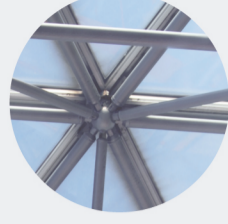
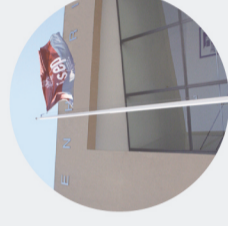




Uso da Fibra de Coco em Betão

STEPHANIE ASSUNÇÃO GONÇALVES

novembro de 2016



Uso da Fibra de Cocco em Betão

STEPHANIE ASSUNÇÃO GONÇALVES
Outubro de 2016



USO DA FIBRA DE COCO EM BETÃO

STEPHANIE ASSUNÇÃO GONÇALVES

Projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE GESTÃO DA CONSTRUÇÃO

Orientador: Paulo Augusto Ribeiro Guedes (Instituto Superior de Engenharia do Porto)

Co-Orientador: Simão Prizskulnik (Universidade Presbiteriana Mackenzie)

OUTUBRO DE 2016

ÍNDICE GERAL

| | |
|---|------|
| Índice Geral | iii |
| Resumo..... | v |
| Abstract | vii |
| Agradecimentos | ix |
| Índice de Texto | xi |
| Índice de Figuras..... | xiii |
| Índice de Tabelas..... | xvii |
| Abreviaturas | xxi |
| 1 Introdução..... | 1 |
| 2 Revisão da literatura - Estado da arte..... | 5 |
| 3 Parte Experimental | 29 |
| 4 Análise de Resultados | 61 |
| 5 Conclusão | 73 |
| Referências Bibliográficas | 75 |
| Anexo I – Tabelas do ensaio de módulo de elasticidade estático..... | 81 |
| Anexo II – Declaração da Empresa Plancomar | 96 |

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as resistências à compressão axial, tração por compressão diametral e tração na flexão, módulos de elasticidade estático e dinâmico do betão reforçado com fibra de coco (BRFC), tendo como referência o betão preparado sem a adição de fibra. A escolha da fibra natural decorreu da necessidade de utilizar os resíduos gerados pelo consumo do coco verde. Sendo assim, este trabalho apresenta uma breve história do betão, suas propriedades, tipos de fibras sintéticas e naturais, processo de beneficiamento da casca de coco verde, além de uma parte experimental onde são apresentados os equipamentos, resultados, análises e conclusões através de ensaios em provetes de betão reforçados com diferentes teores de fibra, de acordo com as normas brasileiras vigentes.

Palavras-chave: Betão reforçado com fibra de coco, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade estático, módulo de elasticidade dinâmico.

ABSTRACT

This work has the objective to evaluate the resistance of the axial compression, traction by diametrical compression and bending tensile, and the static and dynamic modulus of elasticity of coconut fiber reinforced concrete (BFRC), using as reference the concrete prepared without the fiber. The choice for the natural fiber happened because of the necessity to adapt the residue of the coconut. Therefore, this paper presents a brief history of concrete, its attributes, kinds of synthetic and natural fibers, method of green coconut shell processing, and an experimental section where it's presented the equipments, results, analysis and conclusions throughout rehearsals in proof bodies reinforced with different kinds of fiber contents, according to the current brazilian standards.

Key words: Fiber coconut reinforced concrete, axial compression resistance, traction by diametrical compression resistance, bending tensile resistance, static modulus of elasticity, dynamic modulus of elasticity.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que me iluminou durante essa caminhada.

Aos meus pais e familiares pela dedicação, ajuda e compreensão.

Ao meu Orientador Prof^o Ms. Paulo Augusto Ribeiro Guedes, responsável pela orientação, ajuda e apoio na realização deste trabalho.

Ao meu Coorientador Prof^o Ms. Simão Prizskulnik pela orientação e auxílio sempre dado.

Aos professores Prof. Dr. Celso Antônio Abrantes e Prof. Dr. Fábio Raia que propuseram o tema de pesquisa.

Aos laboratoristas Lázaro de Castro e José Maria da Silva pelo auxílio nas moldagens e ensaios do trabalho.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto pela oportunidade do intercâmbio e suporte sempre dado.

À Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie pelo imprescindível apoio à realização dos ensaios.

Aos meus amigos do Instituto Superior de Engenharia do Porto pelo apoio.

Aos meus amigos da Universidade Presbiteriana Mackenzie pelos anos junto.

ÍNDICE DE TEXTO

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Introdução..... | 1 |
| 1.1 | Objetivo..... | 2 |
| 1.2 | Justificativa | 2 |
| 1.3 | Metodologia..... | 3 |
| 1.4 | Estrutura do trabalho..... | 3 |
| 2 | Revisão da literatura - Estado da arte..... | 5 |
| 2.1 | Betão Convencional | 5 |
| 2.1.1 | História | 5 |
| 2.1.2 | Componente e Propriedades..... | 10 |
| 2.2 | Tipos de Fibra..... | 12 |
| 2.2.1 | Fibras Sintéticas | 13 |
| 2.2.1.1 | Fibra de Aço..... | 14 |
| 2.2.1.2 | Fibra de Polipropileno | 16 |
| 2.2.1.3 | Fibra de Carbono | 17 |
| 2.2.1.4 | Fibra de Vidro | 18 |
| 2.2.1.5 | Fibra de para-aramida (Kevlar)..... | 18 |
| 2.2.2 | Fibras Naturais..... | 19 |
| 2.2.2.1 | Fibra de Sisal..... | 19 |
| 2.2.2.2 | Fibra de Coco..... | 20 |
| 2.2.2.3 | Beneficiamento da fibra de coco | 22 |
| 2.3 | Compósitos | 27 |
| 2.3.1 | Tenacidade | 28 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.3.2 | Trabalhabilidade | 28 |
| 3 | Parte Experimental..... | 29 |
| 3.1 | Caracterização dos Materiais Utilizados | 29 |
| 3.1.1 | Cimento Portland..... | 29 |
| 3.1.2 | Agregados | 30 |
| 3.1.3 | Fibra de coco..... | 33 |
| 3.1.4 | Traço do betão e moldagem dos provetes..... | 33 |
| 3.2 | Ensaio de resistência à compressão axial | 38 |
| 3.3 | Ensaio de tração por compressão diametral | 43 |
| 3.4 | Ensaio de tração na flexão | 49 |
| 3.5 | Ensaio módulo de elasticidade estático..... | 54 |
| 3.6 | Ensaio propagação de onda ultrassônica..... | 56 |
| 4 | Análise de Resultados | 61 |
| 4.1 | Análise dos resultados obtidos nos ensaios de compressão axial..... | 61 |
| 4.2 | Análise dos resultados obtidos nos ensaios de tração por compressão diametral..... | 64 |
| 4.3 | Análise dos resultados obtidos nos ensaios de tração na flexão..... | 67 |
| 4.4 | Análise dos resultados obtidos nos ensaios de módulo de elasticidade estático | 70 |
| 4.5 | Análise dos resultados obtidos nos ensaios de onda ultrassônica | 71 |
| 5 | Conclusão | 73 |
| | Referências Bibliográficas..... | 75 |
| | Anexo I – Tabelas do ensaio de módulo de elasticidade estático | 81 |
| | Anexo II – Declaração da Empresa Plancomar | 97 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 Cisterna em Kamiros, Grécia. | 6 |
| Figura 2.2 Paternon, Grécia..... | 6 |
| Figura 2.3 Dois tipos de acabamento utilizado pelos romanos | 7 |
| Figura 2.4 Dois tipos de acabamento utilizado pelos romanos | 7 |
| Figura 2.5 Pintura do interior do Panteão no Século XVIII..... | 8 |
| Figura 2.6 Vista Frontal do Coliseu, Roma..... | 9 |
| Figura 2.7 Agregados naturais (a) areia fina (b) areia média (c) pedrisco (d) pó de pedra com pedrisco. | 11 |
| Figura 2.8 Agregados sintéticos, argila expandida..... | 11 |
| Figura 2.9 Esquema e classificação das fibras..... | 12 |
| Figura 2.10 Fibras sintéticas..... | 14 |
| Figura 2.11 Fibras de aço (tipo A-II). | 15 |
| Figura 2.12 Classificação e geometria das fibras de aço, conforme a NBR 15530 (ABNT, 2007). | 16 |
| Figura 2.13 Fibra de polipropileno. | 17 |
| Figura 2.14 Fibra de carbono..... | 17 |
| Figura 2.15 Fibra de vidro..... | 18 |
| Figura 2.16 Fórmula molecular do polímero de Kevlar..... | 19 |
| Figura 2.17 Fibra de Kevlar..... | 19 |
| Figura 2.18 Fibra de sisal..... | 20 |
| Figura 2.19 Corte longitudinal do coco verde e descrição de suas partes..... | 22 |
| Figura 2.20 Máquina de alimentação da esteira..... | 23 |
| Figura 2.21 Máquina trituradora de casca de coco verde..... | 23 |
| Figura 2.22 Máquina para prensar os resíduos da casca de coco verde..... | 24 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.23 Descarga de pó da casca de coco verde..... | 26 |
| Figura 2.24 Secador rotativo..... | 26 |
| Figura 2.25 Esquema de concentração de tensões para um betão sem (a) e com fibras (b). | 27 |
| Figura 3.1 Fibra de coco..... | 33 |
| Figura 3.2 Materiais utilizados para realização dos ensaios..... | 35 |
| Figura 3.3 Preparo do betão..... | 36 |
| Figura 3.4 Betão com fibra de coco..... | 36 |
| Figura 3.5 Medida do índice de consistência (Slump Teste)..... | 37 |
| Figura 3.6 Vibrador eletromecânico..... | 37 |
| Figura 3.7 Provetes após desmoldagem..... | 38 |
| Figura 3.8 Provetes após desmoldagem na câmara úmida..... | 38 |
| Figura 3.9 Realização do ensaio de compressão axial..... | 39 |
| Figura 3.10 Provede cilíndrico após ser submetido à compressão axial..... | 40 |
| Figura 3.11 Provetes após ruptura após compressão axial..... | 40 |
| Figura 3.12 Representação esquemática do ensaio de tração por compressão diametral, conforme a NBR 7222 (ABNT, 2010). | 44 |
| Figura 3.13 Realização do ensaio de tração por compressão diametral..... | 45 |
| Figura 3.14 Provede após ruptura à tração por compressão diametral..... | 45 |
| Figura 3.15 Provetes após ruptura à tração por compressão diametral..... | 46 |
| Figura 3.16 Esquema do ensaio de tração na flexão, segundo a NBR 12142 (ABNT, 2010). | 50 |
| Figura 3.17 Realização do ensaio de tração na flexão..... | 51 |
| Figura 3.18 Provede após ruptura à tração na flexão..... | 51 |
| Figura 3.19 Provetes após a ruptura à tração na flexão..... | 52 |
| Figura 3.20 Representação esquemática à compressão para a medida do módulo de elasticidade estático, segundo a NBR 8522 (ABNT, 2008). | 55 |
| Figura 3.21 Realização do ensaio de módulo de elasticidade estático..... | 56 |
| Figura 3.22 Realização do ensaio de propagação de onda ultrassônica (módulo de elasticidade dinâmico)..... | 57 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.1 Gráfico da resistência à compressão axial aos 7 dias..... | 61 |
| Figura 4.2 Gráfico da resistência à compressão axial aos 28 dias..... | 62 |
| Figura 4.3 Gráfico da resistência média à compressão axial aos 7 dias e aos e 28 dias. | 63 |
| Figura 4.4 Gráfico da resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias..... | 64 |
| Figura 4.5 Gráfico da resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias..... | 65 |
| Figura 4.6 Gráfico da resistência média à tração por compressão diametral aos 7 dias e aos 28 dias. | 66 |
| Figura 4.7 Gráfico da resistência à tração na flexão aos 7 dias..... | 67 |
| Figura 4.8 Gráfico da resistência à tração na flexão aos 28 dias..... | 68 |
| Figura 4.9 Gráfico da resistência média à tração na flexão aos 7 dias e aos 28 dias. | 69 |
| Figura 4.10 Gráfico dos resultados do módulo de elasticidade estático aos 28 dias..... | 70 |
| Figura 4.11 Gráfico dos resultados do módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias. | 71 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 2.1 Comparativa do Panteão com os monumentos mais importantes do mundo. | 9 |
| Tabela 2.2 Composição dos cimentos Portland. | 10 |
| Tabela 2.3 Propriedades mecânicas e características de fibras vegetais e convencionais de reforço. | 13 |
| Tabela 2.4 Área plantada e produção de coqueiro nas regiões do Brasil em 2009. | 21 |
| Tabela 2.5 Caracterização do líquido da casca de coco verde. | 25 |
| Tabela 3.1 Exigências físicas para o CP II-E 32 (ABNT NBR 11578:1991). | 29 |
| Tabela 3.2 Exigências químicas para o CP II-E 32 (ABNT NBR 11578:1991). | 30 |
| Tabela 3.3 Composição granulométrica do agregado graúdo. | 31 |
| Tabela 3.4 Composição granulométrica da areia quartzosa natural rosa. | 32 |
| Tabela 3.5 Composição granulométrica da areia quartzosa natural média fina. | 32 |
| Tabela 3.6 Resumo dos traços. | 34 |
| Tabela 3.7 Resumo das massas específicas. | 35 |
| Tabela 3.8 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço Piloto (sem fibra). | 41 |
| Tabela 3.9 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 15 ± 10 mm). | 41 |
| Tabela 3.10 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm). | 41 |
| Tabela 3.11 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 5 ± 10 mm). | 42 |
| Tabela 3.12 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm). | 42 |
| Tabela 3.13 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 0 ± 10 mm). | 42 |

