


Figura 17 – Microscopia da amostra 03, detalhe A e B – (YURA)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)

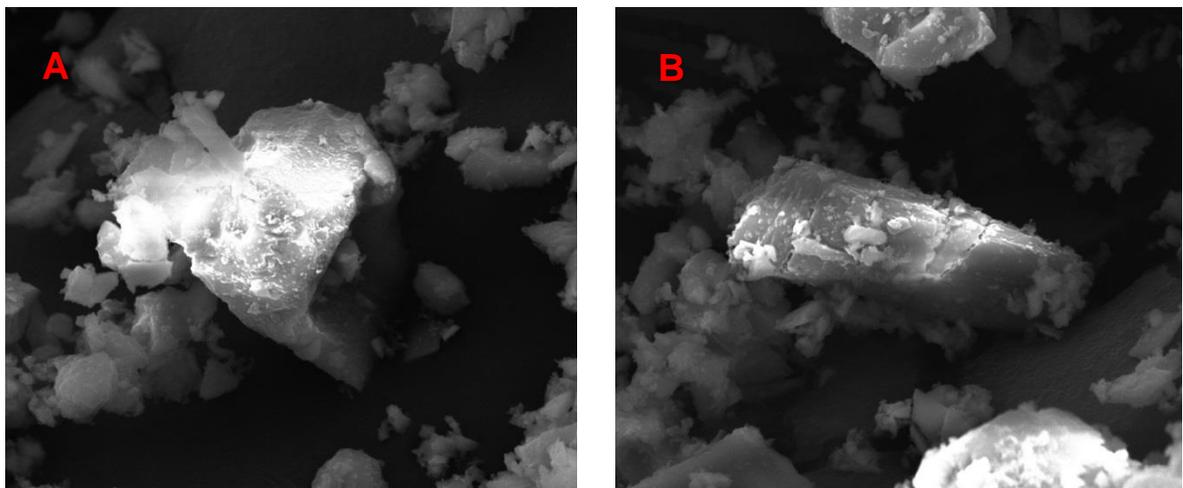


Figura 18 – Microscopia da amostra 03, detalhe A e B – (YURA)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)

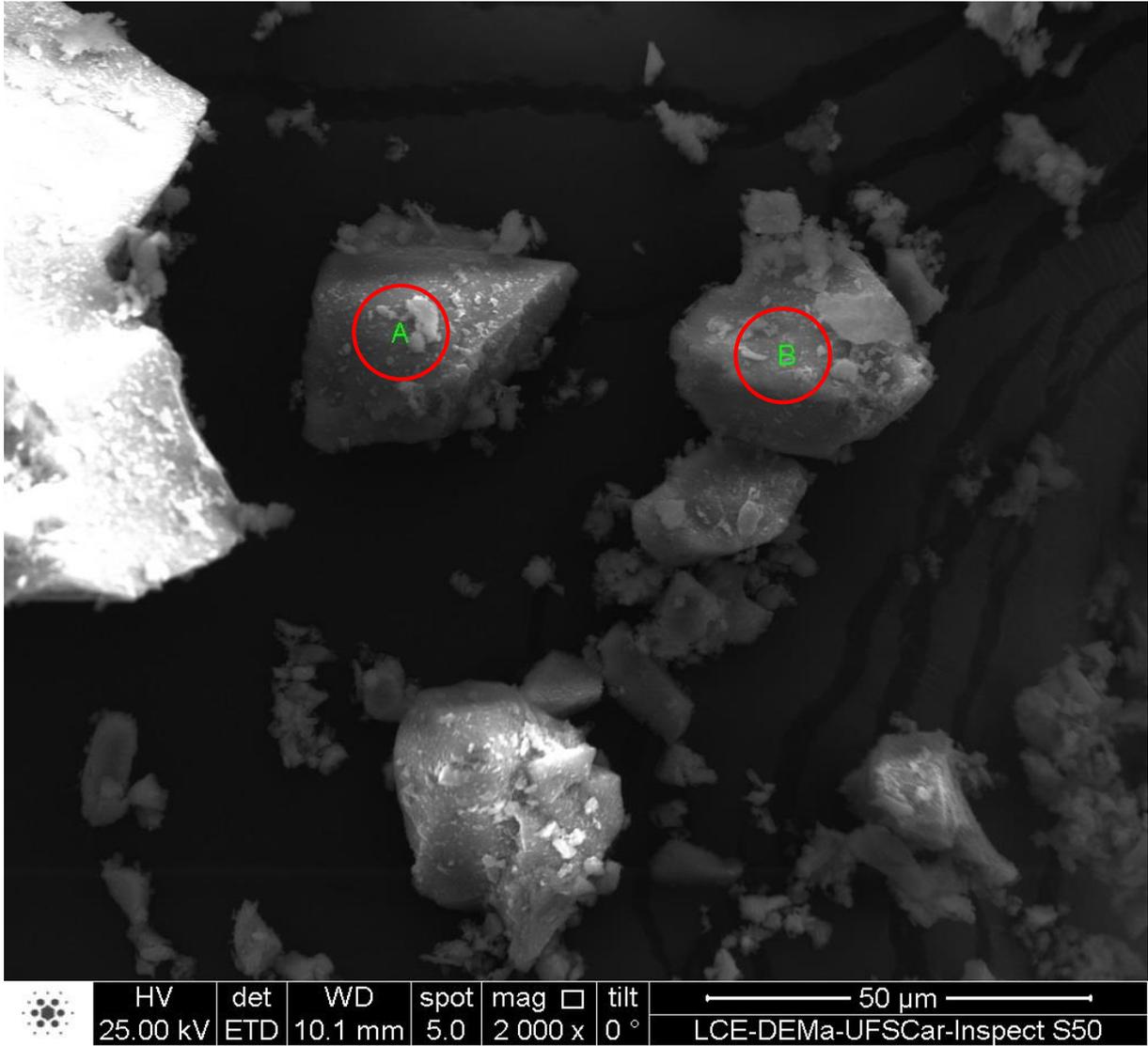


Figura 19 – Microscopia da amostra 04, detalhe A e B – (NASSAU)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)

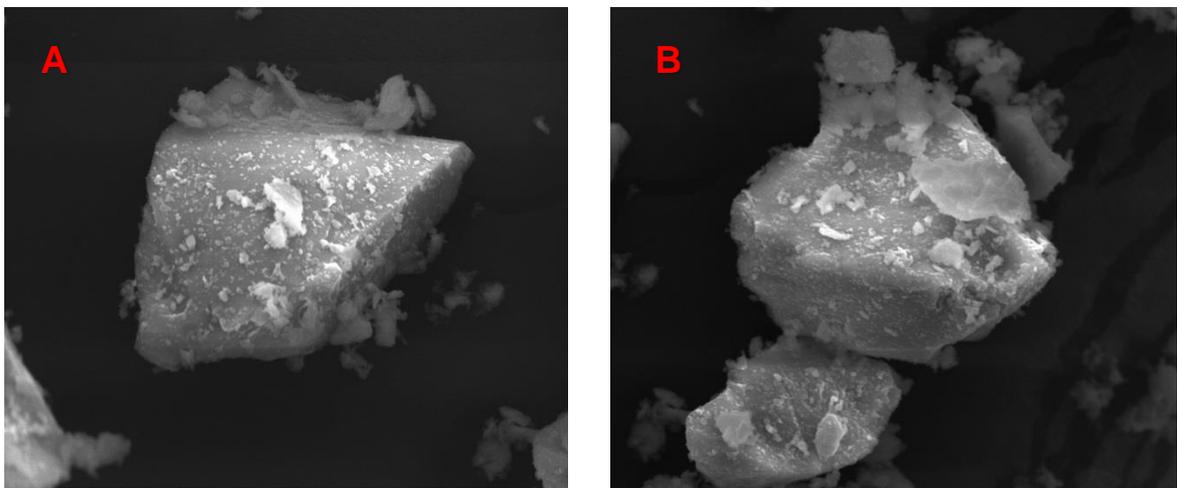


Figura 20 – Microscopia da amostra 04, detalhe A e B – (NASSAU)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)

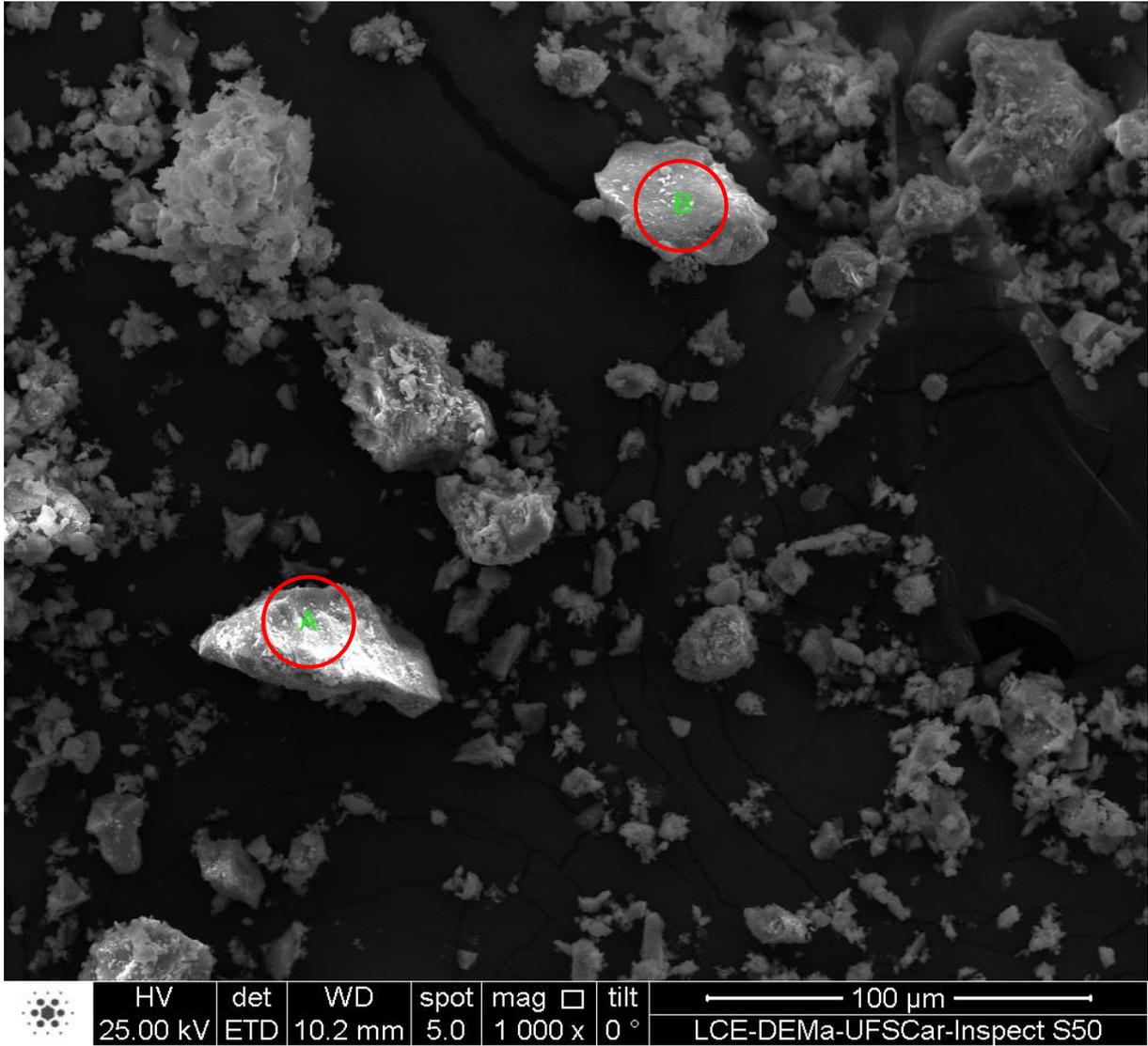


Figura 21 – Microscopia da amostra 05, detalhe A e B – (CIPLAN)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)

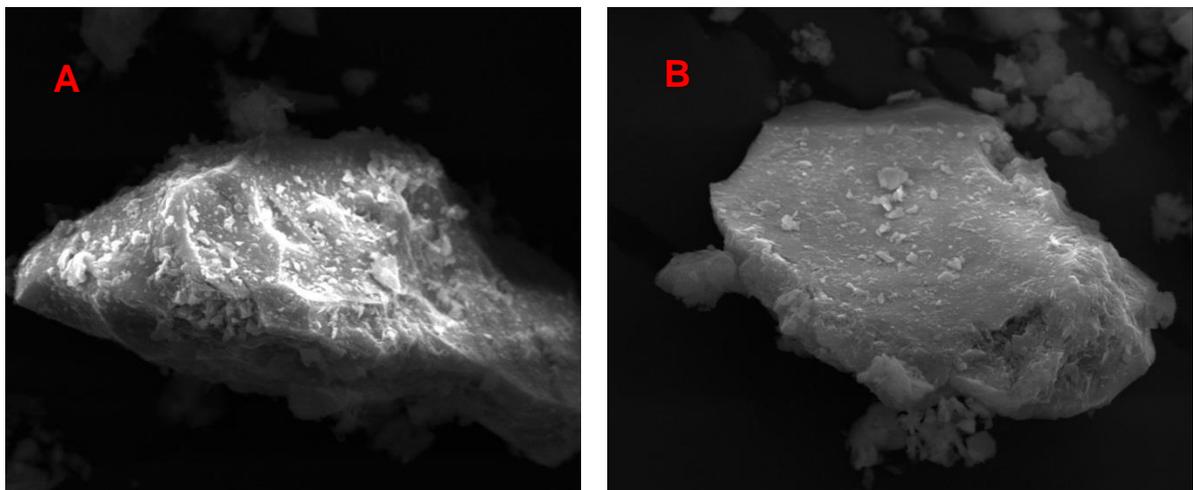


Figura 22 – Microscopia da amostra 05, detalhe A e B – (CIPLAN)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)

### 3.1.3 Aditivo químico

A decisão pela utilização de produto químico como aditivo ao traço de concreto, teve como fundamento as características que esse tipo de produto pode proporcionar aos concretos, de acordo com suas especificações e finalidades. De forma ampla o que se buscou foi a melhoria da trabalhabilidade, redução do consumo de água e, por consequência, a redução do fator água/cimento ( $a/c$ ), ganho de desempenho na resistência mecânica à compressão e melhor desempenho quanto a quanto a durabilidade, embora esse último aspecto não tenha sido um dos objetivos da pesquisa.

Com a vasta gama de opção de aditivos químicos para a confecção de concretos, oferecidos pelas várias indústrias do setor, coube a decisão discricionária da pesquisa, fazer a definição entre tipo de aditivo químico a ser utilizado assim como o fabricante desse produto. Os principais critérios de escolha foram o conhecimento do produto, por experiência de utilização, reconhecimento da sua qualidade pelo meio técnico, e a disponibilidade de aquisição no mercado local em que foi desenvolvida a pesquisa.

Foi escolhido o aditivo Mastermix® BF 9 – Aditivo plastificante polifuncional, que possui as seguintes especificações do fabricante (BASF):

- Aditivo para concreto, líquido pronto para uso e livre de cloretos. Indicado para a produção de concreto uniforme e com maior qualidade;
- Possui em sua composição componentes que atuam como dispersantes do material do cimentício, proporcionando grande redução de água sem alteração do tempo de pega do concreto;
- Compatível com todos os tipos de cimento Portland;
- Atende os requisitos das normas NBR 11768 (Tipo P) e ASTM C 494 (Tipo A) (BASF, 2011);
- Os benefícios e propriedades, esperado no estado fresco, são o aumento da coesão e redução da segregação, aumento da trabalhabilidade do concreto, incremento da manutenção de slump (abatimento do concreto), facilita o adensamento, o lançamento e o bombeamento, reduz o fator água/cimento (BASF, 2011);

- No estado endurecido do concreto os resultados esperados pelo aditivo são o aumento da resistência à compressão e da resistência à flexão, aumento do módulo de elasticidade, aumento da durabilidade, melhor acabamento do concreto endurecido, redução de permeabilidade, redução de retração e fissuras (BASF, 2011).

O aditivo deve ser adicionado após o final da mistura dos componentes do concreto, sendo eles a água, cimento e agregados, como recomenda o fabricante, conjuntamente com a segunda parte da água de amassamento que será utilizada na mistura. Há a recomendação de nunca se adicionar o aditivo aos componentes secos do concreto ou cimento.

O Mastermix® BF9 é um aditivo com características polifuncionais podendo ser dosado em uma ampla faixa (BASF, 2011), proporcionando efeitos diferentes, de acordo com sua aplicação. A faixa de dosagem recomendada é de 0,6 a 1,0% sobre o peso de cimento (spc). Estas dosagens servem de orientação, tornando-se imprescindível a utilização de testes laboratoriais e/ou de campo. Uma boa dosagem do aditivo, de tal forma que proporcione uma redução de água, acima de 8%, pode variar de acordo com a temperatura ambiente, tipo de cimento, quantidade de finos na mistura, fator *a/c* (água/cimento), condições de mistura, tipos de agregados e outros fatores externos.

Para o caso em particular do estudo, foi definida a dosagem de 0,8% de aditivo sobre o peso de cimento (spc), em função da experiência com este produto e por referências de outros estudos de traços desenvolvidos no laboratório da empresa Formate Concreto.

O tempo de pega pode ser influenciado pela temperatura e umidade ambientes, bem como pelo aumento da dosagem do aditivo.

### 3.1.4 Casca da castanha-do-Brasil

A utilização da casca da castanha-do-Brasil foi feita com a transformação da mesma em cinza, após a calcinação e moagem. A calcinação se justifica pelo fato de se trabalhar com a ideia de absorver todo o processo produtivo e uso da castanha do Brasil; há o beneficiamento, utilização e transformação da semente em diversos produtos, especialmente àqueles voltados para o consumo. O resíduo da casca, em grande parte, é aproveitado como fonte de energia através da sua queima, restando, portanto, a cinza da casca. Essa cinza recebe atenção neste estudo, fazendo com que o ciclo do consumo da castanha-do-Brasil seja fechado, com o resultado final a utilização das cinzas nos estudos de traço de concretos.

A coleta das cascas de castanha-do-Brasil foi feita em depósito de descarte de produtores e beneficiadores da castanha, com sede no parque industrial de Rio Branco – AC. Esse material é utilizado como forração de terreno para melhorar a pavimentação de pátios internos, em decoração de jardins, queima para geração de energia e alimentação de estufas para secagem ou como lenha para fornos industriais.

Para o procedimento de coleta não foi estabelecido um critério específico, ou seguida uma referência normativa. A principal atenção foi dada para o fato de se evitar coletar cascas com contaminação excessiva de matéria orgânica que não fosse proveniente da própria casca, também para se evitar a coleta de cascas contaminadas com solos ou areias do pátio onde estavam depositadas.

Após a coleta, o material foi levado para laboratório, onde foi lavado para eliminar a presença de solos e areias presentes. Em seguida, o material foi seco em estufa, por 24 horas, em temperatura de 80°C. A secagem em estufa teve como objetivo acelerar o preparo das amostras para a calcinação, portanto, não se veria comprometimento caso a secagem fosse feita ao ar livre.

#### 3.1.4.1 A cinza da casca da castanha-do-Brasil

O processo de calcinação foi realizado de forma indireta, ou seja, a casca foi aquecida em chapa metálica até o ponto que houvesse a incineração. O aquecimento foi constante até haver a autocombustão das cascas, em seguida eram mantidas até sua queima total. Em seguida, a casca calcinada era separada para resfriamento até

o momento da moagem. Um fato interessante evidenciado, foi a grande quantidade de calor liberada após início da autocombustão e desencadeamento de um processo em que as chamas consumiam toda a casca de forma rápida e intensa. Medidas dessa quantidade de energia, quantidade de calor liberada ou ainda o potencial energético, não foram feitos por não se tratar do foco específico da pesquisa, porém há um grande espaço de estudo com esse enfoque.

A etapa seguinte foi a trituração das cinzas e esse processo se deu através de moagem em moinho manual metálico. O objetivo de fazer a moagem das cinzas se deu em função de se obter um material em escala granulométrica fina, com granulometria igual ou abaixo da peneira de número 50, com abertura de malha 0,3mm. A principal função dessa decisão foi de fazer com que a cinza em escala menor de granulometria pudesse reagir, fisicamente, com as partículas de cimento, dando a possibilidade de conferir ao concreto características específicas em função da adição desse novo material. Portanto, a cinza passou a assumir um papel de adição nos estudos de traço de concreto.

Assim como no caso dos cimentos Portland a cinza da casca da castanha do Brasil, chamada de amostra 1, teve sua caracterização realizada no laboratório da Universidade Federal de São Carlos, pelo Departamento de Engenharia de Materiais, no Laboratório de Caracterização Estrutural.



Figura 23 – Detalhe da cinza moída

A amostra 01, que representa a cinza da casca da castanha do Brasil, teve em seu ensaio a presença dos componentes de silicato aluminato de sódio ( $C_{28}H_{36}N_4O_2$ ), boro magnésio ( $MgB_2$ ) com 26,44%, silicato de sódio ( $Na_6Si_8O_{19}$ ) com 19,26%, sódio (Na) em 28,90%, dióxido de sódio ( $SiO_2$ ) com 9,63% e óxido de potássio ( $K_2O$ ) com 15,77%.

Quadro 18 – Elementos químicos da cinza da casca da castanha-do-Brasil  
(PROGÊNIO, 2015)

Comparativo dos elementos químicos presentes na cinza	
Elementos Químicos	Quantidade relativa identificada em relação à amostra ensaiada (%)
Boro magnésio ( $MgB_2$ )	26,44
Silicato de sódio ( $Na_6Si_8O_{19}$ )	19,26
Sódio (Na)	28,90
Dióxido de sódio ( $SiO_2$ )	9,63
Óxido de potássio ( $K_2O$ )	15,77

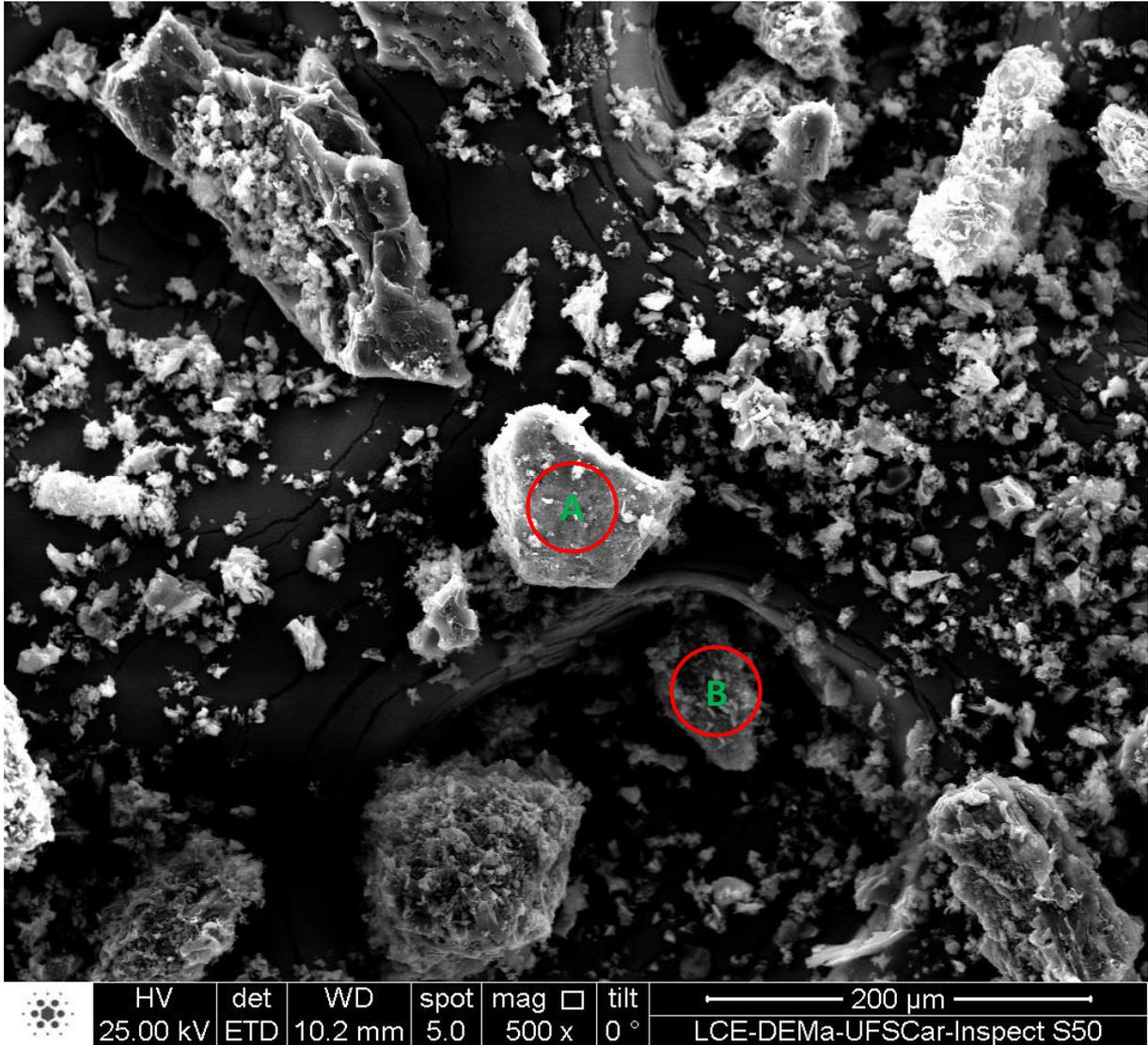


Figura 24 – Microscopia da amostra 01, detalhe A e B – (CINZA)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)



Figura 25 – Microscopia da amostra 01, detalhe A-A e A-B – (CINZA)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)

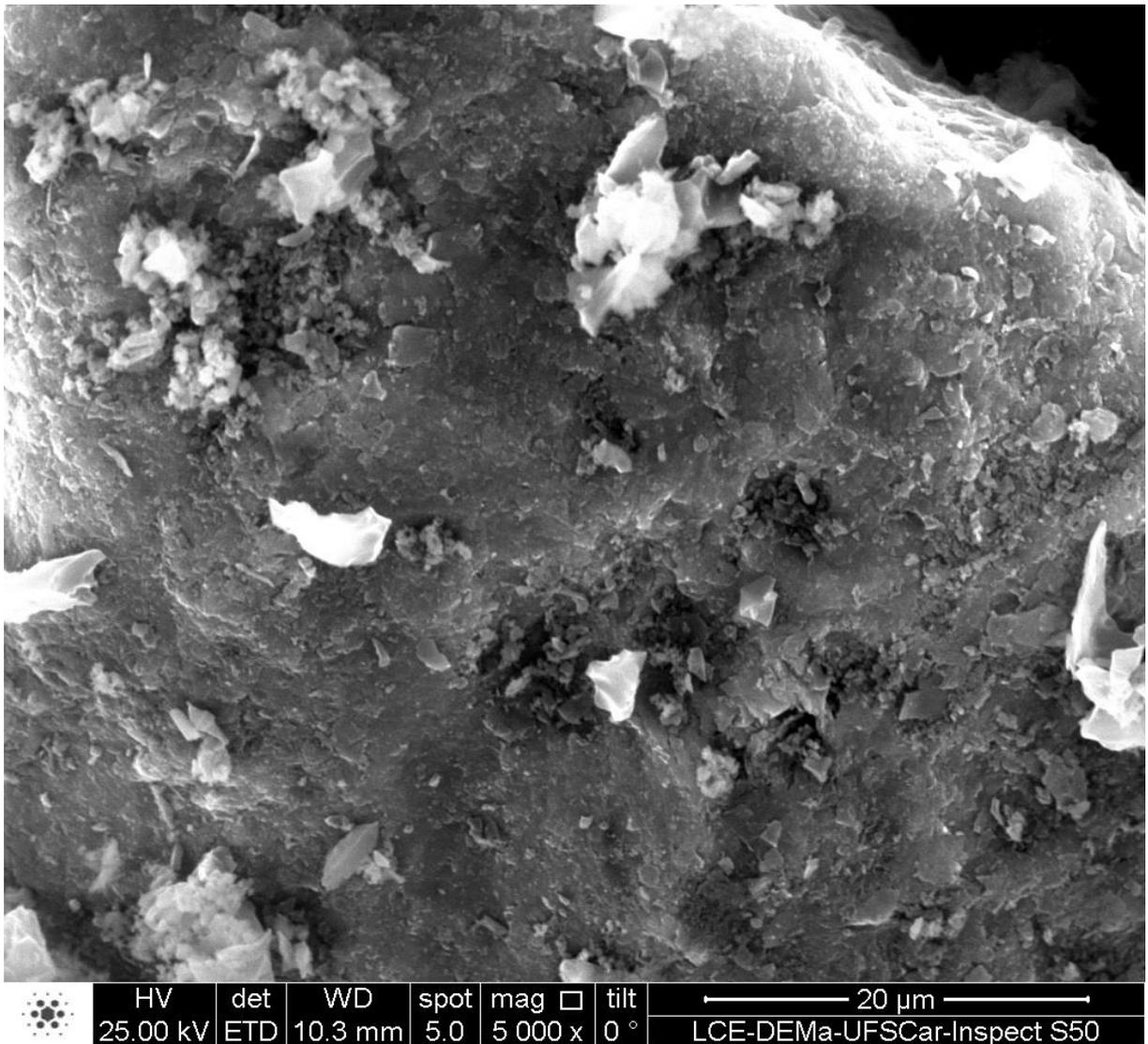


Figura 26 – Microscopia da amostra 01, detalhe A-A e A-B – (CINZA)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)

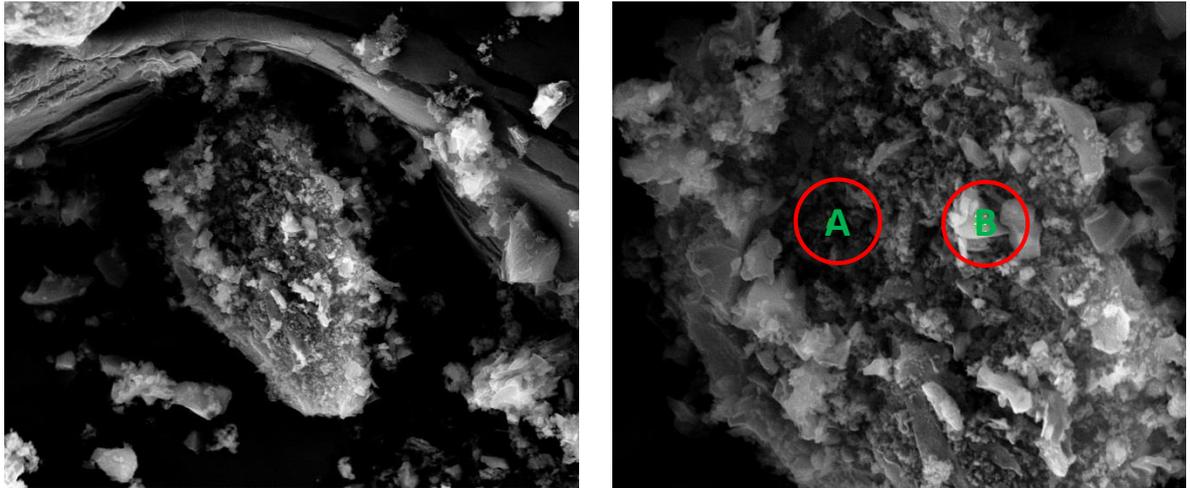


Figura 27 – Microscopia da amostra 01, detalhe B-A e B-B – (CINZA)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)

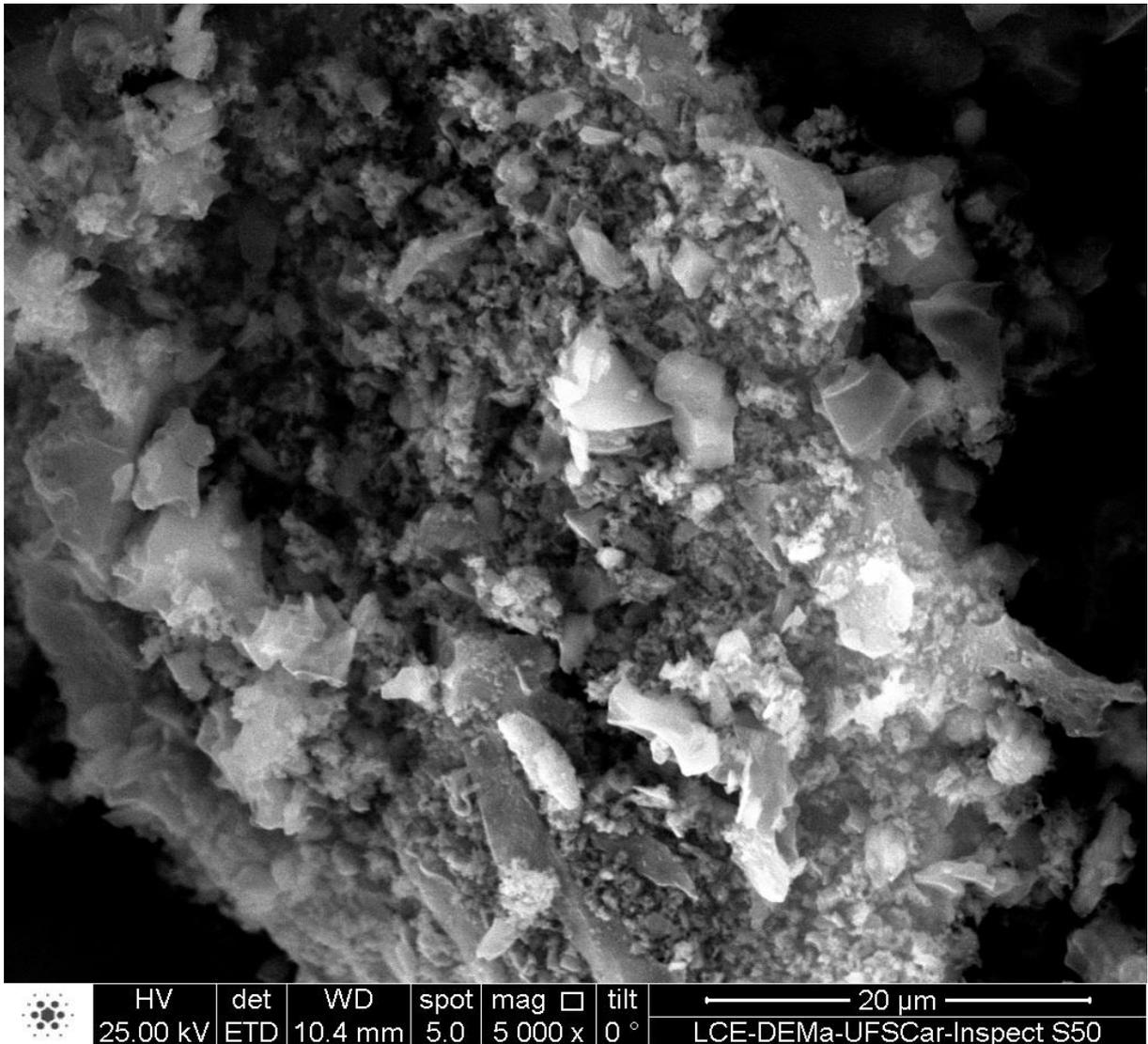


Figura 28 – Microscopia da amostra 01, detalhe B-A e B-B – (CINZA)  
(LCE – DEMa/UFSCar, 2015)

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Estudo de traço

Para a definição do estudo de dosagem de concreto de cimento Portland, deve-se considerar os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção possível entre os materiais construtivos do concreto, conhecido comumente como traço de concreto (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

Uma vez conhecido as informações iniciais, cabe ao técnico, conhecer e utilizar o melhor método às circunstâncias e ao seu modo de trabalho, determinar as curvas características de comportamento dos concretos preparados com os materiais disponíveis. Foi estudado, as relações água/matéria seco e sua consistência. Após conhecido os parâmetros resistência e consistência, para os materiais disponíveis, cimento, agregado graúdo, agregado miúdo e água, calculada a dosagem e seu ajustes caso fossem necessários. Entre os critérios existentes, Bauer (2000), define como de aplicação convenientes e que levam em conta características básicas do concreto como a resistência, estanqueidade, trabalhabilidade e retração mínima. O roteiro adotado para o estudo de traço experimental é aquele especificado por Tutikian e Helene (2011), no qual os parâmetros básicos quanto a diâmetro máximo característico do agregado, trabalhabilidade do concreto, condição de lançamento e aplicação do concreto e resistência característica à compressão são levadas em consideração nos cálculos.

Como o trabalho não tem a exigência específica de atender uma obra em particular e, portanto, não há um projeto de estruturas definindo, os parâmetros a serem atendidos são as especificações mais comuns e frequentes na cidade de Rio Branco – AC

Foi definido para o estudo a resistência característica à compressão para o concreto o valor de  $f_{ck}$  25MPa (resistência característica), ou seja, 250kgf/cm<sup>2</sup>. O valor do desvio-padrão adotado foi aquele estabelecido pela NBR 12655 (2015), sendo o mesmo para atendimento das condições A da norma, ficando  $S_d$  (desvio padrão) em 4,0MPa.

$S_{dj}$  = Desvio-padrão de dosagem, referido à idade  $j$ , em geral aos 28 dias, medida em mega pascal (MPa).