| | |
|--|----|
| Tabela 3.14 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm). | 43 |
| Tabela 3.15 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço Piloto (sem fibra) | 46 |
| Tabela 3.16 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 15 ± 10 mm). | 47 |
| Tabela 3.17 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm). | 47 |
| Tabela 3.18 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 15 ± 10 mm). | 48 |
| Tabela 3.19 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm). | 48 |
| Tabela 3.20 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 0 ± 10 mm). | 49 |
| Tabela 3.21 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm). | 49 |
| Tabela 3.22 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço Piloto (sem fibra). | 52 |
| Tabela 3.23 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 15 ± 10 mm). | 52 |
| Tabela 3.24 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm). | 53 |
| Tabela 3.25 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 15 ± 10 mm). | 53 |
| Tabela 3.26 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm). | 53 |
| Tabela 3.27 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 0 ± 10 mm). | 54 |
| Tabela 3.28 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm). | 54 |
| Tabela 3.29 Tabela resumo dos resultados médios obtidos no ensaio de módulo de elasticidade aos 28 dias, em GPa. | 56 |

| | |
|---|----|
| Tabela 3.30 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço Piloto (sem fibra). | 57 |
| Tabela 3.31 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 15 ± 10 mm). | 58 |
| Tabela 3.32 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm). | 58 |
| Tabela 3.33 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 5 ± 10 mm). | 59 |
| Tabela 3.34 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm). | 59 |
| Tabela 3.35 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 0 ± 10 mm). | 60 |
| Tabela 3.36 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm). | 60 |
| Tabela 4.1 Tabela resumo dos resultados médios do ensaio de Compressão axial. | 64 |
| Tabela 4.2 Tabela resumo dos resultados médios do ensaio de Tração por Compressão diametral. | 67 |
| Tabela 4.3 Tabela resumo dos resultados médios do ensaio de Tração na Flexão. | 69 |
| Tabela 4.4 Tabela resumo dos resultados médios do ensaio de Módulo de elasticidade estático (GPa). | 71 |
| Tabela 4.5 Tabela resumo dos resultados médios do ensaio de Módulo de elasticidade dinâmico (GPa). | 72 |
| Tabela Anexo I.1 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço Piloto (sem fibra). | 82 |
| Tabela Anexo I.2 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço Piloto (sem fibra). | 83 |
| Tabela Anexo I.3 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 15 ± 10 mm) | 84 |
| Tabela Anexo I.4 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 15 ± 10 mm) | 85 |
| Tabela Anexo I.5 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm) | 86 |
| Tabela Anexo I.6 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm) | 87 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela Anexo I.7 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 5 ± 10 mm) | 88 |
| Tabela Anexo I.8 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 5 ± 10 mm) | 89 |
| Tabela Anexo I.9 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm) | 90 |
| Tabela Anexo I.10 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm) | 91 |
| Tabela Anexo I.11 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 0 ± 10 mm) | 92 |
| Tabela Anexo I.12 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 0 ± 10 mm) | 93 |
| Tabela Anexo I.13 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm) | 94 |
| Tabela Anexo I.14 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm) | 95 |

ABREVIATURAS

| | |
|--------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| IBRACON | Instituto Brasileiro do Concreto |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| ABCP | Associação Brasileira de Cimento Portland |
| NBR | Norma Brasileira Registrada |
| NM | Normalização no Mercosul |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| PV | Provete (Corpo de Prova) |
| BRFC | Betão Reforçado com Fibra de Coco |
| BS | Betão Simples |
| MPa | Mega Pascal |
| GPa | Giga Pascal |
| ft,d | Resistência à tração por compressão diametral |
| F | Carga máxima obtida (kN) |
| D | Diâmetro do provete (mm) |
| L | Altura do provete (mm) |
| E | Módulo de elasticidade (GPa) |
| σ_8 | Maior tensão ($\sigma_8 = 0,3 f_c$) (MPa) |
| σ_7 | Menor tensão correspondente a deformação específica (MPa) |
| Δl_8 | Deslocamento correspondente a maior tensão (mm) |
| Δl_7 | Deslocamento correspondente a menor tensão (mm) |

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de materiais sustentáveis e de baixo custo proporciona a elaboração de pesquisas e novos métodos. Neste trabalho, a fibra de coco será incorporada ao betão, verificando seu desempenho e resistência, de forma que se apresente como uma alternativa sustentável (natural) ao uso de fibras sintéticas, mantendo a resistência e as melhorias no betão.

O Brasil tornou-se um grande produtor e consumidor de coco verde nos últimos anos. Segundo Vale (2011) o país produz cerca de 8,1 bilhões de unidades de coco, sendo que 80% do fruto, correspondente à casca, é inutilizado, tornando-se um resíduo. Este, quando lançado ao ambiente, acarreta problemas como poluição e produção de gases. De acordo com Duarte (2009), um coco pode proporcionar cerca de 70 g de fibra de comprimento satisfatório. Isto porque, da porção inutilizada do coco, apenas 25% são convertidos em fibra aproveitável, o restante é composto por fibras de menor comprimento e pó de coco, que são utilizados como fertilizantes.

Tendo em vista a grande variedade de fibras naturais que estão sendo utilizadas nos processos construtivos, a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2011) relata que o resíduo do coco é uma opção renovável, biodegradável, de baixo custo e com diversas utilizações, apresentando propriedades físico-químicas adequadas à produção de diversos produtos, como reforço em compósitos. Estes são materiais que, quando separados, apresentam características distintas, mas quando unidos e analisados em conjunto, apresentam propriedades impossíveis de obter individualmente.

Além de sua contribuição no reforço do betão, como meio de inibir a fissuração e melhorar a resistência à tração, a fibra de coco tem diversos usos, tais como: melhorar a acústica no ambiente, isolamento térmico, estabilidade de encostas ou, ainda, na fabricação de artigos têxteis e decorativos.

A aplicação da fibra no betão pode ocorrer em lajes de betão, peças pré-moldadas, betão para projetos específicos, em blocos de betão ou em outras aplicações. A razão de se utilizar fibras como auxílio em matrizes cimentícias é o aumento da resistência à tração e à flexão, retardando ou inibindo o aparecimento de fissuras, segundo Silva (2008).

1.1 OBJETIVO

Analisar a variação da resistência à compressão axial, tração por compressão diametral, tração na flexão, módulo de elasticidade à compressão e propagação da onda ultrassônica do betão reforçado com fibra de coco. Descrevendo o betão convencional, sua história e componentes, apresentando as fibras sintéticas e naturais, o processo de beneficiamento da fibra de coco, assim como suas propriedades, para posteriormente verificar a variação das resistências à compressão axial, tração por compressão diametral, tração na flexão, módulo de elasticidade estático e dinâmico do betão convencional e do betão com adição de fibra de coco, através dos seus respectivos ensaios, tendo como referência o betão sem a adição da fibra.

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo a EMPRABA (2001) “o aumento do consumo de água-de-coco verde e a vocação natural para sua industrialização vêm causando problema na disposição final do resíduo gerado”, sendo assim, é necessário um destino renovável aos 80% do coco que a casca representa. A fibra de coco, por ser um resíduo renovável e biodegradável, já é utilizada em plantações, indústria automobilística, instalações acústicas, ar condicionado e na construção civil como agregado ao betão e na contenção de taludes.

“[...] pode-se resumir que os materiais reforçados com fibras vegetais são de produção tecnicamente possível e economicamente viáveis, nas regiões em que a matéria-prima é abundante”. (Savastano, 2004)

Segundo Jesus Júnior (2011) “nos últimos anos (2005-2009), o Egito, a Argentina e a Turquia são considerados os maiores importadores de coco brasileiro, seja fresco ou seco, com ou sem casca, seguidos de Portugal, EUA e Paraguai”. A partir da necessidade de novas alternativas aos resíduos, surgiu o estudo para o uso da fibra de coco.

Segundo a revista Em Foco, nº 26 “a crise energética mundial das últimas duas décadas tem motivado o desenvolvimento de pesquisas sobre o fibro-cimento¹ ou fibro-concreto devido ao fato de a fabricação de cimento exigir menor demanda de energia comparada com a necessária à fabricação do aço ou dos plásticos”.

A necessidade de materiais sustentáveis vem sendo cada vez maior no cenário mundial, sendo assim o aproveitamento de um resíduo biodegradável com resistência, rigidez e durabilidade, deve ser estudado e implantado nas suas diversas áreas de utilização.

¹ Fibro-cimento: termo usado no meio técnico, se refere ao uso de cimento com fibras

1.3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido através de revisão literária e parte experimental.

No âmbito da revisão literária, inclui-se o betão convencional, sua história, propriedades, fibras naturais e sintéticas, o beneficiamento da fibra de coco, processo e propriedades, e o uso de fibra de coco no betão.

Para a realização da parte experimental, foram moldados 84 provetes cilíndricos e 21 provetes prismáticos de betão sem e com adição de 3 (três) teores diferentes de fibra, sendo mantida a relação água/cimento do traço sem fibra e o índice de consistência, bem como os ensaios de resistência e módulos de elasticidade realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia na Universidade Presbiteriana Mackenzie, seguindo os procedimentos especificados nas normas da ABNT²:

- ABNT NBR 5738:2003 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova;
- ABNT NBR NM 67:1998 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone
- ABNT NBR 5739:2007 Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos;
- ABNT NBR 7222:2010 Concreto e argamassa – Determinação da resistência à compressão diametral de corpos de prova cilíndricos;
- ABNT NBR 12142:2010 Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos;
- ABNT NBR 8522:2008 Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão;
- ABNT NBR 8802:2013 Concreto endurecido – Determinação da propagação de onda ultrassônica.

Com os resultados obtidos nos ensaios, as resistências foram analisadas e comparadas entre si.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho estrutura-se em 5 seções.

A Seção 1 apresenta a Introdução, que é composta pelos seguintes itens: objetivos, geral e específicos, justificativa, metodologia e estrutura do trabalho.

² ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

CAPÍTULO 1

A Seção 2 relata uma revisão literária acerca do betão convencional, mostrando sua história e propriedades, além de, abordar as fibras sintéticas e naturais, especificamente à fibra de coco, demonstrando seu processo de beneficiamento e propriedades.

A Seção 3 retrata a descrição dos ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral, tração na flexão, módulo de elasticidade à compressão e propagação da onda ultrassônica, realizados em betão convencional e em betão com adição de fibra de coco.

A seção 4 analisa os resultados obtidos pelos ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral, tração na flexão, módulo de elasticidade à compressão e propagação da onda ultrassônica.

A seção 5 descreve as conclusões do trabalho e indica algumas recomendações para pesquisas futuras.

2 REVISÃO DA LITERATURA - ESTADO DA ARTE

2.1 BETÃO CONVENCIONAL

O betão convencional é composto por cimento Portland, água e agregados miúdo e graúdo com granulometrias variáveis. Sua resistência à tração é baixa, enquanto é maior a sua resistência à compressão. Sua resistência e durabilidade são proporcionais aos materiais que o constituem. Para elevar sua resistência à tração, pode-se, por exemplo, adicionar fibras sintéticas ou naturais.

2.1.1 História

Antes da utilização do betão, os principais materiais empregados na construção civil foram madeira, ferro e pedra natural. A procura de novos materiais deu-se em função de aspectos como a baixa resistência da madeira, variável em relação ao meio em que foi implantada; o ferro é passível de oxidação, especialmente sem proteção, e as pedras tem suas características distintas em função do local onde são extraídas e implantadas. Sendo assim, o betão surgiu a partir da necessidade de conciliar a pedra com a proteção que deveria ser feita nas barras de aço.

As primeiras utilizações do betão convencional ocorreram na época do desenvolvimento da Grécia Antiga. Koui e Fitkos, em 1998, apresentaram um estudo de um tanque de betão para estocar água, conforme ilustra a Figura 2.1, construído por volta de 1000 a.C. em Kamiros, na Ilha de Rodes na Grécia. Nesse estudo, eles mostram a qualidade do betão empregado que, após três milênios, continua apresentando bom desempenho físico e mecânico. A mistura de seixo, agregados de calcário médio e fino, terra vulcânica e cal como aglomerante, foi feita de maneira que quase se superpõem à curva granulométrica ideal proposta por Fuller (Isaia, 2005).



Figura 2.1 Cisterna em Kamiros, Grécia (Isaias 2005 apud Kouli e Ftikos, 1998).

Na Grécia antiga os materiais empregados no betão variavam de acordo com a região onde seriam construídos, como por exemplo o Partenon, construído por volta de 5 a.C., ilustrado na Figura 2.2. Outro exemplo, são as ilhas próximas à Grécia que utilizavam materiais como terra vulcânica e cal hidratado.



Figura 2.2 Paternon, Grécia (Yegul, F, 2005).

A obra de Vitruvius (*De Architectura* – 1º século a.C. apud Isaia, 2005) mostra e explica o modo de produção do betão romano “A excelente qualidade desse material resultou do uso extensivo da argamassa e concretos realizados com pozolanas artificiais, tais como argila caulinitica calcinada (testa) ou pedras vulcânicas calcinadas (carbunculus) e uma areia vulcânica reativa, de origem natural, denominada harena fossicia”. Vale ressaltar que esse material reativo não é a tradicional pozolana de perto da cidade de Nápoles, pois esse material era utilizado apenas em obras de contato com água ou fundação, enquanto o outro era utilizado em edifícios, segundo o volume 2 do livro de Vitruvius. Esse material era chamado de *opus caementicium*, que significa “obra cimentícia” ou “aglomerada”.

Os romanos logo perceberam as grandes vantagens do uso do *opus caementicium*, tais como segurança contra fogo (não utilizavam mais o sistema de madeiras), mão de obra não especializada, menor tempo de obra, o betão possuía a forma desejada e grandes vãos foram alcançados. Eles não utilizavam armaduras de ferro, então se aprimoraram no uso de tijolos, betão e pedras para resistirem às forças de

tração e compressão. De acordo com Isaia (2005) suas técnicas construtivas eram “na construção de fundações e paredes, os romanos utilizavam, nas faces externas, blocos de pedras, tijolos ou placas de turfa (material vulcânico) como fôrmas; preenchiavam o interior com pedaços de pedra ou tijolos quebrados entre as camadas de argamassa de cal, pozolana e areia”.

Os romanos nominavam o betão de acordo com o material empregado e sua utilização nas faces externas. Quando apresentavam pedaços irregulares de pedra, o nome dado era opus incertum; os blocos quadrados ou turfa diagonalmente alinhadas eram chamados de opus reticulatum, conforme ilustra a Figura 2.3.



(a) Opus incertum



(b) Opus reticulatum

Figura 2.3 Dois tipos de acabamento utilizado pelos romanos (Yegul, F., 2005)

Os que possuíam uma ou duas faces de tijolos denominavam-se opus testaceum e, por fim, quando ocorriam a mistura de dois ou mais tipos eram chamados de opus mixtum, conforme ilustra a Figura 2.4



(a) Opus testaceum



(b) Opus mixtum

Figura 2.4 Dois tipos de acabamento utilizado pelos romanos (Yegul, F., 2005)

CAPÍTULO 2

Até então, os romanos fizeram obras inovadoras para a época, como o Panteão que foi construído em 27 a.C., no terceiro consulado de Marco Vipsânio Agripa. Daí o nome de Panteão de Agripa, que em 80 d.C., após um incêndio, foi reconstruído no reinado do Imperador Adriano em 120 d.C.

O Panteão é uma edificação cilíndrica, conforme ilustra a Figura 2.5, constituída por diferentes densidades de betão. Sua abóboda possui um diâmetro de aproximadamente 43,5 metros, sendo igual a sua altura total, através da abertura no centro da abóboda de 8,2 metros é possível a entrada de luz no ambiente. Na estrutura da abóboda, além do betão convencional, existem outros sistemas de construção como a madeira, formando treliças, materiais de ferro, permitindo as ligações e pedras que formam as estruturas de arco.



Figura 2.5 Pintura do interior do Panteão no Século XVIII (Giovanni Panini, 1732)

O Coliseu, também chamado de Anfiteatro de Nero, ilustrado na Figura 2.6, foi construído entre 72 e 80 d.C. por Vespasiano e finalizado por Tito, seu filho. Construído sobre o antigo palácio de Nero, era capaz de abrigar cerca de 50.000 espectadores e era utilizado para jogos de gladiadores e simulações de batalhas navais. O material empregado foi o mármore travertino de cor clara, tijolos, blocos de tufa e betão, materiais de primeira qualidade para a época. Suas dimensões são de 189 metros no eixo maior, 156 metros no eixo menor e altura de 48,5 metros em forma elíptica. Para a realização da fundação, por toda essa superestrutura ter sido construída sobre o lago que pertencia ao Palácio de Nero, foi necessária uma escavação de 7 metros para encontrar um solo adequado, a partir disso a fundação foi realizada em radier de 6 metros de espessura de betão, com total de 24.000 m³ de betão apenas nas fundações. Em função de desastres naturais, como terremotos no começo do século V, foi restaurado.

De acordo com a Isaia (2005) “a superestrutura é formada por pilares em mármore travertino ($\geq 100.000\text{m}^3$). Culminando os pilares, foram executados arcos e abóbodas em opus quadratum (faces retangulares) no primeiro pavimento e opus testacium (faces de tijolos) no segundo pavimento, com opus caementicium (concreto) no interior”. Sua fachada era em forma de arcos e, no último andar, eram janelas retangulares. De acordo com historiadores, tais dimensões serviam para mostrar ao mundo a

grandiosidade dos romanos e para dar ao povo, que passava por momentos difíceis em Roma após pestes e desastres naturais, uma atração, melhorando assim a reputação do imperador.



Figura 2.6 Vista Frontal do Coliseu, Roma (Revista Mundo Estranho, Edição 14).

O betão utilizado pelos romanos possuía uma relação água/cimento baixa, que permitia menor número de vazios e a execução permitia melhor compactação pois, após o lançamento do betão, eram colocadas pedras, que eram compactadas com soquetes. A cal e a sílica amorfa, que era empregada, permitiam melhor impermeabilidade com o tempo. Os materiais como turfa, tijolos e pedras protegiam o betão das ações externas e permitiram, assim, melhor durabilidade das construções.

As técnicas construtivas foram o maior legado deixado pelos romanos para a humanidade. Após a queda do Império Romano no século 7 d.C., o uso do betão foi praticamente extinto, fato que se constata na Tabela 2.1, onde são apresentados monumentos construídos com diferentes materiais e seus respectivos tempos de construção. Essa técnica foi substituída apenas em 1756, quando John Smeaton descobriu o Cimento Portland, que foi patenteado em 1824 por John Aspdin.

Tabela 2.1 Comparativa do Panteão com os monumentos mais importantes do mundo (The History of Concrete and the Nabateans (2005)).

| Monumento | Diâmetro da cúpula (m) | Data | Tempo de execução | Material |
|-----------------------|------------------------|------------------|-------------------|----------|
| Panteão, Roma | 43,30 | 118 a 125 d.C. | 7 anos | Concreto |
| Sta.-Sophia, Istambul | 32,60 | 532 a 567 d.C. | 5 anos | Concreto |
| St.-Peter, Roma | 42,00 | 1400 a 1564 d.C. | 50 anos | Pedra |
| Catedral, Florença | 42,20 | 1420 a 1434 d.C. | 14 anos | Pedra |
| St.-Paul, Londres | 30,80 | 1675 a 1720 d.C. | 35 anos | Pedra |
| Panteão, Paris | 21,00 | 1755 a 1792 d.C. | 37 anos | Pedra |

2.1.2 Componente e Propriedades

O betão convencional utilizado hoje é uma mistura de cimento Portland, agregados e água, que pode ou não ter adjuvantes, sendo considerado como uma rocha artificial. De acordo com Leonhardt e Monnig (1972) “O concreto fresco é moldado em formas e adensado com vibradores. O endurecimento do concreto começa após poucas horas e, de acordo com o tipo de cimento, atinge aos 28 dias cerca de 60 a 90% de sua resistência. O concreto pode ser fabricado no local (in situ), ser pré moldado ou pré misturado”. O betão, após o endurecimento, é classificado em função da sua massa específica, e pode ser pesado, normal e leve.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland o cimento Portland, que pode ser comum ou composto conforme ilustra a Tabela 2.2, é o produto resultante do aquecimento do calcário e da argila, gerando o Clínquer Portland, cujos componentes provêm de cal e sílica e, em menor proporção, alumina e óxido de ferro. As matérias primas, normalmente o calcário e a argila, são pulverizadas e, em seguida, dosadas até que a mistura crua obtenha a composição requerida. A aproximadamente 1450º C a mistura crua atinge a zona de clinquerização. O produto resultante, Clínquer, é resfriado e moído com adição de gipsita (2 a 5%) para regular o tempo de pega que se deseja para esse betão.

Tabela 2.2 Composição dos cimentos Portland (Alvorada materiais de construção, 2016)

| Cimento | Tipo | Clinquer e Gesso | Escória | Pozolana | Calcário |
|-----------|------------------|------------------|----------|----------|----------|
| CP I | Comum | 100% | - | - | - |
| CP II | Comum | 95 a 99% | 1 a 5% | 1 a 5% | 1 a 5% |
| CP II - E | Composto | 56 a 94% | 6 a 34% | - | 0 a 10% |
| CP II - Z | Composto | 76 a 94% | - | 6 a 14% | 0 a 10% |
| CP II - F | Composto | 90 a 94% | - | - | 6 a 10% |
| CP III | "Alto-Forno" | 25 a 65% | 35 a 70% | - | 0 a 5% |
| CP IV | "Pozolânico" | 45 a 85% | - | 15 a 50% | 0 a 5% |
| CP V ARI | Alta Resistência | 95 a 100% | - | - | 0 a 5% |

Os agregados podem ser naturais ou artificiais e devem apresentar boa resistência e não devem prejudicar o processo de endurecimento do betão. Estes apresentam impurezas que não podem ultrapassar 0,02% de cloretos e 1% de sulfatos. Alguns materiais, como o açúcar, não podem estar presentes no betão, pois, nesse exemplo, não permite o processo de pega do betão. A forma e aderência influenciam diretamente

na escolha do agregado, sendo que os que possuem superfícies ásperas, aumentarão a resistência à tração.

São exemplos de agregados naturais: areia, cascalho de rio, pedras, cascalhos britados, areia de britagem, pedra-pome e escória de lava, conforme a Figura 2.7.

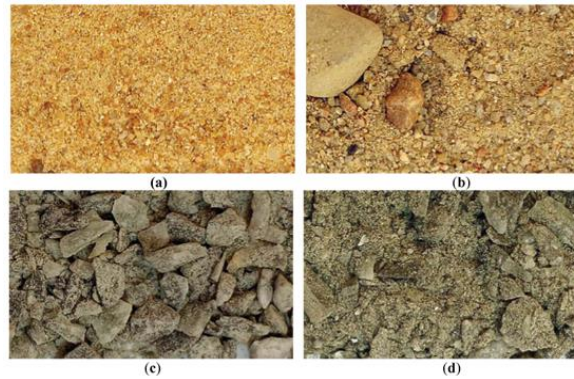


Figura 2.7 Agregados naturais (a) areia fina (b) areia média (c) pedrisco (d) pó de pedra com pedrisco (Modro, 2009).

São exemplos de agregados artificiais: escória de alto-forno, argila expandida ou sinterizada e ardósia expandida, conforme a Figura 2.8. Sua proporção na mistura deve estar situada na “faixa favorável” dentro da curva granulométrica.



Figura 2.8 Agregados sintéticos, argila expandida (Adaptado de QualiVida, 2016).

A água que deve ser utilizada na mistura não pode ser do mar, pois esta apresenta sais que, em contato com a armadura, podem corroê-la. Vale ressaltar a necessidade do ensaio das propriedades da água pois, dependendo do componente, podem acarretar reações em função do tipo de betão escolhido.

As propriedades do betão são diretamente influenciadas pela dosagem realizada, como a trabalhabilidade no estado fresco e a resistência no estado endurecido, que são relacionadas ao teor água cimento e escolha dos agregados que são decisivos para o traço.

A pega e o endurecimento são processos associados às reações de hidratação dos compostos químicos do cimento. O tipo de cimento, temperatura e umidade interferem nesse período e sua resistência não está limitada à idade de 28 dias, o que é chamado de endurecimento posterior.

Em função das reações, que são exotérmicas, altas temperaturas podem ser atingidas, ocasionando a perda de água da mistura, prejudicando assim sua função. Para que isso não ocorra é realizado um processo, que pode ser a molhagem do betão com água ou cura química, para manter a temperatura e a umidade do mesmo a fim de se manter a resistência, impermeabilidade e valor de retração de acordo com o que foi determinado.

2.2 TIPOS DE FIBRA

De acordo com Tanesi e Figueiredo (1999), o uso da fibra na construção civil data de aproximadamente 3.200 anos, sendo estas de amianto. Seu objetivo é melhorar a matriz frágil da pasta, argamassa ou betão de cimento Portland ou outro aglomerante.

As fibras vêm se destacando como materiais a serem adicionados ao betão a fim de melhorar determinadas características. Para atender essa necessidade, vem sendo desenvolvidos diversos tipos de fibras, naturais e sintéticas (artificiais), conforme ilustra a Figura 2.9, que possuem diversos tamanhos, diâmetros e formas a serem incorporados no betão.

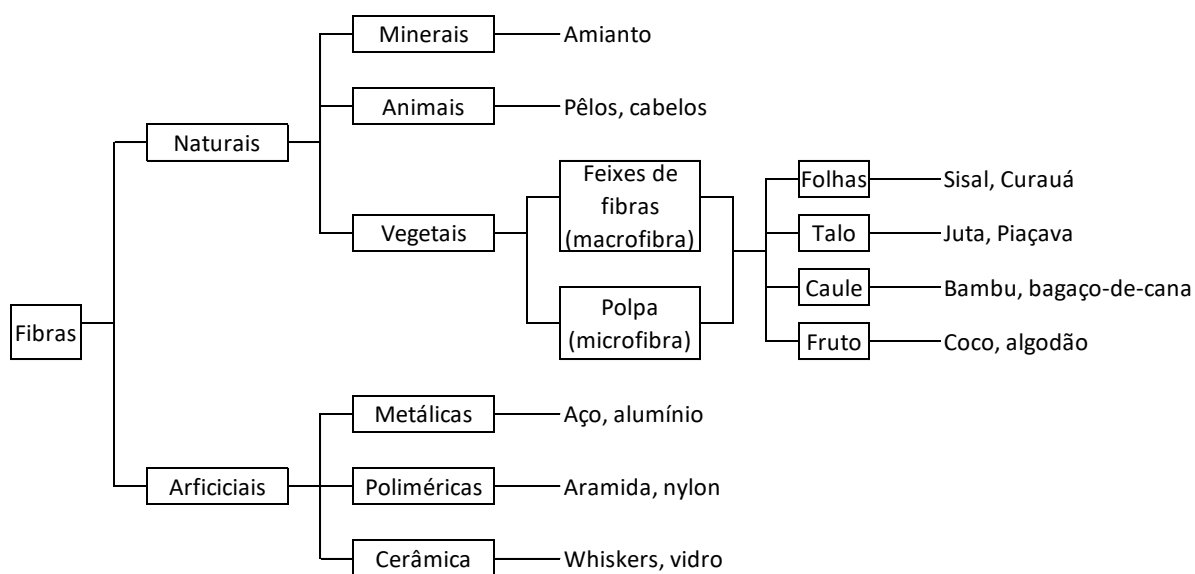


Figura 2.9 Esquema e classificação das fibras (Adaptado de PERSON, 2000).