O teor de argamassa, a misturas de cimento e areia, inicial será de 53%, esse valor foi definido em função das condições necessárias de obter um concreto para aplicação por de bombeamento.

Para os agregados e o aglomerante foram obtidas as massas específicas reais nos valores indicados abaixo.

Quadro 19 – Massa específica dos agregados.  
(PROGÊNIO, 2010)

Massa específica real dos agregados e aglomerante	
Material	Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> )
Areia lavada	2,63
Pó de brita	2,63
Brita	2,64
Cimento Portland	3,10

Para os agregados e o aglomerante, foram obtidos as massas unitárias nos valores indicados abaixo.

Quadro 20 – Massa unitária dos agregados.  
(PROGÊNIO, 2010)

Massa unitária dos agregados e aglomerante	
Material	Massa Unitária (kg/dm <sup>3</sup> )
Areia lavada	1,40
Pó de brita	1,40
Brita	1,42
Cimento Portland	1,42

O abatimento adotado (slump) foi 100±20mm.

### 3.2.2 Cálculo de dosagem

O cálculo de dosagem se inicia pela definição da resistência à compressão de dosagem aos 28 dias, definida pelo  $f_{cdj}=f_{cmj}$ , em MPa, dada pela equação 9. O desvio-padrão,  $S_d$ , escolhido foi de 4MPa, para a produção em volume, com controle rigoroso da umidade dos agregados e com equipe bem treinada, com critérios estabelecidos pela NBR 8953 (2011).

$$f_{cdj} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (9)$$

$$f_{c28} = 31,60MPa$$

$f_{cdj} = f_{cmj}$  = Resistência à compressão de dosagem, a  $j$  dias de idade, em geral se utiliza os 28 dias como parâmetro, medida em mega pascal (MPa);

Para efeitos práticos, trabalharemos com o valor de 32MPa.

A definição da relação água/cimento ( $a/c$ ) atendeu três critérios a considerar na definição. O primeiro estabelece o valor de  $a/c \leq 0,55$ , para peças expostas a intempéries, em atmosfera urbana ou rural (HELENE; TERZIAN, 1993). O segundo critério leva em consideração correlações obtidas em estudo nacional desenvolvido para vários tipos de cimento Portland existentes (HELENE; TERZIAN, 1993). Essas correlações são definidas de forma gráfica onde se apresentam curvas que relacionam a resistência à compressão com o fator água/cimento, em idades de três, sete, 28, 63 e 91 dias. A figura 32 apresenta essa curva.

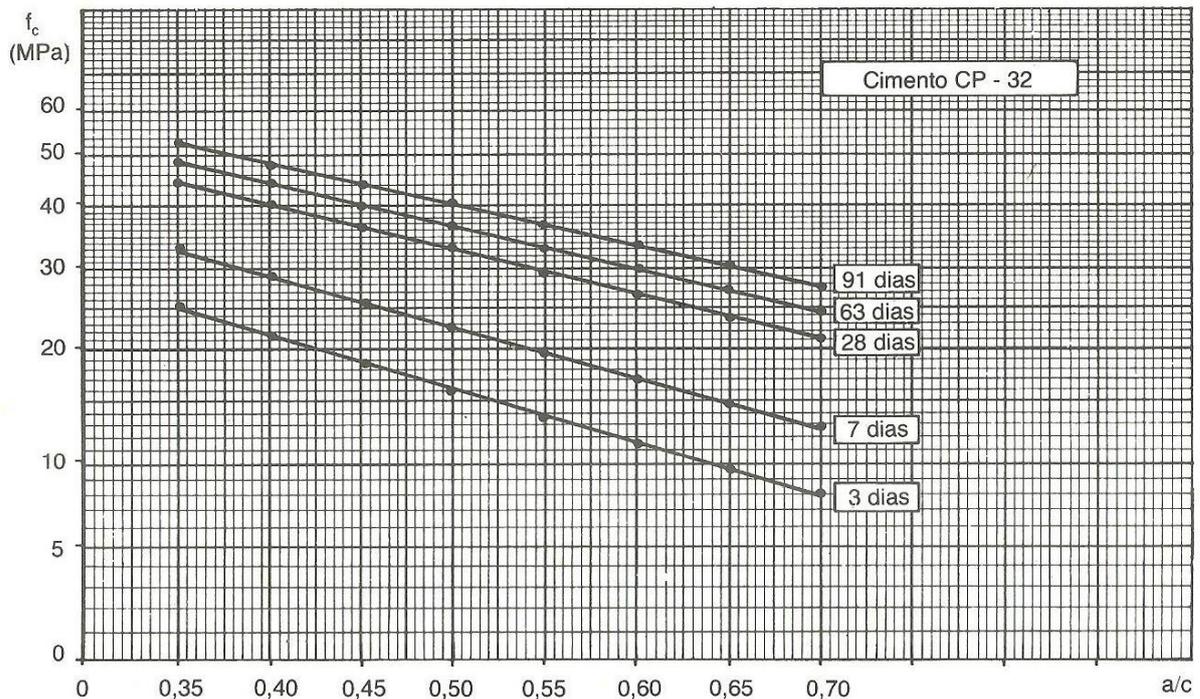


Figura 30 – Curvas médias de correlação entre resistência e a relação  $a/c$  para cimento Portland (HELENE; TERZIAN, 1993)

Com base nesse critério gráfico, para o  $f_{c28}$  de 32MPa, teríamos um fator água/cimento de aproximadamente 0,515.

Por fim, o terceiro critério levado em consideração o cálculo logaritmo do  $a/c$  em relação ao  $f_{c28}$  (HELENE; TERZIAN, 1993), para isso se calcula conforme equação X como demonstrado abaixo.

$$a/c = 1,11 \cdot \log \frac{92,8}{f_{d28}} \quad (12)$$

$$a/c = 1,11 \cdot \log \frac{92,8}{31,60}$$

$$a/c = 1,11 \times 0,467860 = 0,5193$$

$$a/c \cong 0,52$$

Analisando os três critérios, adotaremos para o estudo experimental o valor de 0,52.

A próxima etapa é a definição do traço. Para isso foram definidos três pontos para a montagem do diagrama de dosagem final. O início do estudo experimental parte com traço apresentando a relação de 1:5, relação que representa uma parte, e

em massa, de cimento Portland, para cinco partes de agregados totais secos. Essa relação inicial recebe o nome de traço normal. Em seguida, segue-se confeccionando mais duas misturas, variando em 1,5 em massa de agregados totais para mais e outra em 1,5 em massa de agregados totais para menos. Assim, teremos as relações de 1:3,5, chamado de traço rico e a 1:6,5, chamado de traço pobre com relação ao conteúdo de cimento.

Pelo teor de argamassa e relação de agregados secos em massa, é calculado a relação de massa dos agregados secos (equação 5).

$$\alpha = \frac{(1+a)}{(1+m)}, \text{ Teor de Argamassa Seca} \quad (4)$$

$$m = a + p \quad (5)$$

a relação agregado miúdo seco/cimento em massa, kg/kg;

m relação agregados secos/cimento em massa, em kg/kg;

$\alpha$  teor de argamassa seca; deve ser constante para uma determinada situação, em kg/kg;

p relação agregados graúdos secos/cimento em massa, em kg/kg;

Para o traço normal:

$$0,53 = \frac{1+a}{1+5} \rightarrow a = 2,18 \text{ e } p = 5 - 2,18 = 2,82$$

Para o traço rico:

$$0,53 = \frac{1+a}{1+3,5} \rightarrow a = 1,385 \text{ e } p = 3,5 - 1,385 = 2,115$$

Para o traço pobre:

$$0,53 = \frac{1+a}{1+6,5} \rightarrow a = 2,975 \text{ e } p = 6,5 - 2,975 = 3,525$$

Portanto os traços unitários são aqueles apresentados no quadro 14.

Quadro 21 –Traços unitários para estudo experimental.  
(PROGÊNIO, 2015)

Resumo dos traços unitário para estudo experimental			
Teor de argamassa	Traço Rico 1:3,5	Traço Normal 1:5	Traço Pobre 1:6,5
53%	1:1,385:2,115:0,52	1:2,180:2,820:0,52	1:2,975:3,525:0,52

A correlação entre consumo de cimento em cada traço, em quilos de cimento Portland por metro cúbico de concreto, é dada pela equação 7, desprezando-se, para o presente estudo, o teor de ar incorporado ou aprisionado. Pela equação 8, determina-se o consumo de água em função do consumo de cimento para cada metro cúbico de concreto.

$$C = \frac{(1.000-ar)}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{p}{\gamma_p} + a/c}, \text{ consumo de cimento}/m^3 \quad (7)$$

$$C \cdot a/c = \text{Consumo de água}/m^3 \quad (8)$$

- C consumo de cimento por metro cúbico de concreto adensado em kg/m<sup>3</sup>;  
 y massa específica do concreto, medida no canteiro em kg/m<sup>3</sup>;  
 y<sub>c</sub> massa específica do cimento em kg/dm<sup>3</sup>;  
 y<sub>a</sub> massa específica do agregado miúdo em kg/dm<sup>3</sup>;  
 y<sub>p</sub> massa específica do agregado graúdo em kg/dm<sup>3</sup>;  
 ar teor de ar incorporado e/ou aprisionado por metro cúbico, em dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

Consumo de cimento para o traço normal:

$$C_N = \frac{1.000}{\frac{1}{3.100} + \frac{2,18}{2.630} + \frac{2,82}{2.640} + 0,52} = 365,01kg/m^3$$

Consumo de cimento para o traço rico:

$$C_R = \frac{1.000}{\frac{1}{3.100} + \frac{1,385}{2.630} + \frac{2,115}{2.640} + 0,52} = 460,83kg/m^3$$

Consumo de cimento para o traço pobre:

$$C_P = \frac{1.000}{\frac{1}{3.100} + \frac{2,975}{2.630} + \frac{3,525}{2.640} + 0,52} = 302,21 \text{ kg/m}^3$$

Quadro 22 – Consumo de cimento por traço.

Traço Rico	Traço Normal	Traço Pobre
460,83 Kg/m <sup>3</sup>	365,01 Kg/m <sup>3</sup>	302,21 Kg/m <sup>3</sup>

Consumo de água para o traço normal:

$$C_N \cdot a/c = 365,01 \cdot 0,52 = 189,80 \text{ l/m}^3$$

Consumo de água para o traço rico:

$$C_R \cdot a/c = 460,83 \cdot 0,52 = 239,63 \text{ l/m}^3$$

Consumo de água para o traço pobre:

$$C_P \cdot a/c = 302,21 \cdot 0,52 = 157,15 \text{ l/m}^3$$

Quadro 23 – Consumo de água por metro cúbico para cada tipo de traço.

Traço Rico	Traço Normal	Traço Pobre
239,63 l/m <sup>3</sup>	189,80 l/m <sup>3</sup>	157,15 l/m <sup>3</sup>

Transformando os valores unitários dos traços para o consumo dos agregados em equivalência de um metro cúbico, teremos a seguinte relação em massa dos materiais:

Quadro 24 – Valores em massa dos materiais para 1 m<sup>3</sup>.

Equivalência em peso dos agregados pelos traços unitários					
Tipo de Traço	Traço unitário (cimento:miúdo:gráudo:água)	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Consumo de agregado miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Consumo de agregado gráudo (kg/m <sup>3</sup> )	Consumo de água (l/m <sup>3</sup> )
Traço Normal	1:2,18:2,82:0,52	365,01	795,72	1.029,33	189,80
Traço Rico	1:1,385:2,115:0,52	460,83	638,25	974,65	239,63
Traço Pobre	1:2,975:3,525:0,52	302,21	899,07	1.065,29	157,15

Nas proporções dos agregados miúdos (areia e pó de brita) e dos agregados gráudos (brita n°1 e brita 5/8”), foi estabelecida a relação de mistura desses materiais observando os parâmetros definidos no estudo de tração na tentativa de ajustar a granulometria da areia fina do rio Acre ao valor mais próximo ao ditado pela norma NBRXXX com o objetivo de melhorar os aspectos dos concretos a serem produzidos.

As relações definidas foram de 60% de areia fina e 40% de pó de brita, para os agregados miúdos e a relação de 70% de brita 5/8” e 30% de brita n°1. Assim, observa-se no quadro 18 os percentuais aplicados sobre os pesos dos agregados para os traços unitários.

Quadro 25 – Proporção dos agregados para 1 m<sup>3</sup> de concreto.

Traço Normal (materiais em kg/m <sup>3</sup> )				
Cimento	Areia fina	Pó de brita	Brita 5/8"	Brita n°1
365,01	477,43	318,29	720,53	308,80
Traço Rico (materiais em kg/m <sup>3</sup> )				
Cimento	Areia fina	Pó de brita	Brita 5/8"	Brita n°1
460,83	382,95	255,30	682,25	292,40
Traço Pobre (materiais em kg/m <sup>3</sup> )				
Cimento	Areia fina	Pó de brita	Brita 5/8"	Brita n°1
302,21	539,44	359,63	745,70	319,59

### 3.2.3 Adição de cinza da casca da castanha-do-Brasil ao concreto

A cinza da casca da castanha-do-Brasil (identificada a partir de agora como CCCB) foi utilizada na forma de adição ao concreto, portanto, não houve retirada de cimento para o acréscimo da CCCB, apenas acrescentada a cinza nos traços de concreto. O dimensionamento da quantidade teve como referência percentuais adicionados sobre o peso de cimento de cada tipo de traço.

Os valores definidos para o estudo de dosagem foram 1%, 1,5%, 3% e 5%. A escolha desses valores é decorrente de dois fatores: o primeiro foi de se trabalhar valores relativamente pequenos dos percentuais de adição para que não houvesse a necessidade de grandes quantidades de CCCB para a confecção dos concretos; o segundo está relacionado às possíveis reações adversas ainda desconhecidas com relação a utilização da CCCB, por isso cabe a prudência quanto a dosagem dos percentuais até a obtenção dos resultados dos ensaios.

### 3.2.4 Nomenclatura dos ensaios

Os traços calculados como Pobre, Normal e Rico, receberam as numerações 01, 02 e 03, respectivamente. Para as marcas de cimento utilizadas, Nassau, Yura,

Ciplan e Itaú, as identificações foram N, Y, C e I, respectivamente. Ao receberem a letra A, significará que o concreto passa a utilizar um aditivo químico em seu traço. Para a utilização de adições de cinza da casca da castanha-do-Brasil (CCCB), foram identificados com a letra C e os seus percentuais de adições de 1%, 1,5%, 3% e 5%, identificados com os números 10, 15, 30 e 50, respectivamente.

Portanto, com esses parâmetros definidos, é possível criar um quadro de identificação de todos os traços a serem elaborados para o estudo, recebendo o nome CITA, como identificação principal dos traços (quadro 26).

Quadro 26 – Mapa de traços

Cimento Nassau					
CITA 01 N	CITA 01 NA	CITA 01 NAC 10	CITA 01 NAC 15	CITA 01 NAC 30	CITA 01 NAC 50
CITA 02 N	CITA 02 NA	CITA 02 NAC 10	CITA 02 NAC 15	CITA 02 NAC 30	CITA 02 NAC 50
CITA 03 N	CITA 03 NA	CITA 03 NAC 10	CITA 03 NAC 15	CITA 03 NAC 30	CITA 03 NAC 50
Cimento Yura					
CITA 01 Y	CITA 01 YA	CITA 01 YAC 10	CITA 01 YAC 15	CITA 01 YAC 30	CITA 01 YAC 50
CITA 02 Y	CITA 02 YA	CITA 02 YAC 10	CITA 02 YAC 15	CITA 02 YAC 30	CITA 02 YAC 50
CITA 03 Y	CITA 03 YA	CITA 03 YAC 10	CITA 03 YAC 15	CITA 03 YAC 30	CITA 03 YAC 50
Cimento Ciplan					
CITA 01 C	CITA 01 CA	CITA 01 CAC 10	CITA 01 CAC 15	CITA 01 CAC 30	CITA 01 CAC 50
CITA 02 C	CITA 02 CA	CITA 02 CAC 10	CITA 02 CAC 15	CITA 02 CAC 30	CITA 02 CAC 50
CITA 03 C	CITA 03 CA	CITA 03 CAC 10	CITA 03 CAC 15	CITA 03 CAC 30	CITA 03 CAC 50
Cimento Itaú					
CITA 01 I	CITA 01 IA	CITA 01 IAC 10	CITA 01 IAC 15	CITA 01 IAC 30	CITA 01 IAC 50
CITA 02 I	CITA 02 IA	CITA 02 IAC 10	CITA 02 IAC 15	CITA 02 IAC 30	CITA 02 IAC 50
CITA 03 I	CITA 03 IA	CITA 03 IAC 10	CITA 03 IAC 15	CITA 03 IAC 30	CITA 03 IAC 50

As idades de rompimento dos corpos de prova, nas quais se fez a verificação das resistências à compressão de cada traço, foram 3, 7, 14, 28 e 60 dias contados da data da moldagem dos corpos de prova dos respectivos traços, com 02 corpos de prova para cada idade, perfazendo o total de 10 por traço. Logo, para a realização do estudo foram feitos 72 (setenta e dois) traços de concreto e moldagem de 720 corpos de prova.

O estudo não teve como objetivo o alcance de idades de longo prazo, acima dos sessenta dias, por se querer uma resposta rápida às necessidades práticas de obras, as quais, na maiorias dos casos, se preocupam com o atendimento da

resistência à compressão até os 28 dias. Ensaios com maior duração seriam necessários em situações em que houvesse a necessidade de se verificar o comportamento da progressão dessas resistências em idades avançadas dos concretos.

Com base no estudo de traço, foi possível elaborar a planilha de dosagem dos materiais para a confecção de corpos de prova com do volume de  $0,017\text{m}^3$  (quadros X a Y).

Quadro 27 – Dosagem de materiais para produção de concreto pobre

Estudo de Dosagem de Concreto						
Traço Pobre						
						Março de 2015.
Fck: <b>25 Mpa</b>			Lançamento: <b>Bombeado</b>			
Fator a/c: 0,52		Slump: 100 + / - 20mm		Utilização: Estudo de traço		
Teor de argamassa: 53,0 %						
<b>Materiais:</b>						
Cimento:						
Agregado graúdo:		Brita 01 (d.max: 19 mm)		Forma: Britado cúbico		
Agregado miúdo: Areia lavada: 60% + Pó de brita: 40%						
Agregado graúdo: Brita 5/8": 70% + Brita 3/4": 30%						
Massa específica real (kg / dm <sup>3</sup> ):						
Areia lavada: 2,63		Pó de brita: 2,63		Brita: 2,64		Cimento: 3,10
Massa unitária (kg / dm <sup>3</sup> ):						
Areia lavada:1,40		Pó de brita: 1,40		Brita: 1,42		Cimento: 1,42
Traço total em peso (1 : m) materiais secos: <b>1,0 : 6,5</b>						
Traço unitário em peso (1 : a : p : x) materiais secos: <b>1,0 : 2,975 : 3,525 : 0,52</b>						
Consumo de materiais por metro cúbico de concreto						
Material	Peso kg	Volume sólido / m <sup>3</sup>	Vol. Apar. (m / m <sup>3</sup> )		M.específ. kg/dm <sup>3</sup>	M.Unit. kg/dm <sup>3</sup>
			Seco	Úmido		
Cimento	<b>302,21</b>	0,0975	0,213	0,213	3,10	1,42
Areia fina	539,44	0,2059	0,385	0,493	2,62	1,40
Pó de B.	395,63	0,1510	0,283	0,333	2,62	1,40
Brita 5/8	745,70	0,2825	0,533	0,629	2,64	1,40
Brita 3/4	319,59	0,1211	0,225	0,225	2,64	1,42
Água	157,15	0,1572	0,157	0,157	1,00	1,00
	1.714,0	1,02	1,80	2,050		
Composição volumétrica por saco cimento (50 kg)						
Material	Unidade	Quant.	Padiolas (dimensões em cm)			
			Material úmido (max. 5%)			
			comp.	larg.	altura	Quant.
Cimento	saco	1,00	x		x	<b>1</b>
Areia fina	dm <sup>3</sup>	81,60	35,0	45,0	51,8	<b>1</b>
Pó de brita	dm <sup>3</sup>	55,17	30,0	40,0	46,0	<b>1</b>
Brita 5/8	dm <sup>3</sup>	103,99	35,0	45,0	33,0	<b>1</b>
Brita ¾	dm <sup>3</sup>	37,24	35,0	45,0	11,8	<b>1</b>
Água	litro	26,00	x	x	x	<b>26,0</b>

Quadro 28 – Dosagem de materiais para produção de concreto normal

Estudo de Dosagem de Concreto						
Traço Normal						
						Março de 2015.
Fck: <b>25 Mpa</b>			Lançamento: <b>Bombeado</b>			
Fator a/c: 0,52		Slump: 100 + / - 20mm		Utilização: Estudo de traço		
Teor de argamassa: 53,0 %						
<b>Materiais:</b>						
Cimento:						
Agregado graúdo:		Brita 01 (d.max: 19 mm)		Forma: Britado cúbico		
Agregado miúdo: Areia lavada: 60% + Pó de brita: 40%						
Agregado graúdo: Brita 5/8": 70% + Brita 3/4": 30%						
Massa específica real (kg / dm3):						
Areia lavada: 2,63		Pó de brita: 2,63		Brita: 2,64		Cimento: 3,10
Massa unitária (kg / dm3):						
Areia lavada: 1,40		Pó de brita: 1,40		Brita: 1,42		Cimento: 1,42
Traço total em peso (1 : m) materiais secos:				<b>1,0 : 5,0</b>		
Traço unitário em peso (1 : a : p : x) materiais secos:				<b>1,0 : 2,180 : 2,820 : 0,52</b>		
Consumo de materiais por metro cúbico de concreto						
Material	Peso kg	Volume sólido / m3	Vol. Apar. (m / m3)		M.específ. kg/dm3	M.Unit. kg/dm3
			Seco	Úmido		
Cimento	<b>365,01</b>	0,1177	0,257	0,257	3,10	1,42
Areia fina	477,43	0,1822	0,341	0,437	2,62	1,40
Pó de B.	318,29	0,1215	0,227	0,268	2,62	1,40
Brita 5/8	720,53	0,2729	0,515	0,607	2,64	1,40
Brita 3/4	308,80	0,1170	0,217	0,217	2,64	1,42
Água	189,80	0,1898	0,190	0,190	1,00	1,00
	1.659,3	1,00	1,75	1,976		
Composição volumétrica por saco cimento (50 kg)						
Material	Unidade	Quant.	Padiolas (dimensões em cm)			
			Material úmido (max. 5%)			Quant.
			comp.	larg.	altura	
Cimento	saco	1,00	x		x	<b>1</b>
Areia fina	dm3	59,79	35,0	45,0	38,0	<b>1</b>
Pó de brita	dm3	36,75	30,0	40,0	30,6	<b>1</b>
Brita 5/8	dm3	83,19	35,0	45,0	26,4	<b>1</b>
Brita 3/4	dm3	29,79	35,0	45,0	9,5	<b>1</b>
Água	litro	26,00	x	x	x	<b>26,0</b>

Quadro 29 – Dosagem de materiais para produção de concreto rico

Estudo de Dosagem de Concreto						
Traço Rico						
						Março de 2015.
Fck: <b>25 MPa</b>			Lançamento: <b>Bombeado</b>			
Fator a/c: 0,52		Slump: 100 + / - 20mm		Utilização: Estudo de traço		
Teor de argamassa: 53,0 %						
<b>Materiais:</b>						
Cimento:						
Agregado graúdo:		Brita 01 (d.max: 19 mm)		Forma: Britado cúbico		
Agregado miúdo: Areia lavada: 60% + Pó de brita: 40%						
Agregado graúdo: Brita 5/8": 70% + Brita 3/4": 30%						
Massa específica real (kg / dm3):						
Areia lavada: 2,63		Pó de brita: 2,63		Brita: 2,64		Cimento: 3,10
Massa unitária (kg / dm3):						
Areia lavada: 1,40		Pó de brita: 1,40		Brita: 1,42		Cimento: 1,42
Traço total em peso (1 : m) materiais secos:				<b>1,0 : 3,5</b>		
Traço unitário em peso (1 : a : p : x) materiais secos:				<b>1,0 : 1,385 : 2,115 : 0,52</b>		
Consumo de materiais por metro cúbico de concreto						
Material	Peso kg	Volume sólido / m3	Vol. Apar. (m / m3)		M.específ. kg/dm3	M.Unit. kg/dm3
			Seco	Úmido		
Cimento	<b>460,83</b>	0,1487	0,325	0,325	3,10	1,42
Areia fina	382,95	0,1462	0,274	0,350	2,62	1,40
Pó de B.	255,30	0,0974	0,182	0,215	2,62	1,40
Brita 5/8	682,25	0,2584	0,487	0,575	2,64	1,40
Brita 3/4	292,40	0,1108	0,206	0,206	2,64	1,42
Água	239,63	0,2396	0,240	0,240	1,00	1,00
	<b>1.631,1</b>	<b>1,00</b>	<b>1,71</b>	<b>1,910</b>		
Composição volumétrica por saco cimento (50 kg)						
Material	Unidade	Quant.	Padiolas (dimensões em cm)			
			Material úmido (max. 5%)			
			comp.	larg.	altura	Quant.
Cimento	saco	1,00	X		x	<b>1</b>
Areia fina	dm3	37,99	35,0	45,0	24,1	<b>1</b>
Pó de brita	dm3	23,35	30,0	40,0	19,5	<b>1</b>
Brita 5/8	dm3	62,39	35,0	45,0	19,8	<b>1</b>
Brita 3/4	dm3	22,34	35,0	45,0	7,1	<b>1</b>
Água	litro	26,00	X	x	x	<b>26,0</b>

Quadro 30 – Definição dos quantitativos de materiais para produção dos corpos de prova

Volume de concreto para estudo: 0,017m <sup>3</sup>			
Materiais	CITA 01	CITA 02	CITA 03
Cimento	5,137kg	6,205kg	7,834kg
Areia (60%)	9,170kg	8,116kg	6,510kg
Pó de brita (40%)	6,113kg	5,410kg	4,340kg
Brita 5/8" (70%)	12,675kg	12,248kg	11,597kg
Brita n°1 (30%)	5,432kg	5,250kg	4,971kg
Água	2,670L	3,379L	4,073L
Aditivo	41,0mL	49,6mL	62,6mL

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ENSAIO DE ABATIMENTO E ENSAIOS UNITÁRIOS

Os ensaios de abatimento, também conhecido por *slump test*, determinaram a consistência dos traços confeccionados. Esses ensaios foram realizados seguindo a NBR NM 67 (1998). Os valores individuais são apresentados no quadro 24, onde consta o abatimento realizado de cada traço e a alteração da água necessária na confecção dos traços, para mais ou para menos do valor estabelecido em cálculo.

Quadro 31a – Ensaios individuais dos traços – Cimento NASSAU traço Pobre (PROGÊNIO, 2015)

Traço:	CITA 01 N	Data:	19/03/2015	U. Areia(%):	8,00	U. Pó(%):	3,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	5,13	Areia:	9,90	Pó:	6,29	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,43
Água:	2,37	Aditivo:	-	Cinza:	-	Água + :	1.000,00	Slump:	9,00
Traço:	CITA01NA	Data:	19/03/2015	U. Areia(%):	8,00	U. Pó(%):	3,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	5,13	Areia:	9,90	Pó:	6,29	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,43
Água:	2,37	Aditivo:	41,00	Cinza:	-	Água + :	1.000,00	Slump:	9,00
Traço:	CITA01NAC10	Data:	20/03/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	2,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	5,13	Areia:	9,90	Pó:	6,29	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,43
Água:	2,21	Aditivo:	41,00	Cinza:	58,00	Água + :	800,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA01NAC15	Data:	20/03/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	2,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	5,13	Areia:	9,90	Pó:	6,29	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,43
Água:	2,21	Aditivo:	41,00	Cinza:	87,00	Água + :	700,00	Slump:	11,00
Traço:	CITA01NAC30	Data:	24/03/2015	U. Areia(%):	12,00	U. Pó(%):	11,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	5,13	Areia:	10,27	Pó:	6,78	B 5/8":	12,25	B 3/4":	5,43
Água:	2,32	Aditivo:	41,00	Cinza:	174,90	Água + :	280,00	Slump:	9,00
Traço:	CITA01NAC50	Data:	24/03/2015	U. Areia(%):	12,00	U. Pó(%):	11,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	5,13	Areia:	10,27	Pó:	6,78	B 5/8":	12,25	B 3/4":	5,43
Água:	2,32	Aditivo:	41,00	Cinza:	291,50	Água + :	290,00	Slump:	10,00

Quadro 31b – Ensaios individuais dos traços – Cimento NASSAU traço Normal  
(PROGÊNIO, 2015)

Traço:	CITA 02N	Data:	19/03/2015	U. Areia(%):	8,00	U. Pó(%):	3,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	6,20	Areia:	8,76	Pó:	5,40	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	3,00	Aditivo:	-	Cinza:	-	Água +:	500,00	Slump:	10,00
Traço:	CITA 02NA	Data:	19/03/2015	U. Areia(%):	8,00	U. Pó(%):	3,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	6,20	Areia:	8,76	Pó:	5,40	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	3,00	Aditivo:	47,60	Cinza:	-	Água +:	250,00	Slump:	9,00
Traço:	CITA02NAC10	Data:	21/03/2015	U. Areia(%):	9,00	U. Pó(%):	2,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	6,20	Areia:	8,76	Pó:	5,40	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	3,00	Aditivo:	47,60	Cinza:	69,00	Água +:	- 200,00	Slump:	11,00
Traço:	CITA02NAC15	Data:	21/03/2015	U. Areia(%):	9,00	U. Pó(%):	2,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	6,20	Areia:	8,76	Pó:	5,40	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	3,00	Aditivo:	47,60	Cinza:	103,50	Água +:	- 250,00	Slump:	9,00
Traço:	CITA02NAC30	Data:	24/03/2015	U. Areia(%):	12,00	U. Pó(%):	10,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,08	Pó:	5,25	B 5/8":	12,25	B 3/4":	5,25
Água:	2,97	Aditivo:	49,60	Cinza:	186,15	Água +:	- 325,00	Slump:	11,00
Traço:	CITA02NAC50	Data:	24/03/2015	U. Areia(%):	12,00	U. Pó(%):	10,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,08	Pó:	5,25	B 5/8":	12,25	B 3/4":	5,25
Água:	2,97	Aditivo:	49,60	Cinza:	310,25	Água +:	- 325,00	Slump:	11,00

Quadro 31c – Ensaio individuais dos traços – Cimento NASSAU traço Rico  
(PROGÊNIO, 2015)

Traço:	CITA03N	Data:	19/03/2015	U. Areia(%):	8,00	U. Pó(%):	3,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,03	Pó:	4,47	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,62	Aditivo:	-	Cinza:	-	Água +:	480,00	Slump:	15,00
Traço:	CITA03NA	Data:	19/03/2015	U. Areia(%):	8,00	U. Pó(%):	3,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,03	Pó:	4,47	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,62	Aditivo:	61,00	Cinza:	-	Água +:	200,00	Slump:	15,00
Traço:	CITA03NAC10	Data:	23/03/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	3,00	Temp.(°C):	25,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,35	Pó:	4,90	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,54	Aditivo:	62,60	Cinza:	85,30	Água +:	40,00	Slump:	10,00
Traço:	CITA03NAC15	Data:	23/03/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	12,00	Temp.(°C):	25,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,80	Pó:	5,00	B 5/8":	11,83	B 3/4":	5,02
Água:	2,62	Aditivo:	62,60	Cinza:	127,95	Água +:	200,00	Slump:	10,00
Traço:	CITA03NAC30	Data:	24/03/2015	U. Areia(%):	12,00	U. Pó(%):	10,00	Temp.(°C):	29,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,29	Pó:	4,77	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,58	Aditivo:	62,60	Cinza:	235,02	Água +:	625,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA03NAC50	Data:	24/03/2015	U. Areia(%):	12,00	U. Pó(%):	10,00	Temp.(°C):	29,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,29	Pó:	4,77	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,58	Aditivo:	62,60	Cinza:	391,70	Água +:	610,00	Slump:	15,00

Quadro 31d – Ensaio individuais dos traços – Cimento YURA traço Pobre  
(PROGÊNIO, 2015)

Traço:	CITA01Y	Data:	27/03/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	8,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,08	Pó:	6,60	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,43
Água:	2,19	Aditivo:	-	Cinza:	-	Água +:	1.000,00	Slump:	8,00
Traço:	CITA01YA	Data:	27/03/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	8,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,60	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,43
Água:	2,19	Aditivo:	41,00	Cinza:	-	Água +:	640,00	Slump:	12,00
Traço:	CITA01YAC10	Data:	30/03/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,07	Pó:	6,60	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,43
Água:	2,19	Aditivo:	41,00	Cinza:	51,37	Água +:	1.000,00	Slump:	11,00
Traço:	CITA01YAC15	Data:	30/03/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,07	Pó:	6,60	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,43
Água:	2,19	Aditivo:	41,00	Cinza:	77,05	Água +:	810,00	Slump:	11,00
Traço:	CITA01YAC30	Data:	02/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	23,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,07	Pó:	6,60	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,43
Água:	2,19	Aditivo:	41,00	Cinza:	154,11	Água +:	1.000,00	Slump:	9,00
Traço:	CITA01YAC50	Data:	02/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	23,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,07	Pó:	6,60	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,43
Água:	2,19	Aditivo:	41,00	Cinza:	256,85	Água +:	1.000,00	Slump:	12,00

Quadro 31e – Ensaio individuais dos traços – Cimento YURA traço Normal  
(PROGÊNIO, 2015)

Traço:	CITA02Y	Data:	27/03/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	8,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	6,20	Areia:	8,93	Pó:	5,84	B 5/8":	12,25	B 3/4":	5,25
Água:	2,77	Aditivo:	-	Cinza:	-	Água +:	550,00	Slump:	12,00
Traço:	CITA02YA	Data:	27/03/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	8,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	6,20	Areia:	8,93	Pó:	5,84	B 5/8":	12,25	B 3/4":	5,25
Água:	2,77	Aditivo:	49,60	Cinza:	-	Água +:	270,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA02YAC10	Data:	02/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	23,00
Cimento:	6,20	Areia:	8,93	Pó:	5,84	B 5/8":	12,25	B 3/4":	5,25
Água:	2,77	Aditivo:	49,60	Cinza:	62,05	Água +:	380,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA02YAC15	Data:	02/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	23,00
Cimento:	6,20	Areia:	8,93	Pó:	5,84	B 5/8":	12,25	B 3/4":	5,25
Água:	2,77	Aditivo:	49,60	Cinza:	93,07	Água +:	100,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA02YAC30	Data:	02/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	23,00
Cimento:	6,20	Areia:	8,93	Pó:	5,84	B 5/8":	12,25	B 3/4":	5,25
Água:	2,77	Aditivo:	49,60	Cinza:	186,15	Água +:	350,00	Slump:	10,00
Traço:	CITA02YAC50	Data:	02/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	23,00
Cimento:	6,20	Areia:	8,93	Pó:	5,84	B 5/8":	12,25	B 3/4":	5,25
Água:	2,77	Aditivo:	49,60	Cinza:	310,25	Água +:	450,00	Slump:	12,00

Quadro 31f – Ensaios individuais dos traços – Cimento YURA traço Rico  
(PROGÊNIO, 2015)

Traço:	CITA03Y	Data:	27/03/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	8,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	7,13	Areia:	7,16	Pó:	4,68	B 5/8":	11,60	B 3/4":	4,97
Água:	3,34	Aditivo:	-	Cinza:	-	Água +:	175,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA03YA	Data:	27/03/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	8,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	7,13	Areia:	7,16	Pó:	4,68	B 5/8":	11,60	B 3/4":	4,97
Água:	3,34	Aditivo:	62,60	Cinza:	-	Água +:	- 240,00	Slump:	15,00
Traço:	CITA03YAC10	Data:	02/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	23,00
Cimento:	7,13	Areia:	7,16	Pó:	4,68	B 5/8":	11,60	B 3/4":	4,97
Água:	3,34	Aditivo:	62,60	Cinza:	78,34	Água +:	- 290,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA03YAC15	Data:	02/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	23,00
Cimento:	7,13	Areia:	7,16	Pó:	4,68	B 5/8":	11,60	B 3/4":	4,97
Água:	3,34	Aditivo:	62,60	Cinza:	117,51	Água +:	- 490,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA03YAC30	Data:	04/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	7,13	Areia:	7,16	Pó:	4,68	B 5/8":	11,60	B 3/4":	4,97
Água:	3,34	Aditivo:	62,60	Cinza:	235,02	Água +:	- 340,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA03YAC50	Data:	04/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	7,13	Areia:	7,16	Pó:	4,68	B 5/8":	11,60	B 3/4":	4,97
Água:	3,34	Aditivo:	62,60	Cinza:	391,70	Água +:	- 300,00	Slump:	12,00

Quadro 31g – Ensaios individuais dos traços – Cimento CIPLAN traço Pobre  
(PROGÊNIO, 2015)