Para Salazar e Leão (2006), as vantagens das fibras naturais comparadas com as fibras sintéticas são: baixas densidade e abrasividade; baixo consumo de energia e custo; atoxicidade; biodegradável; reciclável; altas propriedades de resistência mecânica específica; geração de empregos rurais; utilização como reforço para vários tipos de plásticos e excelentes propriedades termo-acústicas. Algumas dessas propriedades estão demonstradas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Propriedades mecânicas e características de fibras naturais e sintéticas de reforço (Adaptado de NABI SAHEB e JOG, 1999).

| Fibra | Diâmetro (µm) | Densidade (g/cm ³) | Resistência à tração (MPa) | Módulo de elasticidade (GPa) | Alongamento (%) |
|-------------|---------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------|
| Algodão | 16 - 21 | 1,5 - 1,6 | 287 - 597 | 5,5 - 12,6 | 7 - 8 |
| Juta | 200 | 1,3 | 393 - 773 | 26,5 | 1,5 - 1,8 |
| Linho | --- | 1,5 | 345 - 1035 | 27,6 | 2,7 - 3,2 |
| Cânhamo | --- | --- | 690 | --- | 1,6 |
| Rami | --- | 1,5 | 400 - 938 | 61,4 - 128 | 3,6 - 3,8 |
| Sisal | 50 - 300 | 1,5 | 511 - 635 | 9,4 - 22 | 3 - 7 |
| Coco | 100 - 450 | 1,15 - 1,45 | 131 - 175 | 4 - 13 | 15 - 40 |
| Vidro - E | 8 - 14 | 2,5 | 2000 - 3500 | 70 | 1,8 - 3,2 |
| Vidro - S | 10 | 2,5 | 4590 | 86 | 5,7 |
| Kevlar - 49 | 12 | 1,5 | 2800 - 3792 | 131 | 2,2 - 2,8 |
| Carbono | 7 - 10 | 1,6 - 1,9 | 4000 | 230 - 240 | 1,4 - 1,8 |

2.2.1 Fibras Sintéticas

Em 1965 ocorreu a primeira tentativa de empregar fibras poliméricas, sendo atualmente as mais utilizadas as de polipropileno. No entanto, outros tipos de fibras podem ser citados, como: nylon, poliéster, polietileno, celulose e kevlar. A Figura 2.9 ilustra algumas dessas fibras sintéticas.



Figura 2.10 Fibras sintéticas (Empresa Massa Cinzenta, 2010).

O reforço com fibras tem, entre suas funções, controlar a fissuração causada por mudanças de volume em matrizes de betão, que é indesejada por deixar a estrutura vulnerável aos agentes agressivos do meio externo. O principal agente agressivo que se beneficia com a fissuração é a água, que consegue penetrar a estrutura, podendo chegar à armadura.

Além das melhorias já apresentadas as fibras trazem aumento da ductilidade, controle de fissuração, aumento da resistência ao impacto, aumento da resistência à fadiga entre outras. Mostrando também o aumento da qualidade alcançada com a combinação entre os materiais (Onuki; Gasparetto, 2013).

Segundo Tanesi e Figueiredo (1999, p.13) outro benefício é “[...] a transferência de tensão para uma região não fissurada promoverá nela um incremento de tensão, que quando atingir a tensão de ruptura da matriz resultará no aparecimento de mais fissuras.”. Logo, um betão com fibras terá mais fissuras que um betão convencional, porém, com controle da abertura de fissuras, ou seja, essas fissuras serão menores nesse caso.

Segundo Pereira, Figueiredo e Bauer (2005), na década de 60, foram iniciadas buscas por novos materiais a serem utilizados no reforço de betão com adição de fibras, foram feitos vários testes de diferentes materiais utilizando até mesmo filamentos de nylon. Com o tempo, surgiram compósitos de cimento com adição de fibras provindos diretamente de fábrica. Temos como exemplo, o compósito Caricrete, desenvolvido e patenteado pela Shell, em 1966. Mas só foi possível de fato entender um pouco mais sobre tal mistura a partir de 1971, quando foram feitos estudos para compreender as melhorias mecânicas que o reforço com fibras trazia para a peça.

2.2.1.1 Fibra de Aço

Para Figueiredo (2000), a adição de fibras de aço, ilustradas na Figura 2.10, ao betão minimiza o comportamento frágil desse material. O betão passa a ser um material pseudo-dúctil, ou seja, continua

apresentando uma resistência residual a esforços nele aplicado, mesmo após a fissuração. Onuki e Gasparetto (2013) confirmam o mesmo pensamento de Figueiredo (2000) ao afirmarem que o acréscimo de fibras tem a função de diminuir o comportamento frágil do betão, ou também buscam o melhor desempenho perante as patologias presentes na estrutura, que apenas degradam e diminuem a vida útil da peça. A mistura desses dois materiais traz uma alteração nas características do betão devido à interação entre as fibras e o betão.



Figura 2.11 Fibras de aço (tipo A-II) (Figueiredo, 2005).

A fibra de aço é a única a possuir uma especificação técnica, sendo ela a ABNT NBR 15530:2007 – Fibras de aço para concreto - Especificações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007). Sua principal finalidade é a aplicação em pisos industriais, seguido pelo betão projetado e, por fim, os pré-moldados. Referida norma inclui as seguintes variedades de aço:

- Tipo A: fibra de aço com ancoragens nas extremidades;
- Tipo C: fibra de aço corrugada;
- Tipo R: fibra de aço reta.

Referida norma determina as classes das fibras, sua resistência e desempenho, resultantes do tipo de aço que as originou:

- Classe I: fibra oriunda de arame trefilado a frio;
- Classe II: fibra oriunda de chapa laminada cortada a frio;
- Classe III: fibra oriunda de arame trefilado e escarificado.

A Figura 2.11 representa a classificação das fibras de aço em função do tipo, classe e sua geometria.


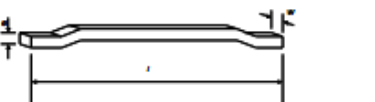
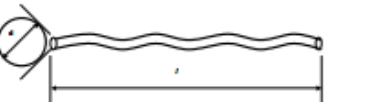
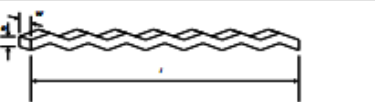
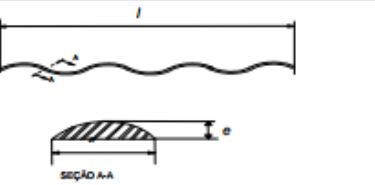
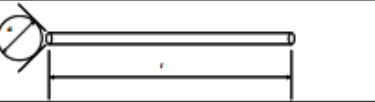
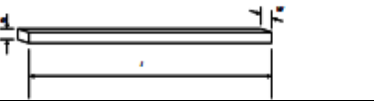
| Tipo | Classe da fibra | Geometria |
|------|-----------------|--|
| A | I |  |
| | II |  |
| C | I |  |
| | II |  |
| | III |  |
| R | I |  |
| | II |  |

Figura 2.12 Classificação e geometria das fibras de aço, conforme a NBR 15530 (ABNT, 2007).

2.2.1.2 Fibra de Polipropileno

O polipropileno é um material termoplástico polimerizado proveniente do gás propileno. As fibras de polipropileno, ilustradas na Figura 2.12, quando incorporadas em betão são divididas em Macrofibras e Microfibras, sendo a Macrofibra sem função estrutural, trabalhando a retração no processo de cura, e a Microfibra substitui a tela metálica em pisos industriais, pisos de galpão e betão projetado, respeitando sua dosagem específica.

As aplicações das fibras ainda são discutidas em função de sua utilização, por exemplo, se for necessário a melhora da matriz do betão para prevenção da fissuração não é viável a utilização de nylon na incorporação do mesmo, pois o material apresenta um módulo de elasticidade baixo em relação ao solicitado quanto à retração das argamassas, não prevenindo fissuras. Por outro lado, no caso de prevenção de incêndios o material é uma das melhores escolhas, pois, quando o nylon incorporado no compósito é aquecido permite que a água faça caminhos para sair da estrutura, evitando pressões internas geradas pela água no estado gasoso (FIGUEIREDO, 2000).



Figura 2.13 Fibra de polipropileno (Adaptação de FIGUEIREDO, 2005 apud Figueiredo, 2011).

2.2.1.3 Fibra de Carbono

A fibra de carbono, apresentada na Figura 2.13, é composta por filamentos predominantemente de carbono, pois possui produtos para filamento e sustentação das fibras. Sua matéria-prima é o polímero de poliacrilonitrila, obtido pela polimerização de uma variação do acrílico. A sua vantagem é a concentração de cerca de 90% de átomos de carbono, durante sua produção o polímero é esticado tornando-se paralelo ao eixo das fibras, formando uma liga rígida e resistente. Após essa etapa, ocorre a oxidação em alta temperatura (de 200°C a 300°C) para remover os átomos de hidrogênio, ao mesmo tempo que oxigênio é adicionado. Em seguida aumenta-se a temperatura a 2.500°C para ocorrer total carbonização, e posteriormente a moldagem, onde as fibras são tecidas e resinadas para se unirem.

Resumindo o processo, a obtenção da fibra de carbono possui quatro etapas, sendo: polimerização por pirólise; ciclização; oxidação e adição do reagente.

A fibra de carbono é utilizada na elaboração de aeronaves, bicicletas, raquetes de tênis, snowboards, varas de pesca, entre outros.

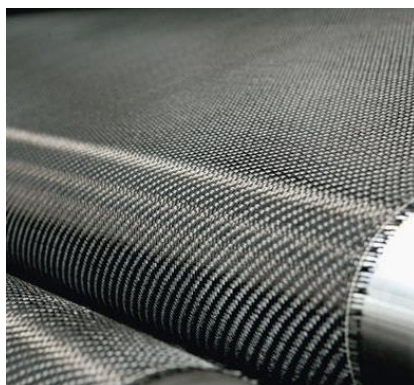


Figura 2.14 Fibra de carbono (Quimer produtos químicos, 2016).

2.2.1.4 Fibra de Vidro

A fibra de vidro é um compósito de filamentos de fios de vidro, misturado com resinas, silicões, fenóis e compostos solúveis orgânicos, podendo ter óxidos de potássio, de ferro, cálcio e alumínio.

A fibra começou a ser produzida na Europa na década de 30, mas apenas a partir da década de 40, com a Segunda Guerra Mundial, onde era utilizado em aviões, esse produto expandiu para o mundo. Sendo um material com baixa densidade, alta resistência mecânica, fácil manuseio e leve.

Essa fibra, ilustrada na Figura 2.14, é obtida industrialmente a partir de um processo de resfriamento rápido do vidro ainda está em seu estado líquido, quando a sílica está a uma temperatura de 1600 °C, onde o resfriamento permite a obtenção de fios em tamanhos e diâmetros desejados.



Figura 2.15 Fibra de vidro (Quimer produtos químicos, 2016).

2.2.1.5 Fibra de para-aramida (Kevlar)

O Kevlar é uma marca registrada pela DuPont, que consiste em uma fibra sintética de para-aramida, conhecida pela resistência e leveza, sendo um polímero sete vezes mais resistente que o aço em relação ao calor.

Descoberta por Stephanie Kwolek, cientista da DuPont, em 1965, foi lançada apenas em 1982. Possui composição química e propriedades únicas, possuindo alta resistência, alto módulo de estabilidade e estabilidade térmica. Possui dois processos de obtenção, sendo eles de molde aberto e o de molde fechado.

Combinando n vezes a fórmula básica $(-CO - C_6H_4 - CO - NH - C_6H_4 - NH-)$ obtêm-se a formulação do polímero Kevlar, conforme demonstra Figura 2.15.

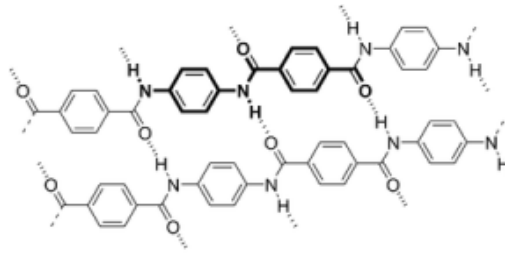


Figura 2.16 Fórmula molecular do polímero de Kevlar (FCiências, 2013).

A fibra de Kevlar, demonstrada na Figura 2.16, possui diversas utilizações, como por exemplo, o uso pelas forças militares dos Estados Unidos desde a década de 1980. Além disso, é utilizada em capacetes, coletes a prova de balas, raquetes de tênis, pneus, capas de celulares entre outros.

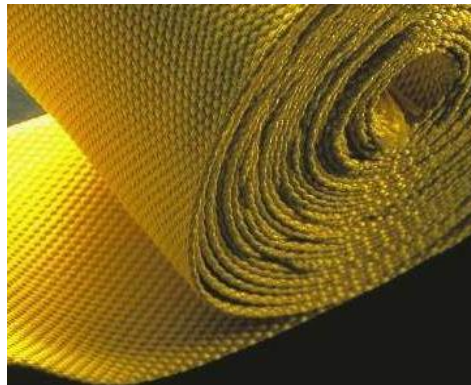


Figura 2.17 Fibra de Kevlar (DuPont, 2016).

2.2.2 Fibras Naturais

As fibras naturais podem ser classificadas como: vegetais, que apresentam natureza celulósica; animais, que possuem cadeias proteicas; minerais, que apresentam cadeias cristalinas.

2.2.2.1 Fibra de Sisal

O Sisal é a planta utilizada como matéria-prima das fibras de sisal, sendo considerada a fibra vegetal mais dura que existe. Introduzida na Bahia, especificamente em Santaluz por volta de 1910, possui grande importância socioeconômica, gerando emprego e renda. Atualmente a Bahia é responsável por 90% da produção de fibra de Sisal do Brasil, sendo a região de produção denominada “região sisaleira”.