Traço:	CITA01C	Data:	08/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	27,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,48	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,42
Água:	2,21	Aditivo:	-	Cinza:	-	Água +:	1.420,00	Slump:	8,00
Traço:	CITA01CA	Data:	08/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	27,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,48	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,42
Água:	2,21	Aditivo:	41,00	Cinza:	-	Água +:	1.000,00	Slump:	11,00
Traço:	CITA01CAC10	Data:	08/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	31,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,48	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,42
Água:	2,21	Aditivo:	41,00	Cinza:	51,37	Água +:	1.000,00	Slump:	11,00
Traço:	CITA01CAC15	Data:	08/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	31,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,48	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,42
Água:	2,21	Aditivo:	41,00	Cinza:	77,05	Água +:	910,00	Slump:	10,00
Traço:	CITA01CAC30	Data:	08/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	31,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,48	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,42
Água:	2,21	Aditivo:	41,00	Cinza:	154,11	Água +:	910,00	Slump:	10,00
Traço:	CITA01CAC50	Data:	10/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	30,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,48	B 5/8":	12,67	-	5,42
Água:	2,12	Aditivo:	41,00	Cinza:	258,50	Água +:	1.240,00	Slump:	8,00

Quadro 31h – Ensaios individuais dos traços – Cimento CIPLAN traço Normal  
(PROGÊNIO, 2015)

Traço:	CITA02C	Data:	08/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	27,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,00	Pó:	5,73	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	2,79	Aditivo:	-	Cinza:	-	Água +:	560,00	Slump:	9,00
Traço:	CITA02CA	Data:	08/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	27,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,00	Pó:	5,73	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	2,79	Aditivo:	49,60	Cinza:	-	Água +:	40,00	Slump:	11,00
Traço:	CITA02CAC10	Data:	10/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	30,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,00	Pó:	5,73	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	2,79	Aditivo:	49,60	Cinza:	62,00	Água +:	380,00	Slump:	12,00
Traço:	CITA02CAC15	Data:	10/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	30,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,00	Pó:	5,73	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	2,79	Aditivo:	49,60	Cinza:	93,00	Água +:	390,00	Slump:	12,00
Traço:	CITA02CAC30	Data:	13/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	30,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,00	Pó:	5,73	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	2,79	Aditivo:	49,60	Cinza:	186,15	Água +:	650,00	Slump:	12,00
Traço:	CITA02CAC50	Data:	13/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	30,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,00	Pó:	5,73	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	2,79	Aditivo:	49,60	Cinza:	310,25	Água +:	600,00	Slump:	12,00

Quadro 31i – Ensaio individuais dos traços – Cimento CIPLAN traço Rico  
(PROGÊNIO, 2015)

Traço:	CITA03C	Data:	08/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	27,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,22	Pó:	4,60	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,37	Aditivo:	-	Cinza:	-	Água +:	190,00	Slump:	12,00
Traço:	CITA03CA	Data:	08/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	27,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,22	Pó:	4,60	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,37	Aditivo:	62,60	Cinza:	-	Água +:	- 350,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA03CAC10	Data:	13/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	30,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,22	Pó:	4,60	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,37	Aditivo:	62,60	Cinza:	78,34	Água +:	- 200,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA03CAC15	Data:	15/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,22	Pó:	4,60	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,37	Aditivo:	62,60	Cinza:	117,51	Água +:	- 75,00	Slump:	12,00
Traço:	CITA03CAC30	Data:	15/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,22	Pó:	4,60	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,37	Aditivo:	62,60	Cinza:	235,02	Água +:	- 100,00	Slump:	12,00
Traço:	CITA03CAC50	Data:	15/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,22	Pó:	4,60	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,37	Aditivo:	62,60	Cinza:	391,70	Água +:	- 100,00	Slump:	13,00

Quadro 31j – Ensaio individuais dos traços – Cimento ITAÚ traço Pobre  
(PROGÊNIO, 2015)

Traço:	CITA01I	Data:	15/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	30,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,48	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,42
Água:	2,12	Aditivo:	-	Cinza:	-	Água +:	1.670,00	Slump:	8,00
Traço:	CITA01IA	Data:	15/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	32,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,48	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,42
Água:	2,12	Aditivo:	41,00	Cinza:	-	Água +:	1.630,00	Slump:	8,00
Traço:	CITA01IAC10	Data:	23/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,48	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,42
Água:	2,12	Aditivo:	41,00	Cinza:	51,37	Água +:	1.000,00	Slump:	9,00
Traço:	CITA01IAC15	Data:	23/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,48	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,42
Água:	2,12	Aditivo:	41,00	Cinza:	77,05	Água +:	1.000,00	Slump:	10,00
Traço:	CITA01IAC30	Data:	23/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,48	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,42
Água:	2,12	Aditivo:	41,00	Cinza:	154,11	Água +:	1.000,00	Slump:	9,00
Traço:	CITA01IAC50	Data:	27/04/2015	U. Areia(%):	11,00	U. Pó(%):	6,00	Temp.(°C):	24,00
Cimento:	5,14	Areia:	10,17	Pó:	6,48	B 5/8":	12,67	B 3/4":	5,42
Água:	2,12	Aditivo:	41,00	Cinza:	258,50	Água +:	1.175,00	Slump:	9,00

Quadro 31I – Ensaio individuais dos traços – Cimento ITAÚ traço Normal  
(PROGÊNIO, 2015)

Traço:	CITA02I	Data:	15/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	30,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,00	Pó:	5,73	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	2,79	Aditivo:	-	Cinza:	-	Água +:	1.100,00	Slump:	8,00
Traço:	CITA02IA	Data:	15/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	32,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,00	Pó:	5,73	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	2,79	Aditivo:	49,60	Cinza:	-	Água +:	850,00	Slump:	11,00
Traço:	CITA02IAC10	Data:	27/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,00	Pó:	5,73	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	2,79	Aditivo:	49,60	Cinza:	62,00	Água +:	560,00	Slump:	12,00
Traço:	CITA02IAC15	Data:	27/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,00	Pó:	5,73	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	2,79	Aditivo:	49,60	Cinza:	93,00	Água +:	510,00	Slump:	9,00
Traço:	CITA02IAC30	Data:	02/05/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,00	Pó:	5,73	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	2,79	Aditivo:	49,60	Cinza:	186,15	Água +:	1.000,00	Slump:	12,00
Traço:	CITA02IAC50	Data:	02/05/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	6,20	Areia:	9,00	Pó:	5,73	B 5/8":	12,24	B 3/4":	5,25
Água:	2,79	Aditivo:	49,60	Cinza:	310,25	Água +:	900,00	Slump:	12,00

Quadro 31m – Ensaio individuais dos traços – Cimento ITAÚ traço Rico  
(PROGÊNIO, 2015)

Traço:	CITA03I	Data:	15/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	32,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,22	Pó:	4,60	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,37	Aditivo:	-	Cinza:	-	Água + :	690,00	Slump:	8,00
Traço:	CITA03IA	Data:	15/04/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	32,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,22	Pó:	4,60	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,37	Aditivo:	62,60	Cinza:	-	Água + :	450,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA03IAC10	Data:	02/05/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,22	Pó:	4,60	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,37	Aditivo:	62,60	Cinza:	78,34	Água + :	760,00	Slump:	14,00
Traço:	CITA03IAC15	Data:	02/05/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,22	Pó:	4,60	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,37	Aditivo:	62,60	Cinza:	117,51	Água + :	660,00	Slump:	15,00
Traço:	CITA03IAC30	Data:	02/05/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,22	Pó:	4,60	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,37	Aditivo:	62,60	Cinza:	235,02	Água + :	540,00	Slump:	13,00
Traço:	CITA03IAC50	Data:	02/05/2015	U. Areia(%):	10,00	U. Pó(%):	7,00	Temp.(°C):	26,00
Cimento:	7,83	Areia:	7,22	Pó:	4,60	B 5/8":	11,59	B 3/4":	4,97
Água:	3,37	Aditivo:	62,60	Cinza:	391,70	Água + :	640,00	Slump:	12,00

## 4.2 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

A moldagem seguiu as recomendações da NBR 5738 (2015), para as idades definidas no estudo. Os moldes utilizados foram da linha CP 10x20, ou seja, 10cm de diâmetro por 20cm de altura.



Figura 31 – Corpos de provas moldados após a execução de traço de concreto  
(PROGÊNIO, 2015)



Figura 32 – Identificação dos corpos de prova  
(PROGÊNIO, 2015)

### 4.3 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os rompimentos dos corpos de prova para a verificação das resistências à compressão, foram realizados no laboratório de concreto da empresa Formate Concretos, em prensa hidráulica de acionamento elétrico com indicador em sistema computacional próprio, capacidade de compressão de 100 t (EMIC P100). São apresentados no quadro 25 os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova produzidos.

### 4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Após a confecção dos traços de concreto, seguindo o mapa apresentado no quadro 26, os corpos de prova foram capeados e passaram pelo processo de cura, em imersão em tanque com água, até idade de seus respectivos rompimentos.

#### 4.4.1 Definição da idades de rompimento

Como já especificado, as idade de rompimento definidas foram no total de cinco, partindo dos 3 dias até a máxima de 60, portanto o estudo não teve como objetivo o alcance de idades de longo prazo, acima dos sessenta dias, isto foi definido dessa forma, por se querer estabelecer, com esses traços, os valores de idades recentes, podendo dar uma resposta rápida as necessidades práticas de obras, as quais na maiorias dos casos, se preocupam com o atendimento da resistência à compressão até os 28 dias. Ensaio com maior duração seriam necessários para aferição e comportamentos desses concreto em situações que houvesse a necessidade de se verificar o comportamento da progressão dessas resistências em idades avançadas. Também, quanto aos aspectos da durabilidade, embora entendemos que esse aspecto não será necessariamente comprometido, pela falta de aferição da resistência em idades superiores aos 60 dias.

#### 4.4.2 Ensaio de resistência à compressão e resultados

Os valores individuais apresentados, a seguir, são referentes aos traços confeccionados e as resistências à compressão em cada idade de rompimento.

Quadro 32a – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

TRAÇO: <b>CITA01N</b> Data de moldagem: 19/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	7,06	6,78	6,92
7	9,73	9,55	9,64
14	10,94	9,63	10,29
28	11,83	12,25	12,04
60	13,35	13,64	13,50

TRAÇO: **CITA02N**   Data de moldagem: 19/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
CP1	CP2	MÉDIA	
3	9,39	9,11	9,25
7	12,86	12,03	12,45
14	14,33	15,15	14,74
28	17,71	16,13	16,92
60	17,40	20,09	18,75
TRAÇO: **CITA03N**   Data de moldagem: 19/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
CP1	CP2	MÉDIA	
3	11,52	13,88	12,70
7	15,63	16,42	16,03
14	20,34	18,54	19,44
28	22,58	23,72	23,15
60	26,48	23,92	25,20
TRAÇO: **CITA01NA**   Data de moldagem: 5			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
CP1	CP2	MÉDIA	
3	10,99	12,46	11,73
7	17,72	17,17	17,45
14	19,82	21,74	20,78
28	23,29	23,36	23,33
60	24,95	24,82	24,89

Quadro 32b – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

TRAÇO: <b>CITA02NA</b> Data de moldagem: 19/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	22,51	23,08	22,80
7	30,38	28,51	29,45
14	34,44	32,57	33,51
28	35,24	35,91	35,58
60	40,11	37,11	38,61

TRAÇO: **CITA03NA**   Data de moldagem: 19/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
CP1	CP2	MÉDIA	
3	29,61	32,27	30,94
7	41,16	39,89	40,53
14	44,93	35,82	40,38
28	46,77	49,39	48,08
60	47,77	51,03	49,40
TRAÇO: **CITA01NAC10**   Data de moldagem: 20/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
CP1	CP2	MÉDIA	
3	11,74	11,97	11,86
7	17,42	17,42	17,42
14	21,95	23,19	22,57
28	23,32	23,62	23,47
60	25,99	23,76	24,88
TRAÇO: **CITA02NAC10**   Data de moldagem: 21/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
CP1	CP2	MÉDIA	
3	21,49	21,04	21,27
7	28,35	28,05	28,20
14	35,07	33,83	34,45
28	33,11	37,27	35,19
60	40,94	41,93	41,44

Quadro 32c – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

TRAÇO: <b>CITA03NAC10</b> Data de moldagem: 23/03/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento	
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)				
	CP1	CP2	MÉDIA		
3	20,00	20,28	20,14		
7	24,92	25,57	25,25		
14	33,24	34,95	34,10		
28	34,64	35,56	35,10		
60	36,30	34,36	35,33		
TRAÇO: <b>CITA01NAC15</b> Data de moldagem: 20/03/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento	
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)				
	CP1	CP2	MÉDIA		
3	11,72	11,83	11,78		
7	17,74	17,14	17,44		
14	22,30	23,10	22,70		
28	24,02	23,86	23,94		
60	25,99	25,09	25,54		
TRAÇO: <b>CITA02NAC15</b> Data de moldagem: 21/03/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento	
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)				
	CP1	CP2	MÉDIA		
3	19,53	20,69	20,11		
7	25,67	26,37	26,02		
14	36,10	33,46	34,78		
28	36,51	36,28	36,40		
60	40,49	40,01	40,25		
TRAÇO: <b>CITA03NAC15</b> Data de moldagem: 23/03/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento	
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)				
	CP1	CP2	MÉDIA		
3	22,35	22,61	22,48		
7	30,01	28,32	29,17		
14	34,25	36,87	35,56		
28	35,61	36,27	35,94		
60	34,92	38,66	36,79		

Quadro 32d – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

<b>TRAÇO: CITA01NAC30</b> Data de moldagem: 24/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	12,61	12,47	12,54
7	15,61	15,64	15,63
14	17,67	18,20	17,94
28	18,29	18,32	18,31
60	20,05	20,85	20,45

---

<b>TRAÇO: CITA02NAC30</b> Data de moldagem: 24/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	20,46	19,98	20,22
7	23,60	22,72	23,16
14	23,08	25,62	24,35
28	25,75	26,15	25,95
60	35,65	31,99	33,82

---

<b>TRAÇO: CITA03NAC30</b> Data de moldagem: 24/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	23,09	25,90	24,50
7	29,35	21,51	25,43
14	34,11	29,42	31,77
28	36,76	31,40	34,08
60	34,87	33,54	34,21

---

<b>TRAÇO: CITA03NAC50</b> Data de moldagem: 24/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	23,95	25,95	24,95
7	29,45	22,25	25,85
14	34,75	30,45	32,60
28	36,85	32,45	34,65
60	37,44	38,83	38,14

Quadro 32e – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

TRAÇO: <b>CITA01NAC50</b> Data de moldagem: 24/03/2015				<p>Resistência à compressão x Idades de rompimento</p>
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	11,17	11,95	11,56	
7	14,27	14,05	14,16	
14	15,42	16,06	15,74	
28	17,11	17,20	17,16	
60	17,88	18,66	18,27	
TRAÇO: <b>CITA02NAC50</b> Data de moldagem: 24/03/2015				<p>Resistência à compressão x Idades de rompimento</p>
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	17,20	17,86	17,53	
7	20,69	21,56	21,13	
14	26,20	22,37	24,29	
28	30,99	28,42	29,71	
60	31,50	36,09	33,80	
TRAÇO: <b>CITA03NAC50</b> Data de moldagem: 24/03/2015				<p>Resistência à compressão x Idades de rompimento</p>
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	24,81	23,49	24,15	
7	26,62	27,95	27,29	
14	37,68	35,14	36,41	
28	36,17	37,12	36,65	
60	36,78	37,82	37,30	
TRAÇO: <b>CITA01C</b> Data de moldagem: 08/04/2015				<p>Resistência à compressão x Idades de rompimento</p>
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	8,20	8,53	8,37	
7	9,98	10,36	10,17	
14	11,52	12,07	11,80	
28	13,70	12,74	13,22	
60	15,80	14,82	15,31	

Quadro 32f – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

TRAÇO: <b>CITA02C</b> Data de moldagem: 08/04/2015				
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	11,92	11,38	11,65	
7	15,41	14,75	15,08	
14	17,56	15,87	16,72	
28	19,46	18,46	18,96	
60	20,54	20,32	20,43	
TRAÇO: <b>CITA03C</b> Data de moldagem: 08/04/2015				
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	17,92	17,58	17,75	
7	22,53	22,88	22,71	
14	21,07	25,30	23,19	
28	27,67	23,66	25,67	
60	30,12	29,95	30,04	
TRAÇO: <b>CITA01CA</b> Data de moldagem: 08/04/2015				
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	12,75	13,14	12,95	
7	16,52	15,79	16,16	
14	17,50	18,07	17,79	
28	18,21	19,38	18,80	
60	19,26	20,72	19,99	
TRAÇO: <b>CITA02CA</b> Data de moldagem: 08/04/2015				
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	19,12	18,54	18,83	
7	22,53	22,12	22,33	
14	25,21	25,87	25,54	
28	26,72	27,26	26,99	
60	30,75	29,46	30,11	

Quadro 32g – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

TRAÇO: <b>CITA03CA</b> Data de moldagem: 08/04/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento 	
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)				
	CP1	CP2	MÉDIA		
3	26,88	26,74	26,81		
7	31,95	31,51	31,73		
14	34,19	29,87	32,03		
28	37,02	36,11	36,57		
60	39,40	39,91	39,66		
TRAÇO: <b>CITA01CAC10</b> Data de moldagem: 08/04/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento 	
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)				
	CP1	CP2	MÉDIA		
3	10,71	11,60	11,16		
7	14,75	14,48	14,62		
14	16,76	14,84	15,80		
28	16,93	17,03	16,98		
60	20,26	19,80	20,03		
TRAÇO: <b>CITA01CAC15</b> Data de moldagem: 08/04/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento 	
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)				
	CP1	CP2	MÉDIA		
3	10,07	10,50	10,29		
7	12,47	14,54	13,51		
14	14,53	16,12	15,33		
28	16,34	15,21	15,78		
60	20,57	19,88	20,23		
TRAÇO: <b>CITA01CAC30</b> Data de moldagem: 10/04/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento 	
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)				
	CP1	CP2	MÉDIA		
3	11,07	11,50	11,29		
7	13,47	15,54	14,51		
14	15,53	17,12	16,33		
28	17,34	16,21	16,78		
60	19,25	19,12	19,19		

Quadro 32h – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

<b>TRAÇO: CITA01CAC50</b> Data de moldagem: 10/04/2015																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">IDADES (Dias)</th> <th colspan="3">Resistência à compressão Fck (MPa)</th> </tr> <tr> <th>CP1</th> <th>CP2</th> <th>MÉDIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>12,31</td> <td>12,58</td> <td>12,45</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>15,85</td> <td>16,02</td> <td>15,94</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>16,80</td> <td>15,02</td> <td>15,91</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>15,68</td> <td>18,00</td> <td>16,84</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>17,91</td> <td>18,65</td> <td>18,28</td> </tr> </tbody> </table>	IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			CP1	CP2	MÉDIA	3	12,31	12,58	12,45	7	15,85	16,02	15,94	14	16,80	15,02	15,91	28	15,68	18,00	16,84	60	17,91	18,65	18,28				
IDADES (Dias)		Resistência à compressão Fck (MPa)																													
	CP1	CP2	MÉDIA																												
3	12,31	12,58	12,45																												
7	15,85	16,02	15,94																												
14	16,80	15,02	15,91																												
28	15,68	18,00	16,84																												
60	17,91	18,65	18,28																												
<b>TRAÇO: CITA02CAC10</b> Data de moldagem: 10/04/2015																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">IDADES (Dias)</th> <th colspan="3">Resistência à compressão Fck (MPa)</th> </tr> <tr> <th>CP1</th> <th>CP2</th> <th>MÉDIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>18,21</td> <td>17,54</td> <td>17,88</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>20,78</td> <td>21,21</td> <td>21,00</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>20,53</td> <td>20,87</td> <td>20,70</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>21,74</td> <td>22,42</td> <td>22,08</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>23,36</td> <td>23,08</td> <td>23,22</td> </tr> </tbody> </table>	IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			CP1	CP2	MÉDIA	3	18,21	17,54	17,88	7	20,78	21,21	21,00	14	20,53	20,87	20,70	28	21,74	22,42	22,08	60	23,36	23,08	23,22				
IDADES (Dias)		Resistência à compressão Fck (MPa)																													
	CP1	CP2	MÉDIA																												
3	18,21	17,54	17,88																												
7	20,78	21,21	21,00																												
14	20,53	20,87	20,70																												
28	21,74	22,42	22,08																												
60	23,36	23,08	23,22																												
<b>TRAÇO: CITA02CAC15</b> Data de moldagem: 10/04/2015																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">IDADES (Dias)</th> <th colspan="3">Resistência à compressão Fck (MPa)</th> </tr> <tr> <th>CP1</th> <th>CP2</th> <th>MÉDIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>16,49</td> <td>17,71</td> <td>17,10</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>20,54</td> <td>20,63</td> <td>20,59</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>21,54</td> <td>21,10</td> <td>21,32</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>24,79</td> <td>21,41</td> <td>23,10</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>24,85</td> <td>23,40</td> <td>24,13</td> </tr> </tbody> </table>	IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			CP1	CP2	MÉDIA	3	16,49	17,71	17,10	7	20,54	20,63	20,59	14	21,54	21,10	21,32	28	24,79	21,41	23,10	60	24,85	23,40	24,13				
IDADES (Dias)		Resistência à compressão Fck (MPa)																													
	CP1	CP2	MÉDIA																												
3	16,49	17,71	17,10																												
7	20,54	20,63	20,59																												
14	21,54	21,10	21,32																												
28	24,79	21,41	23,10																												
60	24,85	23,40	24,13																												
<b>TRAÇO: CITA02CAC30</b> Data de moldagem: 13/04/2015																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">IDADES (Dias)</th> <th colspan="3">Resistência à compressão Fck (MPa)</th> </tr> <tr> <th>CP1</th> <th>CP2</th> <th>MÉDIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>13,52</td> <td>13,57</td> <td>13,55</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>17,28</td> <td>16,83</td> <td>17,06</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>19,60</td> <td>20,59</td> <td>20,10</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>23,81</td> <td>23,42</td> <td>23,62</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>24,57</td> <td>24,40</td> <td>24,49</td> </tr> </tbody> </table>	IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			CP1	CP2	MÉDIA	3	13,52	13,57	13,55	7	17,28	16,83	17,06	14	19,60	20,59	20,10	28	23,81	23,42	23,62	60	24,57	24,40	24,49				
IDADES (Dias)		Resistência à compressão Fck (MPa)																													
	CP1	CP2	MÉDIA																												
3	13,52	13,57	13,55																												
7	17,28	16,83	17,06																												
14	19,60	20,59	20,10																												
28	23,81	23,42	23,62																												
60	24,57	24,40	24,49																												

Quadro 32i – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

<b>TRAÇO: CITA02CAC50</b> Data de moldagem: 13/04/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	13,11	13,67	13,39
7	18,63	17,19	17,91
14	20,23	21,23	20,73
28	24,24	23,30	23,77
60	25,17	23,91	24,54

**Resistência à compressão x Idades de rompimento**

Tensão MPa

Idades

$y = 16,254e^{0,0084x}$   
 $R^2 = 0,6122$

**TRAÇO: CITA03CAC10**   Data de moldagem: 13/04/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
CP1	CP2	MÉDIA	
3	18,91	22,07	20,49
7	28,35	26,76	27,56
14	31,05	30,15	30,60
28	32,44	30,30	31,37
60	35,68	37,50	36,59

**Resistência à compressão x Idades de rompimento**

Tensão MPa

Idades

$y = 24,277e^{0,0076x}$   
 $R^2 = 0,6667$

**TRAÇO: CITA03CAC15**   Data de moldagem: 15/04/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
CP1	CP2	MÉDIA	
3	26,60	25,84	26,22
7	28,38	29,31	28,85
14	31,72	29,27	30,50
28	35,84	33,58	34,71
60	36,84	37,06	36,95

**Resistência à compressão x Idades de rompimento**

Tensão MPa

Idades

$y = 27,58e^{0,0055x}$   
 $R^2 = 0,8405$

**TRAÇO: CITA03CAC30**   Data de moldagem: 15/04/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
CP1	CP2	MÉDIA	
3	28,30	29,35	28,83
7	29,72	28,89	29,31
14	29,70	30,64	30,17
28	36,25	33,26	34,76
60	35,64	35,19	35,42

**Resistência à compressão x Idades de rompimento**

Tensão MPa

Idades

$y = 28,977e^{0,0038x}$   
 $R^2 = 0,8144$

Quadro 32j – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

TRAÇO: <b>CITA03CAC50</b> Data de moldagem: 15/04/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	26,68	27,89	27,29
7	30,03	31,57	30,80
14	31,22	30,22	30,72
28	35,86	32,75	34,31
60	36,77	35,47	36,12

Resistência à compressão x Idades de rompimento

Tensão MPa

Idades

$y = 28,842e^{0,0042x}$

$R^2 = 0,7936$

---

TRAÇO: <b>CITA01Y</b> Data de moldagem: 27/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	8,18	10,02	9,10
7	11,25	14,10	12,68
14	13,05	14,05	13,55
28	16,03	17,46	16,75
60	27,28	27,06	27,17

Resistência à compressão x Idades de rompimento

Tensão MPa

Idades

$y = 10,126e^{0,017x}$

$R^2 = 0,9376$

---

TRAÇO: <b>CITA02Y</b> Data de moldagem: 27/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	13,31	14,44	13,88
7	18,63	19,36	19,00
14	20,05	21,05	20,55
28	23,37	22,72	23,05
60	28,68	28,58	28,63

Resistência à compressão x Idades de rompimento

Tensão MPa

Idades

$y = 16,232e^{0,0103x}$

$R^2 = 0,7978$

---

TRAÇO: <b>CITA03Y</b> Data de moldagem: 27/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	17,09	17,44	17,27
7	23,21	23,32	23,27
14	24,05	24,00	24,03
28	25,74	25,74	25,74
60	31,93	32,92	32,43

Resistência à compressão x Idades de rompimento

Tensão MPa

Idades

$y = 19,787e^{0,0087x}$

$R^2 = 0,7902$

Quadro 32I – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

TRAÇO: <b>CITA01YA</b> Data de moldagem: 27/03/2015				<p>Resistência à compressão x Idades de rompimento</p>
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	14,17	13,86	14,02	
7	13,63	14,36	14,00	
14	19,35	19,27	19,31	
28	20,48	20,82	20,65	
60	21,60	21,72	21,66	
TRAÇO: <b>CITA02YA</b> Data de moldagem: 27/03/2015				<p>Resistência à compressão x Idades de rompimento</p>
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	18,82	18,55	18,69	
7	19,34	17,13	18,24	
14	24,96	24,45	24,71	
28	30,03	27,39	28,71	
60	36,46	34,20	35,33	
TRAÇO: <b>CITA03YA</b> Data de moldagem: 27/03/2015				<p>Resistência à compressão x Idades de rompimento</p>
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	23,57	22,17	22,87	
7	30,75	29,93	30,34	
14	29,77	30,60	30,19	
28	35,44	35,32	35,38	
60	39,22	43,36	41,29	
TRAÇO: <b>CITA01YAC10</b> Data de moldagem: 30/03/2015				<p>Resistência à compressão x Idades de rompimento</p>
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	16,97	16,29	16,63	
7	16,94	17,65	17,30	
14	18,07	16,58	17,33	
28	21,17	22,09	21,63	
60	25,03	24,55	24,79	

Quadro 32m – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

TRAÇO: <b>CITA01YAC15</b>			
Data de moldagem: 30/03/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	16,65	16,04	16,35
7	17,49	18,30	17,90
14	17,97	18,29	18,13
28	22,24	21,24	21,74
60	28,04	26,26	27,15

TRAÇO: <b>CITA01YAC30</b>			
Data de moldagem: 02/04/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	13,24	12,23	12,74
7	13,69	14,51	14,10
14	15,28	15,83	15,56
28	19,29	19,10	19,20
60	22,58	22,62	22,60

TRAÇO: <b>CITA01YAC50</b>			
Data de moldagem: 02/04/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	11,90	12,45	12,18
7	14,98	13,54	14,26
14	14,68	13,89	14,29
28	18,71	18,56	18,64
60	22,45	21,78	22,12

TRAÇO: <b>CITA02YAC10</b>			
Data de moldagem: 02/04/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	17,74	18,34	18,04
7	18,77	19,25	19,01
14	20,95	21,29	21,12
28	26,64	27,40	27,02
60	30,65	31,76	31,21

Resistência à compressão x Idades de rompimento

Quadro 32n – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

TRAÇO: CITA02YAC15			
Data de moldagem: 02/04/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	22,87	21,58	22,23
7	21,89	22,31	22,10
14	24,32	25,12	24,72
28	30,23	30,45	30,34
60	33,31	34,14	33,73

TRAÇO: CITA02YAC30			
Data de moldagem: 02/04/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	19,90	20,02	19,96
7	19,96	19,85	19,91
14	24,60	20,56	22,58
28	28,35	29,81	29,08
60	31,00	31,22	31,11

TRAÇO: CITA02YAC50			
Data de moldagem: 02/04/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	12,78	12,85	12,82
7	17,78	17,42	17,60
14	20,54	20,54	20,54
28	25,36	25,64	25,50
60	28,57	28,64	28,61

TRAÇO: CITA03YAC10			
Data de moldagem: 02/04/2015			
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)		
	CP1	CP2	MÉDIA
3	28,92	28,62	28,77
7	28,14	27,57	27,86
14	31,21	29,35	30,28
28	35,07	32,47	33,77
60	43,98	43,32	43,65

Quadro 32o – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

<b>TRAÇO: CITA01IA</b> Data de moldagem: 15/04/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento 																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">IDADES (Dias)</th> <th colspan="3">Resistência à compressão Fck (MPa)</th> </tr> <tr> <th>CP1</th> <th>CP2</th> <th>MÉDIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>10,03</td> <td>13,95</td> <td>11,99</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>16,80</td> <td>14,52</td> <td>15,66</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>17,62</td> <td>16,51</td> <td>17,07</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>16,66</td> <td>17,17</td> <td>16,92</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>16,29</td> <td>18,18</td> <td>17,24</td> </tr> </tbody> </table>	IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			CP1	CP2	MÉDIA	3	10,03	13,95	11,99	7	16,80	14,52	15,66	14	17,62	16,51	17,07	28	16,66	17,17	16,92	60	16,29	18,18	17,24			
IDADES (Dias)		Resistência à compressão Fck (MPa)																												
	CP1	CP2	MÉDIA																											
3	10,03	13,95	11,99																											
7	16,80	14,52	15,66																											
14	17,62	16,51	17,07																											
28	16,66	17,17	16,92																											
60	16,29	18,18	17,24																											
<b>TRAÇO: CITA02I</b> Data de moldagem: 15/04/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento 																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">IDADES (Dias)</th> <th colspan="3">Resistência à compressão Fck (MPa)</th> </tr> <tr> <th>CP1</th> <th>CP2</th> <th>MÉDIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>11,96</td> <td>12,44</td> <td>12,20</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>14,19</td> <td>12,72</td> <td>13,46</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>15,66</td> <td>13,91</td> <td>14,79</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>17,33</td> <td>17,37</td> <td>17,35</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>17,35</td> <td>17,40</td> <td>17,38</td> </tr> </tbody> </table>	IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			CP1	CP2	MÉDIA	3	11,96	12,44	12,20	7	14,19	12,72	13,46	14	15,66	13,91	14,79	28	17,33	17,37	17,35	60	17,35	17,40	17,38			
IDADES (Dias)		Resistência à compressão Fck (MPa)																												
	CP1	CP2	MÉDIA																											
3	11,96	12,44	12,20																											
7	14,19	12,72	13,46																											
14	15,66	13,91	14,79																											
28	17,33	17,37	17,35																											
60	17,35	17,40	17,38																											
<b>TRAÇO: CITA02IA</b> Data de moldagem: 15/04/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento 																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">IDADES (Dias)</th> <th colspan="3">Resistência à compressão Fck (MPa)</th> </tr> <tr> <th>CP1</th> <th>CP2</th> <th>MÉDIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>15,28</td> <td>14,21</td> <td>14,75</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>15,81</td> <td>16,34</td> <td>16,08</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>16,57</td> <td>15,88</td> <td>16,23</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>18,39</td> <td>19,08</td> <td>18,74</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>18,40</td> <td>19,11</td> <td>18,76</td> </tr> </tbody> </table>	IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			CP1	CP2	MÉDIA	3	15,28	14,21	14,75	7	15,81	16,34	16,08	14	16,57	15,88	16,23	28	18,39	19,08	18,74	60	18,40	19,11	18,76			
IDADES (Dias)		Resistência à compressão Fck (MPa)																												
	CP1	CP2	MÉDIA																											
3	15,28	14,21	14,75																											
7	15,81	16,34	16,08																											
14	16,57	15,88	16,23																											
28	18,39	19,08	18,74																											
60	18,40	19,11	18,76																											
<b>TRAÇO: CITA03I</b> Data de moldagem: 15/04/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento 																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">IDADES (Dias)</th> <th colspan="3">Resistência à compressão Fck (MPa)</th> </tr> <tr> <th>CP1</th> <th>CP2</th> <th>MÉDIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>19,13</td> <td>18,20</td> <td>18,67</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>19,53</td> <td>21,10</td> <td>20,32</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>19,64</td> <td>22,25</td> <td>20,95</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>24,88</td> <td>23,04</td> <td>23,96</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>24,99</td> <td>25,74</td> <td>25,37</td> </tr> </tbody> </table>	IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			CP1	CP2	MÉDIA	3	19,13	18,20	18,67	7	19,53	21,10	20,32	14	19,64	22,25	20,95	28	24,88	23,04	23,96	60	24,99	25,74	25,37			
IDADES (Dias)		Resistência à compressão Fck (MPa)																												
	CP1	CP2	MÉDIA																											
3	19,13	18,20	18,67																											
7	19,53	21,10	20,32																											
14	19,64	22,25	20,95																											
28	24,88	23,04	23,96																											
60	24,99	25,74	25,37																											

Quadro 32p – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

<b>TRAÇO: CITA03IA</b> Data de moldagem: 15/04/2015				<b>Resistência à compressão x Idades de rompimento</b> 
<b>IDADES (Dias)</b> Resistência à compressão Fck (MPa)	CP1	CP2	MÉDIA	
3	21,24	20,46	20,85	
7	22,28	21,13	21,71	
14	20,73	25,03	22,88	
28	27,28	28,30	27,79	
60	27,80	28,53	28,17	
<b>TRAÇO: CITA01IAC10</b> Data de moldagem: 23/04/2015				<b>Resistência à compressão x Idades de rompimento</b> 
<b>IDADES (Dias)</b> Resistência à compressão Fck (MPa)	CP1	CP2	MÉDIA	
3	11,36	10,50	10,93	
7	11,93	12,78	12,36	
14	12,99	15,21	14,10	
28	15,33	15,67	15,50	
60	15,45	15,76	15,61	
<b>TRAÇO: CITA01IAC15</b> Data de moldagem: 27/04/2015				<b>Resistência à compressão x Idades de rompimento</b> 
<b>IDADES (Dias)</b> Resistência à compressão Fck (MPa)	CP1	CP2	MÉDIA	
3	10,97	14,48	12,73	
7	11,61	12,98	12,30	
14	13,88	14,25	14,07	
28	15,61	16,82	16,22	
60	15,89	16,85	16,37	
<b>TRAÇO: CITA01IAC30</b> Data de moldagem: 23/04/2015				<b>Resistência à compressão x Idades de rompimento</b> 
<b>IDADES (Dias)</b> Resistência à compressão Fck (MPa)	CP1	CP2	MÉDIA	
3	12,80	11,40	12,10	
7	12,08	12,95	12,52	
14	14,40	15,98	15,19	
28	16,10	16,01	16,06	
60	16,64	16,05	16,35	

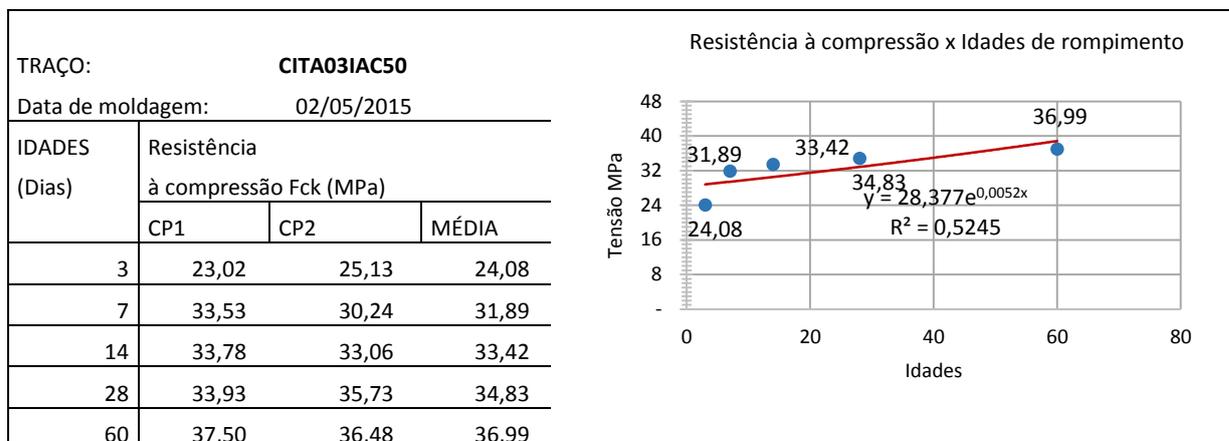
Quadro 32q – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

<b>TRAÇO: CITA01IAC50</b> Data de moldagem: 27/04/2015				<b>Resistência à compressão x Idades de rompimento</b> 
<b>IDADES (Dias)</b> Resistência à compressão Fck (MPa)	CP1	CP2	MÉDIA	
3	8,94	8,43	8,69	
7	11,74	11,72	11,73	
14	13,94	13,97	13,96	
28	14,02	14,54	14,28	
60	14,12	14,78	14,45	
<b>TRAÇO: CITA02IAC10</b> Data de moldagem: 27/04/2015				<b>Resistência à compressão x Idades de rompimento</b> 
<b>IDADES (Dias)</b> Resistência à compressão Fck (MPa)	CP1	CP2	MÉDIA	
3	13,28	14,98	14,13	
7	20,10	21,52	20,81	
14	22,85	24,01	23,43	
28	24,49	23,30	23,90	
60	24,82	23,91	24,37	
<b>TRAÇO: CITA02IAC15</b> Data de moldagem: 27/04/2015				<b>Resistência à compressão x Idades de rompimento</b> 
<b>IDADES (Dias)</b> Resistência à compressão Fck (MPa)	CP1	CP2	MÉDIA	
3	15,50	17,25	16,38	
7	23,24	22,65	22,95	
14	25,89	24,22	25,06	
28	26,05	25,73	25,89	
60	26,59	25,78	26,19	
<b>TRAÇO: CITA02IAC30</b> Data de moldagem: 02/05/2015				<b>Resistência à compressão x Idades de rompimento</b> 
<b>IDADES (Dias)</b> Resistência à compressão Fck (MPa)	CP1	CP2	MÉDIA	
3	18,12	17,06	17,59	
7	24,87	22,99	23,93	
14	24,17	25,49	24,83	
28	26,44	27,00	26,72	
60	27,04	27,36	27,20	

Quadro 32r – Resultados dos ensaios de resistência à compressão (PROGÊNIO, 2015)

TRAÇO: <b>CITA02IAC50</b> Data de moldagem: 02/05/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento 
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	16,90	18,60	17,75	
7	25,62	24,91	25,27	
14	24,15	24,54	24,35	
28	26,26	27,67	26,97	
60	27,55	27,72	27,64	
TRAÇO: <b>CITA03IAC10</b> Data de moldagem: 02/05/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento 
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	25,27	23,61	24,44	
7	27,94	29,59	28,77	
14	30,48	31,56	31,02	
28	33,81	33,43	33,62	
60	36,07	35,07	35,57	
TRAÇO: <b>CITA03IAC15</b> Data de moldagem: 02/05/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento 
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	22,86	22,77	22,82	
7	30,55	29,40	29,98	
14	30,42	31,44	30,93	
28	34,39	35,16	34,78	
60	37,03	38,18	37,61	
TRAÇO: <b>CITA03IAC30</b> Data de moldagem: 02/05/2015				Resistência à compressão x Idades de rompimento 
IDADES (Dias)	Resistência à compressão Fck (MPa)			
	CP1	CP2	MÉDIA	
3	25,66	25,57	25,62	
7	29,14	33,21	31,18	
14	33,63	33,92	33,78	
28	32,16	37,21	34,69	
60	38,26	38,82	38,54	

Quadro 32s – Resultados dos ensaios de resistência à compressão  
(PROGÊNIO, 2015)



#### 4.4.3 Análise e comparação dos ensaios de resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de rompimento à compressão de todos os traços foram analisados por cada família apresentada no quadro 26. As comparações que seguem, estão relacionadas entre cada traço, rico, normal e pobre, considerando ainda as variações do estudo, como o uso de aditivo e as adições de CCCB. Portanto, a comparação é feita entre traços, sendo a primeira sem a utilização de aditivo e CCCB, em seguida o traço é refeito agora utilizando o aditivo químico, e, por fim, o traço é elaborado mais quatro vezes, mantendo o aditivo químico, porém variando o percentual de CCCB.