Para sua produção a colheita é realizada manualmente com utilização de facas, e transportada até o local do motor desfibrador, onde é removida a parte verde da folha, restando as fibras em estado úmido. Estas são levadas e estendidas em varais permanecendo sob a luz solar por 72 horas para secagem uniforme, após a secagem as fibras devem apresentar umidade entre 10 e 13%. Em seguida são enfardadas e

transportadas até a central de beneficiamento, onde são removidas as impurezas aderidas as fibras deixando-as com aspecto brilhoso. Após esse processo as fibras são organizadas em fardos de aproximadamente 250 kg.

Na indústria a fibra de sisal, ilustrada na Figura 2.18, é utilizada como fios, cordas, tapetes, capachos e mantas de sisal.



Figura 2.18 Fibra de sisal (ABO Palácio Têxtil, 2016).

2.2.2.2 Fibra de Coco

O coco verde é o fruto proveniente do coqueiro, que é uma planta da família Palmae.

De acordo com a EMBRAPA (2011), o coco verde é um fruto originado das ilhas de clima tropical e subtropical do Oceano Pacífico, veio para o Brasil com os portugueses na época da colonização e desde então seu consumo tem aumentado cada vez mais. Hoje ele é encontrado em mais de 200 países, mas em apenas 90 apresentam condições adequadas para produção. Segundo a FAO (2011), em 1998 a produção mundial foi em torno de 49 milhões de toneladas, enquanto em 2008 foi de 11,2 milhões de toneladas. Os maiores produtores de coco estão situados na Ásia (Índia, Filipinas e Indonésia) sendo aproximadamente 80% da produção global, o restante está principalmente na África, América Latina, Oceania e Caribe (Fontes, Wanderley, 2010). A Tabela 2.4 abaixo ilustra a quantidade de área plantada em cada região do Brasil obtida em uma pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Tabela 2.4 Área plantada e produção de coqueiro nas regiões do Brasil em 2009 (IBGE Produção Agrícola Municipal, 2009).

| Regiões do Brasil | Área Plantada (ha) | Produção (mil frutos) |
|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Nordeste | 228.911 | 1.337.358 |
| Norte | 30.353 | 281.746 |
| Sudeste | 21.564 | 311.143 |
| Centro Oeste | 3.934 | 41.116 |
| Sul | 189 | 2.003 |
| Total/Brasil | 284.951 | 1.973.366 |

A fibra de coco é oriunda do beneficiamento do coco verde. Alguns países como Brasil e Índia foram os primeiros a instalar fábricas para esse processo, após enfrentarem problemas em relação ao destino correto aos resíduos do coco verde. Cerca de 80% do coco verde é composto de casca e pó de coco, que é muitas vezes inutilizada. No Brasil uma fábrica de beneficiamento de coco verde foi reaberta em Fortaleza, em 2013, dando ao coco verde um destino adequado e sustentável.

Além de sua contribuição no reforço do betão, como meio de inibir a fissuração melhorando a tração, a fibra de coco tem diversos usos, tais como: melhorar a acústica no ambiente, isolamento térmico, estabilidade de encostas ou ainda na fabricação de artigos têxteis e decorativos.

Existem três tipos de coqueiro: Coqueiro gigante, anão e híbrido:

O coqueiro gigante é uma planta de porte alto, atinge cerca de 35 metros de altura, sua principal finalidade é o fornecimento da polpa para a indústria de coco ralado e leite de coco, sendo sua produção média de 70 frutos/planta/ano.

O coqueiro anão é uma planta de porte baixo, atinge cerca de 12 metros de altura e, sua principal finalidade é para o consumo de água de coco, sendo sua produção média de 120 frutos/planta/ano.

Já o coqueiro híbrido é uma planta de porte intermediário, atinge cerca de 20 metros de altura. Ele possui dupla finalidade pois, fornece coco para a indústria e para consumo de água, sendo sua produção média de 120 frutos/ planta/ ano.

Segundo a EMBRAPA (2011) “Este resíduo (casca) é constituído pelo mesocarpo, que é a parte espessa e fibrosa do fruto, pelo exocarpo ou epicarpo, que constitui a epiderme, e pelo endocarpo, que no fruto imaturo ainda não se apresenta tão rígido como no coco maduro”. A Figura 2.19 demonstra o corte longitudinal do coco verde, descrevendo suas partes constituintes.



Figura 2.19 Corte longitudinal do coco verde e descrição de suas partes (EMBRAPA, 2011, p. 3).

A procura pela fibra de coco sofreu uma crescente demanda em função da procura por materiais ecologicamente corretos e, por ser um produto renovável, biodegradável, baixo custo e com diversas utilizações.

2.2.2.3 Beneficiamento da fibra de coco

O processo de beneficiamento da fibra de coco consiste em aproveitar a casca evitando a formação de um lixo vegetal ambiental de difícil degradação, produzindo a partir disto fibras e pó de fibra de coco. Ele é dividido em quatro etapas, sendo:

1ª Etapa – Transporte e Trituração

Segundo a EMBRAPA (2011) a casca de coco verde deve chegar a unidade de beneficiamento no prazo máximo de 3 dias após a extração da água, pois a desidratação dessa casca aumenta a densidade e pode prejudicar as etapas seguintes. Para iniciar o processo de beneficiamento a casca de coco deve ser colocada na máquina de alimentação, conforme a Figura 2.20.



Figura 2.20 Máquina de alimentação da esteira (EMBRAPA, 2011, p. 19).

O resíduo do coco verde passa por um processo de trituração, onde a máquina trituradora, ilustrada na Figura 2.21, possui um rolo de facas fixas que trituram as cascas, através do triturador desfibrilador, onde é totalmente fragmentado.



Figura 2.21 Máquina trituradora de casca de coco verde (EMBRAPA, 2011, p. 20).

2ª Etapa - Prensagem

Logo após o processo de trituração, os fragmentos da casca de coco passam por cilindros, tipo moenda, com o intuito de eliminar o máximo de líquido que pode estar contido na casca do coco verde. Gerando um efluente (um líquido) que é canalizado para tanques de contenção que será eliminado posteriormente da forma adequada.

CAPÍTULO 2

Segundo a EMBRAPA (2011) “a casca de coco verde tem 80% de umidade e a maior parte dos sais se encontra em solução. A extração de parte dessa umidade via compressão mecânica possibilita a redução da salinidade de 4,7 dS/m, observada na casca antes do beneficiamento, para próximo de 1,3 dS/m.”. Dessa maneira é reduzida a quantidade de água necessária para o processo de lavagem com objetivo de reduzir a salinidade.

Estes processos tem o objetivo de eliminar o máximo de umidade contida na casca de coco verde, facilitando assim, o processo de desfibramento. Isto pois, quanto mais seca estiver a casca melhor para o processo. A Figura 2.22 representa uma máquina utilizada para prensar os resíduos da casca de coco verde, eliminando seus resíduos.



Figura 2.22 Máquina para prensar os resíduos da casca de coco verde (EMBRAPA, 2011, p. 21).

A Tabela 2.5 representa a caracterização dos resíduos líquidos provenientes desse processo.

Tabela 2.5 Caracterização do líquido da casca de coco verde (EMBRAPA, 2011, p. 21).

| Variável | Resultado | Unidade |
|----------------------------------|-----------|---------|
| Condutividade Elétrica | 7,88 | dS/m |
| Cálcio (Ca) | 5,22 | mmol/L |
| Magnésio (Mg) | 6,15 | mmol/L |
| Potássio (K) | 47,69 | mmol/L |
| Sódio (Na) | 15,65 | mmol/L |
| Cloreto em água | 83,00 | mmol/L |
| Carbonato em água | <0,01 | mmol/L |
| Sulfato em água | 0,08 | mmol/L |
| Bicarbonato (HCO ₃) | 0,80 | mmol/L |
| pH | 5,02 | mmol/L |
| Soma Ânions | 83,88 | mmol/L |
| Soma Cátions | 74,72 | mmol/L |
| Fósforo (P) | 3,08 | mmol/L |
| Nitrogênio Amoniacal | 11,20 | mg/L |
| Nitrato | 0,10 | mg/L |
| Razão de absorção de sódio (RAS) | 6,56 | - |

3ª Etapa - Desfibramento e Classificação

Nessa etapa ocorre o desfibramento, através da máquina de desfibrar, sendo este o processo de separar a fibra que pode ser utilizada dos resíduos gerados, que são as fibras de menor comprimento e o pó do coco.

Após esses processos, é realizada uma separação entre as fibras e o pó do coco, ilustrado na Figura 2.23, que seguirão por processos distintos de processamento após essa seleção.



Figura 2.23 Descarga de pó da casca de coco verde (EMBRAPA, 2011, p. 22).

4ª Etapa – Secagem e armazenamento

Essa etapa abrange duas atividades principais: a secagem e armazenamento.

O processo de secagem consiste em secar a fibra de coco no sol ou através de secador rotativo, a Figura 2.24 ilustra um tipo de secador rotativo. Na fibra utilizada nesse trabalho foi feita a secagem ao sol.

Após a secagem a fibra é enfardada, através de máquina, pesada e armazenada, sendo posteriormente destinada ao seu mercado específico de destino.



Figura 2.24 Secador rotativo (EMBRAPA, 2011, p. 25).

2.3 COMPÓSITOS

Figueiredo (2000) se refere ao betão com adição de fibras como um compósito, ou seja, materiais que possuem algum tipo de reforço. Geralmente, os compósitos são criados para suprir a necessidade de melhorar algum aspecto do material que não consegue sobrelevar sozinho. Muitas vezes a sinergia entre os materiais é tanta que eles apresentam melhor desempenho juntos do que analisados separadamente. O betão trabalha de acordo com os componentes e quantidades empregadas, sendo comum o uso de aditivos que interferem na sua trabalhabilidade. Ele pode apresentar microfissuras nas áreas de quebra entre a matriz e os agregados, quando submetido a tração, conforme a Figura 2.25. Atualmente são adicionadas fibras sintéticas ou naturais ao betão de forma a minimizar o aparecimento de fissuras devido a retração do mesmo, aumentando a durabilidade quanto ao desgaste e melhorando sua resistência à tração.

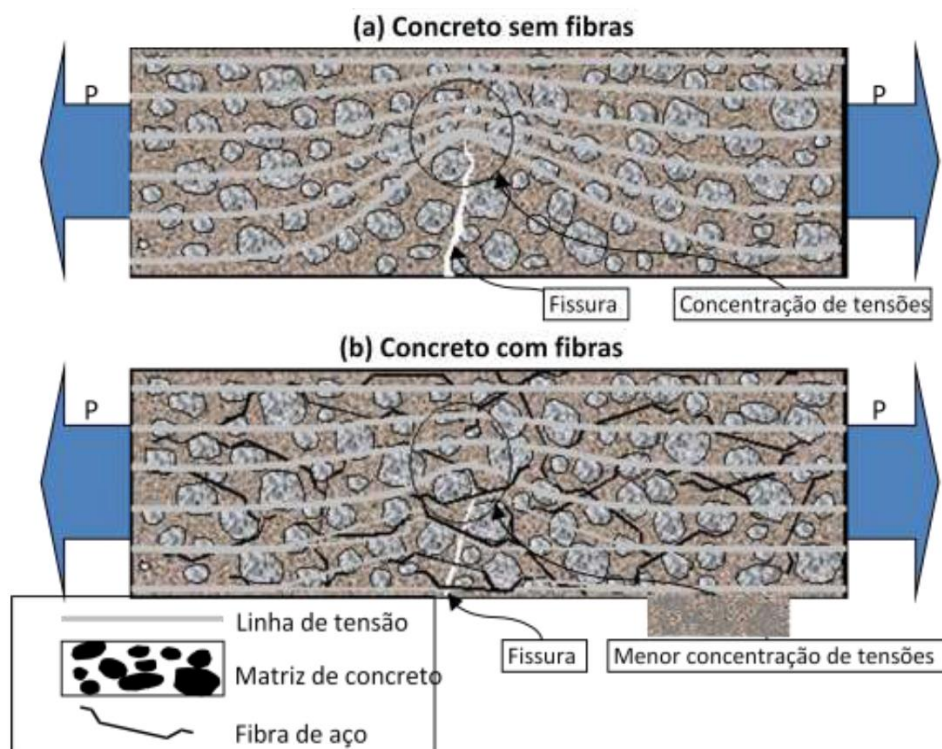


Figura 2.25 Esquema de concentração de tensões para um betão sem (a) e com fibras (b) (FIGUEIREDO (2011, p. 30).

Diversos fatores podem interferir nas propriedades mecânicas dos materiais que possuem base cimentícia, como a natureza, geometria, quantidade e a disposição das fibras. Em grandes quantidades a fibra pode atrapalhar a trabalhabilidade, já em pouca quantidade gera uma tensão maior acelerando o

rompimento da aderência fibra/matriz. Portanto deve-se buscar uma quantidade ideal que aumente a resistência à tração, mas não cause danos à trabalhabilidade como afirma Resende (2003).

2.3.1 Tenacidade

Tenacidade, em sua definição básica, é a capacidade de um material absorver energia até sua ruptura.

Para Figueiredo (2011), existe uma diferença na tenacidade do betão simples para o reforçado com fibra. Sendo que para betão simples a energia é absorvida pelo material dúctil somente até o momento de ruptura, e para o betão reforçado, a energia é absorvida pelo compósito carregado antes e após a ruptura.

O Brasil utiliza o método desenvolvido pela Japan Society of Engineers, através de prismas, para o ensaio de determinação da tenacidade.

A adição de fibra em compósitos de betão proporciona uma melhor ductilidade, fazendo-o agir como um material pseudo-dúctil, pois não pode ser considerado como material dúctil e não é fraco como o betão simples (Figueiredo, 2000)

2.3.2 Trabalhabilidade

Determinada pelo traço do betão, em função dos agregados e aditivos que pode ter, a trabalhabilidade considera cada material e suas propriedades buscando uma mistura adequada para o betão, quando adiciona-se a fibra a trabalhabilidade é um fator importante a ser analisado. Um ensaio utilizado para verificação da trabalhabilidade do betão no estado fresco é o Slump Teste.

Segundo Quinino (2015) a trabalhabilidade contribui na compactação, durabilidade e resistência mecânica do betão. Sendo diversos os fatores que a prejudicam, por exemplo o atrito entre as partículas, a coesão, viscosidade, homogeneidade, transporte, lançamento, adensamento e método de ensaio. Já Bernardi (2003) afirma que não apenas o teor de fibra influencia e prejudica a trabalhabilidade, mas seu formato, diâmetro e comprimento, devendo a mistura ser eficiente evitando aglomeração de fibra nesse processo.

Para Figueiredo (2011) a adição de fibra altera dois aspectos na trabalhabilidade do betão, sendo a restrição a mobilidade dos elementos quando o betão é virado, e a absorção de água pela superfície da fibra aumentando a coesão e a perda de mobilidade do betão fresco.

3 PARTE EXPERIMENTAL

A resistência do betão endurecido é determinada pela realização de ensaios de ruptura de provetes.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Para a realização desses ensaios, foi fornecida pela empresa Plancomar Indústria e Comércio Ltda, uma quantidade de fibra de coco, conforme declaração no Anexo II.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o CP II E - 32 (Cimento Portland Composto com adição de Escória), da empresa Votoran. A utilização do cimento com escória granulada de alto forno confere a propriedade de baixo calor de hidratação. Segundo a ABNT NBR 11578:1991 ele é composto de 94% à 56% de clínquer mais gesso, 6% à 34% de escória granulada de alto forno e pode possuir até 10% de material carbonático. As Tabelas 3.1 e 3.2 ilustram as exigências físicas e químicas para o cimento Portland CP II-E 32.

Tabela 3.1 Exigências físicas para o CP II-E 32 (ABNT NBR 11578:1991) (Adaptada de Cimentos.org (2010))

| Ensaio Físico | | |
|---------------------------------------|-------|--------------|
| Blaine (cm ² /g) | >2600 | NBR NM 76 |
| Tempo de início de pega (h:min) | >1 | NBR NM 65 |
| Tempo de fim de pega (h:min) | <10 | NBR NM 65 |
| Finura na peneira #200 (%) | <12,0 | NBR NM 11579 |
| Expansibilidade a quente (mm) | <5,0 | NBR NM 11582 |
| Resistência à compressão 1 dia (MPa) | >10,0 | NBR 7215 |
| Resistência à compressão 7 dia (MPa) | >20,0 | NBR 7215 |
| Resistência à compressão 28 dia (MPa) | >32,0 | NBR 7215 |

Tabela 3.2 Exigências químicas para o CP II-E 32 (ABNT NBR 11578:1991) (Adaptada de Cimentos.org (2010))

| Ensaio Químico | | |
|---|------|----------|
| Perda ao fogo (%) | <6,5 | NBR 5743 |
| Resíduo insolúvel (%) | <2,5 | NBR 5744 |
| Trióxido de enxofre - SO ₃ (%) | <4,0 | NBR 5745 |
| Óxido de magnésio - MgO (%) | <6,5 | NBR 9203 |

3.1.2 Agregados

O agregado graúdo utilizado foi a pedra britada natural granítica, classificado como brita 1, estocado em tambores no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie. Sua composição granulométrica foi determinada por peneiramento, sendo sua composição granulométrica apresentada na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 Composição granulométrica do agregado graúdo.

| Abertura das peneiras (mm) | Parcelas retidas em cada peneira (g) | | Porcentagens retidas individuais (%) | | | Porcentagens retidas acumuladas (%) |
|--|--------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|-------|-------------------------------------|
| | 1ª det. | 2ª det. | 1ª det. | 2ª det. | Média | |
| 75 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0 |
| 63 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0 |
| 50 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0 |
| 37,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0 |
| 31,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0 |
| 25 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0 |
| 19 | 255,2 | 524,4 | 5,1 | 10,5 | 8 | 8 |
| 12,5 | 2439,5 | 2153,1 | 49,0 | 43,1 | 46 | 54 |
| 9,5 | 1584,0 | 1633,3 | 31,8 | 32,7 | 32 | 86 |
| 6,3 | 613,9 | 561,2 | 12,3 | 11,2 | 12 | 98 |
| 4,75 | 24,1 | 35,8 | 0,5 | 0,7 | 1 | 99 |
| 2,36 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 99 |
| 1,18 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 99 |
| 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 99 |
| 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 99 |
| 0,15 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 99 |
| Fundo | 62,7 | 82,4 | 1,3 | 1,7 | 1 | 100 |
| Totais | 4979,4 | 4990,2 | 100,0 | 100,0 | 100 | ----- |
| Dimensão máxima característica (D _{máx}) = 25 mm | | | | | | |
| Módulo de finura (MF) = 6,88 | | | | | | |

Os agregados miúdos utilizados foram a areia quartzosa natural rosa, proveniente de São Carlos e areia quartzosa natural média fina, em proporções iguais, estocadas em tambores no Laboratório de Materiais da Construção da Escola de Engenharia na Universidade Presbiteriana Mackenzie. Suas composições granulométricas foram determinadas por peneiramento, conforme demonstram as Tabelas 3.4 e 3.5.

Tabela 3.4 Composição granulométrica da areia quartzosa natural rosa.

| Abertura das peneiras (mm) | Parcelas retidas em cada peneira (g) | | Porcentagens retidas individuais (%) | | | Porcentagens retidas acumuladas (%) |
|---|--------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|-------|-------------------------------------|
| | 1ª det. | 2ª det. | 1ª det. | 2ª det. | Média | |
| 9,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0 |
| 6,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0 |
| 4,75 | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 0,1 | 0 | 0 |
| 2,36 | 1,8 | 3,6 | 0,4 | 0,7 | 1 | 1 |
| 1,18 | 1,5 | 2,0 | 0,3 | 0,4 | 1 | 2 |
| 0,600 | 11,7 | 12,4 | 2,4 | 2,5 | 2 | 4 |
| 0,3 | 159,9 | 161,2 | 32,0 | 32,3 | 32 | 36 |
| 0,15 | 215,4 | 216,5 | 43,1 | 43,4 | 43 | 79 |
| Fundo <0,150 | 109,1 | 103,1 | 21,8 | 20,6 | 21 | 100 |
| Totais | 499,40 | 499,40 | 100,0 | 100,0 | 100 | ----- |
| Dimensão máxima característica (D _{máx}) = 0,600 mm | | | | | | |
| Módulo de finura (MF) = 1,2 | | | | | | |

Tabela 3.5 Composição granulométrica da areia quartzosa natural média fina.

| Abertura das peneiras (mm) | Parcelas retidas em cada peneira (g) | | Porcentagens retidas individuais (%) | | | Porcentagens retidas acumuladas (%) |
|--|--------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|---------|-------------------------------------|
| | 1ª det. | 2ª det. | 1ª det. | 1ª det. | 2ª det. | |
| 9,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0 |
| 6,3 | 3,5 | 3,2 | 0,7 | 0,6 | 1 | 1 |
| 4,75 | 0,6 | 2,6 | 0,1 | 0,5 | 0 | 1 |
| 2,36 | 16,0 | 14,8 | 3,2 | 3,0 | 3 | 4 |
| 1,18 | 47,6 | 44,8 | 9,5 | 9,0 | 9 | 13 |
| 0,600 | 147,7 | 143,9 | 29,6 | 28,8 | 29 | 43 |
| 0,3 | 160,7 | 157,7 | 32,2 | 31,6 | 32 | 74 |
| 0,15 | 92,2 | 96,2 | 18,5 | 19,3 | 19 | 93 |
| Fundo <0,150 | 30,8 | 36,4 | 6,2 | 7,3 | 7 | 100 |
| Totais | 498,96 | 499,59 | 100,0 | 100,0 | 100 | ----- |
| Dimensão máxima característica (D _{máx}) = 2,36 mm | | | | | | |
| Módulo de finura (MF) = 2,3 | | | | | | |

3.1.3 Fibra de coco

A Fibra de Coco utilizada, ilustrada na Figura 3.1, fornecida pela Empresa Plancomar, passou pelo processo de beneficiamento já descrito e, possui granulometria e geometria com dimensões diferentes.



(a) Fibra de coco enfiada.



(b) Fibra de coco separada.

Figura 3.1 Fibra de coco.

3.1.4 Traço do betão e moldagem dos provetes

Para realização dos ensaios foi adotado o betão de traço em massa 1 : 2,1 : 2,9 (cimento : areia : brita). Inicialmente foi realizado um traço com 0,56 de água, alterando o teor de fibra (0%, 2,5%, 3,5% e 5%). Com isso, seus índices de consistência (Slump) deram baixos. Para melhorar sua trabalhabilidade, foram preparados betões a fim de se manter o índice de consistência (Slump) de 40 ± 10 mm com adição de 2,5, 3,5% e 5% de fibra, sendo 0,60, 0,62 e 0,72 de água respectivamente. A Tabela 5 ilustra o resumo dos traços preparados, com suas massas e medidas e a Tabela 6, a massa específica dos respectivos traços. A dosagem de fibra foi baseada na dosagem de fibra de aço utilizada em pisos em betão simples, sendo aproximadamente entre 10 e 20 kg/m³ (Guimarães, 2010 apud Portland Cement Association, 1991).

O procedimento para a moldagem dos provetes seguiu a ABNT NBR 5738:2003 Concreto – Procedimentos para moldagem e cura dos corpos-de-prova (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Tabela 3.6 Resumo dos traços.

| Registros | Traços | | | | | | |
|---|------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | 0,00% | 2,50% | | 3,50% | | 5,00% | |
| | Piloto | (Slump 15 ± 10 mm) | (Slump 40 ± 10 mm) | (Slump 5 ± 10 mm) | (Slump 40 ± 10 mm) | (Slump 0 ± 10 mm) | (Slump 40 ± 10 mm) |
| Data da Moldagem | 02/abr | 02/abr | 09/abr | 29/jun | 09/abr | 02/abr | 29/jun |
| Cimento (kg) | 18 | 18 | 12,6 | 12,6 | 12,6 | 18 | 12,6 |
| Areia média fina rosa (kg) | 18,9 | 18,9 | 13,23 | 13,23 | 13,23 | 18,9 | 13,23 |
| Areia média fina (kg) | 18,9 | 18,9 | 13,23 | 13,23 | 13,23 | 18,9 | 13,23 |
| Brita natural (kg) | 52,2 | 52,2 | 36,54 | 36,54 | 36,54 | 52,2 | 36,54 |
| Fibra de coco (kg) | 0,000 | 0,450 | 0,315 | 0,441 | 0,441 | 0,900 | 0,630 |
| Água (l) | 10,080 | 10,080 | 7,560 | 7,056 | 7,812 | 10,080 | 9,072 |
| Relação água/cimento (l/kg) | 0,56 | 0,56 | 0,60 | 0,56 | 0,62 | 0,56 | 0,72 |
| Índice de consistência (Slump) | 40 ± 10 mm | 15 ± 10 mm | 40 ± 10 mm | 5 ± 10 mm | 40 ± 10 mm | 0 ± 10 mm | 40 ± 10 mm |
| Massa específica (kg/m ³) | 2350 | 2337 | 2311 | 2350 | 2291 | 2337 | 2219 |
| Consumo de cimento (kg/m ³) | 391,7 | 387,9 | 383,6 | 389,4 | 379,7 | 387,9 | 388,5 |
| Provetes n ^o s (SAG) | 1 á 15 | 16 á 30 | 46 á 60 | 76 á 90 | 60 á 75 | 31 á 45 | 91 á 105 |

Tabela 3.7 Resumo das massas específicas.

| Registros | Traços | | | | | | |
|---------------------------|--------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | 0,00% | 2,50% | | 3,50% | | 5,00% | |
| | Piloto | (Slump 15 ± 10 mm) | (Slump 40 ± 10 mm) | (Slump 5 ± 10 mm) | (Slump 40 ± 10 mm) | (Slump 0 ± 10 mm) | (Slump 40 ± 10 mm) |
| Massa do molde vazio (kg) | 2,58 | 2,58 | 2,58 | 2,58 | 2,58 | 2,58 | 2,58 |
| Massa do molde cheio (kg) | 9,76 | 9,72 | 9,64 | 9,76 | 9,58 | 9,72 | 9,36 |
| Massa de concreto (kg) | 7,18 | 7,14 | 7,06 | 7,18 | 7,00 | 7,14 | 6,78 |
| Volume do molde (l) | 3,055 | 3,055 | 3,055 | 3,055 | 3,055 | 3,055 | 3,055 |
| Massa específica (kg/l) | 2,350 | 2,337 | 2,311 | 2,350 | 2,291 | 2,337 | 2,219 |

A Figura 3.2 apresenta os materiais utilizados para preparação da mistura e moldagem dos provetes para realização dos ensaios. A Figura 3.3 ilustra a betoneira preparando o betão com adição de fibra de coco. A Figura 3.4 demonstra o betão com fibra de coco.



Figura 3.2 Materiais utilizados para realização dos ensaios.



Figura 3.3 Preparo do betão.



Figura 3.4 Betão com fibra de coco.