Há um crescimento significativo do valor das resistências à compressão do concreto com o uso de aditivo químico. De um modo geral, esse resultado já é esperado em função das características que os aditivos fornecem aos concretos. A promoção da redução do consumo de água, redução dos vazios e melhora da trabalhabilidade com menor quantidade de água, são alguns aspectos que favorecem o aumento da resistência do concreto, quando comparado com aquele que não contém o aditivo. Assim sendo, o estudo seguiu com a utilização do aditivo em todas as misturas com a CCCB; o traço sem a utilização de aditivo serviu apenas como referência de comparação entre os traços e seus desempenhos em relação às resistências à compressão.

A seqüência segue com as adições de CCCB, e nestes casos pode-se observar que a utilização desta cinza promoveu a redução de água adicionada, a melhora na trabalhabilidade e o aumento do valor do abatimento, ensaio *slump test*, em especial nos cimentos NASSAU, CIPLAN e YURA. As adições de 1,5% e 3% de CCCB foram as que apresentaram os melhores desempenhos na redução de água de amassamento, melhora na trabalhabilidade, aumento do valor do ensaio de abatimento. Porém, o crescimento das resistências à compressão não foi expressivo. A adição de 1% de CCCB pouco mostrou alteração benéfica nos traços quando comparados com aqueles feitos apenas com o aditivo. Para as dosagens com 5%, não se identificou benefícios expressivos, e, em alguns casos, houve uma leve queda no valor da resistência à compressão. De um modo geral, todas as marcas se comportaram melhor com a adição de CCCB no valor 1,5% sobre o peso do cimento.

Quanto ao comportamento comparativo entre as marcas de cimentos Portland, há uma variação significativa no que diz respeito aos valores das resistências à compressão. Em todos os traços, a marca ITAÚ apresentou os menores valores quando comparado com as outras marcas. Essa situação já é conhecida nos trabalhos na usina de concreto da empresa concreteira da cidade. Assim, os traços utilizados com essa marca recebem um ajuste e tem seu consumo de cimento por metro cúbico aumentado para garantir a resistência à compressão desejada. Foi identificado que um dos possíveis motivos para a queda da resistência dessa marca, deve-se ao fato da necessidade de maior quantidade de água para garantir uma trabalhabilidade adequada, portanto, o fator água/cimento ( $a/c$ ) é extrapolado com conseqüente deficiência na microestrutura do concreto. Embora o cimento ITAÚ tenha a mesma classe do cimento NASSAU, um CP V – 32 MPa, o comportamento é completamente diferente, ficando este último com resultados de resistência à compressão muito superiores e melhores trabalhabilidades, especialmente quando acrescidos do aditivo selecionado para o estudo.

De um modo geral, não se identificou restrições de utilização das marcas, o que se deve sempre fazer, são os estudos de traços prévios para identificar os resultados, em especial quanto à resistência à compressão e o comportamentos dos concretos, como feito na pesquisa. Caso haja necessidade de alterações, correções de traços devem ser feitas e se ajustadas para atingir as características desejadas dos concretos. No caso específico da pesquisa, correções não foram realizadas, pois a

intenção era a de manter iguais os parâmetros de confecção do concreto, de tal forma que as comparações de comportamento e resultados pudessem ser feitas de maneira igualitária.

No caso particular do cimento YURA, marca que surgiu na cidade de Rio Branco, em função do isolamento ocorrido no inverno de 2014, por inundação do rio Madeira, que ocasionou o fechamento da BR 364. Surgiu, naquela época, a opção de importação de produtos diversos do Peru. Esses foi um dos motivos principais de incluí-lo no estudo. A marca peruana, apresenta um comportamento muito semelhante ao cimento NASSAU e apresentou bom desempenho em relação as resistências à compressão. Portanto o estudo não encontrou qualquer restrição quanto a utilização da marca, levando em consideração o lote do cimento e a amostra coletada nas datas dos ensaios.

O quadro 32 mostra o comparativo entre os traços das mesmas famílias, ou seja, os resultados entre si, traços rico, normal e pobre de cada estudo e com as variáveis de aditivo e CCCB das marcas de cimento utilizadas. Por fim, o quadro 27 mostra o comparativo dos valores de resistências entre as marcas de cimento e seus valores máximos atingidos. Todos os valores dos dois quadros, levaram em consideração a idade mais importante para aferição tendo em vista a execução de obras em concreto: 28 dias.

Quadro 33a – Resumo dos traços e suas famílias  
(PROGÊNIO, 2015)

ESTUDO DE TRAÇO - RESUMO DAS FAMÍLIA DOS TRAÇOS						
FAMÍLIA CITA N TRAÇO POBRE - TRAÇOS MOLDADOS COM CIMENTO NASSAU CP IV 32						
CITA N - TRAÇOS MOLDADOS UTILIZANDO CIMENTO CP IV 32, ADITIVO MASTERMIX BF9,						
CINZA DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (CCCB), AREIA FINA, BRITAS 01 E 02						
TRAÇO	CITA01N	CITA01NA	CITA01NAC10	CITA01NAC15	CITA01NAC30	CITA01NAC50
a/c	0,657	0,657	0,587	0,567	0,507	0,509
C	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21
fc 3 dias	6,92	11,73	11,86	11,78	12,54	11,56
fc 7 dias	9,64	17,45	17,42	17,44	15,63	14,16
fc 14 dias	10,29	20,78	22,57	22,70	17,94	15,74
fc 28 dias	12,04	23,33	23,47	23,94	18,31	17,16
fc 60 dias	13,50	24,89	24,88	25,54	-	18,27
% Arg. ( $\alpha$ )	53	53	53	53	53	53
Slump (cm)	9,00	9,00	14,00	11,00	9,00	10,00
M	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
a	2,975	2,975	2,975	2,975	2,975	2,975
p	3,525	3,525	3,525	3,525	3,525	3,525
Cinza CCCB	-	-	3,02	4,53	9,07	15,11
Aditivo (0,8%)	-	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
<b>Materias Utilizados (em kg)</b>	<b>Consumo / m<sup>3</sup></b>					
	CITA01N	CITA01NA	CITA01NAC10	CITA01NAC15	CITA01NAC30	CITA01NAC50
Cimento	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21
Areia	539,44	539,44	539,44	539,44	539,44	539,44
Pó de Brita	395,63	395,63	395,63	395,63	395,63	395,63
Brita 5/8"	745,70	745,70	745,70	745,70	745,70	745,70
Brita 3/4"	319,59	319,59	319,59	319,59	319,59	319,59
Aditivo	-	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
Cinza CCCB	-	-	3,02	4,53	9,07	15,11
Água	157,15	157,15	157,15	157,15	157,15	157,15
Vol. (m <sup>3</sup> )	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Traço (kg/kg)	1,0 : 2,975 : 3,525 : 0,52					

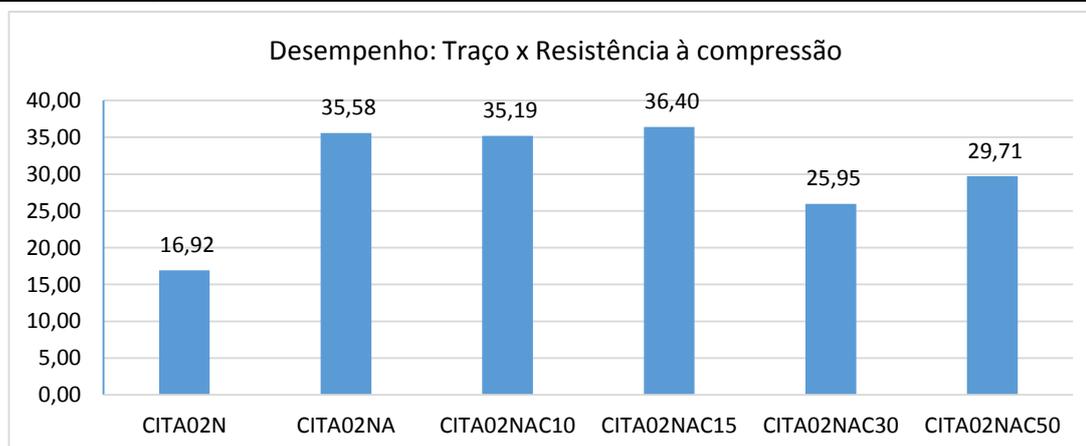
  

**Desempenho: Traço x Resistência à compressão**

Traço	Resistência à compressão (fc) [MPa]
CITA01N	12,04
CITA01NA	23,33
CITA01NAC10	23,47
CITA01NAC15	23,94
CITA01NAC30	18,31
CITA01NAC50	17,16

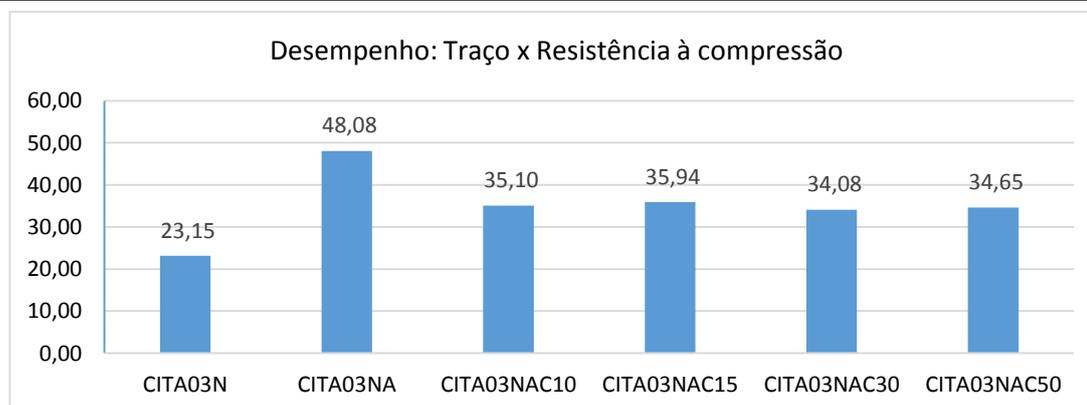
Quadro 33b – Resumo dos traços e suas famílias  
(PROGÊNIO, 2015)

ESTUDO DE TRAÇO - RESUMO DAS FAMÍLIA DOS TRAÇOS						
FAMÍLIA CITA N TRAÇO NORMAL - TRAÇOS MOLDADOS COM CIMENTO NASSAU CP IV 32						
CITA N - TRAÇOS MOLDADOS UTILIZANDO CIMENTO CP IV 32, ADITIVO MASTERMIX BF9, CINZA DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (CCCB), AREIA FINA, BRITAS 01 E 02						
TRAÇO	CITA02N	CITA02NA	CITA02NAC10	CITA02NAC15	CITA02NAC30	CITA02NAC50
a/c	0,565	0,524	0,452	0,444	0,427	0,427
C	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01
fc 3 dias	9,25	22,80	21,27	20,11	20,22	17,53
fc 7 dias	12,45	29,45	28,20	26,02	23,16	21,13
fc 14 dias	14,74	33,51	34,45	34,78	24,35	24,29
fc 28 dias	16,92	35,58	35,19	36,40	25,95	29,71
fc 60 dias	18,75	38,61	41,44	40,25	33,82	33,80
% Arg. ( $\alpha$ )	53	53	53	53	53	53
Slump (cm)	10,00	9,00	11,00	9,00	11,00	11,00
M	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
a	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180
p	2,820	2,820	2,820	2,820	2,820	2,820
Cinza CCCB	-	-	3,65	5,48	10,95	18,25
Aditivo (0,8%)	-	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92
<b>Materias Utilizados (em kg)</b>	<b>Consumo / m<sup>3</sup></b>					
	CITA02N	CITA02NA	CITA02NAC10	CITA02NAC15	CITA02NAC30	CITA02NAC50
Cimento	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01
Areia	477,43	477,43	477,43	477,43	477,43	477,43
Pó de Brita	318,29	318,29	318,29	318,29	318,29	318,29
Brita 5/8"	720,53	720,53	720,53	720,53	720,53	720,53
Brita 3/4"	308,80	308,80	308,80	308,80	308,80	308,80
Aditivo	-	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92
Cinza CCCB	-	-	3,65	5,48	10,95	18,25
Água	189,80	189,80	189,80	189,80	189,80	189,80
Vol. (m <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Traço (kg/kg)	1,0 : 2,180 : 2,820 : 0,52					



Quadro 33c – Resumo dos traços e suas famílias  
(PROGÊNIO, 2015)

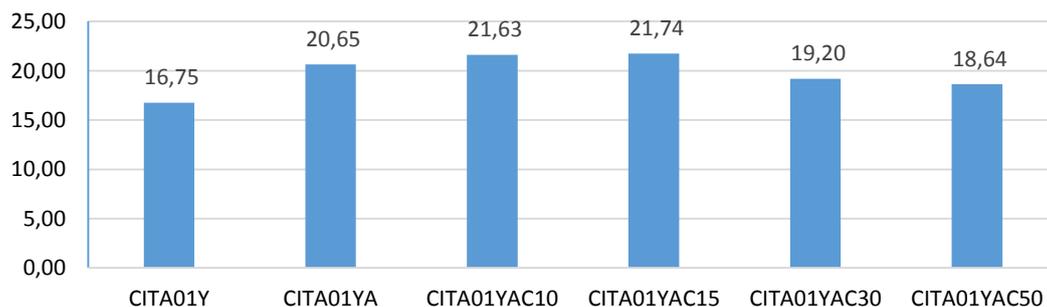
ESTUDO DE TRAÇO - RESUMO DAS FAMÍLIA DOS TRAÇOS						
FAMÍLIA CITA N TRAÇO RICO - TRAÇOS MOLDADOS COM CIMENTO NASSAU CP IV 32						
CITA N - TRAÇOS MOLDADOS UTILIZANDO CIMENTO CP IV 32, ADITIVO MASTERMIX BF9,						
CINZA DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (CCCB), AREIA FINA, BRITAS 01 E 02						
TRAÇO	CITA03N	CITA03NA	CITA03NAC10	CITA03NAC15	CITA03NAC30	CITA03NAC50
a/c	0,524	0,437	0,447	0,309	0,377	0,379
C	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83
fc 3 dias	12,70	30,94	20,14	22,48	24,50	24,95
fc 7 dias	16,03	40,53	25,25	29,17	25,43	25,85
fc 14 dias	19,44	40,38	34,10	35,56	31,77	32,60
fc 28 dias	23,15	48,08	35,10	35,94	34,08	34,65
fc 60 dias	25,20	49,40	35,33	36,79	34,21	38,14
% Arg. ( $\alpha$ )	53	53	53	53	53	53
Slump (cm)	-	-	-	-	-	-
M	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
a	1,385	1,385	1,385	1,385	1,385	1,385
p	2,115	2,115	2,115	2,115	2,115	2,115
Cinza CCCB	-	-	4,61	6,91	13,82	23,04
Aditivo (0,8%)	-	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69
<b>Materias Utilizados (em kg)</b>	<b>Consumo / m<sup>3</sup></b>					
	CITA03N	CITA03NA	CITA03NAC10	CITA03NAC15	CITA03NAC30	CITA03NAC50
Cimento	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83
Areia	382,95	382,95	382,95	382,95	382,95	382,95
Pó de Brita	255,30	255,30	255,30	255,30	255,30	255,30
Brita 5/8"	682,25	682,25	682,25	682,25	682,25	682,25
Brita 3/4"	292,40	292,40	292,40	292,40	292,40	292,40
Aditivo	-	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69
Cinza CCCB	-	-	4,61	6,91	13,82	23,04
Água	239,63	239,63	239,63	239,63	239,63	239,63
Vol. (m <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Traço (kg/kg)	1,0 : 1,385 : 2,115 : 0,52					



Quadro 33d – Resumo dos traços e suas famílias  
(PROGÊNIO, 2015)

ESTUDO DE TRAÇO - RESUMO DAS FAMÍLIA DOS TRAÇOS						
FAMÍLIA CITA Y TRAÇO POBRE - TRAÇOS MOLDADOS COM CIMENTO YURA CP IV 32						
CITA Y - TRAÇOS MOLDADOS UTILIZANDO CIMENTO CP IV 32, ADITIVO MASTERMIX BF9,						
CINZA DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (CCCB), AREIA FINA, BRITAS 01 E 02						
TRAÇO	CITA01Y	CITA01YA	CITA01YAC10	CITA01YAC15	CITA01YAC30	CITA01YAC50
a/c	0,621	0,551	0,621	0,584	0,621	0,621
C	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21
fc 3 dias	9,10	14,02	16,63	16,35	12,74	12,18
fc 7 dias	12,68	14,00	17,30	17,90	14,10	14,26
fc 14 dias	13,55	19,31	17,33	18,13	15,56	14,29
fc 28 dias	16,75	20,65	21,63	21,74	19,20	18,64
fc 60 dias	27,17	-	24,79	27,15	22,60	22,12
% Arg. ( $\alpha$ )	53	53	53	53	53	53
Slump (cm)	8,00	12,00	11,00	11,00	9,00	12,00
M	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
a	2,975	2,975	2,975	2,975	2,975	2,975
p	3,525	3,525	3,525	3,525	3,525	3,525
Cinza CCCB	-	-	3,02	4,53	9,07	15,11
Aditivo (0,8%)	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
<b>Materias Utilizados (em kg)</b>	<b>Consumo / m<sup>3</sup></b>					
	CITA01Y	CITA01YA	CITA01YAC10	CITA01YAC15	CITA01YAC30	CITA01YAC50
Cimento	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21
Areia	539,44	539,44	539,44	539,44	539,44	539,44
Pó de Brita	395,63	395,63	395,63	395,63	395,63	395,63
Brita 5/8"	745,70	745,70	745,70	745,70	745,70	745,70
Brita 3/4"	319,59	319,59	319,59	319,59	319,59	319,59
Aditivo	-	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
Cinza CCCB	-	-	3,02	4,53	9,07	15,11
Água	157,15	157,15	157,15	157,15	157,15	157,15
Vol. (m <sup>3</sup> )	-	-	-	-	-	-
Traço (kg/kg)	1,0 : 2,975 : 3,525 : 0,52					

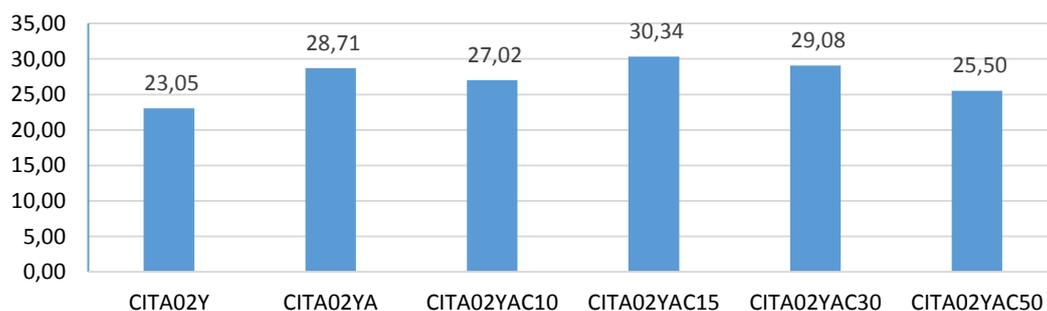
Desempenho: Traço x Resistência à compressão



Quadro 33e – Resumo dos traços e suas famílias  
(PROGÊNIO, 2015)

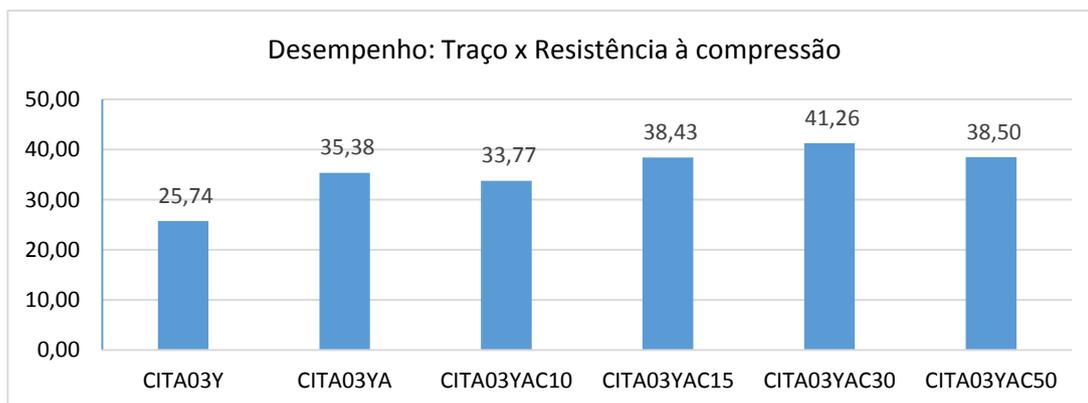
ESTUDO DE TRAÇO - RESUMO DAS FAMÍLIA DOS TRAÇOS						
FAMÍLIA CITA Y TRAÇO POBRE - TRAÇOS MOLDADOS COM CIMENTO YURA CP IV 32						
CITA Y - TRAÇOS MOLDADOS UTILIZANDO CIMENTO CP IV 32, ADITIVO MASTERMIX BF9,						
CINZA DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (CCCB), AREIA FINA, BRITAS 01 E 02						
TRAÇO	CITA02Y	CITA02YA	CITA02YAC10	CITA02YAC15	CITA02YAC30	CITA02YAC50
a/c	0,535	0,490	0,508	0,463	0,503	0,519
C	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01
fc 3 dias	13,88	18,69	18,04	22,23	19,96	12,82
fc 7 dias	19,00	18,24	19,01	22,10	19,91	17,60
fc 14 dias	20,55	24,71	21,12	24,72	22,58	20,54
fc 28 dias	23,05	28,71	27,02	30,34	29,08	25,50
fc 60 dias	28,63	35,33	31,21	33,73	31,11	28,61
% Arg. ( $\alpha$ )	53	53	53	53	53	53
Slump (cm)	12,00	14,00	14,00	14,00	10,00	12,00
M	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
a	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180
p	2,820	2,820	2,820	2,820	2,820	2,820
Cinza CCCB	-	-	3,65	5,48	10,95	18,25
Aditivo (0,8%)	-	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92
<b>Materias Utilizados (em kg)</b>	<b>Consumo / m<sup>3</sup></b>					
	CITA02Y	CITA02YA	CITA02YAC10	CITA02YAC15	CITA02YAC30	CITA02YAC50
Cimento	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01
Areia	477,43	477,43	477,43	477,43	477,43	477,43
Pó de Brita	318,29	318,29	318,29	318,29	318,29	318,29
Brita 5/8"	720,53	720,53	720,53	720,53	720,53	720,53
Brita 3/4"	308,80	308,80	308,80	308,80	308,80	308,80
Aditivo	-	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92
Cinza CCCB	-	-	3,65	5,48	10,95	18,25
Água	189,80	189,80	189,80	189,80	189,80	189,80
Vol. (m <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Traço (kg/kg)	1,0 : 2,180 : 2,820 : 0,52					

Desempenho: Traço x Resistência à compressão



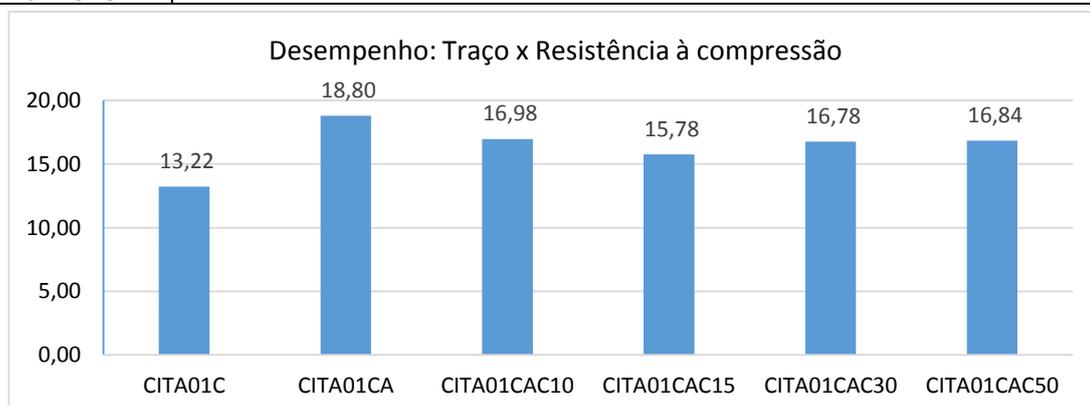
Quadro 33f – Resumo dos traços e suas famílias  
(PROGÊNIO, 2015)

ESTUDO DE TRAÇO - RESUMO DAS FAMÍLIA DOS TRAÇOS						
FAMÍLIA CITA Y TRAÇO POBRE - TRAÇOS MOLDADOS COM CIMENTO YURA CP IV 32						
CITA Y - TRAÇOS MOLDADOS UTILIZANDO CIMENTO CP IV 32, ADITIVO MASTERMIX BF9,						
CINZA DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (CCCB), AREIA FINA, BRITAS 01 E 02						
TRAÇO	CITA03Y	CITA03YA	CITA03YAC10	CITA03YAC15	CITA03YAC30	CITA03YAC50
a/c	0,493	0,435	0,428	0,400	0,421	0,421
C	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83
fc 3 dias	17,27	22,87	28,77	30,65	28,97	27,60
fc 7 dias	23,27	30,34	27,86	31,89	31,45	34,44
fc 14 dias	24,03	30,19	30,28	35,54	34,53	34,43
fc 28 dias	25,74	35,38	33,77	38,43	41,26	38,50
fc 60 dias	32,43	41,29	43,65	44,82	44,25	43,72
% Arg. ( $\alpha$ )	53	53	53	53	53	53
Slump (cm)	14,00	15,00	14,00	14,00	14,00	12,00
M	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
a	1,385	1,385	1,385	1,385	1,385	1,385
p	2,115	2,115	2,115	2,115	2,115	2,115
Cinza CCCB	-	-	4,61	6,91	13,82	23,04
Aditivo (0,8%)	-	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69
<b>Materias Utilizados (em kg)</b>	<b>Consumo / m<sup>3</sup></b>					
	CITA03Y	CITA03YA	CITA03YAC10	CITA03YAC15	CITA03YAC30	CITA03YAC50
Cimento	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83
Areia	382,95	382,95	382,95	382,95	382,95	382,95
Pó de Brita	255,30	255,30	255,30	255,30	255,30	255,30
Brita 5/8"	682,25	682,25	682,25	682,25	682,25	682,25
Brita 3/4"	292,40	292,40	292,40	292,40	292,40	292,40
Aditivo	-	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69
Cinza CCCB	-	-	4,61	6,91	13,82	23,04
Água	239,63	239,63	239,63	239,63	239,63	239,63
Vol. (m <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Traço (kg/kg)	1,0 : 1,385 : 2,115 : 0,52					



Quadro 33g – Resumo dos traços e suas famílias  
(PROGÊNIO, 2015)

ESTUDO DE TRAÇO - RESUMO DAS FAMÍLIA DOS TRAÇOS						
FAMÍLIA CITA C TRAÇO POBRE - TRAÇOS MOLDADOS COM CIMENTO CIPLAN CP II-Z 32						
CITA C - TRAÇOS MOLDADOS UTILIZANDO CIMENTO CP II-Z 32, ADITIVO MASTERMIX BF9,						
CINZA DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (CCCB), AREIA FINA, BRITAS 01 E 02						
TRAÇO	CITA01C	CITA01CA	CITA01CAC10	CITA01CAC15	CITA01CAC30	CITA01CAC50
a/c	0,706	0,625	0,625	0,607	0,607	0,654
C	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21
fc 3 dias	8,37	12,95	11,16	10,29	11,29	12,45
fc 7 dias	10,17	16,16	14,62	13,51	14,51	15,94
fc 14 dias	11,80	17,79	15,80	15,33	16,33	15,91
fc 28 dias	13,22	18,80	16,98	15,78	16,78	16,84
fc 60 dias	15,31	19,99	20,03	20,23		
% Arg. ( $\alpha$ )	53	53	53	53	53	53
Slump (cm)	8,00	11,00	11,00	10,00	10,00	8,00
M	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
a	2,975	2,975	2,975	2,975	2,975	2,975
p	3,525	3,525	3,525	3,525	3,525	3,525
Cinza CCCB	-	-	3,02	4,53	9,07	15,11
Aditivo (0,8%)	-	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
<b>Materias Utilizados (em kg)</b>	<b>Consumo / m<sup>3</sup></b>					
	CITA01C	CITA01CA	CITA01CAC10	CITA01CAC15	CITA01CAC30	CITA01CAC50
Cimento	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21
Areia	539,44	539,44	539,44	539,44	539,44	539,44
Pó de Brita	395,63	395,63	395,63	395,63	395,63	395,63
Brita 5/8"	745,70	745,70	745,70	745,70	745,70	745,70
Brita 3/4"	319,59	319,59	319,59	319,59	319,59	319,59
Aditivo	-	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
Cinza CCCB	-	-	3,02	4,53	9,07	15,11
Água	157,15	157,15	157,15	157,15	157,15	157,15
Vol. (m <sup>3</sup> )	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Traço (kg/kg)	1,0 : 2,975 : 3,525 : 0,52					



Quadro 33h – Resumo dos traços e suas famílias  
(PROGÊNIO, 2015)

ESTUDO DE TRAÇO - RESUMO DAS FAMÍLIA DOS TRAÇOS						
FAMÍLIA CITA C TRAÇO NORMAL - TRAÇOS MOLDADOS COM CIMENTO CIPLAN CP II-Z 32						
CITA C - TRAÇOS MOLDADOS UTILIZANDO CIMENTO CP II-Z 32, ADITIVO MASTERMIX BF9,						
CINZA DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (CCCB), AREIA FINA, BRITAS 01 E 02						
TRAÇO	CITA02C	CITA02CA	CITA02CAC10	CITA02CAC15	CITA02CAC30	CITA02CAC50
a/c	0,540	0,456	0,511	0,513	0,555	0,547
C	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01
fc 3 dias	11,65	18,83	17,88	17,10	13,55	13,39
fc 7 dias	15,08	22,33	21,00	20,59	17,06	17,91
fc 14 dias	16,72	25,54	20,70	21,32	20,10	20,73
fc 28 dias	18,96	26,99	22,08	23,10	23,62	23,77
fc 60 dias	20,43	30,11	23,22	24,13	24,49	24,54
% Arg. ( $\alpha$ )	53	53	53	53	53	53
Slump (cm)	-	-	-	-	-	-
M	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
a	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180
p	2,820	2,820	2,820	2,820	2,820	2,820
Cinza CCCB	-	-	3,65	5,48	10,95	18,25
Aditivo (0,8%)	-	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92
<b>Materias Utilizados (em kg)</b>	<b>Consumo / m<sup>3</sup></b>					
	CITA02C	CITA02CA	CITA02CAC10	CITA02CAC15	CITA02CAC30	CITA02CAC50
Cimento	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01
Areia	477,43	477,43	477,43	477,43	477,43	477,43
Pó de Brita	318,29	318,29	318,29	318,29	318,29	318,29
Brita 5/8"	720,53	720,53	720,53	720,53	720,53	720,53
Brita 3/4"	308,80	308,80	308,80	308,80	308,80	308,80
Aditivo	-	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92
Cinza CCCB	-	-	3,65	5,48	10,95	18,25
Água	189,80	189,80	189,80	189,80	189,80	189,80
Vol. (m <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Traço (kg/kg)	1,0 : 2,180 : 2,820 : 0,52					

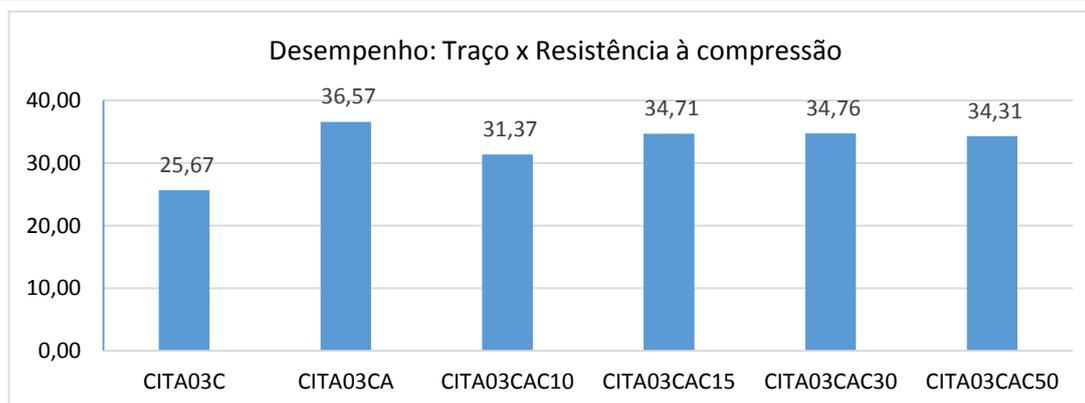
  

**Desempenho: Traço x Resistência à compressão**

Família	Resistência à compressão (fc) (MPa)
CITA02C	18,96
CITA02CA	26,99
CITA02CAC10	22,08
CITA02CAC15	23,10
CITA02CAC30	23,62
CITA02CAC50	23,77