A realização do ensaio de Slump Teste seguiu a ABNT NBR 67:1998 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, este ensaio ocorre com betão em estado fresco sendo uma das maneiras de analisar sua trabalhabilidade. Para sua realização é necessário um molde metálico com $300\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ de altura, em forma de cone, uma haste de compactação, em forma circular, e uma placa de base metálica. O ensaio consiste em compactar 3 camadas de betão, cada uma com 25 golpes da haste de socamento. Após a compactação o cone deverá ser levantado verticalmente em um movimento constante para cima, a partir dessa retirada deverá ser medido o abaixamento do betão,

determinado pela diferença de altura entre o molde e o betão fresco desmoldado. A Figura 3.5 ilustra o resultado do Slump Teste (índice de consistência) realizado em um betão com adição de fibra de coco.



Figura 3.5 Medida do índice de consistência (Slump Teste).

A Figura 3.6 demonstra o processo de vibração do betão através de um vibrador eletromecânico para moldagem dos PV's.



Figura 3.6 Vibrador eletromecânico.

A Figura 3.7 ilustra os PV's após desmoldagem. E a Figura 3.8 ilustra os provetes após desmoldagem na câmara úmida, onde ficam até a data do ensaio.



Figura 3.7 Provetes após desmoldagem.



Figura 3.8 Provetes após desmoldagem na câmara úmida.

3.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Segundo Leonhardt e Monnig (1977) "a resistência à compressão é determinada por meio de solicitação monoaxial em um ensaio de curta duração, isto é, alta velocidade de carregamento".

Para moldagem dos provetes, foram preenchidas formas cilíndricas de 20x10 cm, com auxílio de vibrador eletromecânico. Após a cura os provetes foram desmoldados e armazenados em câmara úmida, situada

no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Presbiteriana Mackenzie, até a data da ruptura, aos 7 e aos 28 dias. Antes da ruptura, os provetes passam por um retificador que regularizará suas extremidades para aplicação uniforme das cargas.

Para a realização desses ensaios foram utilizados 28 provetes cilíndricos, seguindo a ABNT NBR 5739:2007 Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007). De acordo com a referida norma e resistência é uma propriedade que aumenta com o decorrer do tempo e, devendo os ensaios ser realizados em intervalos de 7 dias, apresentando aos 28 dias uma resistência em torno de 60 à 90% da final. O ensaio foi realizado aos 7 dias, através do rompimento de 2 provetes de cada traço, e aos 28 dias, novamente rompendo 2 provetes de cada traço.

Os provetes foram centralizados entre os pratos da máquina de ensaios AMSLER (Alfred J. Amsler & Co.) e submetidos ao carregamento contínuo à compressão. Foram registradas as cargas máximas de ensaio para posterior cálculo da resistência.

A Figura 3.9 apresenta a Máquina AMSLER, onde foram realizados os ensaios; a Figura 3.10 mostra o PV submetido a compressão axial; a Figura 3.11 mostra o provete com fibra de coco após a ruptura.



Figura 3.9 Realização do ensaio de compressão axial.



Figura 3.10 Provete cilíndrico após ser submetido à compressão axial.



Figura 3.11 Provetes após ruptura após compressão axial.

Os resultados obtidos para cada traço estão nas Tabelas 3.8 a 3.14

Tabela 3.8 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço Piloto (sem fibra).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Área | Carga de Ruptura | Resistência à Compressão P/S | |
|-----------------|--------|----|----------|----------------------|------------------|------------------------------|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | S (cm ²) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 09/abril | 7 | 1 | 10,10 | 80,12 | 19100 | 238 | 23,8 |
| 09/abril | 7 | 2 | 9,93 | 77,44 | 20000 | 258 | 25,8 |
| 30/abril | 28 | 5 | 10,04 | 79,17 | 23000 | 291 | 29,1 |
| 30/abril | 28 | 6 | 10,00 | 78,54 | 25800 | 328 | 32,8 |

Tabela 3.9 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 15 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Área | Carga de Ruptura | Resistência à Compressão P/S | |
|-----------------|--------|----|----------|----------------------|------------------|------------------------------|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | S (cm ²) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 09/abril | 7 | 16 | 9,91 | 77,13 | 17300 | 224 | 22,4 |
| 09/abril | 7 | 17 | 10,16 | 81,07 | 18300 | 226 | 22,6 |
| 30/abril | 28 | 20 | 9,97 | 78,07 | 25400 | 325 | 32,5 |
| 30/abril | 28 | 21 | 9,94 | 77,60 | 23200 | 299 | 29,9 |

Tabela 3.10 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Área | Carga de Ruptura | Resistência à Compressão P/S | |
|-----------------|--------|----|----------|----------------------|------------------|------------------------------|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | S (cm ²) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 16/abril | 7 | 48 | 10,01 | 78,70 | 14250 | 181 | 18,1 |
| 16/abril | 7 | 49 | 10,02 | 78,85 | 14400 | 183 | 18,3 |
| 07/maio | 28 | 50 | 10,00 | 78,54 | 17400 | 222 | 22,2 |
| 07/maio | 28 | 51 | 9,96 | 77,91 | 18900 | 243 | 24,3 |

Tabela 3.11 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 5 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Área | Carga de Ruptura | Resistência à Compressão P/S | |
|-----------------|--------|----|----------|----------------------|------------------|------------------------------|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | S (cm ²) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 06/julho | 7 | 76 | 10,03 | 79,01 | 16600 | 210 | 21,0 |
| 06/julho | 7 | 81 | 10,02 | 78,85 | 17500 | 222 | 22,2 |
| 27/julho | 28 | 78 | 9,95 | 77,76 | 20800 | 268 | 26,8 |
| 27/julho | 28 | 79 | 10,01 | 78,70 | 23800 | 302 | 30,2 |

Tabela 3.12 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Área | Carga de Ruptura | Resistência à Compressão P/S | |
|-----------------|--------|----|----------|----------------------|------------------|------------------------------|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | S (cm ²) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 16/abril | 7 | 61 | 9,97 | 78,07 | 10800 | 138 | 13,8 |
| 16/abril | 7 | 62 | 9,98 | 78,23 | 11400 | 146 | 14,6 |
| 07/maio | 28 | 65 | 10,02 | 78,85 | 17200 | 218 | 21,8 |
| 07/maio | 28 | 66 | 9,98 | 78,23 | 18000 | 230 | 23,0 |

Tabela 3.13 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 0 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Área | Carga de Ruptura | Resistência à Compressão P/S | |
|-----------------|--------|----|----------|----------------------|------------------|------------------------------|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | S (cm ²) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 09/abril | 7 | 33 | 9,97 | 78,07 | 12900 | 165 | 16,5 |
| 09/abril | 7 | 34 | 10,00 | 78,54 | 13100 | 167 | 16,7 |
| 30/abril | 28 | 31 | 9,99 | 78,38 | 21200 | 270 | 27,0 |
| 30/abril | 28 | 32 | 10,01 | 78,70 | 18200 | 231 | 23,1 |

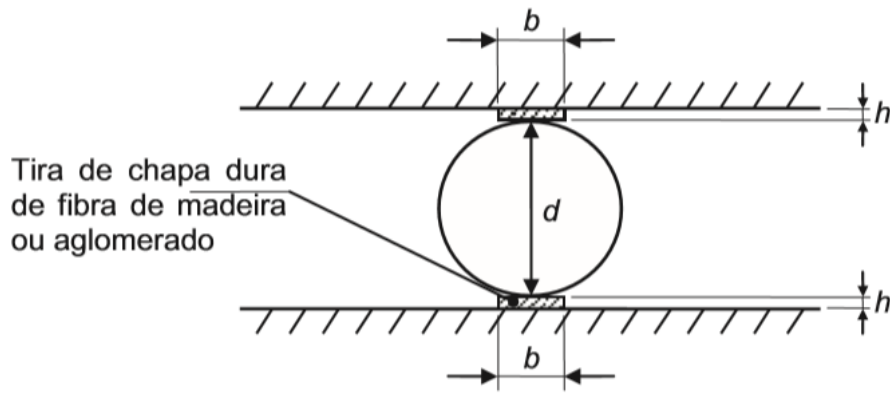
Tabela 3.14 Resultado do ensaio de compressão axial - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Área | Carga de Ruptura | Resistência Compressão P/S | |
|-----------------|--------|----|----------|----------------------|------------------|----------------------------|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | S (cm ²) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 06/julho | 7 | 92 | 10,02 | 78,85 | 10000 | 127 | 12,7 |
| 06/julho | 7 | 93 | 10,05 | 79,33 | 9300 | 117 | 11,7 |
| 27/julho | 28 | 91 | 10,02 | 78,85 | 13800 | 175 | 17,5 |
| 27/julho | 28 | 94 | 10,03 | 79,01 | 11900 | 151 | 15,1 |

3.3 ENSAIO DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio de tração por compressão diametral, também conhecido como Método Brasileiro, foi desenvolvido por Fernando Luiz Lobo Carneiro, no Rio de Janeiro, pela necessidade de deslocar a Igreja São Pedro dos Clérigos para a abertura da Avenida Presidente Vargas.

Foram utilizados 35 provetes cilíndricos, com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm, moldados conforme descrito no ensaio de compressão axial. Os provetes foram rompidos conforme a ABNT NBR 7222:2010 Concreto e argamassa – Determinação da resistência à compressão diametral de corpos de prova cilíndrico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010), pela máquina AMSLER (Alfred J. Amsler & Co.), no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Presbiteriana Mackenzie. O contato dos provetes com a máquina deve ocorrer ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas, conforme a Figura 3.12. Para isso, devem ser utilizadas duas tiras de chapa dura de fibra de madeira, conforme a ABNT NBR 10024:2012 Chapa dura de fibra de madeira — Requisitos e métodos de ensaio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012). Para realização desse ensaio foram rompidos 2 provetes de cada traço aos 7 dias e, 3 provetes de cada traço aos 28 dias.



Legenda

$b = (0,15 \pm 0,01) \text{ mm}$

$h = (3,5 \pm 0,5) \text{ mm}$

Figura 3.12 Representação esquemática do ensaio de tração por compressão diametral, conforme a NBR 7222 (ABNT, 2010).

Após esse preparo, deve-se colocar o provete na máquina e aplicar continuamente uma carga com crescimento constante da tensão de tração, com velocidade de $0,05 \pm 0,02 \text{ MPa/s}$ até a ruptura. A resistência é calculada pela seguinte fórmula:

$$f_{t,d} = \frac{2.F}{\pi.d.L} \tag{3.1}$$

Onde:

$f_{t,d}$ - a resistência é tração por compressão diametral

F - a carga máxima obtida (KN)

D - o diâmetro do provete (MM)

L - a altura do provete (mm)

A Figura 3.13 mostra o ensaio de tração por compressão diametral de um provete na Máquina AMSLER; a Figura 3.14 apresenta um provete de BRFC. Nota-se que, devido as fibras, ele não se separa; a Figura 3.15 apresenta os provetes de BRFC e BS, após ruptura.



Figura 3.13 Realização do ensaio de tração por compressão diametral.



Figura 3.14 Provete após ruptura à tração por compressão diametral.



Figura 3.15 Provetes após ruptura à tração por compressão diametral.

Os resultados obtidos para cada traço estão nas Tabelas 3.15 a 3.21.

Tabela 3.15 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço Piloto (sem fibra)

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Altura | Carga de Ruptura | Resistência $\sigma_R = [(2.P)/(\pi.D.L)]$ | |
|-----------------|--------|----|----------|--------|------------------|--|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | H (cm) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 09/abril | 7 | 3 | 10,04 | 21,12 | 8300 | 26,2 | 2,62 |
| 09/abril | 7 | 4 | 10,00 | 20,08 | 7100 | 22,5 | 2,25 |
| 30/abril | 28 | 9 | 10,04 | 20,01 | 7800 | 24,7 | 2,47 |
| 30/abril | 28 | 10 | 10,01 | 19,90 | 7700 | 24,6 | 2,46 |
| 30/abril | 28 | 11 | 10,05 | 20,21 | 7300 | 22,9 | 2,29 |

Tabela 3.16 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço com 2,5% de fibra de coco
(Slump 15 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Altura | Carga de Ruptura | Resistência $\sigma_R = [(2.P)/(\pi.D.L)]$ | |
|-----------------|--------|----|----------|--------|------------------|---|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | H (cm) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 09/abril | 7 | 18 | 10,01 | 20,10 | 9100 | 28,8 | 2,88 |
| 09/abril | 7 | 19 | 9,95 | 19,92 | 9200 | 29,5 | 2,95 |
| 30/abril | 28 | 24 | 10,07 | 20,14 | 9400 | 29,5 | 2,95 |
| 30/abril | 28 | 25 | 9,99 | 20,06 | 8500 | 27,0 | 2,70 |
| 30/abril | 28 | 26 | 10,03 | 19,97 | 10200 | 32,4 | 3,24 |

Tabela 3.17 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço com 2,5% de fibra de coco
(Slump 40 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Altura | Carga de Ruptura | Resistência $\sigma_R = [(2.P)/(\pi.D.L)]$ | |
|-----------------|--------|----|----------|--------|------------------|---|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | H (cm) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 16/abril | 7 | 46 | 10,11 | 20,08 | 7200 | 22,6 | 2,26 |
| 16/abril | 7 | 47 | 9,98 | 20,07 | 6400 | 20,3 | 2,03 |
| 07/maio | 28 | 54 | 9,98 | 19,94 | 8000 | 25,6 | 2,56 |
| 07/maio | 28 | 55 | 9,95 | 19,91 | 8200 | 26,4 | 2,64 |
| 07/maio | 28 | 56 | 10,02 | 20,08 | 6700 | 21,20 | 2,12 |