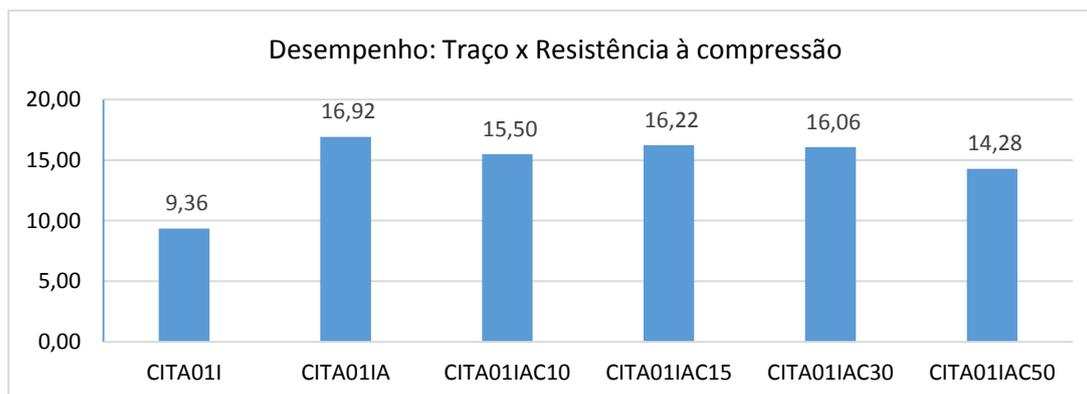
Quadro 33i – Resumo dos traços e suas famílias  
(PROGÊNIO, 2015)

ESTUDO DE TRAÇO - RESUMO DAS FAMÍLIA DOS TRAÇOS						
FAMÍLIA CITA C TRAÇO RICO - TRAÇOS MOLDADOS COM CIMENTO CIPLAN CP II-Z 32						
CITA C - TRAÇOS MOLDADOS UTILIZANDO CIMENTO CP II-Z 32, ADITIVO MASTERMIX BF9,						
CINZA DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (CCCB), AREIA FINA, BRITAS 01 E 02						
TRAÇO	CITA03C	CITA03CA	CITA03CAC10	CITA03CAC15	CITA03CAC30	CITA03CAC50
a/c	0,455	0,386	0,405	0,421	0,418	0,418
C	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83
fc 3 dias	17,75	26,81	20,49	26,22	28,83	27,29
fc 7 dias	22,71	31,73	27,56	28,85	29,31	30,80
fc 14 dias	23,19	32,03	30,60	30,50	30,17	30,72
fc 28 dias	25,67	36,57	31,37	34,71	34,76	34,31
fc 60 dias	30,04	39,66	36,59	36,95	35,42	36,12
% Arg. ( $\alpha$ )	53	53	53	53	53	53
Slump (cm)	12,00	14,00	14,00	12,00	12,00	13,00
M	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
a	1,385	1,385	1,385	1,385	1,385	1,385
p	2,115	2,115	2,115	2,115	2,115	2,115
Cinza CCCB	-	-	4,61	6,91	13,82	23,04
Aditivo (0,8%)	-	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69
<b>Materias Utilizados (em kg)</b>	<b>Consumo / m<sup>3</sup></b>					
	CITA03C	CITA03CA	CITA03CAC10	CITA03CAC15	CITA03CAC30	CITA03CAC50
Cimento	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83
Areia	382,95	382,95	382,95	382,95	382,95	382,95
Pó de Brita	255,30	255,30	255,30	255,30	255,30	255,30
Brita 5/8"	682,25	682,25	682,25	682,25	682,25	682,25
Brita 3/4"	292,40	292,40	292,40	292,40	292,40	292,40
Aditivo	-	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69
Cinza CCCB	-	-	4,61	6,91	13,82	23,04
Água	239,63	239,63	239,63	239,63	239,63	239,63
Vol. (m <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Traço (kg/kg)	1,0 : 1,385 : 2,115 : 0,52					



Quadro 33j – Resumo dos traços e suas famílias  
(PROGÊNIO, 2015)

ESTUDO DE TRAÇO - RESUMO DAS FAMÍLIA DOS TRAÇOS						
FAMÍLIA CITA C TRAÇO POBRE - TRAÇOS MOLDADOS COM CIMENTO ITAU CP IV 32						
CITA C - TRAÇOS MOLDADOS UTILIZANDO CIMENTO CP IV 32, ADITIVO MASTERMIX BF9, CINZA DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (CCCB), AREIA FINA, BRITAS 01 E 02						
TRAÇO	CITA01I	CITA01IA	CITA01IAC10	CITA01IAC15	CITA01IAC30	CITA01IAC50
a/c	0,737	0,730	0,607	0,607	0,607	0,641
C	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21
fc 3 dias	6,71	11,99	10,93	12,73	12,10	8,69
fc 7 dias	9,30	15,66	12,36	12,30	12,52	11,73
fc 14 dias	9,79	17,07	14,10	14,07	15,19	13,96
fc 28 dias	9,36	16,92	15,50	16,22	16,06	14,28
fc 60 dias	9,96	17,24	15,61	16,37	16,35	14,45
% Arg. ( $\alpha$ )	53	53	53	53	53	53
Slump (cm)	-	-	-	-	-	-
M	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
a	2,975	2,975	2,975	2,975	2,975	2,975
p	3,525	3,525	3,525	3,525	3,525	3,525
Cinza CCCB	-	-	3,02	4,53	9,07	15,11
Aditivo (0,8%)	-	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
<b>Materias Utilizados (em kg)</b>	<b>Consumo / m<sup>3</sup></b>					
	CITA01I	CITA01IA	CITA01IAC10	CITA01IAC15	CITA01IAC30	CITA01IAC50
Cimento	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21	302,21
Areia	539,44	539,44	539,44	539,44	539,44	539,44
Pó de Brita	395,63	395,63	395,63	395,63	395,63	395,63
Brita 5/8"	745,70	745,70	745,70	745,70	745,70	745,70
Brita 3/4"	319,59	319,59	319,59	319,59	319,59	319,59
Aditivo	-	2,42	2,42	2,42	2,42	2,42
Cinza CCCB	-	-	3,02	4,53	9,07	15,11
Água	157,15	157,15	157,15	157,15	157,15	157,15
Vol. (m <sup>3</sup> )	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Traço (kg/kg)	1,0 : 2,975 : 3,525 : 0,52					



Quadro 33I – Resumo dos traços e suas famílias  
(PROGÊNIO, 2015)

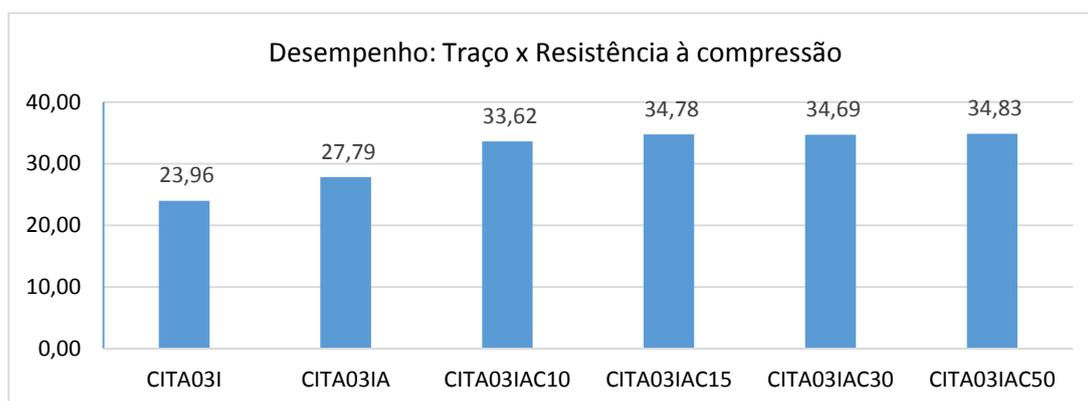
ESTUDO DE TRAÇO - RESUMO DAS FAMÍLIA DOS TRAÇOS						
FAMÍLIA CITA C TRAÇO NORMAL - TRAÇOS MOLDADOS COM CIMENTO ITAU CP IV 32						
CITA C - TRAÇOS MOLDADOS UTILIZANDO CIMENTO CP IV 32, ADITIVO MASTERMIX BF9, CINZA DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (CCCB), AREIA FINA, BRITAS 01 E 02						
TRAÇO	CITA02I	CITA02IA	CITA02IAC10	CITA02IAC15	CITA02IAC30	CITA02IAC50
a/c	0,627	0,587	0,540	0,532	0,611	0,595
C	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01
fc 3 dias	12,20	14,75	14,13	16,38	17,59	17,75
fc 7 dias	13,46	16,08	20,81	22,95	23,93	25,27
fc 14 dias	14,79	16,23	23,43	25,06	24,83	24,35
fc 28 dias	17,35	18,74	23,90	25,89	26,72	26,97
fc 60 dias	17,38	18,76	24,37	26,19	27,20	27,64
% Arg. ( $\alpha$ )	53	53	53	53	53	53
Slump (cm)	8,00	11,00	12,00	9,00	12,00	12,00
M	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
a	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180	2,180
p	2,820	2,820	2,820	2,820	2,820	2,820
Cinza CCCB	-	-	3,65	5,48	10,95	18,25
Aditivo (0,8%)	-	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92
<b>Materias Utilizados (em kg)</b>	<b>Consumo / m<sup>3</sup></b>					
	CITA02I	CITA02IA	CITA02IAC10	CITA02IAC15	CITA02IAC30	CITA02IAC50
Cimento	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01	365,01
Areia	477,43	477,43	477,43	477,43	477,43	477,43
Pó de Brita	318,29	318,29	318,29	318,29	318,29	318,29
Brita 5/8"	720,53	720,53	720,53	720,53	720,53	720,53
Brita 3/4"	308,80	308,80	308,80	308,80	308,80	308,80
Aditivo	-	2,92	2,92	2,92	2,92	2,92
Cinza CCCB	-	-	3,65	5,48	10,95	18,25
Água	189,80	189,80	189,80	189,80	189,80	189,80
Vol. (m <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Traço (kg/kg)	1,0 : 2,180 : 2,820 : 0,52					

Desempenho: Traço x Resistência à compressão						
CITA02I	CITA02IA	CITA02IAC10	CITA02IAC15	CITA02IAC30	CITA02IAC50	
17,35	18,74	23,90	25,89	26,72	26,97	

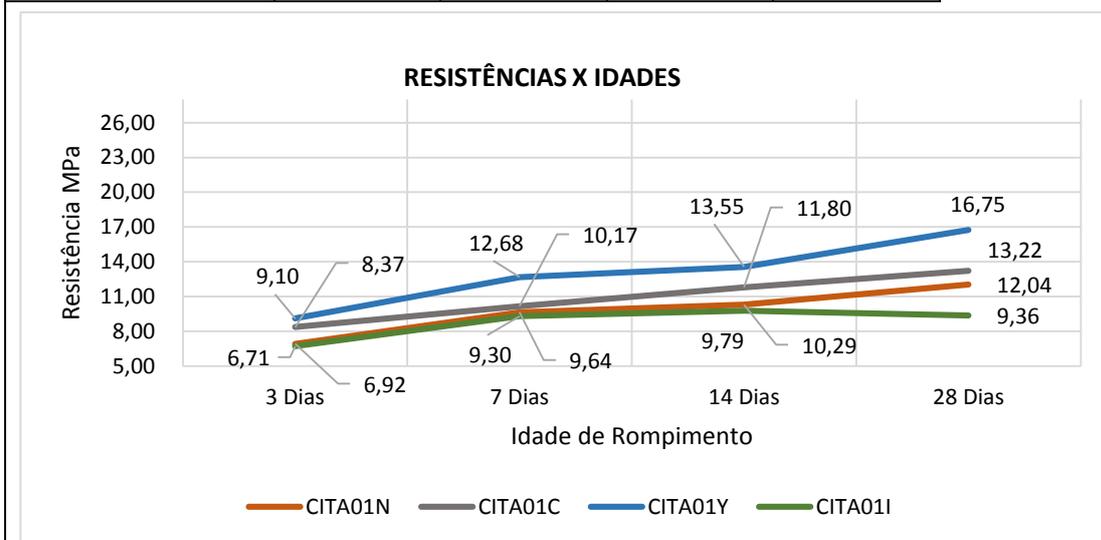
Quadro 33m – Resumo dos traços e suas famílias  
(PROGÊNIO, 2015)

ESTUDO DE TRAÇO - RESUMO DAS FAMÍLIA DOS TRAÇOS						
FAMÍLIA CITA C TRAÇO RICO - TRAÇOS MOLDADOS COM CIMENTO ITAU CP IV 32						
CITA C - TRAÇOS MOLDADOS UTILIZANDO CIMENTO CP IV 32, ADITIVO MASTERMIX BF9, CINZA DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL (CCCB), AREIA FINA, BRITAS 01 E 02						
TRAÇO	CITA03I	CITA03IA	CITA03IAC10	CITA03IAC15	CITA03IAC30	CITA03IAC50
a/c	0,519	0,488	0,527	0,515	0,499	0,512
C	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83
fc 3 dias	18,67	20,85	24,44	22,82	25,62	24,08
fc 7 dias	20,32	21,71	28,77	29,98	31,18	31,89
fc 14 dias	20,95	22,88	31,02	30,93	33,78	33,42
fc 28 dias	23,96	27,79	33,62	34,78	34,69	34,83
fc 60 dias	25,37	28,17	35,57	37,61	38,54	36,99
% Arg. ( $\alpha$ )	53	53	53	53	53	53
Slump (cm)	8,00	14,00	14,00	15,00	13,00	12,00
M	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
a	1,385	1,385	1,385	1,385	1,385	1,385
p	2,115	2,115	2,115	2,115	2,115	2,115
Cinza CCCB	-	-	4,61	6,91	13,82	23,04
Aditivo (0,8%)	-	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69
<b>Materias Utilizados (em kg)</b>	<b>Consumo / m<sup>3</sup></b>					
	CITA03I	CITA03IA	CITA03IAC10	CITA03IAC15	CITA03IAC30	CITA03IAC50
Cimento	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83	460,83
Areia	382,95	382,95	382,95	382,95	382,95	382,95
Pó de Brita	255,30	255,30	255,30	255,30	255,30	255,30
Brita 5/8"	682,25	682,25	682,25	682,25	682,25	682,25
Brita 3/4"	292,40	292,40	292,40	292,40	292,40	292,40
Aditivo	-	3,69	3,69	3,69	3,69	3,69
Cinza CCCB	-	-	4,61	6,91	13,82	23,04
Água	239,63	239,63	239,63	239,63	239,63	239,63
Vol. (m <sup>3</sup> )	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Traço (kg/kg)	1,0 : 1,385 : 2,115 : 0,52					

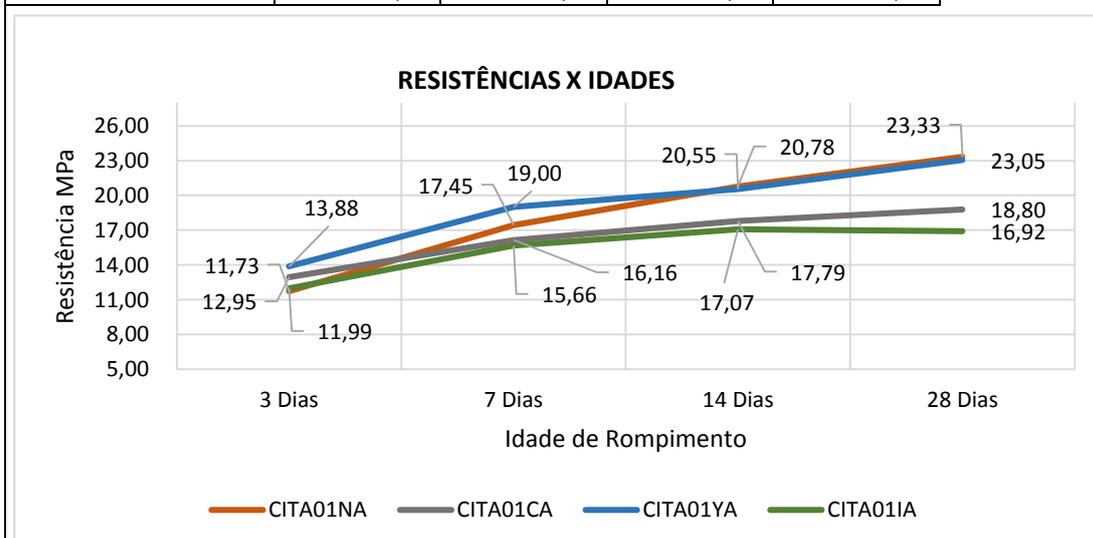


Quadro 34a – Comparativo dos valores das resistências à compressão  
(PROGÊNIO, 2015)

RESISTÊNCIAS	CITA01N	CITA01C	CITA01Y	CITA01I
3 Dias	6,92	8,37	9,10	6,71
7 Dias	9,64	10,17	12,68	9,30
14 Dias	10,29	11,80	13,55	9,79
28 Dias	12,04	13,22	16,75	9,36
60 Dias	13,50	15,31	27,17	9,96

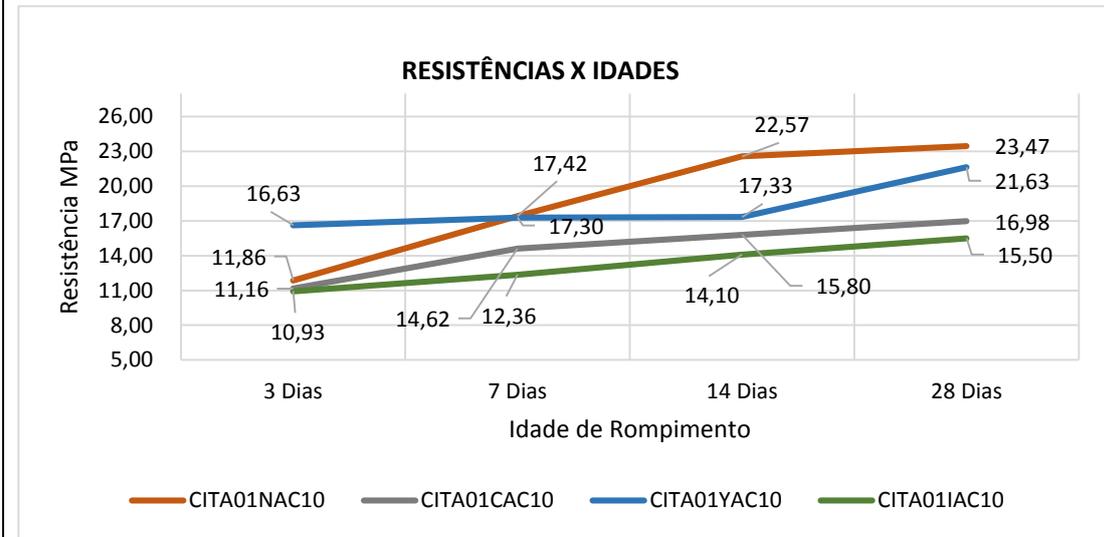


RESISTÊNCIAS	CITA01NA	CITA01CA	CITA01YA	CITA01IA
3 Dias	11,73	12,95	13,88	11,99
7 Dias	17,45	16,16	19,00	15,66
14 Dias	20,78	17,79	20,55	17,07
28 Dias	23,33	18,80	23,05	16,92
60 Dias	24,89	19,99	28,63	17,24

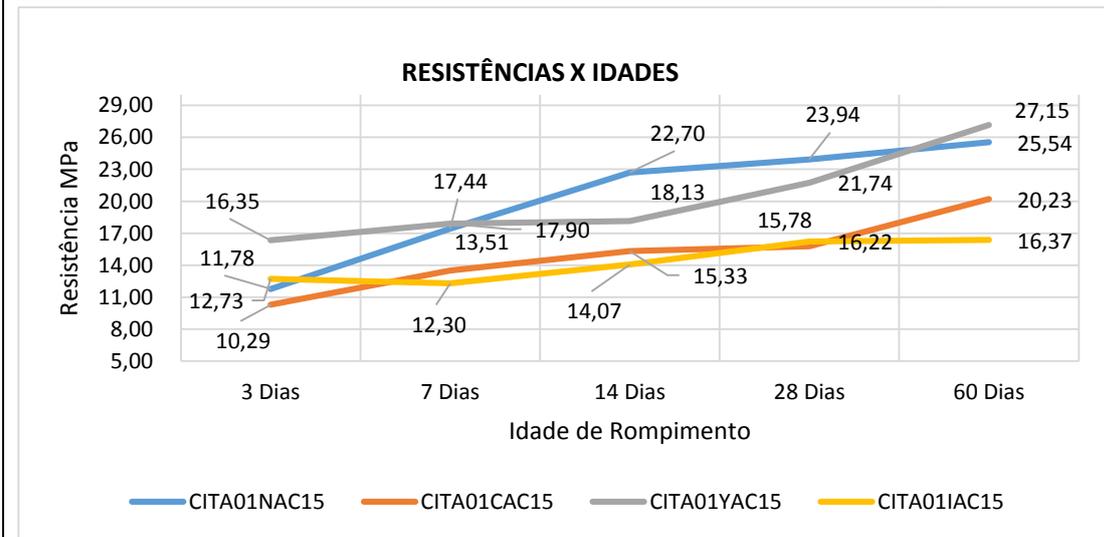


Quadro 34b – Comparativo dos valores das resistências à compressão  
(PROGÊNIO, 2015)

RESISTÊNCIAS	CITA01NAC10	CITA01CAC10	CITA01YAC10	CITA01IAC10
3 Dias	11,86	11,16	16,63	10,93
7 Dias	17,42	14,62	17,30	12,36
14 Dias	22,57	15,80	17,33	14,10
28 Dias	23,47	16,98	21,63	15,50
60 Dias	24,88	20,03	24,79	15,61

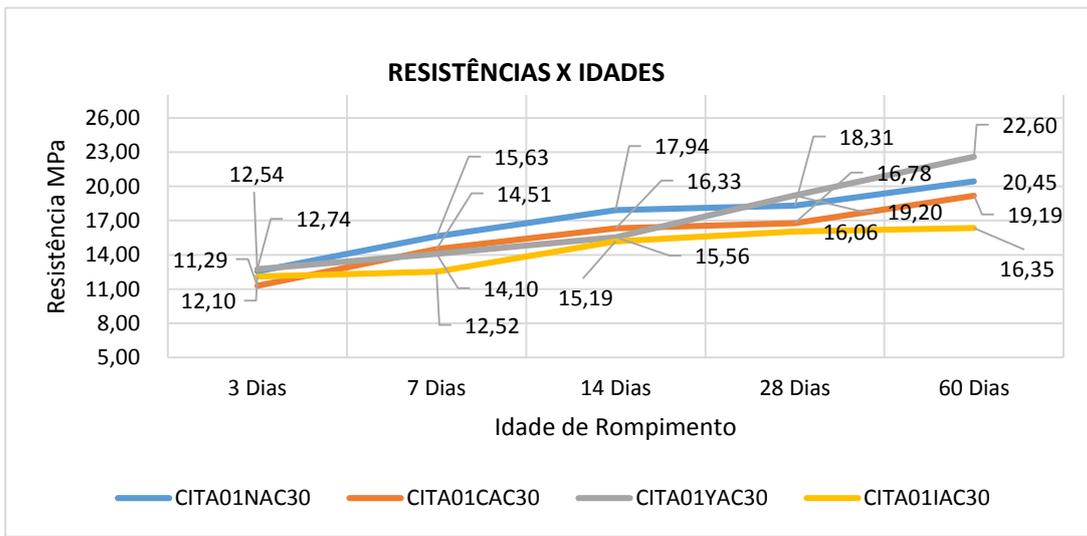


RESISTÊNCIAS	CITA01NAC15	CITA01CAC15	CITA01YAC15	CITA01IAC15
3 Dias	11,78	10,29	16,35	12,73
7 Dias	17,44	13,51	17,90	12,30
14 Dias	22,70	15,33	18,13	14,07
28 Dias	23,94	15,78	21,74	16,22
60 Dias	25,54	20,23	27,15	16,37

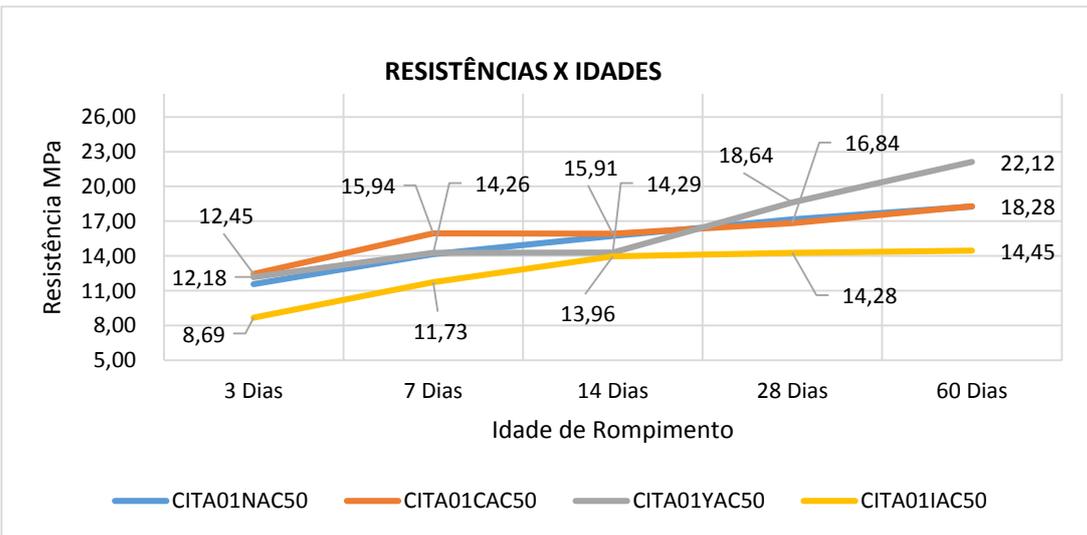


Quadro 34c – Comparativo dos valores das resistências à compressão  
(PROGÊNIO, 2015)

RESISTÊNCIAS	CITA01NAC30	CITA01CAC30	CITA01YAC30	CITA01IAC30
3 Dias	12,54	11,29	12,74	12,10
7 Dias	15,63	14,51	14,10	12,52
14 Dias	17,94	16,33	15,56	15,19
28 Dias	18,31	16,78	19,20	16,06
60 Dias	20,45	19,19	22,60	16,35

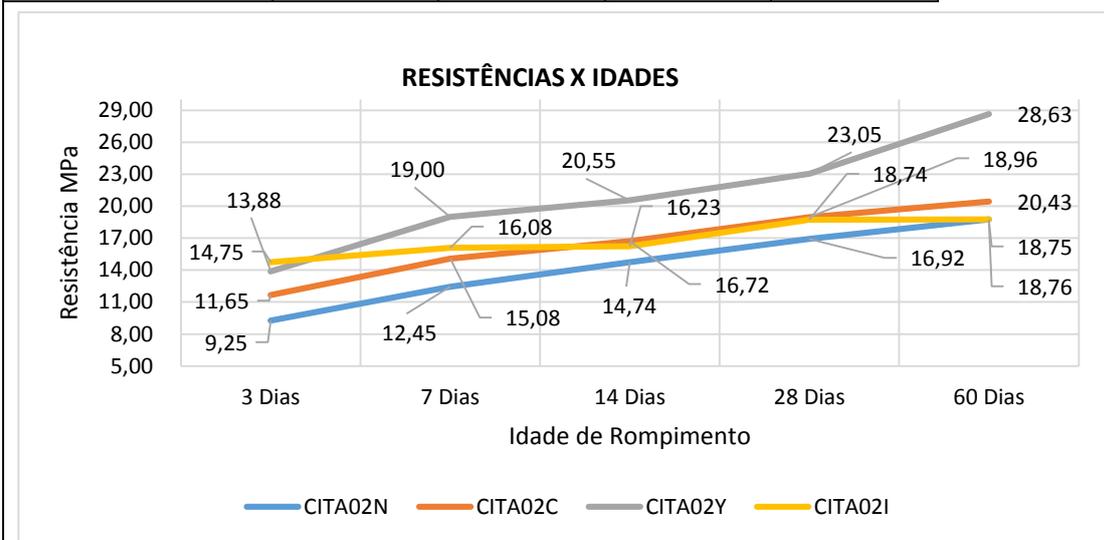


RESISTÊNCIAS	CITA01NAC50	CITA01CAC50	CITA01YAC50	CITA01IAC50
3 Dias	11,56	12,45	12,18	8,69
7 Dias	14,16	15,94	14,26	11,73
14 Dias	15,74	15,91	14,29	13,96
28 Dias	17,16	16,84	18,64	14,28
60 Dias	18,27	18,28	22,12	14,45

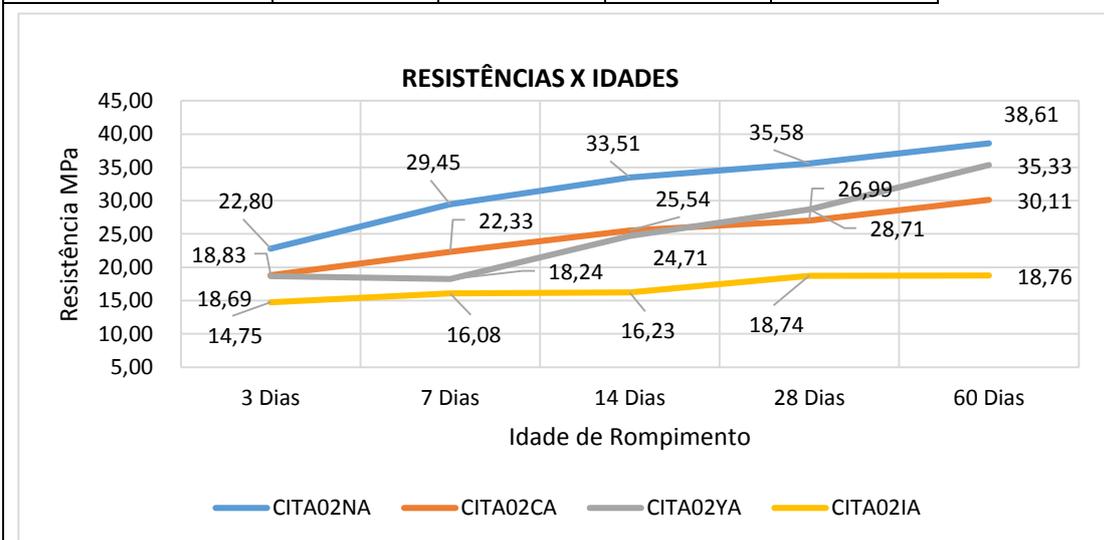


Quadro 34d – Comparativo dos valores das resistências à compressão  
(PROGÊNIO, 2015)

RESISTÊNCIAS	CITA02N	CITA02C	CITA02Y	CITA02I
3 Dias	9,25	11,65	13,88	14,75
7 Dias	12,45	15,08	19,00	16,08
14 Dias	14,74	16,72	20,55	16,23
28 Dias	16,92	18,96	23,05	18,74
60 Dias	18,75	20,43	28,63	18,76

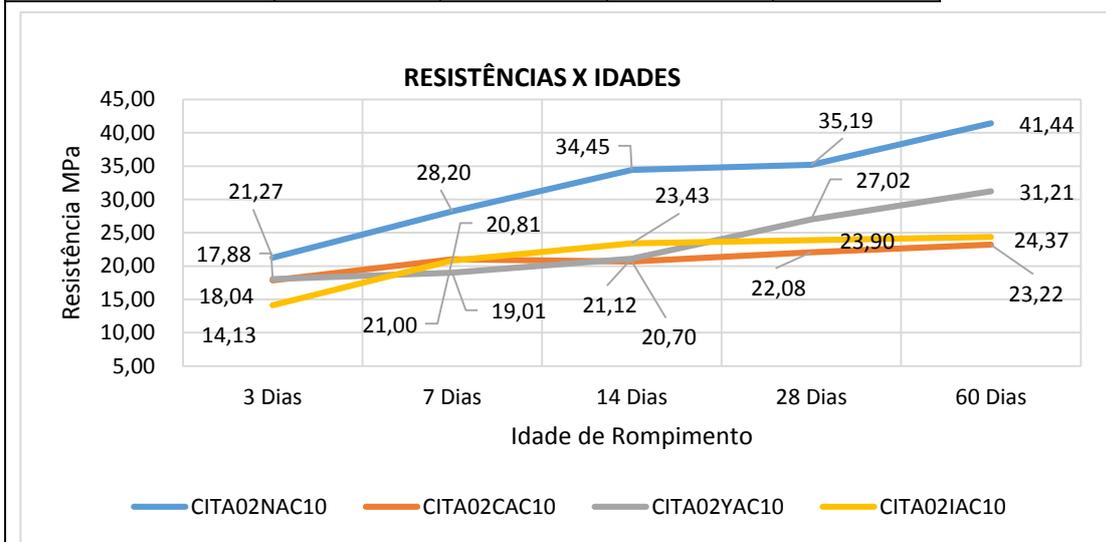


RESISTÊNCIAS	CITA02NA	CITA02CA	CITA02YA	CITA02IA
3 Dias	22,80	18,83	18,69	14,75
7 Dias	29,45	22,33	18,24	16,08
14 Dias	33,51	25,54	24,71	16,23
28 Dias	35,58	26,99	28,71	18,74
60 Dias	38,61	30,11	35,33	18,76

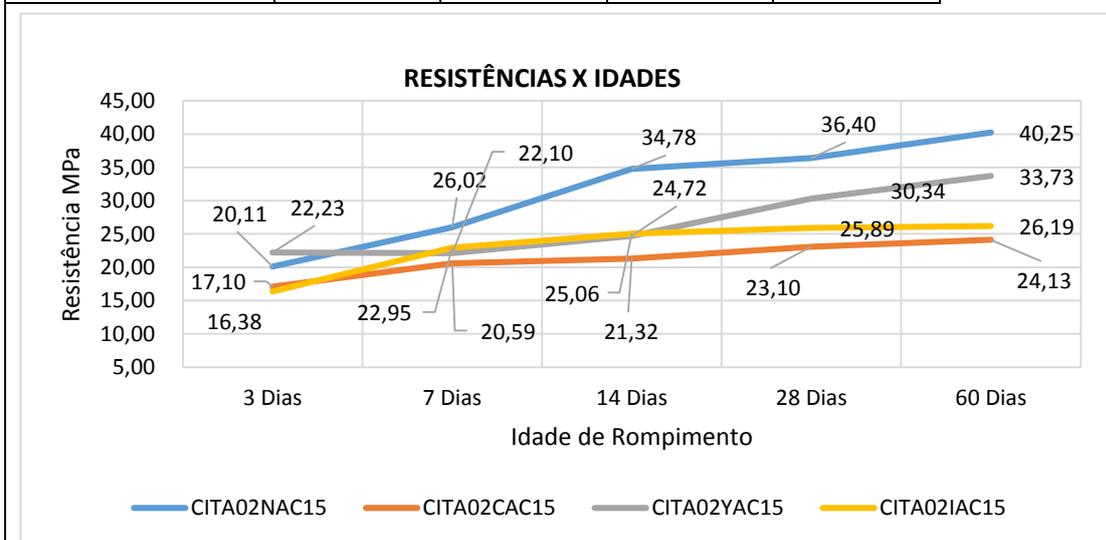


Quadro 34e – Comparativo dos valores das resistências à compressão  
(PROGÊNIO, 2015)

RESISTÊNCIAS	CITA02NAC10	CITA02CAC10	CITA02YAC10	CITA02IAC10
3 Dias	21,27	17,88	18,04	14,13
7 Dias	28,20	21,00	19,01	20,81
14 Dias	34,45	20,70	21,12	23,43
28 Dias	35,19	22,08	27,02	23,90
60 Dias	41,44	23,22	31,21	24,37

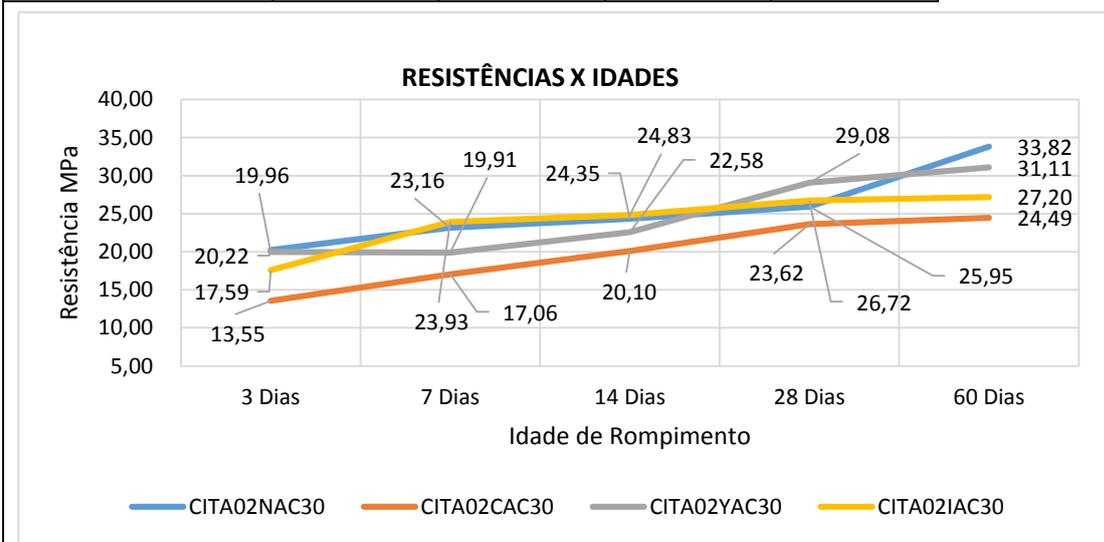


RESISTÊNCIAS	CITA02NAC15	CITA02CAC15	CITA02YAC15	CITA02IAC15
3 Dias	20,11	17,10	22,23	16,38
7 Dias	26,02	20,59	22,10	22,95
14 Dias	34,78	21,32	24,72	25,06
28 Dias	36,40	23,10	30,34	25,89
60 Dias	40,25	24,13	33,73	26,19

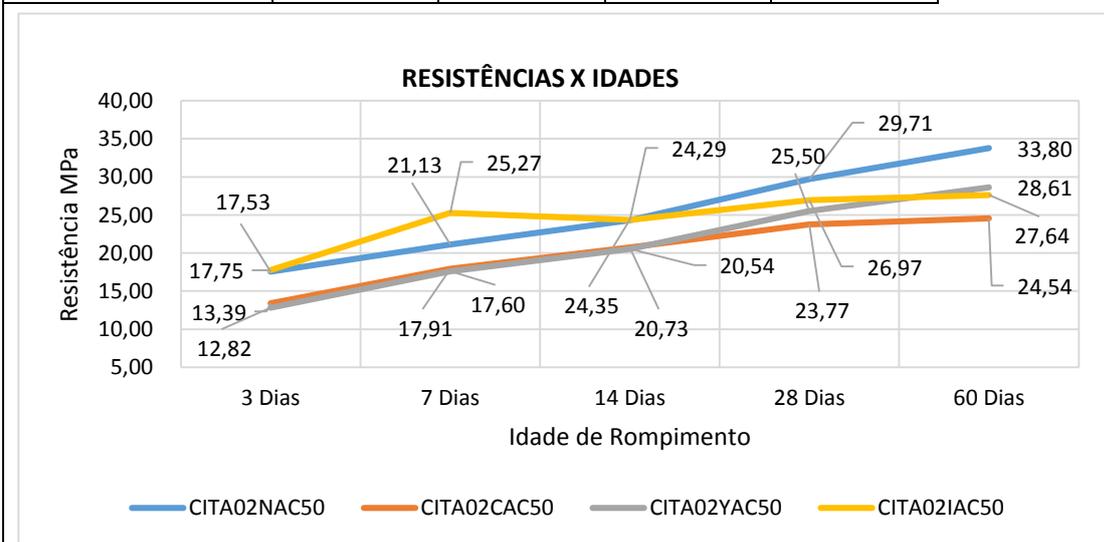


Quadro 34f – Comparativo dos valores das resistências à compressão  
(PROGÊNIO, 2015)

RESISTÊNCIAS	CITA02NAC30	CITA02CAC30	CITA02YAC30	CITA02IAC30
3 Dias	20,22	13,55	19,96	17,59
7 Dias	23,16	17,06	19,91	23,93
14 Dias	24,35	20,10	22,58	24,83
28 Dias	25,95	23,62	26,72	29,08
60 Dias	33,82	24,49	31,11	27,20

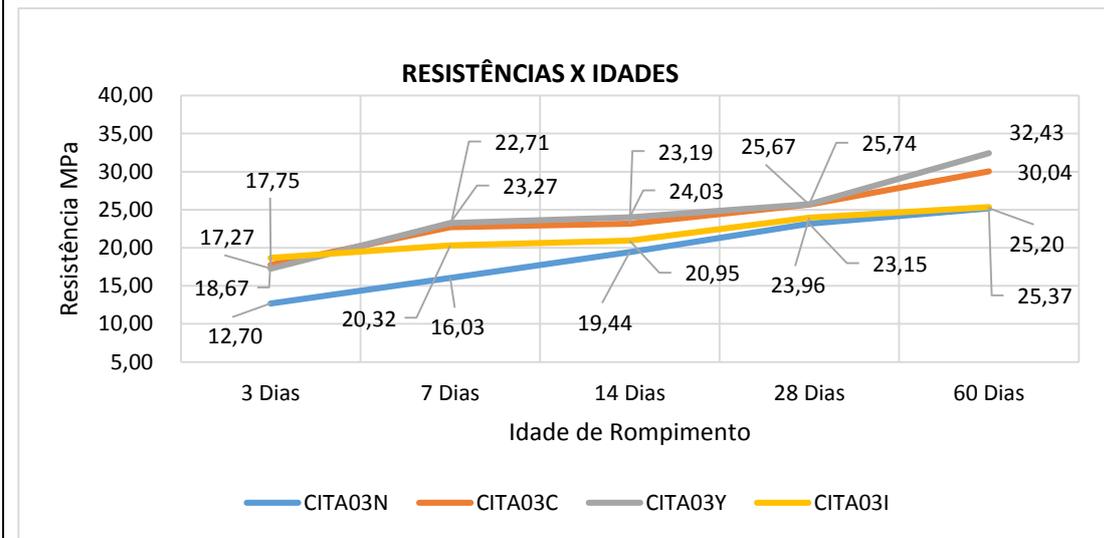


RESISTÊNCIAS	CITA02NAC50	CITA02CAC50	CITA02YAC50	CITA02IAC50
3 Dias	17,53	13,39	12,82	17,75
7 Dias	21,13	17,91	17,60	25,27
14 Dias	24,29	20,73	20,54	24,35
28 Dias	29,71	23,77	25,50	26,97
60 Dias	33,80	24,54	28,61	27,64

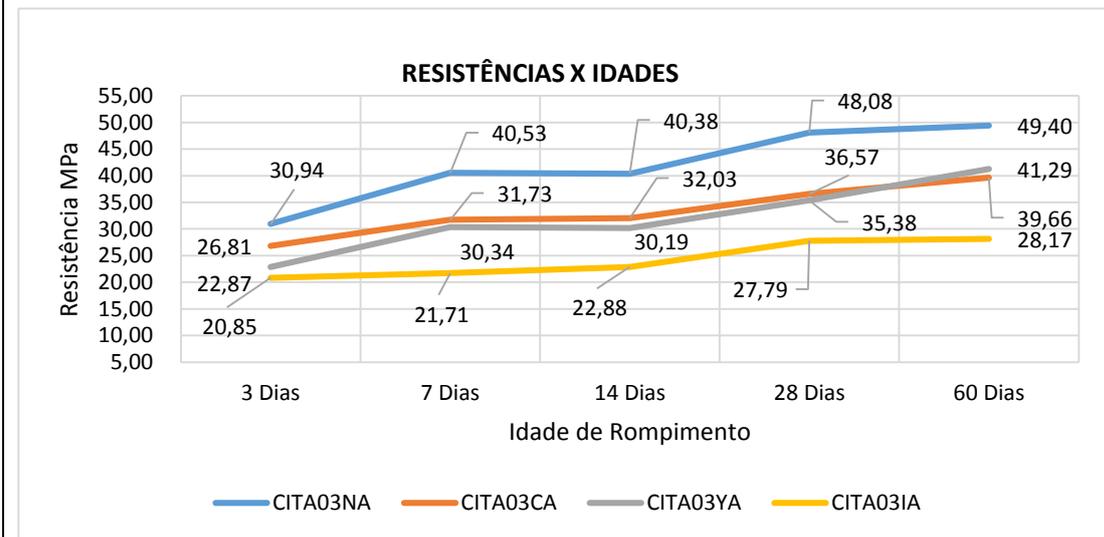


Quadro 34g – Comparativo dos valores das resistências à compressão  
(PROGÊNIO, 2015)

RESISTÊNCIAS	CITA03N	CITA03C	CITA03Y	CITA03I
3 Dias	12,70	17,75	17,27	18,67
7 Dias	16,03	22,71	23,27	20,32
14 Dias	19,44	23,19	24,03	20,95
28 Dias	23,15	25,67	25,74	23,96
60 Dias	25,20	30,04	32,43	25,37

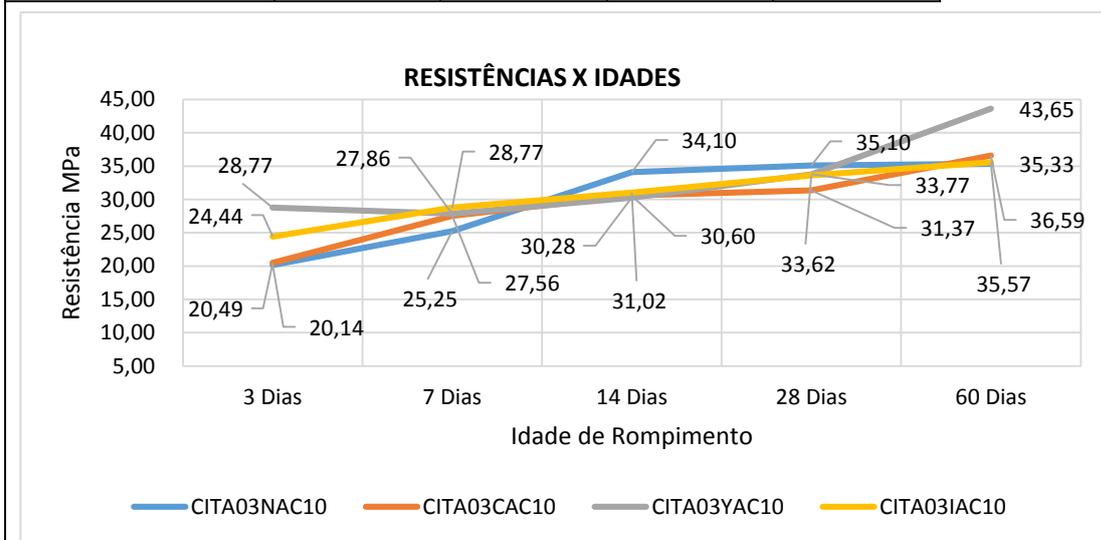


RESISTÊNCIAS	CITA03NA	CITA03CA	CITA03YA	CITA03IA
3 Dias	30,94	26,81	22,87	20,85
7 Dias	40,53	31,73	30,34	21,71
14 Dias	40,38	32,03	30,19	22,88
28 Dias	48,08	36,57	35,38	27,79
60 Dias	49,40	39,66	41,29	28,17

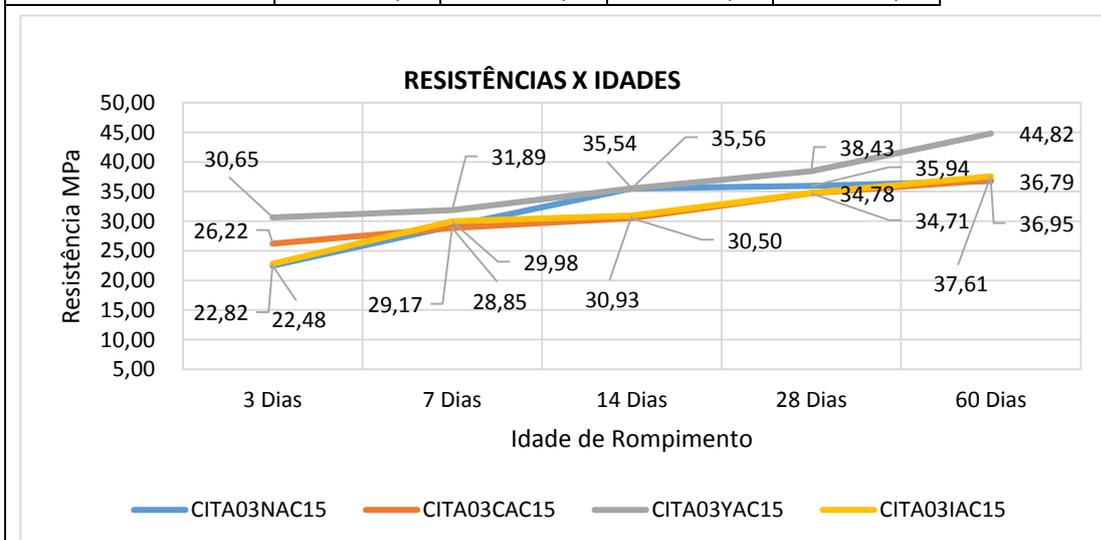


Quadro 34h – Comparativo dos valores das resistências à compressão  
(PROGÊNIO, 2015)

RESISTÊNCIAS	CITA03NAC10	CITA03CAC10	CITA03YAC10	CITA03IAC10
3 Dias	20,14	20,49	28,77	24,44
7 Dias	25,25	27,56	27,86	28,77
14 Dias	34,10	30,60	30,28	31,02
28 Dias	35,10	31,37	33,77	33,62
60 Dias	35,33	36,59	43,65	35,57

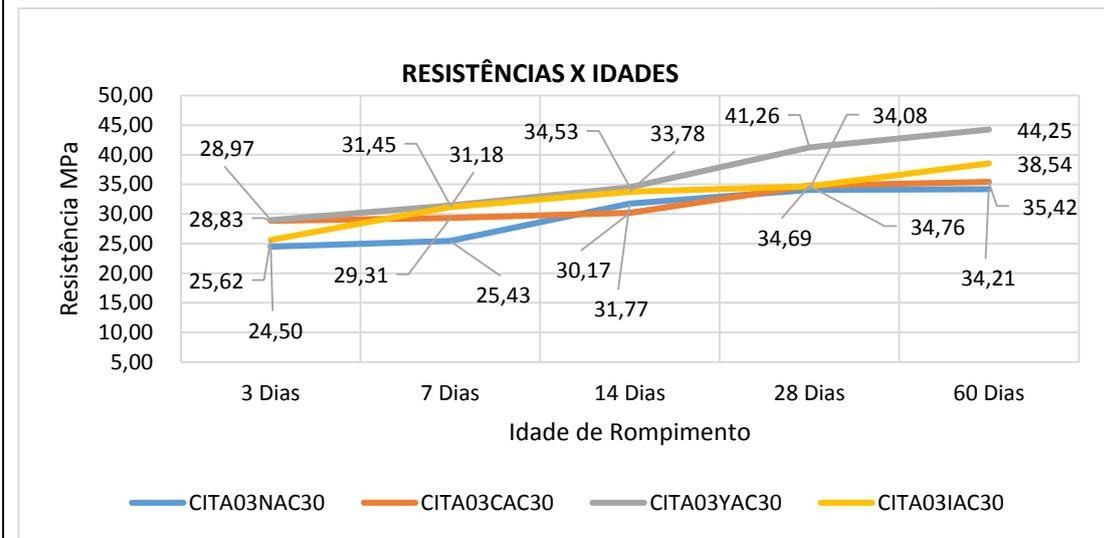


RESISTÊNCIAS	CITA03NAC15	CITA03CAC15	CITA03YAC15	CITA03IAC15
3 Dias	22,48	26,22	30,65	22,82
7 Dias	29,17	28,85	31,89	29,98
14 Dias	35,56	30,50	35,54	30,93
28 Dias	35,94	34,71	38,43	34,78
60 Dias	36,79	36,95	44,82	37,61

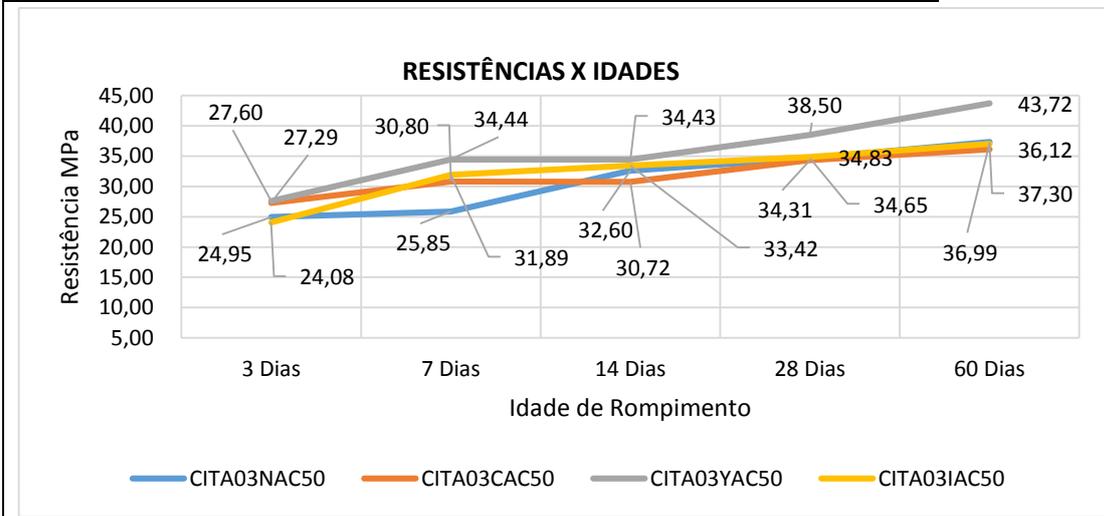


Quadro 34i – Comparativo dos valores das resistências à compressão  
(PROGÊNIO, 2015)

RESISTÊNCIAS	CITA03NAC30	CITA03CAC30	CITA03YAC30	CITA03IAC30
3 Dias	24,50	28,83	28,97	25,62
7 Dias	25,43	29,31	31,45	31,18
14 Dias	31,77	30,17	34,53	33,78
28 Dias	34,08	34,76	41,26	34,69
60 Dias	34,21	35,42	44,25	38,54



RESISTÊNCIAS	CITA03NAC50	CITA03CAC50	CITA03YAC50	CITA03IAC50
3 Dias	24,95	27,29	27,60	24,08
7 Dias	25,85	30,80	34,44	31,89
14 Dias	32,60	30,72	34,43	33,42
28 Dias	34,65	34,31	38,50	34,83
60 Dias	37,30	36,12	43,72	36,99



Os resultados apresentaram melhores desempenhos para os concretos confeccionados com o uso de aditivo e percentual de cinza de 3%. O quadro 34 apresenta um comparativo dos traços, entre famílias estudadas e as variações realizadas, entre os consumo de cimento e adições de percentual de cinza.

Quadro 35a – Comparativo das resistências à compressão aos 28 dias – Traço Pobre  
(PROGÊNIO, 2015)

RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA01N 12,04	CITA01C 13,22	CITA01Y 16,75	CITA01I 9,36
RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA01NA 23,33	CITA01CA 18,80	CITA01YA 23,05	CITA01IA 16,92
RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA01NAC10 23,47	CITA01CAC10 16,98	CITA01YAC10 21,63	CITA01IAC10 15,50
RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA01NAC15 23,94	CITA01CAC15 15,78	CITA01YAC15 21,74	CITA01IAC15 16,22
RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA01NAC30 18,31	CITA01CAC30 16,78	CITA01YAC30 19,20	CITA01IAC30 16,06
RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA01NAC50 17,16	CITA01CAC50 16,84	CITA01YAC50 18,64	CITA01IAC50 14,28

Quadro 35b – Comparativo das resistências à compressão aos 28 dias – Traço Normal  
(PROGÊNIO, 2015)

RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA02N 16,92	CITA02C 18,96	CITA02Y 23,05	CITA02I 18,74
RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA02NA 35,58	CITA02CA 26,99	CITA02YA 28,71	CITA02IA 18,74
RESISTÊNCIAS 28 Dias	- -	CITA02NAC10 35,19	CITA02CAC10 22,08	CITA02YAC10 27,02	CITA02IAC10 23,90
RESISTÊNCIAS 28 Dias	- -	CITA02NAC15 36,40	CITA02CAC15 23,10	CITA02YAC15 30,34	CITA02IAC15 25,89
RESISTÊNCIAS 28 Dias	- -	CITA02NAC30 25,95	CITA02CAC30 23,62	CITA02YAC30 29,08	CITA02IAC30 26,72
RESISTÊNCIAS 28 Dias	- -	CITA02NAC50 29,71	CITA02CAC50 23,77	CITA02YAC50 25,50	CITA02IAC50 26,97

Quadro 35c – Comparativo das resistências à compressão aos 28 dias – Traço Rico  
(PROGÊNIO, 2015)

RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA03N 23,15	CITA03C 25,67	CITA03Y 25,74	CITA03I 23,96
RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA03NA 48,08	CITA03CA 36,57	CITA03YA 35,38	CITA03IA 27,79
RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA03NAC10 35,10	CITA03CAC10 31,37	CITA03YAC10 33,77	CITA03IAC10 33,62
RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA03NAC15 35,94	CITA03CAC15 34,71	CITA03YAC15 38,43	CITA03IAC15 34,78
RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA03NAC30 34,08	CITA03CAC30 34,76	CITA03YAC30 41,26	CITA03IAC30 34,69
RESISTÊNCIAS 28 Dias (MPa)	- -	CITA03NAC50 34,65	CITA03CAC50 34,31	CITA03YAC50 38,50	CITA03IAC50 34,83

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nesta pesquisa, são referente aos estudos de traço de concreto com a adição de produto proveniente da calcinação da casca da castanha do Brasil, aqui identificada por CCCB – Cinza da Casca da Castanha do Brasil.

A identificação dos materiais disponíveis e sua caracterização foram parte desse trabalho. Foi identificado que um dos agregados miúdos utilizados na confecção dos traços de concreto, se encontra fora dos padrões normativos, é o caso da areia fina do rio Acre. Por isso, a sua utilização só foi possível com a correção da granulometria com percentual de pó de brita, nas proporções de 60% de areia fina e 40% de pó de brita, fazendo com que a curva granulométrica do agregado miúdo se tornasse mais adequada ao uso, porém, está ainda se manteve fora das zonas ótimas e utilizáveis em alguns pontos. Por não haver alternativas de materiais para a composição dos traços de concretos foi utilizado esse agregado miúdo, proveniente dessa mistura. Devido ao grande teor de finos da areia, seu diâmetro máximo muito reduzido, ficando em 0,89, e a presença de material pulverulento no pó de brita, proporcionaram um pequeno aumento no consumo de água, alterando o fator água/cimento ( $a/c$ ) calculado para os traços. Esse fato foi evidenciado fortemente nos concretos confeccionados no primeiro traço de estudo, onde não houve a adição do aditivo polifuncional. Esse aspecto foi melhorando e reduzindo na presença do aditivo e com a utilização da CCCB.

Os cimentos utilizados apresentaram comportamento diferentes, tanto nos resultados das resistências à compressão quanto nos aspectos relacionados a confecção e manuseio do concreto. Embora tenha-se trabalhado com três marcas que apresentavam classificações semelhantes, tipo CP IV – 32MPa, que foi o caso do NASSAU, ITAÚ e YURA, essas marcas não apresentaram resultados aproximados, principalmente quanto as resistências à compressão. Em particular, o cimento ITAÚ apresentou resultados significativamente inferiores, quando mantidos próximos os critérios de trabalhabilidade e abatimento; esse fato ocorreu principalmente pela necessidade que este cimento apresentou de maior quantidade de água no traço para se garantir a sua trabalhabilidade e abatimento. Mesmo com a utilização do aditivo polifuncional as respostas não foram positivas, o que nos leva a concluir que esta marca necessita de um tralho específico que possa levar um correção nos consumos de cimento em função da alteração do  $a/c$  desses concretos elaborados com essa

marca. Porém, de um modo geral, as marcas se comportam bem com a utilização do aditivo químico, tendo suas resistências aumentadas consideravelmente aos 28 dias e tiveram uma boa resposta com a adição da CCCB nas porcentagens de 1,5% e 3%. Não foi identificado qualquer restrição a respeito da utilização das marcas estudadas na pesquisa, entretanto, um dos objetivos foi manter parâmetros iguais, com a finalidade de avaliar o comportamento dos concretos com a adição da CCCB, por isso, para casos específicos de obras, é necessária adequação dos estudos de traços, em especial a resposta desses traços ao fator  $a/c$  e o comportamento dos agregados estudados nos concretos.

A utilização da CCCB apresentou alteração visível no comportamento dos concretos apenas nas adições acima de 1%. Os concretos elaborados com o percentual de 1,5%, 3% e 5% mostraram uma pequena redução no consumo de água e melhora na trabalhabilidade, esse fato se justifica pela adição de finos ao traço de concreto, o que favorece esse tipo de comportamento. Nas marcas NASSAU, CIPLAN e YURA, essa alteração foi evidente, não se mostrando tão significativa nos concretos confeccionados com a marca ITAÚ. Outra característica já esperada, foi a mudança na coloração dos concretos, para os percentuais de 3% e 5%, mostrou concreto mais escuros do que aqueles confeccionados sem adição de CCCB. A presença em maiores quantidades dos elementos químicos, identificados por ensaio de difração de raios X, foram o carbono, oxigênio, silício e alumínio. Não foi possível identificar na pesquisa, e também não foi um dos objetivos definidos, possíveis reações deletérias em função desses elementos químicos provenientes da CCCB, ficando esse assunto para aprofundamento em outros trabalhos.

No que diz respeito aos resultados dos ensaios de resistências à compressão foram identificadas algumas características benéficas referente a utilização da CCCB. Primeiramente é preciso entender que a comparação dos resultados é melhor avaliada, quando se faz essa análise com cada família específica de cada traço estudado, portanto, os traços de concretos chamados de pobre, com consumo de  $302,21 \text{ kg/m}^3$ , o traço chamado de normal, com consumo de  $365,01 \text{ kg/m}^3$ , e o traço rico, com consumo de  $460,83 \text{ kg/m}^3$ , tiveram seus resultados comparados entre si, fazendo-se variar o uso dos percentuais de CCCB e no primeiro traço não foi utilizado nem a cinza e nem o aditivo polifuncional. O comparativo também se deu entre as marcas de cimentos utilizadas e a idade de referência para aferição da resistência à compressão foi aos 28 dias. Uma característica comum de comportamento se repetiu nos três

traços (pobre, normal e rico) e com as quatro marcas de cimento, NASSAU, CIPLAN, YURA e ITAÚ, que é um acréscimo no valor da resistência à compressão até a adição de 1,5% da cinza e após esse valor há uma leve queda nos valores. As maiores resistências foram, evidentemente, nos traços ricos por apresentarem os maiores consumos de cimento por metro cúbico, porém, analisando individualmente, no traço pobre o melhor desempenho ficou com o cimento da marca NASSAU e com o percentual de 1,5% de CCCB e utilização de aditivo; no traço normal, novamente o melhor desempenho foi com o cimento da marca NASSAU e com o mesmo percentual de cinza; por último, no traço rico, o melhor desempenho foi com o cimento da marca YURA e com percentual de 3% de CCCB e utilização de aditivo. O maior valor global obtido no estudo foi 41,26 MPa no traço rico com cimento YURA, 3% de CCCB e com uso de aditivo polifuncional. Em todos os traços os menores valores obtidos para a resistência à compressão foram os concretos confeccionados com a marca ITAÚ. O menor valor obtido no estudo foi de 9,36 MPa, no traço pobre com cimento ITAÚ, sem uso de cinza e nem aditivo químico.

Como conclusão sobre os resultados e o posicionamento sobre a utilização da CCCB, pode-se definir como viável a utilização, principalmente quando são levados em consideração os aspectos da possibilidade de redução de consumo de água de amassamento dos concreto, melhora na trabalhabilidade e a possibilidade de redução do passivo ambiental gerado pela indústria de produção de concretos, que tem uso contínuo e em grade escala de água para a produção dos mesmo. No que diz respeito aos valores da resistência à compressão não se pode afirmar que os ganhos sejam exclusivamente relacionados ao uso da CCCB, pois a redução do consumo de água, e conseqüentemente redução do fator  $a/c$ , já pode proporcionar esse ganho de resistência e não diretamente ao uso da CCCB. Portanto, o uso tem aspectos técnicos importantes que podem e devem ser levados em considerações na utilização de adições em concretos; e por último, existe o aspecto ambiental que envolve toda a cadeia produtiva da castanha do Brasil. Se identifica o uso da semente em diversas áreas e de um modo geral a casca é utilizada como fonte de energia através da queima para geração de energia térmica nas indústrias de produção, sobrando a cinza que ainda não tem finalidade definida. Esse trabalho promove o fechamento desse ciclo quando propõe o uso da CCCB como adição no concreto, permitindo atingir a sustentabilidade dessa cadeia tão importante na região Norte e em particular no estado do Acre.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Grandes são as possibilidades de continuidade dessa pesquisa com esse tema. Desde estudos de longa duração, ações patológicas e deletérias, desenvolvimento de produtos à base de CCCB até aplicações em nanotecnologia usando como matéria prima a cinza para promover benefícios nos concretos.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil. **Manual do concreto dosado em central**. 2007.
- ASTM C 125. **Standar Defenitions of Terms Releting to Concrete and Agregates**, 2013.
- BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. São Paulo, SP: LTC Editora, 1994.
- BERGSTROM, S. G., **Conclusion from Symposiumon Concrete at Early Ages**. RILEM Bulletin. Paris, Abril 6-8, 1982.
- BOLETIN TÉCNICO – **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**, BT 106. ed. 7. São Paulo, SP: ABCP, 2002.
- BONELLI, P. R. et al. **Effect of pyrolysis temperature on composition, surface properties and thermal degradation rates of Brazil nut shells**. Bioresource Technology 76, 15-22, 2001.
- BRITO, S. M. O. et al. **Brazil nut shells as a new biosorbent to remove methylene blue and indigo carmine from aqueous solutions**. Journal of Hazardous Materials 174, 84-92, 2012.
- CECHETTI, Roberta et al. **Análise físico-química e caracterização espectroscopia da casca da castanha do Pará**. Toledo, PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2011.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Castanha do Brasil como fonte de renda nas áreas quilombolas de Oriximiná**. PA, 2004.
- FARIAS, Márcio Muniz de; PALMEIRA, Ennio Marques. **Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de materiais**. IBRACON, ed. Geraldo Cechella Isaia. São Paulo, SP. 2007.
- HELENE, Paulo R. L.; TERZIAM, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. ed. PINI. Brasília, DF. SENAI, 1993.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**. ed. 4. v.1. São Paulo, SP. Instituto Plantarum, 2000.
- MENDES, A. et al. Aproveitamento de casca e ouriço de castanha do Brasil como adubo orgânico. Toledo, PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2011.
- MERCER, L. B. **Ready-mixed concrete: quality control refinements**. In.: ANDREW, R. P., ed. Mix design and quality control of concrete: proceeding of a symposium. London, CCA, 1945, p. 409-38.

- METHA, P. K.; GERWICK, B. C. Jr. **Concrete Inst.** v.4, n.10, pp. 45-51, 1982.
- METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, SP: Ibracon, 2008.
- MORI, S. A.; PRANCE, G. T. **Taxonomy, ecology and economic botany of the Brazil nut.** *Bertholletia excels*, Humb & Bonpl: Lecythidaceae. In. FRANCE, 1990.
- NBR 11578:1991. **Cimento Portland composto.** ABNT.
- NBR 12655:2006. **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimentos.** ABNT.
- NBR 5732:1991. **Cimento Portland comum.** ABNT.
- NBR 5733:1991. **Cimento Portland de alta resistência inicial.** ABNT.
- NBR 5738:2015. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** ABNT.
- NBR 6118:2003. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos.** ABNT.
- NBR 6467:2006. **Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de ensaio.** ABNT.
- NBR 7211:2005. **Agregados para concreto – Especificações.** ABNT.
- NBR 7211:2009. **Agregados para concreto – Especificações.** ABNT.
- NBR 7214:2012. **Areia normal para ensaio de cimento – Especificação.** ABNT.
- NBR 7221:2012. **Agregado – Índice de desempenho de agregado miúdo contendo impurezas orgânicas – Método de ensaio.** ABNT.
- NBR 8953:2011. **Concretos para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.** ABNT.
- NBR 9775:2011. **Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio.** ABNT.
- NBR 9776:1988. **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio.** ABNT.
- NBR 9778:2005. **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** ABNT.
- NBR NM 18:2012. **Cimento Portland – Análise química – Determinação de perda ao fogo.** ABNT.
- NBR NM 248:2003. **Agregados – Determinação da composição granulométrica.** ABNT.

NBR NM 40:2001. **Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas.** ABNT.

NBR NM 67:1998. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** ABNT.

NBR NM ISSO 3310-1:2010. **Peneiras para ensaios – Requisitos técnicos e verificações.** ABNT.

PAWLAK, Z; PAWLAK, A. S. **A review of infrared spectra from wood and wood components following treatment with liquid ammonia and solvated electrons in liquid ammonia.** Applied Spectroscopy Reviews, 32-34, 349-383, 1997.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Concreto de cimento Portland.** 13. ed. São Paulo, SP: Globo, 1998.

SCANLON, J. M. ASTM – American Society of Testing and Materials. Philadelphia, PH, pp. 49-64, 1994.

TORRES, Ary; ROSMAN, C. E. **Método para dosagem racional do concreto.** São Paulo, SP. ABCP, 1956.

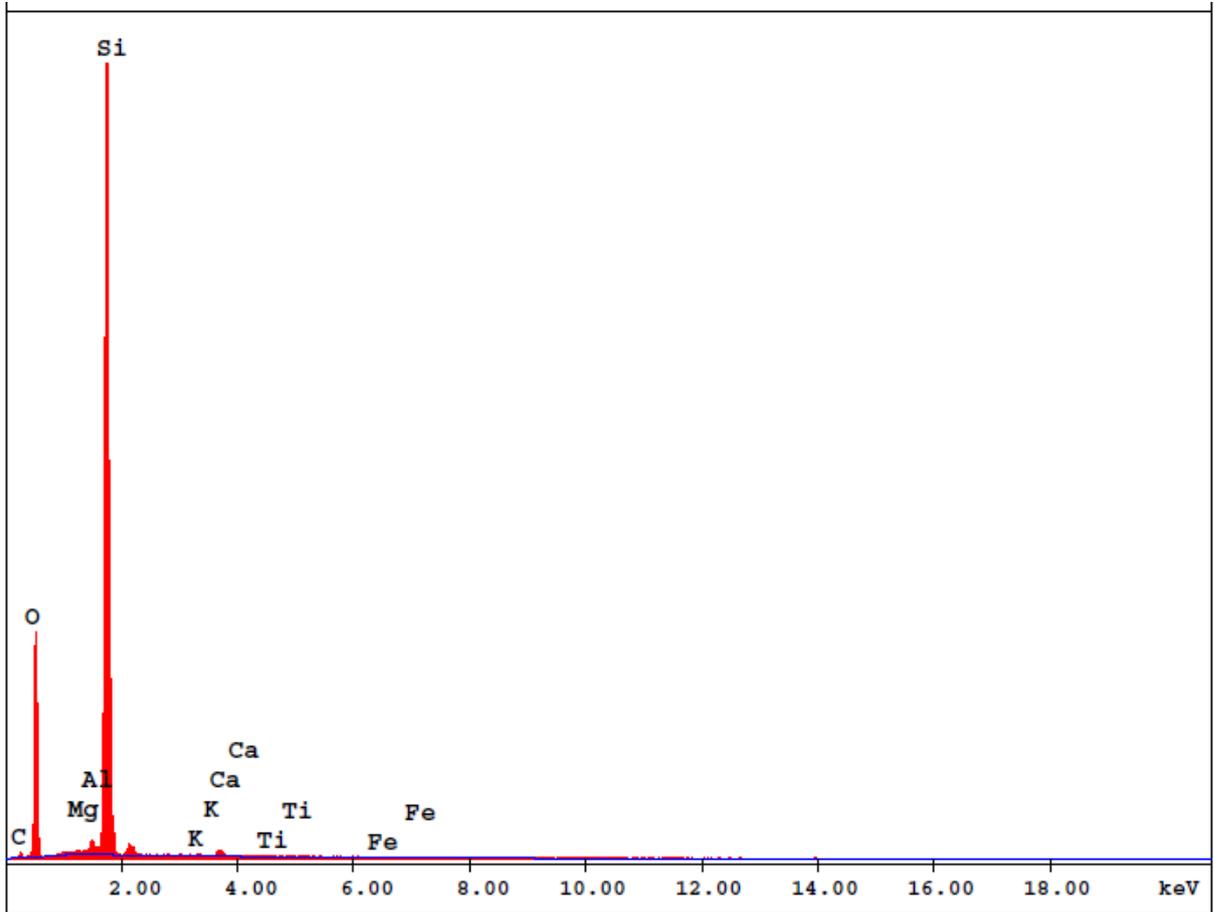
TUTHILL, L. H. **Concrete Int.** v.1, n.1, pp. 30-35, 1970.

TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. **Concreto: Ciência e tecnologia.** ed. Ibracon. São Paulo, SP. 2011.

WBCSD. World Business Council of Sustainable Development. **Sustentabilidade do concreto.** Disponível

em:<<http://www.abcp.org.br/conteudo/sustentabilidade/sustentabilidade-do-concreto>>. Acesso em: 1 junho 2015, 7:49:15.

## APÊNDICE 1 – Aspecto tomado com detector de silício – Amostra 02 – A (ITAÚ)



## APÊNDICE 2 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 02 – A (ITAÚ)

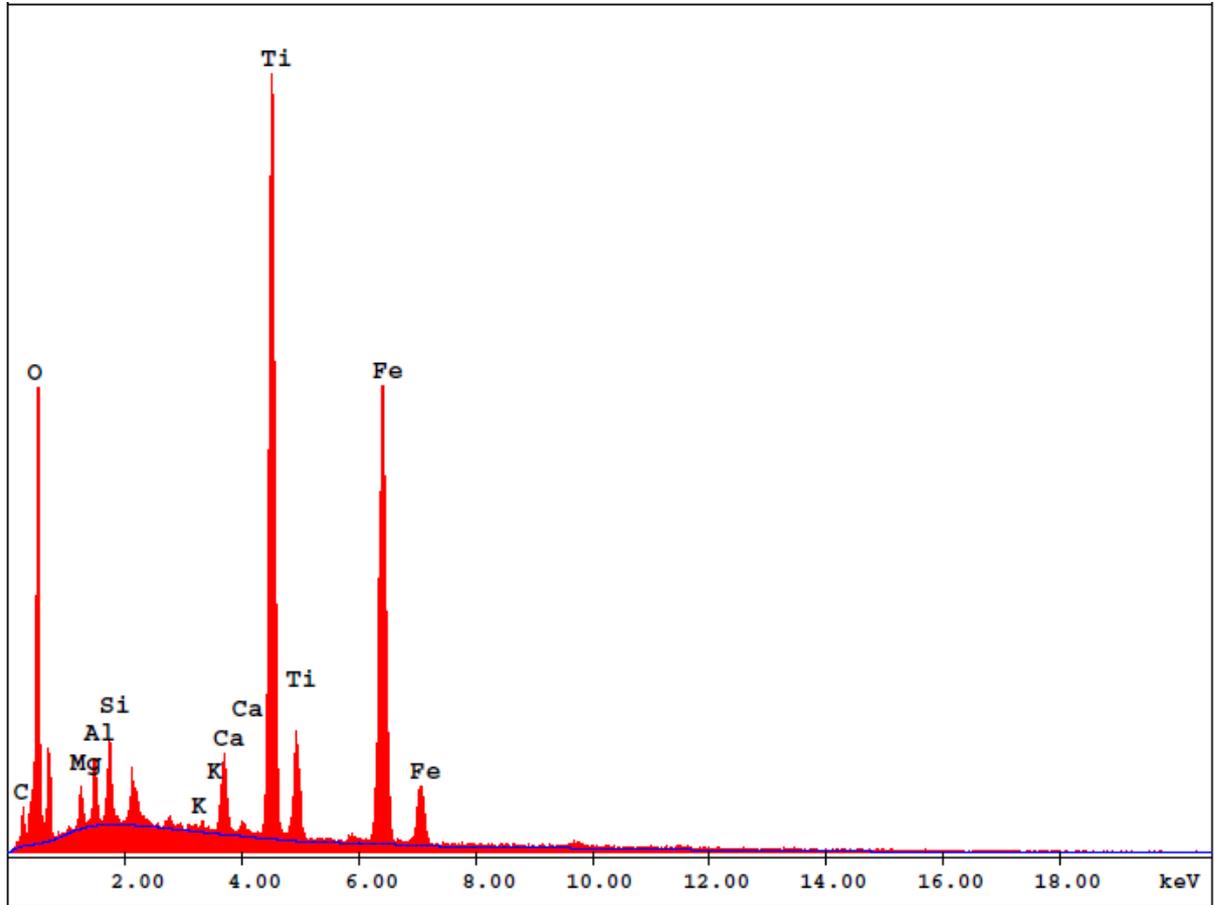
## EDAX ZAF Quantification (Standardless)

Element Normalized

SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	3.48	5.63	0.0043	1.0321	0.1189	1.0005
O K	52.82	64.16	0.1407	1.0164	0.2620	1.0004
MgK	0.29	0.24	0.0008	0.9779	0.2826	1.0077
AlK	1.02	0.74	0.0036	0.9497	0.3676	1.0137
SiK	41.97	29.04	0.1874	0.9780	0.4566	1.0000
K K	0.07	0.04	0.0003	0.9256	0.4158	1.0003
CaK	0.29	0.14	0.0014	0.9491	0.5035	1.0000
TiK	0.02	0.01	0.0001	0.8706	0.7008	1.0000
FeK	0.02	0.01	0.0002	0.8706	1.0173	1.0000
Total	100.00	100.00				

## APÊNDICE 3 – Aspecto tomado com detector de silício – Amostra 02 – B (ITAÚ)



## APÊNDICE 4 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 02 – B (ITAÚ)

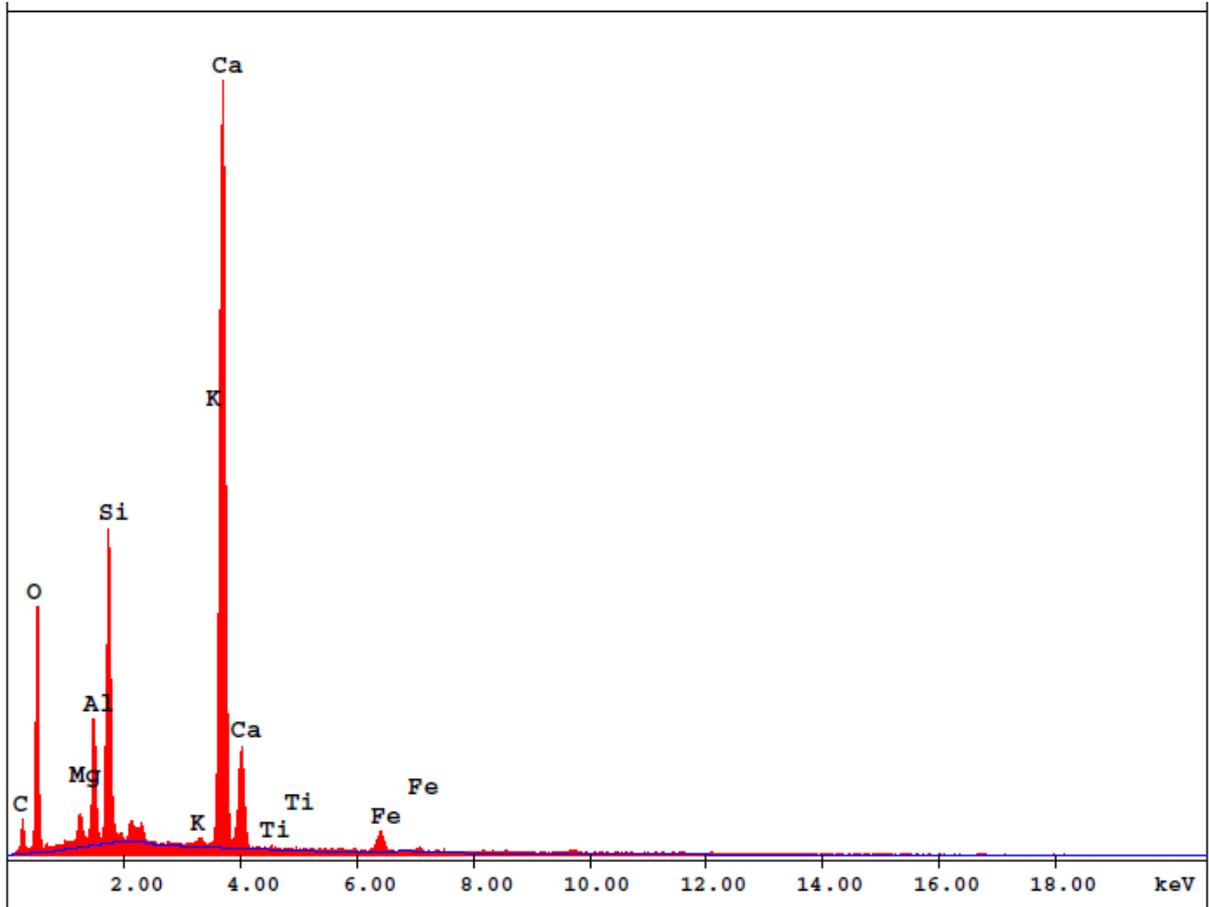
## EDAX ZAF Quantification (Standardless)

Element Normalized

SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	8.49	13.27	0.0219	1.0443	0.2465	1.0006
O K	61.69	72.44	0.1464	1.0284	0.2307	1.0002
MgK	2.61	2.02	0.0049	0.9894	0.1909	1.0012
AlK	3.42	2.38	0.0077	0.9609	0.2337	1.0013
SiK	3.57	2.39	0.0097	0.9895	0.2747	1.0008
K K	0.10	0.05	0.0007	0.9373	0.7264	1.0099
CaK	0.97	0.45	0.0080	0.9609	0.8515	1.0138
TiK	10.00	3.92	0.0910	0.8812	1.0256	1.0072
FeK	9.16	3.08	0.0799	0.8814	0.9901	1.0000
Total	100.00	100.00				

## APÊNDICE 5 – Aspecto tomado com detector de silício – Amostra 02 – C (ITAÚ)



## APÊNDICE 6 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 02 – C (ITAÚ)

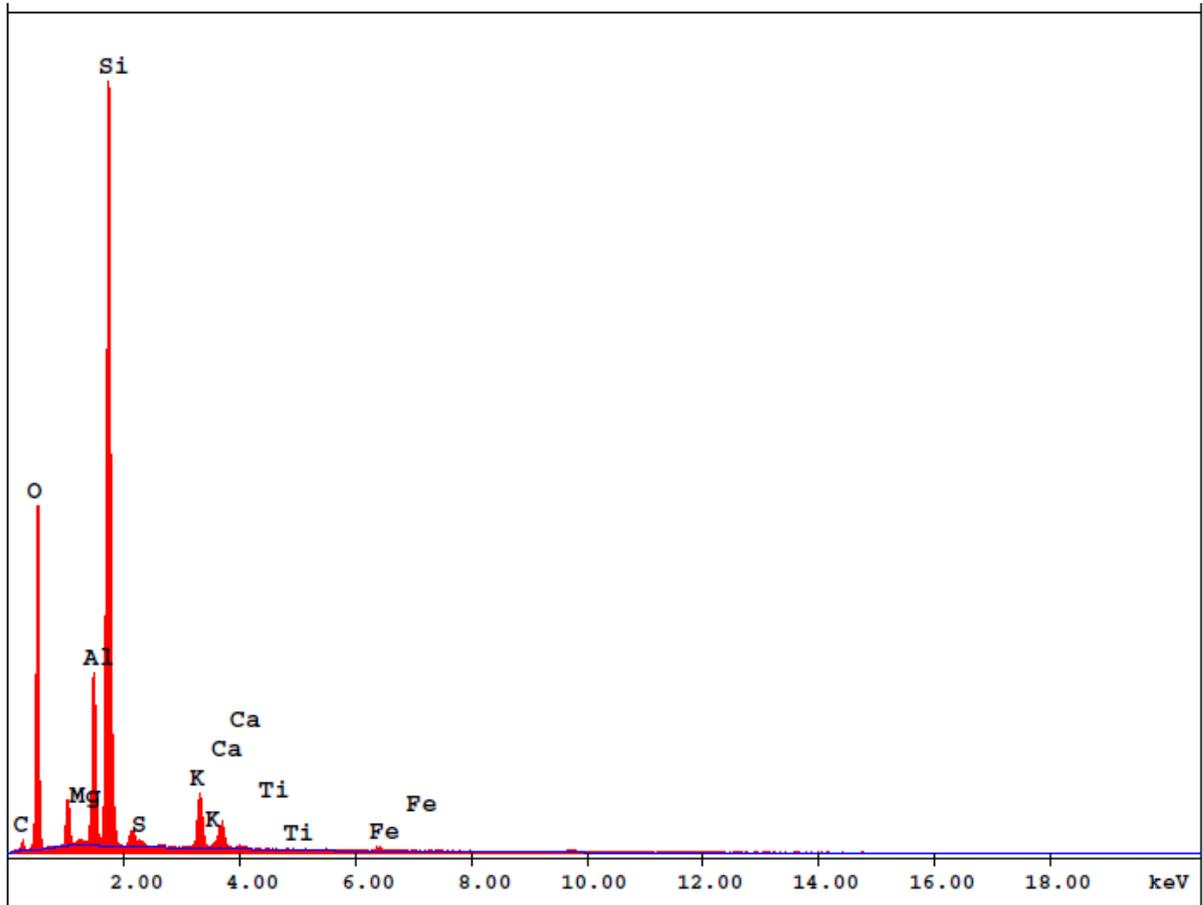
## EDAX ZAF Quantification (Standardless)

Element Normalized

SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	11.82	18.29	0.0236	1.0322	0.1931	1.0005
O K	51.72	60.09	0.0941	1.0165	0.1790	1.0002
MgK	2.26	1.73	0.0055	0.9780	0.2458	1.0035
AlK	6.04	4.16	0.0174	0.9499	0.3015	1.0044
SiK	13.80	9.13	0.0436	0.9781	0.3224	1.0014
K K	0.15	0.07	0.0009	0.9258	0.6236	1.0155
CaK	13.67	6.34	0.0959	0.9493	0.7385	1.0002
TiK	0.06	0.02	0.0003	0.8708	0.6064	1.0003
FeK	0.48	0.16	0.0039	0.8708	0.9311	1.0000
Total	100.00	100.00				

## APÊNDICE 7 – Aspecto tomado com detector de silício – Amostra 03 – A (YURA)

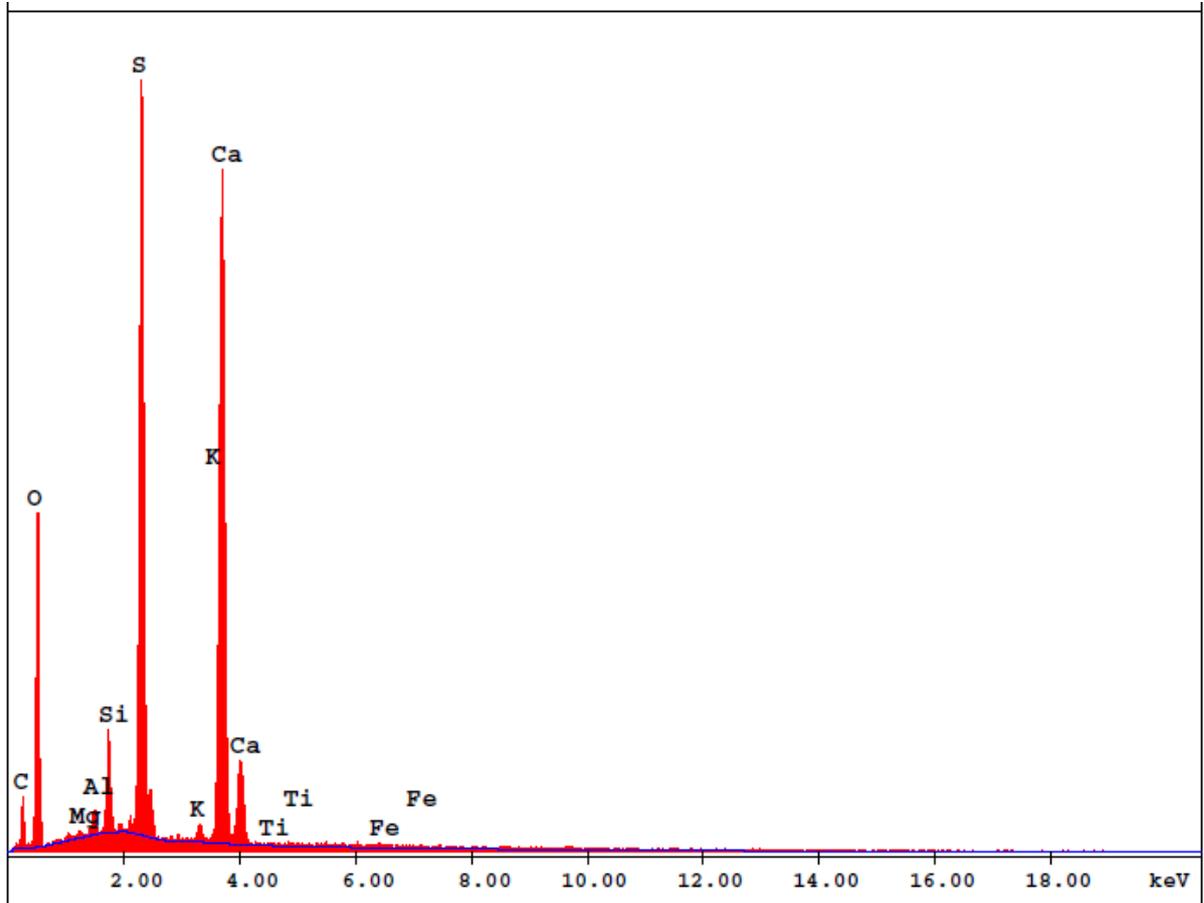


## APÊNDICE 8 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 03 – A (YURA)

**EDAX ZAF Quantification (Standardless)****Element Normalized****SEC Table : Default**

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	5.04	8.06	0.0067	1.0338	0.1292	1.0005
O K	52.84	63.40	0.1361	1.0180	0.2530	1.0003
MgK	0.33	0.26	0.0009	0.9795	0.2784	1.0066
AlK	7.35	5.23	0.0255	0.9513	0.3617	1.0093
SiK	31.86	21.78	0.1123	0.9796	0.3597	1.0003
S K	0.33	0.20	0.0008	0.9728	0.2476	1.0006
K K	1.52	0.75	0.0064	0.9270	0.4511	1.0006
CaK	0.62	0.30	0.0031	0.9506	0.5204	1.0000
TiK	0.02	0.01	0.0001	0.8720	0.7118	1.0001
FeK	0.09	0.03	0.0008	0.8720	1.0193	1.0000
Total	100.00	100.00				

## APÊNDICE 9 – Aspecto tomado com detector de silício – Amostra 03 – B (YURA)



## APÊNDICE 10 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 03 – B (YURA)

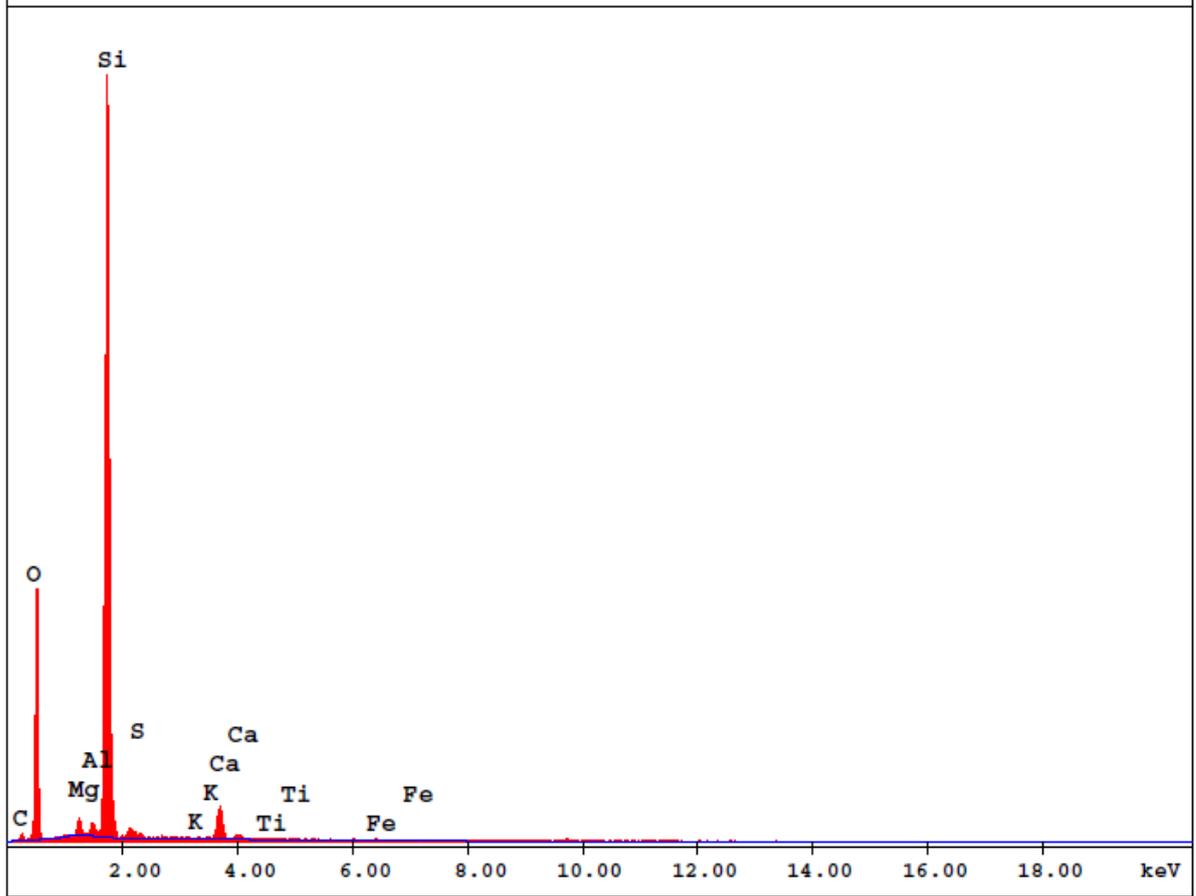
## EDAX ZAF Quantification (Standardless)

Element Normalized

SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	15.49	22.84	0.0277	1.0268	0.1742	1.0005
O K	56.46	62.49	0.1017	1.0112	0.1782	1.0001
MgK	0.25	0.18	0.0006	0.9729	0.2354	1.0022
AlK	0.95	0.63	0.0028	0.9449	0.3069	1.0038
SiK	2.76	1.74	0.0104	0.9731	0.3847	1.0054
S K	13.54	7.48	0.0728	0.9664	0.5550	1.0030
K K	0.28	0.13	0.0016	0.9204	0.5927	1.0111
CaK	10.18	4.50	0.0671	0.9439	0.6977	1.0000
TiK	0.04	0.01	0.0002	0.8659	0.6518	1.0000
FeK	0.06	0.02	0.0005	0.8659	0.9639	1.0000
Total	100.00	100.00				

APÊNDICE 11 – Aspecto tomado com detector de silício – Amostra 04 – A  
(NASSAU)

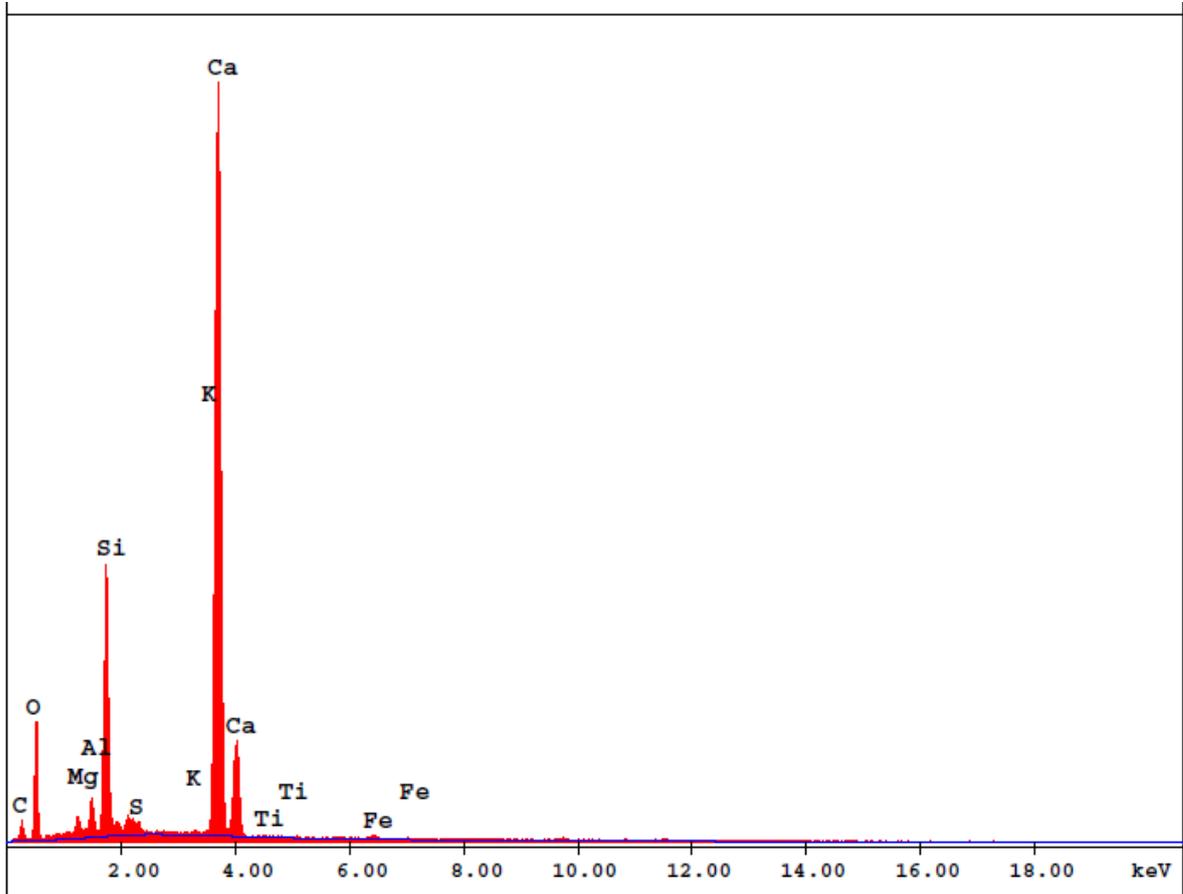


## APÊNDICE 12 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 04 – A (NASSAU)

**EDAX ZAF Quantification (Standardless)****Element Normalized****SEC Table : Default**

<u>Element</u>	<u>Wt %</u>	<u>At %</u>	<u>K-Ratio</u>	<u>Z</u>	<u>A</u>	<u>F</u>
C K	5.56	8.80	0.0073	1.0307	0.1275	1.0005
O K	53.59	63.67	0.1387	1.0151	0.2549	1.0003
MgK	1.44	1.13	0.0039	0.9766	0.2772	1.0066
AlK	0.82	0.58	0.0027	0.9485	0.3471	1.0119
SiK	37.02	25.05	0.1574	0.9768	0.4352	1.0002
S K	0.28	0.17	0.0007	0.9700	0.2454	1.0003
K K	0.04	0.02	0.0002	0.9242	0.4475	1.0011
CaK	1.19	0.56	0.0061	0.9477	0.5420	1.0000
TiK	0.02	0.01	0.0002	0.8694	0.7235	1.0000
FeK	0.04	0.01	0.0003	0.8694	1.0269	1.0000
Total	100.00	100.00				

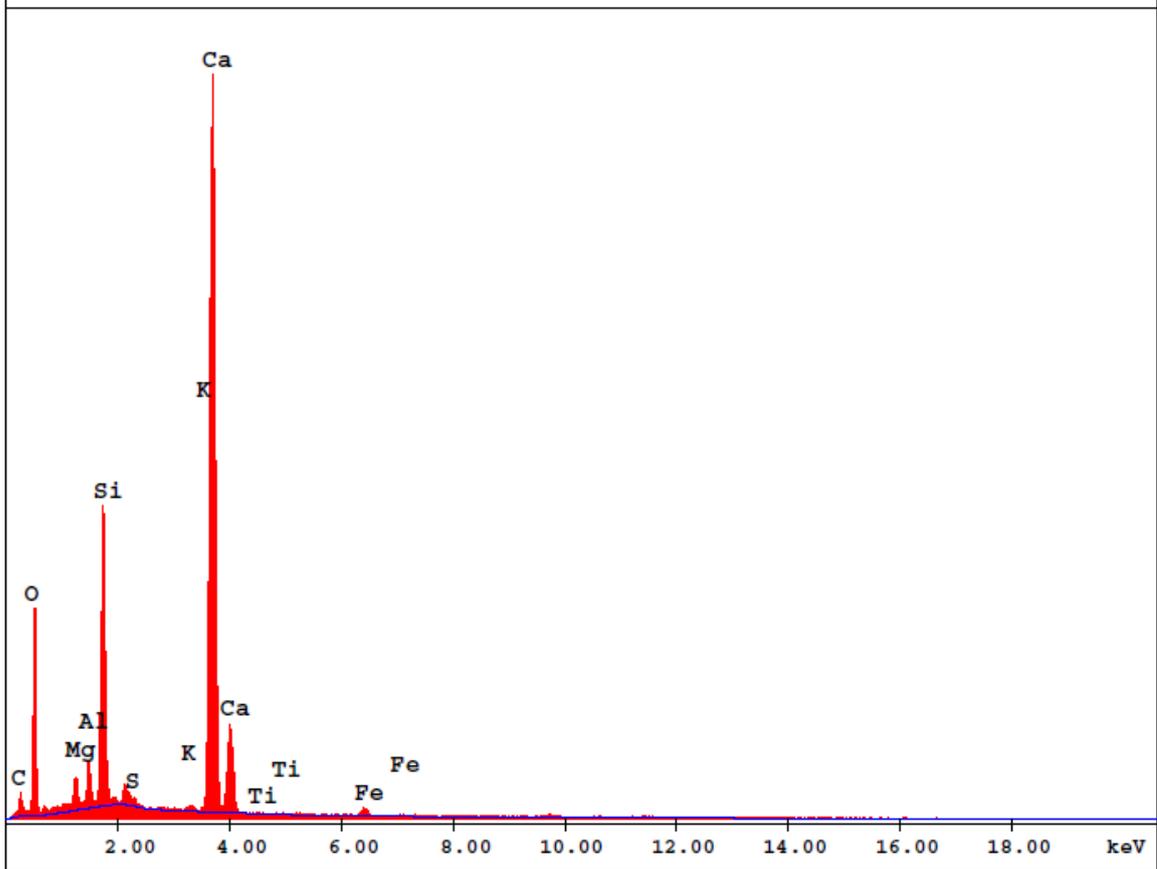
APÊNDICE 13 – Aspecto tomado com detector de silício – Amostra 04 – B  
(NASSAU)



## APÊNDICE 14 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 04 – B (NASSAU)

EDAX ZAF Quantification (Standardless)						
Element Normalized						
SEC Table : Default						
Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	10.84	17.75	0.0210	1.0356	0.1874	1.0005
O K	45.54	55.98	0.0679	1.0198	0.1461	1.0002
MgK	2.06	1.67	0.0049	0.9811	0.2435	1.0037
AlK	2.85	2.08	0.0082	0.9528	0.3005	1.0058
SiK	16.53	11.58	0.0575	0.9812	0.3535	1.0023
S K	0.68	0.42	0.0023	0.9743	0.3401	1.0057
K K	0.13	0.07	0.0008	0.9297	0.6135	1.0237
CaK	21.15	10.38	0.1465	0.9531	0.7267	1.0001
TiK	0.06	0.03	0.0003	0.8740	0.5030	1.0001
FeK	0.16	0.06	0.0012	0.8742	0.8288	1.0000
Total	100.00	100.00				

## APÊNDICE 15 – Aspecto tomado com detector de silício – Amostra 05 – A (CIPLAN)



## APÊNDICE 16 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 05 – A (CIPLAN)

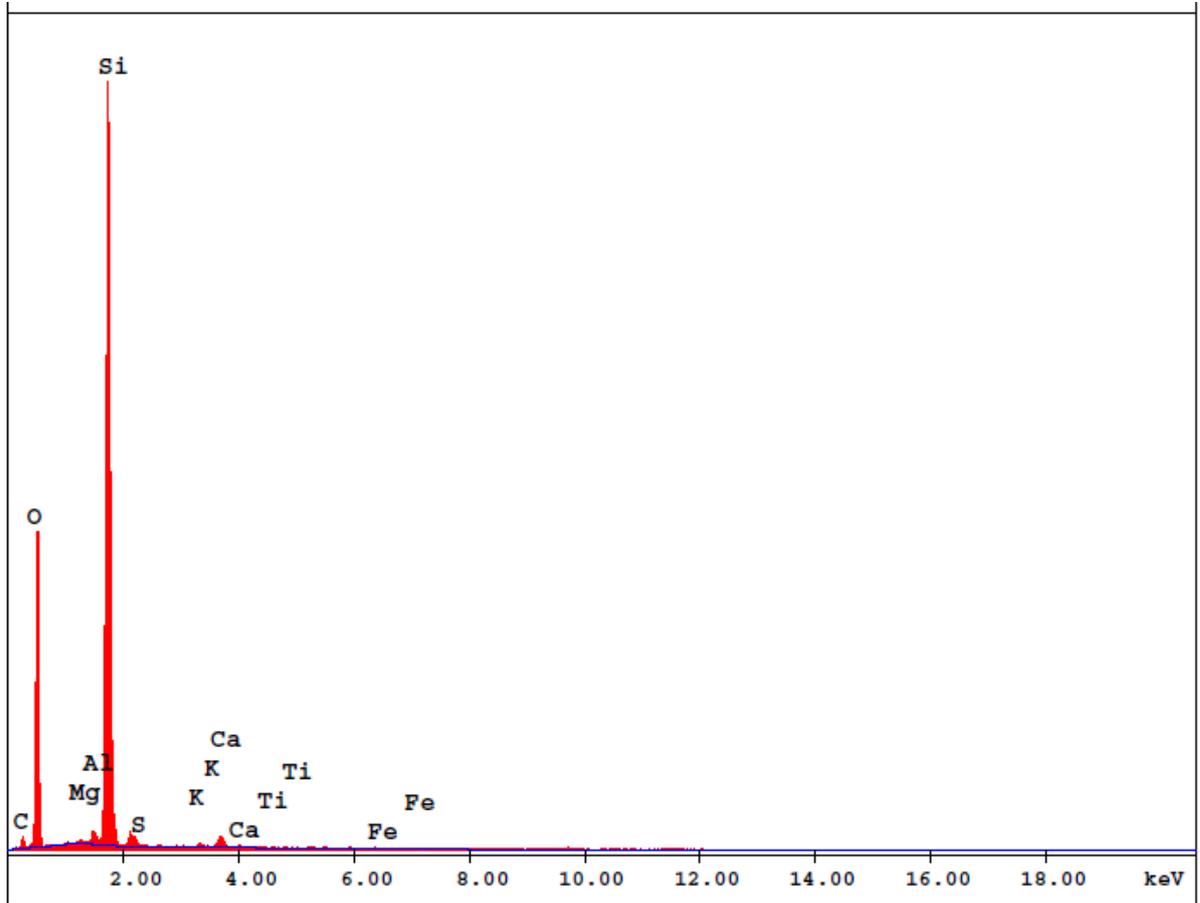
## EDAX ZAF Quantification (Standardless)

Element Normalized

SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	10.45	16.38	0.0209	1.0321	0.1938	1.0005
O K	52.28	61.57	0.0915	1.0163	0.1722	1.0002
MgK	2.67	2.07	0.0063	0.9778	0.2415	1.0033
AlK	2.85	1.99	0.0080	0.9497	0.2932	1.0050
SiK	15.23	10.22	0.0515	0.9779	0.3452	1.0017
S K	0.32	0.19	0.0011	0.9712	0.3443	1.0043
K K	0.12	0.06	0.0007	0.9258	0.6265	1.0179
CaK	15.80	7.43	0.1114	0.9493	0.7423	1.0001
TiK	0.03	0.01	0.0002	0.8707	0.5747	1.0001
FeK	0.24	0.08	0.0019	0.8708	0.9016	1.0000
Total	100.00	100.00				

## APÊNDICE 17 – Aspecto tomado com detector de silício – Amostra 05 – B (CIPLAN)



## APÊNDICE 18 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 05 – B (CIPLAN)

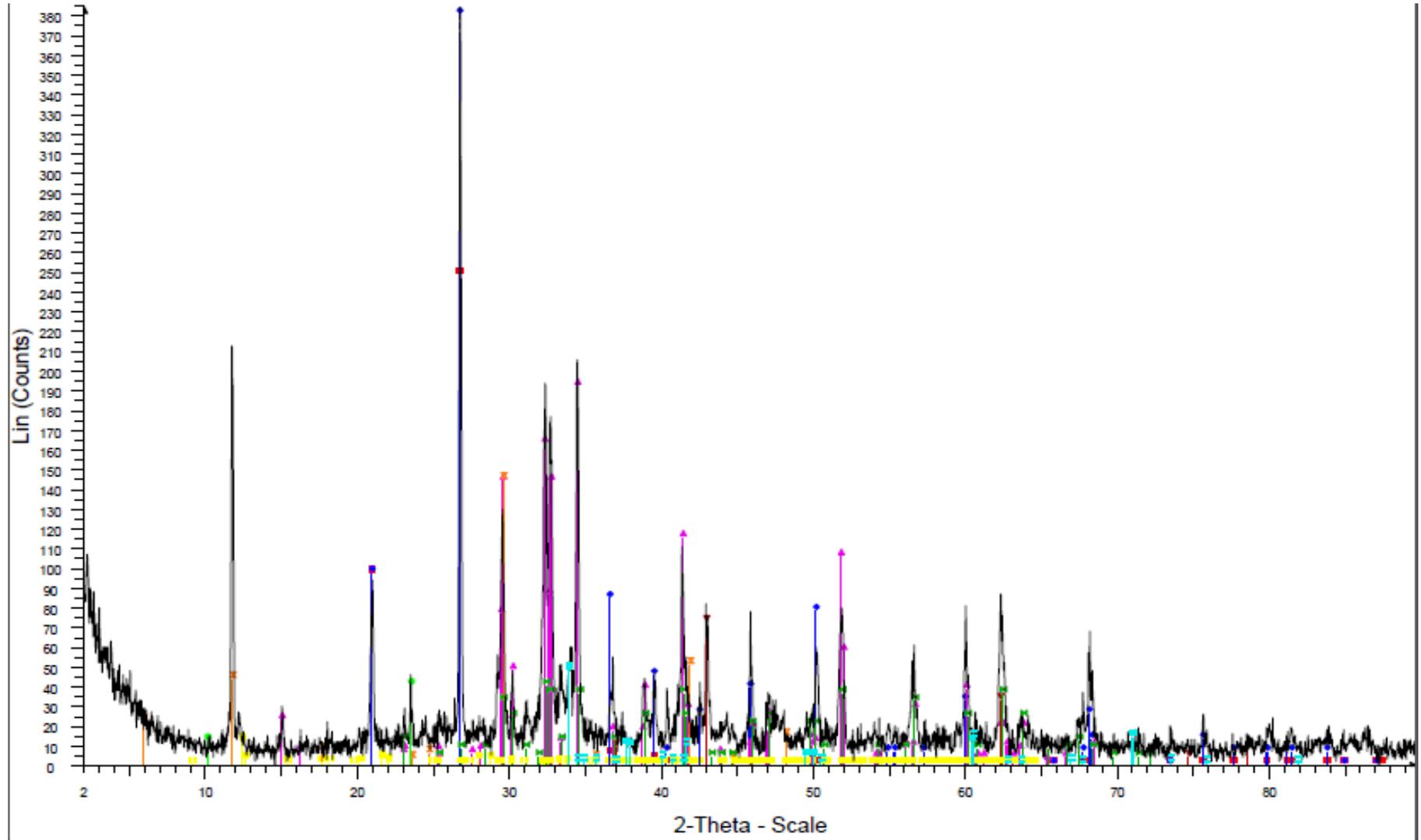
## EDAX ZAF Quantification (Standardless)

Element Normalized

SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	6.88	10.53	0.0098	1.0281	0.1380	1.0006
O K	57.91	66.50	0.1609	1.0125	0.2743	1.0003
MgK	0.27	0.20	0.0007	0.9742	0.2672	1.0059
AlK	0.81	0.55	0.0027	0.9461	0.3482	1.0106
SiK	33.56	21.95	0.1429	0.9743	0.4370	1.0001
S K	0.11	0.06	0.0003	0.9676	0.2606	1.0001
K K	0.08	0.04	0.0004	0.9214	0.4737	1.0003
CaK	0.35	0.16	0.0019	0.9450	0.5710	1.0000
TiK	0.00	0.00	0.0000	0.8670	0.7766	1.0000
FeK	0.03	0.01	0.0003	0.8669	1.0737	1.0000
Total	100.00	100.00				

APÊNDICE 19 – Difratoograma de raios X – Cimento ITAÚ



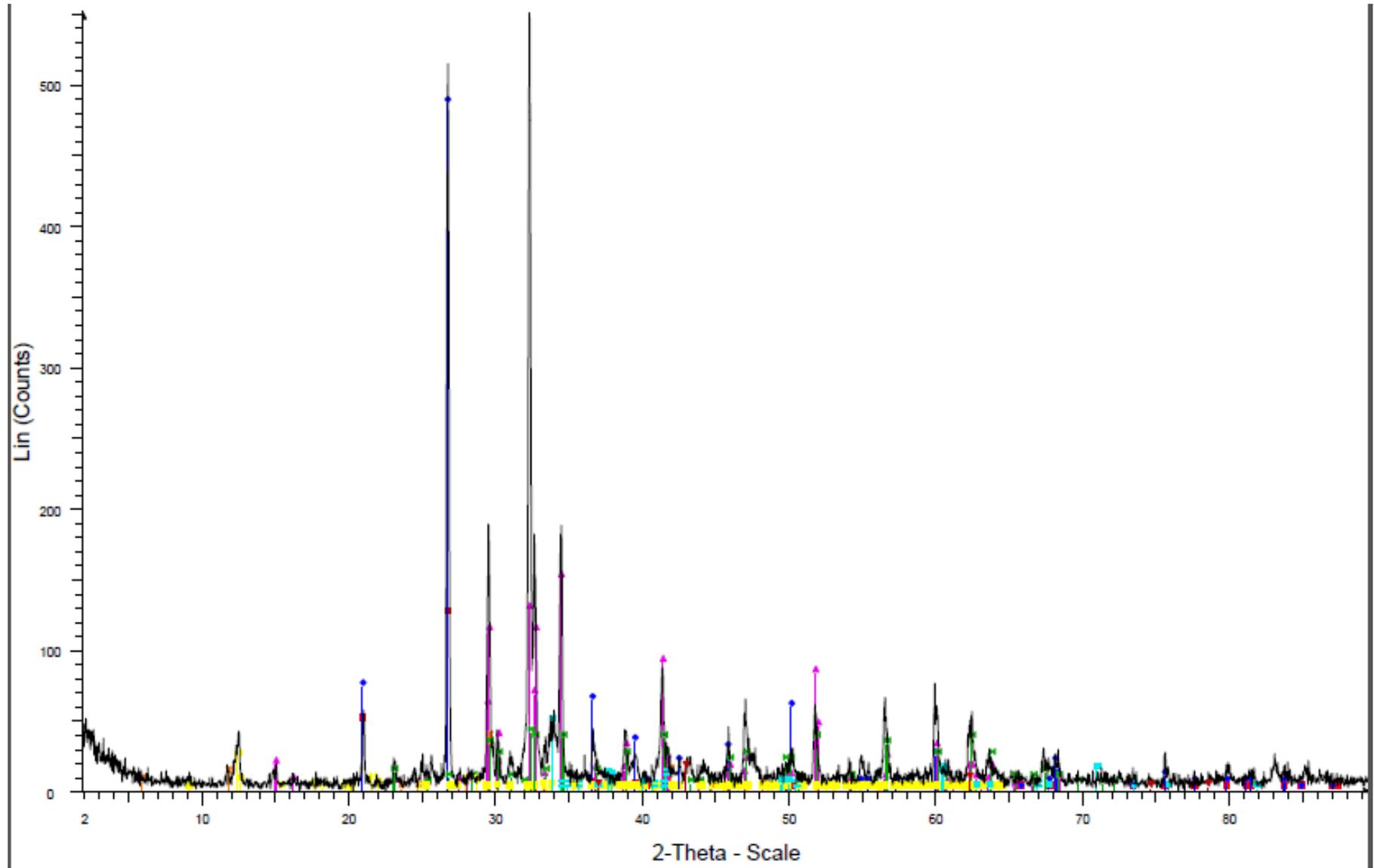
## APÊNDICE 20 – Índices da difração de raios X – Cimento ITAÚ

 C:\DIFFDAT1\Am\_2\_Cimento\_Itau.RAW - File: Am\_2\_Cimento\_Itau.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start:

Operations: Import

-  83-2465 (C) - Quartz - SiO<sub>2</sub> - Y: 64.58 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 0.6 -
-  79-1906 (C) - Quartz - SiO<sub>2</sub> - Y: 168.75 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 4.8 -
-  42-0551 (D) - Calcium Silicate - Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub> - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
-  77-2179 (C) - Magnesium Oxide - MgO - Y: 18.75 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 3. -
-  33-1293 (Q) - Sodium Titanium Oxide - Na<sub>2</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>19</sub> - Y: 37.61 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
-  11-0593 (Q) - Calcium Magnesium Aluminum Silicate - 54CaO-16SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO - Y: 10.42 % - d x by
-  82-1867 (C) - Gobbinsite - Na<sub>4</sub>Ca<sub>0.94</sub>(Si<sub>10.4</sub>Al<sub>5.6</sub>O<sub>32</sub>)(H<sub>2</sub>O)<sub>16.185</sub> - Y: 3.09 % - d x by: 1. - WL: 1.540
-  29-0084 (N) - Aluminum Silicate - AlSi<sub>0.5</sub>O<sub>2.5</sub>/0.5SiO<sub>2</sub>-0.5Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Y: 10.42 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -
-  36-0828 (Q) - Aluminum Silicon Oxide Nitride - SiAl<sub>7</sub>O<sub>2</sub>N<sub>7</sub> - Y: 12.50 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -

APÊNDICE 21 – Difratoograma de raios X – Cimento NASSAU



## APÊNDICE 22 – Índices da difração de raios X – Cimento NASSAU

 C:\DIFFDAT1\A\_4\_Cimento\_Nassau.RAW - File: A\_4\_Cimento\_Nassau.RAW - Type: 2Th/Th locked -  
Operations: X Offset -0.138 | X Offset -0.261 | X Offset -0.165 | Import

 83-2465 (C) - Quartz - SiO<sub>2</sub> - Y: 22.52 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 0.6 -

 79-1906 (C) - Quartz - SiO<sub>2</sub> - Y: 88.27 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 4.8 -

 42-0551 (D) - Calcium Silicate - Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub> - Y: 27.24 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -

 77-2179 (C) - Magnesium Oxide - MgO - Y: 2.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 3. -

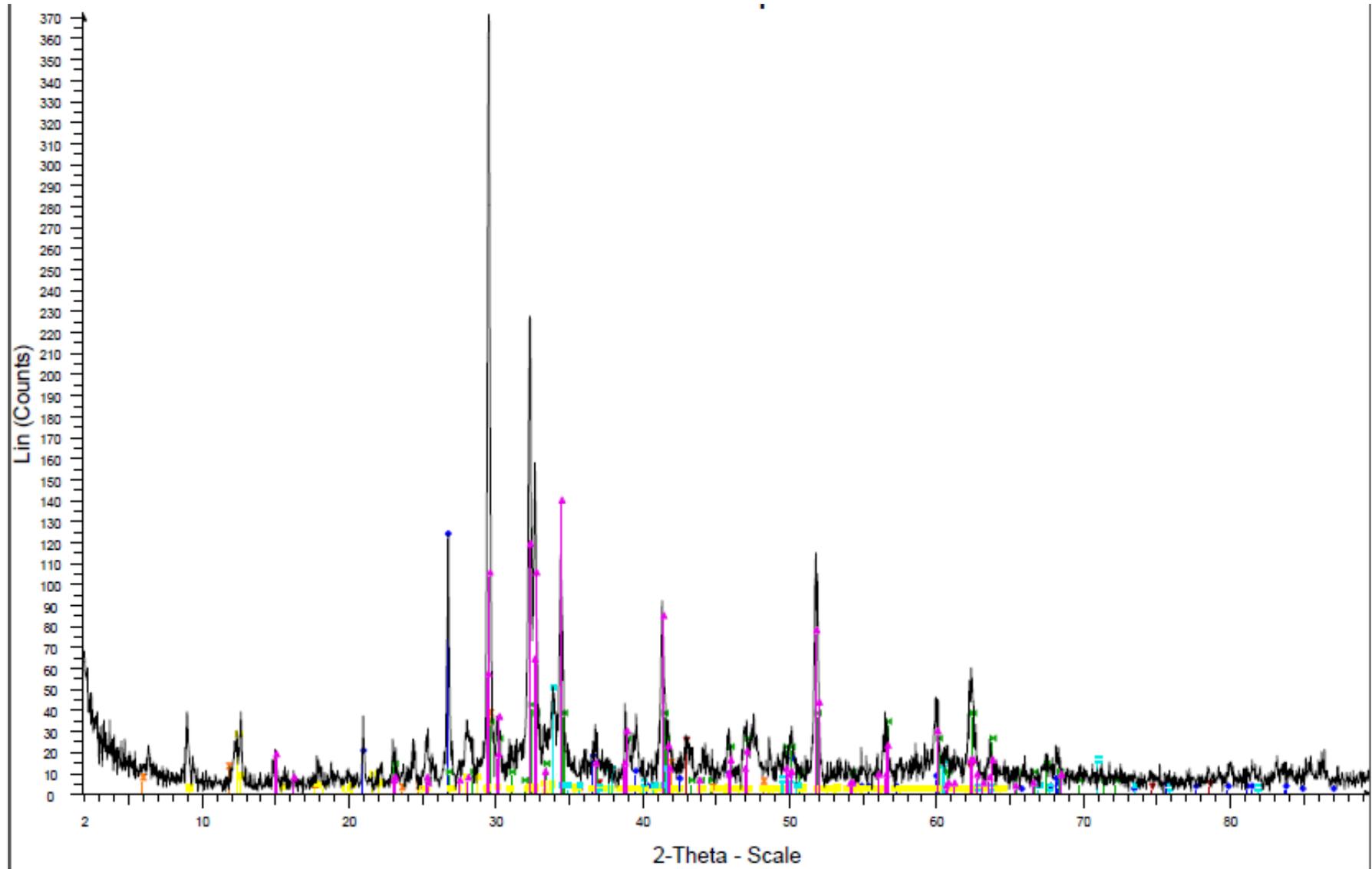
 33-1293 (Q) - Sodium Titanium Oxide - Na<sub>2</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>19</sub> - Y: 6.56 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -

 11-0593 (Q) - Calcium Magnesium Aluminum Silicate - 54CaO·16SiO<sub>2</sub>·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·MgO - Y: 7.27 % - d x by:

 82-1867 (C) - Gobbinsite - Na<sub>4</sub>Ca<sub>0.94</sub>(Si<sub>10.4</sub>Al<sub>5.6</sub>O<sub>32</sub>)(H<sub>2</sub>O)<sub>16.185</sub> - Y: 4.23 % - d x by: 1. - WL: 1.540

 36-0828 (Q) - Aluminum Silicon Oxide Nitride - SiAl<sub>7</sub>O<sub>2</sub>N<sub>7</sub> - Y: 8.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -

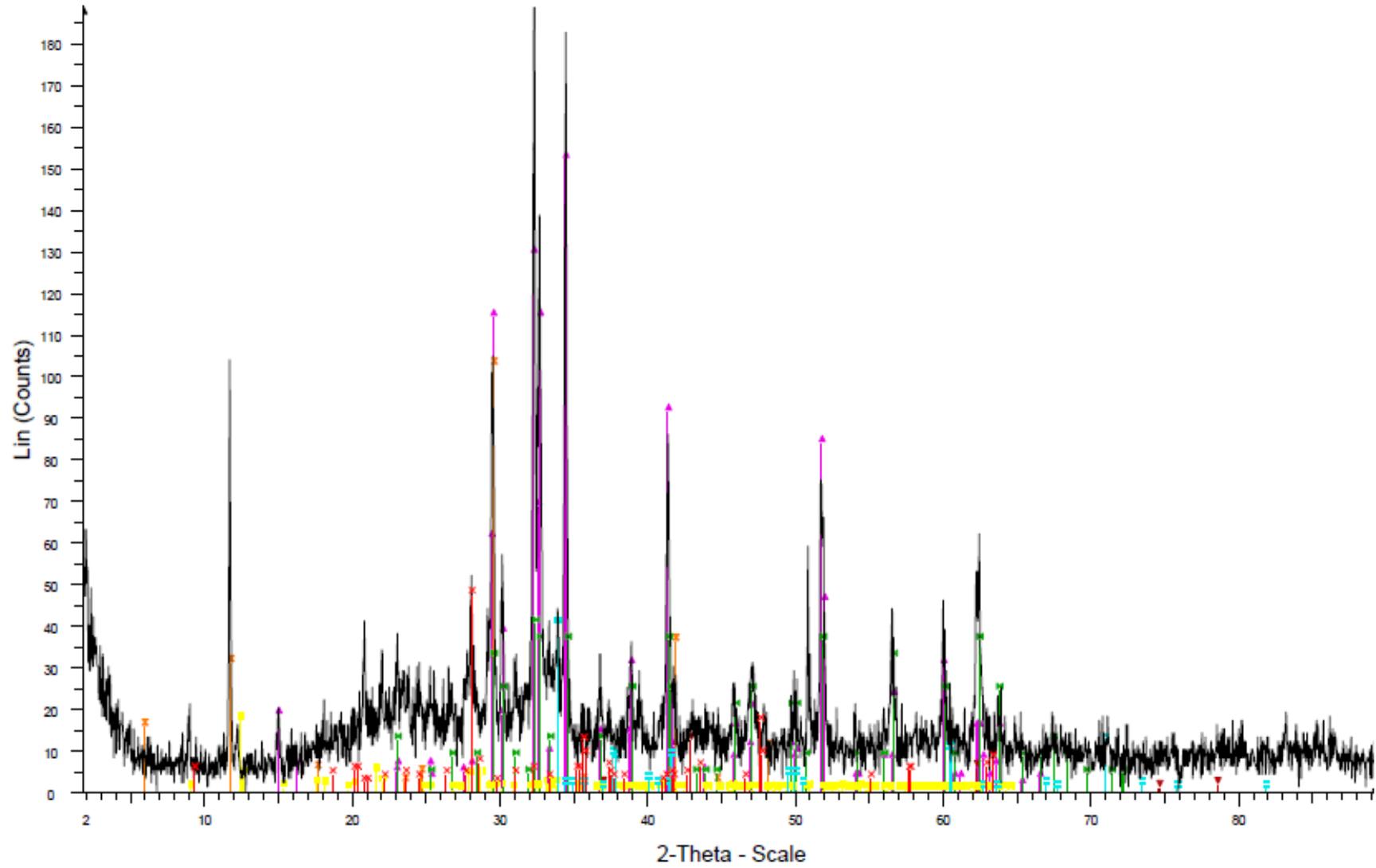
APÊNDICE 23 – Difratoograma de raios X – Cimento CIPLAN



## APÊNDICE 24 – Índices da difração de raios X – Cimento CIPLAN

-  C:\DIFFDAT1\Am5\_Cimento\_Ciplan.RAW - File: Am5\_Cimento\_Ciplan.RAW - Type: 2Th/Th locked - St  
Operations: X Offset -0.138 | X Offset -0.179 | Import
-  79-1906 (C) - Quartz -  $\text{SiO}_2$  - Y: 32.74 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 4.8 -
  -  42-0551 (D) - Calcium Silicate -  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$  - Y: 37.05 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
  -  77-2179 (C) - Magnesium Oxide -  $\text{MgO}$  - Y: 6.23 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 3. -
  -  33-1293 (Q) - Sodium Titanium Oxide -  $\text{Na}_2\text{Ti}_9\text{O}_{19}$  - Y: 9.73 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
  -  11-0593 (Q) - Calcium Magnesium Aluminum Silicate -  $54\text{CaO}\cdot 16\text{SiO}_2\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{MgO}$  - Y: 10.78 % - d x by
  -  82-1867 (C) - Gobbinsite -  $\text{Na}_4\text{Ca}_{0.94}(\text{Si}_{10.4}\text{Al}_{5.6}\text{O}_{32})(\text{H}_2\text{O})_{16.185}$  - Y: 7.06 % - d x by: 1. - WL: 1.540
  -  36-0828 (Q) - Aluminum Silicon Oxide Nitride -  $\text{SiAl}_7\text{O}_2\text{N}_7$  - Y: 12.94 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -

APÊNDICE 25 – Difratoograma de raios X – Cimento YURA



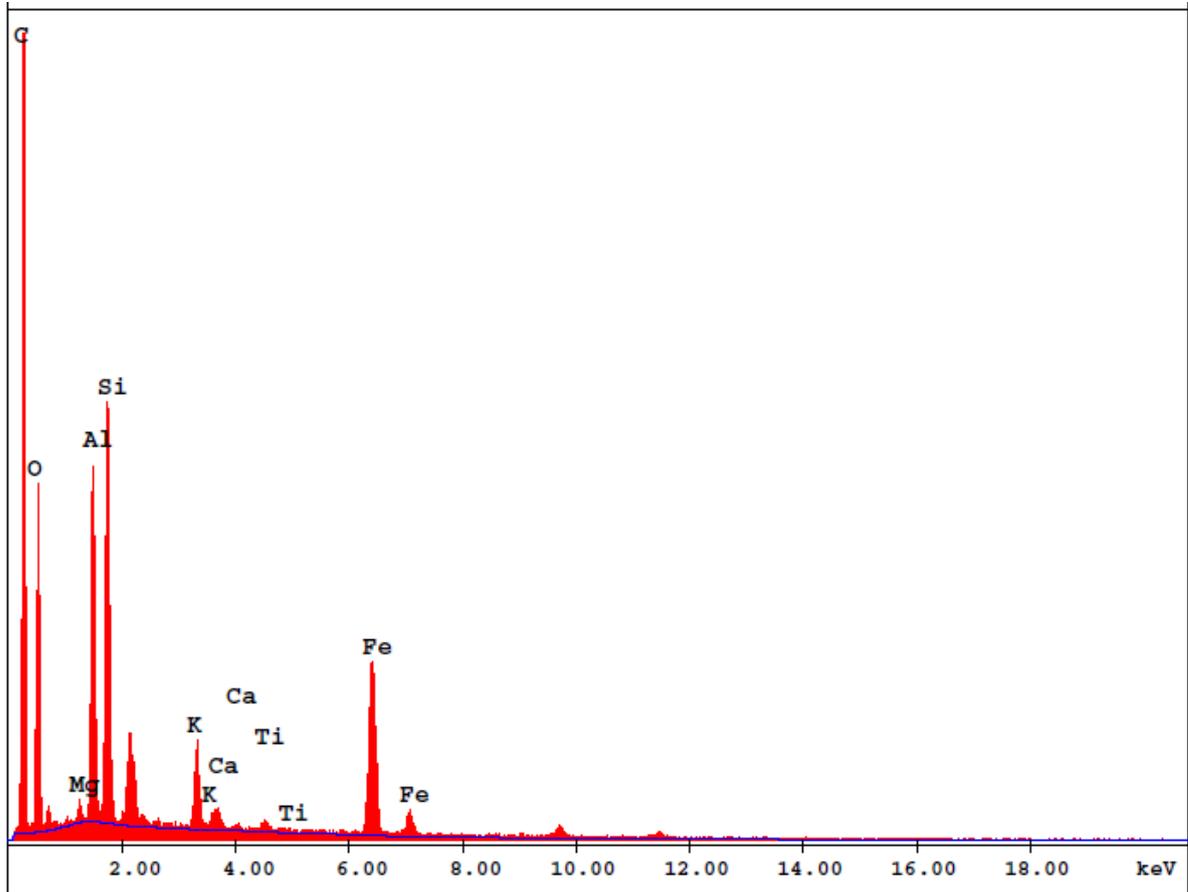
## APÊNDICE 26 – Índices da difração de raios X – Cimento YURA

 C:\DIFFDAT1\A\_3\_Cimento\_Yura.RAW - File: A\_3\_Cimento\_Yura.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 2

Operations: X Offset -0.193 | X Offset -0.220 | Import

-  42-0551 (D) - Calcium Silicate -  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$  - Y: 80.63 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
-  77-2179 (C) - Magnesium Oxide -  $\text{MgO}$  - Y: 6.36 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/lc PDF 3. -
-  33-1293 (Q) - Sodium Titanium Oxide -  $\text{Na}_2\text{Ti}_9\text{O}_{19}$  - Y: 54.27 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
-  11-0593 (Q) - Calcium Magnesium Aluminum Silicate -  $54\text{CaO}\cdot 16\text{SiO}_2\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{MgO}$  - Y: 21.23 % - d x by
-  82-1867 (C) - Gobbinsite -  $\text{Na}_4\text{Ca}_{0.94}(\text{Si}_{10.4}\text{Al}_{5.6}\text{O}_{32})(\text{H}_2\text{O})_{16.185}$  - Y: 8.91 % - d x by: 1. - WL: 1.540
-  36-0828 (Q) - Aluminum Silicon Oxide Nitride -  $\text{SiAl}_7\text{O}_2\text{N}_7$  - Y: 21.22 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
-  18-0276 (I) - Margarite-2M1 -  $\text{CaAl}_2(\text{Si}_2\text{Al}_2)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  - Y: 25.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -

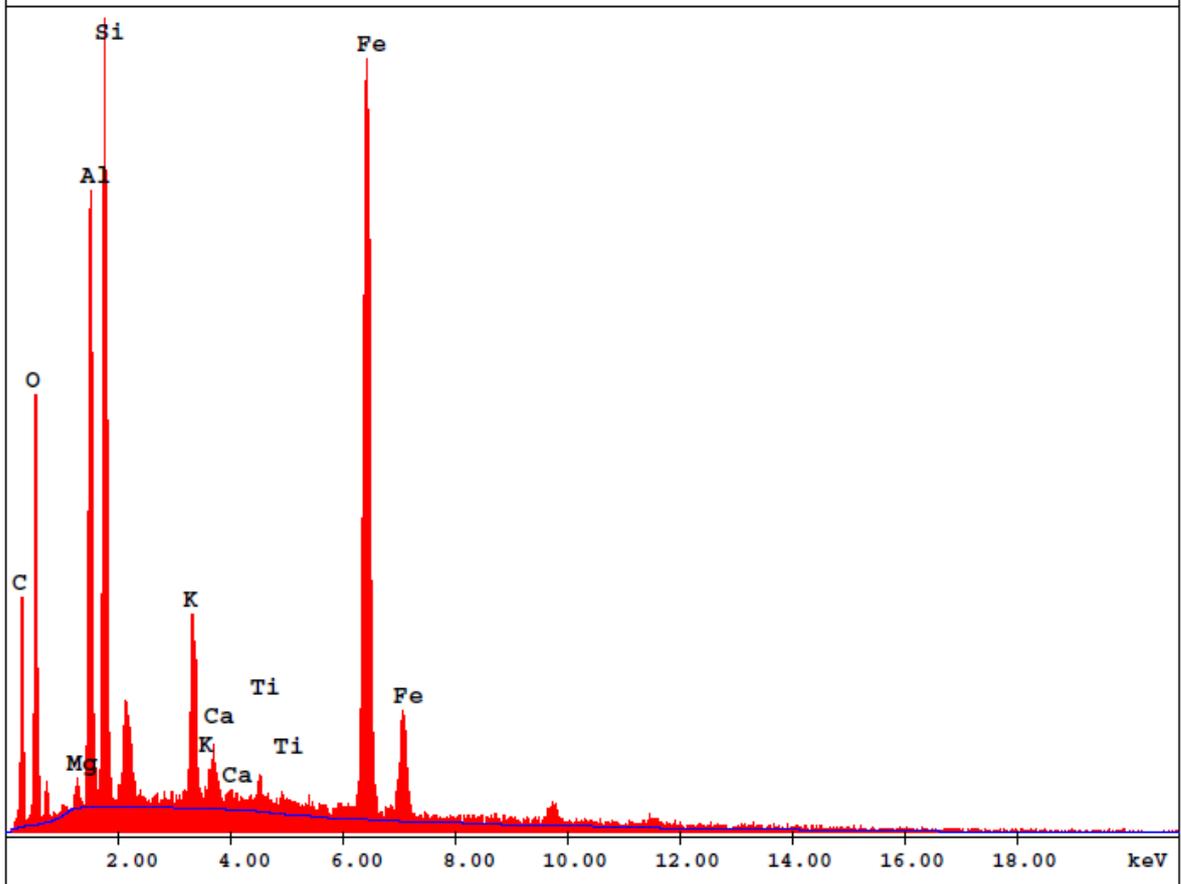
APÊNDICE 27 – Aspecto tomado com detector de silício – Amostra 01 – A-A  
(CINZA)



## APÊNDICE 28 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 01 – A-A (CINZA)

<b>EDAX ZAF Quantification (Standardless)</b>						
<b>Element Normalized</b>						
<b>SEC Table : Default</b>						
<u>Element</u>	<u>Wt %</u>	<u>At %</u>	<u>K-Ratio</u>	<u>Z</u>	<u>A</u>	<u>F</u>
C K	57.97	67.82	0.1966	1.0131	0.3348	1.0002
O K	30.09	26.43	0.0449	0.9977	0.1495	1.0001
MgK	0.37	0.22	0.0011	0.9602	0.3113	1.0020
AlK	4.84	2.52	0.0184	0.9326	0.4071	1.0017
SiK	5.12	2.56	0.0213	0.9605	0.4330	1.0001
K K	0.36	0.13	0.0032	0.9055	0.9830	1.0005
CaK	0.07	0.03	0.0008	0.9292	1.0905	1.0006
TiK	0.05	0.01	0.0005	0.8532	1.2601	1.0013
FeK	1.12	0.28	0.0126	0.8527	1.3203	1.0000
Total	100.00	100.00				

APÊNDICE 29 – Aspecto tomado com detector de silício – Amostra 01 – A-B  
(CINZA)



## APÊNDICE 30 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 01 – A-B (CINZA)

EDAX ZAF Quantification (Standardless)						
Element Normalized						
SEC Table : Default						
Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	32.24	45.47	0.0624	1.0323	0.1874	1.0003
O K	34.34	36.36	0.0631	1.0166	0.1808	1.0003
MgK	0.55	0.38	0.0015	0.9781	0.2697	1.0042
AlK	10.53	6.61	0.0349	0.9500	0.3471	1.0038
SiK	13.76	8.30	0.0426	0.9783	0.3166	1.0003
K K	1.59	0.69	0.0090	0.9251	0.6088	1.0019
CaK	0.39	0.16	0.0025	0.9488	0.6795	1.0023
TiK	0.24	0.08	0.0018	0.8705	0.8864	1.0051
FeK	6.37	1.93	0.0628	0.8704	1.1323	1.0000
Total	100.00	100.00				

## APÊNDICE 31 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 01 – B-A (CINZA)

c:\edax32\genesis\genspc.spc  
 Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)  
 Acquisition Time : 10:47:14 Date: 4-Mar-2015

kV : 25.01 Tilt: 0.00 Take-off: 3.14 AmpT : 6.4  
 Detector Type: SDD Apollo X Resolution:126.41 Lsec 50

## EDAX ZAF Quantification (Standardless)

Element Normalized

SEC Table : Default

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	55.03	69.75	0.2486	1.0223	0.4418	1.0002
O K	22.08	21.01	0.0250	1.0068	0.1125	1.0001
MgK	0.95	0.59	0.0026	0.9688	0.2815	1.0012
AlK	1.25	0.70	0.0042	0.9409	0.3594	1.0017
SiK	1.66	0.90	0.0071	0.9690	0.4435	1.0022
K K	6.71	2.61	0.0710	0.9154	1.1381	1.0148
CaK	9.45	3.59	0.0771	0.9390	0.8679	1.0018
TiK	1.41	0.45	0.0091	0.8617	0.7461	1.0010
FeK	1.47	0.40	0.0128	0.8616	1.0083	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element	Net Inte.	Bkqd Inte.	Inte. Error	P/B
C K	26.56	0.10	2.75	265.60
O K	5.72	0.24	6.16	23.83
MgK	1.72	0.62	14.15	2.77
AlK	3.34	1.08	9.93	3.09
SiK	6.34	1.64	6.92	3.87
K K	90.06	3.20	1.54	28.14
CaK	99.04	3.74	1.47	26.48
TiK	11.36	4.32	5.57	2.63
FeK	12.62	2.80	4.78	4.51

## APÊNDICE 32 – Percentual dos elementos presentes – Amostra 01 – B-B (CINZA)

```

c:\edax32\genesis\genspc.spc
Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
Acquisition Time : 10:50:49      Date: 4-Mar-2015

kV : 25.01   Tilt: 0.00   Take-off: 3.14   AmpT : 6.4
Detector Type: SDD Apollo X      Resolution:126.41      Lsec 50

EDAX ZAF Quantification (Standardless)
Element Normalized
SEC Table : Default

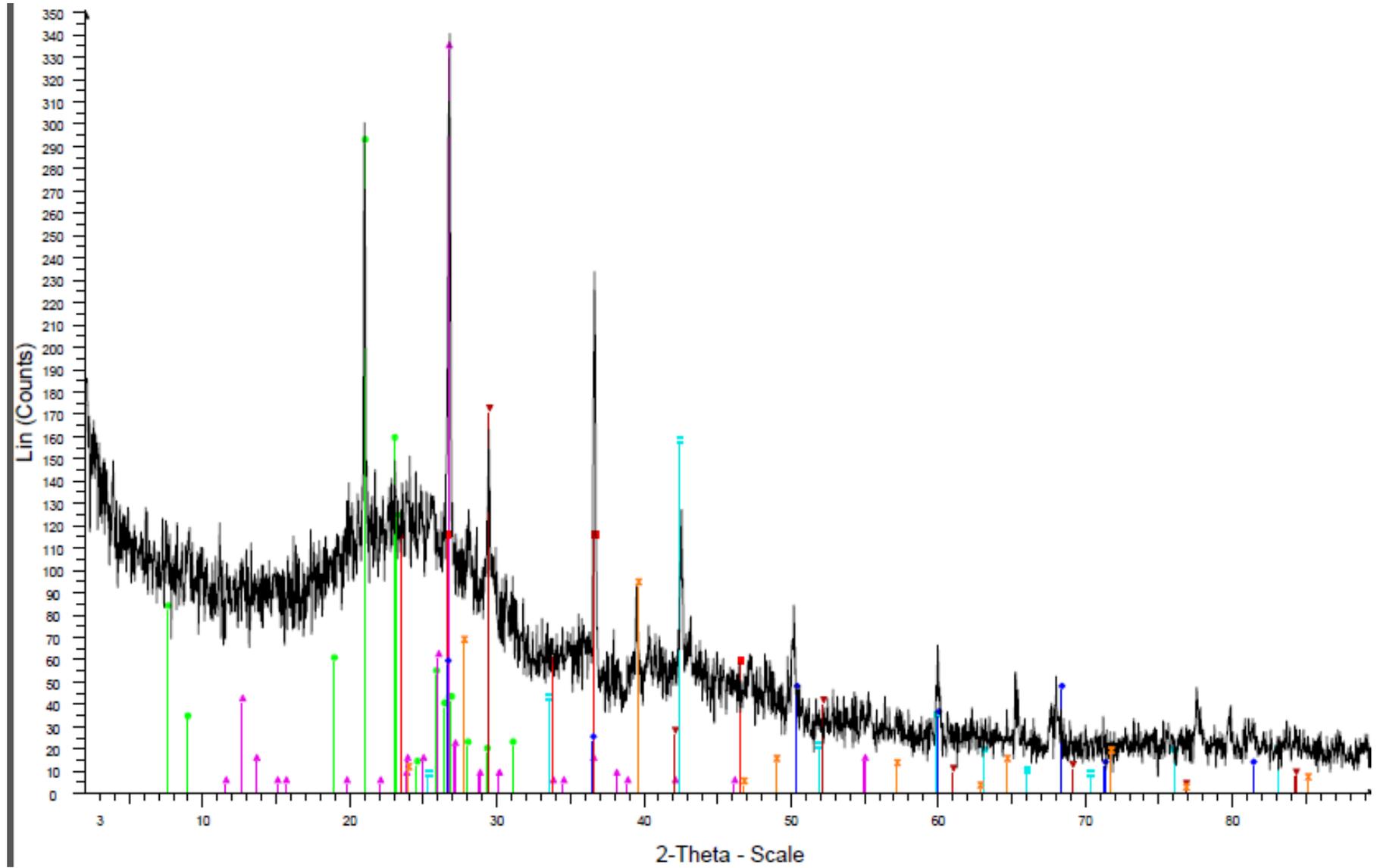
```

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	70.67	77.88	0.3946	1.0073	0.5542	1.0001
O K	24.00	19.85	0.0309	0.9920	0.1297	1.0000
MgK	1.34	0.73	0.0042	0.9548	0.3259	1.0004
AlK	0.69	0.34	0.0026	0.9274	0.4115	1.0005
SiK	0.80	0.38	0.0040	0.9551	0.5210	1.0004
K K	1.02	0.34	0.0123	0.8996	1.3410	1.0026
CaK	1.27	0.42	0.0159	0.9234	1.3536	1.0002
TiK	0.10	0.03	0.0011	0.8480	1.3763	1.0001
FeK	0.11	0.03	0.0013	0.8474	1.3746	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element	Net Inte.	Bkqd Inte.	Inte. Error	P/B
C K	310.36	2.20	0.81	141.07
O K	51.96	3.06	2.07	16.98
MgK	20.34	6.68	4.04	3.04
AlK	15.32	9.38	5.39	1.63
SiK	26.14	11.42	3.79	2.29
K K	115.04	7.96	1.41	14.45
CaK	149.96	7.88	1.21	19.03
TiK	10.42	6.68	6.62	1.56
FeK	9.64	4.72	6.41	2.04

## APÊNDICE 33 – Difratograma de raios X – Cinza da casca da castanha do Brasil



## APÊNDICE 34 – Índices da difração de raios X – Cinza da casca da castanha do Brasil

-  C:\DIFFDAT1\A\_1\_Cinza\_Castanha\_Brasil.RAW - File: A\_1\_Cinza\_Castanha\_Brasil.RAW - Type: 2Th/  
Operations: Import
-  44-0068 (Q) - Sodium Aluminum Silicate Bis(N-Methylpyridyl)Ethylinium ZSM-12 - C<sub>28</sub>H<sub>36</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>·0.18Na
  -  30-1664 (Q) - 4-Cyanocinnoline - C<sub>9</sub>H<sub>5</sub>N<sub>3</sub> - Y: 97.92 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - I/lc PDF 8. -
  -  38-1369 (\*) - Boron Magnesium - MgB<sub>2</sub> - Y: 45.75 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 3.0864 - b
  -  49-0162 (Q) - Sodium Silicate - Na<sub>6</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>19</sub> - Y: 33.33 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
  -  22-0948 (C) - Sodium - Na - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
  -  02-0459 (D) - Silicon Oxide - SiO<sub>2</sub> - Y: 16.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 -
  -  77-2151 (C) - Potassium Oxide - K<sub>2</sub>O - Y: 27.08 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/lc PDF 5.1 -