Tabela 3.18 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço com 3,5% de fibra de coco
(Slump 15 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Altura | Carga de Ruptura | Resistência $\sigma_R = [(2.P)/(\pi.D.L)]$ | |
|-----------------|--------|----|----------|--------|------------------|--|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | H (cm) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 06/julho | 7 | 77 | 9,99 | 20,29 | 8700 | 27,3 | 2,73 |
| 06/julho | 7 | 83 | 9,97 | 20,12 | 7800 | 24,7 | 2,47 |
| 27/julho | 28 | 82 | 10,02 | 19,86 | 9600 | 30,7 | 3,07 |
| 27/julho | 28 | 86 | 9,96 | 20,27 | 9000 | 28,4 | 2,84 |
| 27/julho | 28 | 87 | 9,97 | 20,27 | 9300 | 29,3 | 2,93 |

Tabela 3.19 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço com 3,5% de fibra de coco
(Slump 40 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Altura | Carga de Ruptura | Resistência $\sigma_R = [(2.P)/(\pi.D.L)]$ | |
|-----------------|--------|----|----------|--------|------------------|--|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | H (cm) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 16/abril | 7 | 63 | 9,96 | 20,12 | 6700 | 21,3 | 2,13 |
| 16/abril | 7 | 64 | 9,99 | 20,27 | 6400 | 20,1 | 2,01 |
| 07/maio | 28 | 69 | 10,00 | 20,02 | 6700 | 21,3 | 2,13 |
| 07/maio | 28 | 70 | 9,94 | 20,03 | 6400 | 20,5 | 2,05 |
| 07/maio | 28 | 71 | 9,97 | 20,26 | 6700 | 21,2 | 2,11 |

Tabela 3.20 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 0 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Altura | Carga de Ruptura | Resistência $\sigma_R = [(2.P)/(\pi.D.L)]$ | |
|-----------------|--------|----|----------|--------|------------------|--|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | H (cm) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 09/abril | 7 | 35 | 10,02 | 19,66 | 8000 | 25,9 | 2,59 |
| 09/abril | 7 | 36 | 10,01 | 19,75 | 7300 | 23,5 | 2,35 |
| 30/abril | 28 | 39 | 9,97 | 19,99 | 9100 | 29,1 | 2,91 |
| 30/abril | 28 | 40 | 10,04 | 20,29 | 8700 | 27,2 | 2,72 |
| 30/abril | 28 | 41 | 10,01 | 20,26 | 9600 | 30,1 | 3,01 |

Tabela 3.21 Resultado do ensaio de tração por compressão diametral - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Diâmetro | Altura | Carga de Ruptura | Resistência $\sigma_R = [(2.P)/(\pi.D.L)]$ | |
|-----------------|--------|-----|----------|--------|------------------|--|------|
| | (dias) | nº | D (cm) | H (cm) | P (kgf) | kgf/cm ² | MPa |
| 06/julho | 7 | 98 | 9,94 | 19,94 | 5700 | 18,3 | 1,83 |
| 06/julho | 7 | 99 | 10,03 | 20,30 | 6000 | 18,7 | 1,87 |
| 27/julho | 28 | 100 | 10,00 | 19,92 | 7500 | 24,0 | 2,40 |
| 27/julho | 28 | 101 | 9,97 | 19,92 | 7000 | 22,4 | 2,24 |
| 27/julho | 28 | 102 | 9,98 | 19,87 | 7100 | 22,8 | 2,28 |

3.4 ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

O ensaio de tração na flexão também é conhecido como “carregamento nos terços”. Para a realização desse ensaio, foram utilizados 21 provetes prismáticos de 10 cm de altura, 10 cm de largura e 40 cm de comprimento, vibrados com vibrador eletromecânico.

Os provetes foram rompidos de acordo com a ABNT NBR 12142:2010 Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010). O ensaio consiste em submeter a seção prismática de betão carregamentos em duas seções simétricas, situadas nos terços do vão, conforme a Figura 3.16, sendo ele realizado na Máquina AMSLER (Alfred J. Amsler & Co.), no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade

Presbiteriana Mackenzie. Para realização desse ensaio foram rompidos 1 provete de cada traço aos 7 dias e, 2 provetes de cada traço aos 28 dias.

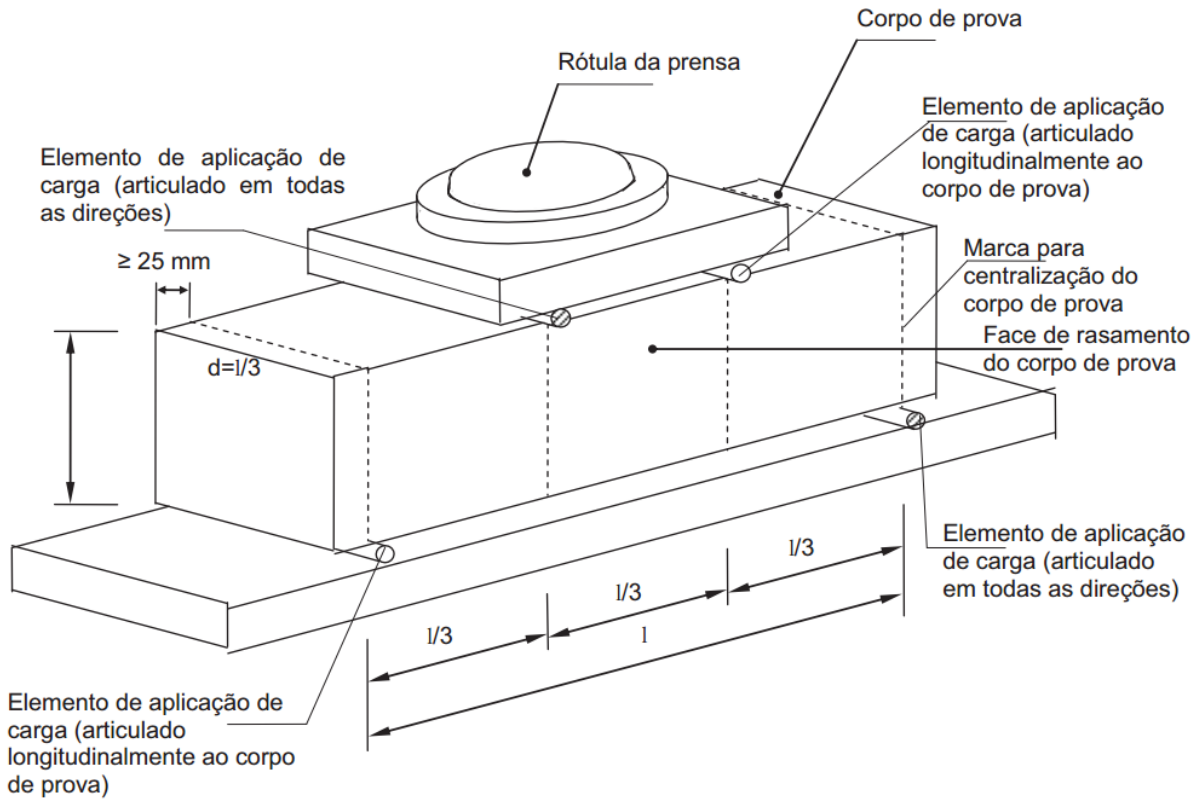


Figura 3.16 Esquema do ensaio de tração na flexão, segundo a NBR 12142 (ABNT, 2010).

A Figura 3.17 mostra o provete prismático na Máquina AMSLER para realização do ensaio de tração na flexão; a Figura 3.18 apresenta o provete após rompimento nos terços; a Figura 3.19 apresenta provetes de BRFC e BS após rompimento à tração na flexão.



Figura 3.17 Realização do ensaio de tração na flexão.



Figura 3.18 Provete após ruptura à tração na flexão.



Figura 3.19 Provetes após a ruptura à tração na flexão.

Os resultados obtidos para cada traço estão nas Tabelas 3.22 a 3.28.

Tabela 3.22 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço Piloto (sem fibra).

| Data da Ruptura | Idade (dias) | PV nº | Dimensões | | Vão livre L (cm) | Carga de Ruptura P (kgf) | Módulo de ruptura $f_{tk} = 1,5 (P.L / b.h^2)$ | |
|-----------------|--------------|-------|----------------|---------------|------------------|--------------------------|--|------|
| | | | Largura h (cm) | Altura b (cm) | | | kgf/cm ² | Mpa |
| 09/abr | 7 | 13 | 10,02 | 10,00 | 30,00 | 910 | 40,9 | 4,09 |
| 30/abr | 28 | 14 | 10,14 | 10,31 | 30,00 | 1160 | 48,4 | 4,84 |
| 30/abr | 28 | 15 | 10,01 | 10,16 | 30,00 | 1220 | 53,1 | 5,31 |

Tabela 3.23 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 15 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade (dias) | PV nº | Dimensões | | Vão livre L (cm) | Carga de Ruptura P (kgf) | Módulo de ruptura $f_{tk} = 1,5 (P.L / b.h^2)$ | |
|-----------------|--------------|-------|----------------|---------------|------------------|--------------------------|--|------|
| | | | Largura h (cm) | Altura b (cm) | | | kgf/cm ² | Mpa |
| 09/abr | 7 | 28 | 10,02 | 10,02 | 30,00 | 1040 | 46,5 | 4,65 |
| 30/abr | 28 | 29 | 10,12 | 10,43 | 30,00 | 1250 | 51,1 | 5,11 |
| 30/abr | 28 | 30 | 10,00 | 10,17 | 30,00 | 1150 | 50,0 | 5,00 |

Tabela 3.24 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço com 2,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Dimensões | | Vão livre | Carga de Ruptura | Módulo de ruptura $f_{tk} = 1,5 (P.L / b.h^2)$ | |
|-----------------|--------|----|-----------|--------|-----------|------------------|--|------|
| | | | Largura | Altura | | | kgf/cm ² | Mpa |
| | (dias) | nº | h (cm) | b (cm) | L (cm) | P (kgf) | kgf/cm ² | Mpa |
| 16/abr | 7 | 58 | 10,10 | 10,34 | 30,00 | 1090 | 45,4 | 4,54 |
| 07/mai | 28 | 59 | 10,02 | 10,15 | 30,00 | 1270 | 55,4 | 5,54 |
| 07/mai | 28 | 60 | 10,03 | 10,25 | 30,00 | 1180 | 50,4 | 5,04 |

Tabela 3.25 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 15 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Dimensões | | Vão livre | Carga de Ruptura | Módulo de ruptura $f_{tk} = 1,5 (P.L / b.h^2)$ | |
|-----------------|--------|----|-----------|--------|-----------|------------------|--|------|
| | | | Largura | Altura | | | kgf/cm ² | Mpa |
| | (dias) | nº | h (cm) | b (cm) | L (cm) | P (kgf) | kgf/cm ² | Mpa |
| 06/jul | 7 | 88 | 10,23 | 10,60 | 30,00 | 1400 | 54,8 | 5,48 |
| 27/jul | 28 | 89 | 10,09 | 10,53 | 30,00 | 1360 | 54,7 | 5,47 |
| 27/jul | 28 | 90 | 10,22 | 10,50 | 30,00 | 1320 | 52,7 | 5,27 |

Tabela 3.26 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço com 3,5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Dimensões | | Vão livre | Carga de Ruptura | Módulo de ruptura $f_{tk} = 1,5 (P.L / b.h^2)$ | |
|-----------------|--------|----|-----------|--------|-----------|------------------|--|------|
| | | | Largura | Altura | | | kgf/cm ² | Mpa |
| | (dias) | nº | h (cm) | b (cm) | L (cm) | P (kgf) | kgf/cm ² | Mpa |
| 16/abr | 7 | 73 | 10,07 | 10,20 | 30,00 | 950 | 40,8 | 4,08 |
| 07/mai | 28 | 74 | 10,12 | 10,37 | 30,00 | 1100 | 45,5 | 4,55 |
| 07/mai | 28 | 75 | 10,08 | 10,35 | 30,00 | 1270 | 52,9 | 5,29 |

Tabela 3.27 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 0 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Dimensões | | Vão livre | Carga de Ruptura | Módulo de ruptura $f_{tk} = 1,5 (P.L / b.h^2)$ | |
|-----------------|--------|----|-----------|--------|-----------|------------------|--|------|
| | | | Largura | Altura | | | kgf/cm ² | Mpa |
| | (dias) | nº | h (cm) | b (cm) | L (cm) | P (kgf) | | |
| 09/abr | 7 | 43 | 10,02 | 10,03 | 30,00 | 860 | 38,4 | 3,84 |
| 30/abr | 28 | 44 | 10,12 | 10,36 | 30,00 | 1020 | 42,3 | 4,23 |
| 30/abr | 28 | 45 | 10,06 | 10,14 | 30,00 | 870 | 37,8 | 3,78 |

Tabela 3.28 Resultado do ensaio de tração na flexão - Traço com 5% de fibra de coco (Slump 40 ± 10 mm).

| Data da Ruptura | Idade | PV | Dimensões | | Vão livre | Carga de Ruptura | Módulo de ruptura $f_{tk} = 1,5 (P.L / b.h^2)$ | |
|-----------------|--------|-----|-----------|--------|-----------|------------------|--|------|
| | | | Largura | Altura | | | kgf/cm ² | Mpa |
| | (dias) | nº | h (cm) | b (cm) | L (cm) | P (kgf) | | |
| 06/jul | 7 | 103 | 10,03 | 10,60 | 30,00 | 800 | 31,9 | 3,19 |
| 27/jul | 28 | 104 | 10,19 | 10,55 | 30,00 | 1220 | 48,4 | 4,84 |
| 27/jul | 28 | 105 | 10,22 | 10,59 | 30,00 | 1270 | 49,9 | 4,99 |

3.5 ENSAIO MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO

Foram utilizados 14 provetes cilíndricos para realização do ensaio de módulo de elasticidade. Ensaiaados conforme a ABNT NBR 8522:2008 Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

O ensaio é realizado na Máquina de AMSLER (Alfred J. Amsler & Co.), onde são aplicadas cargas, conforme a Figura 3.20, analisando as deformações a partir do Extensômetro, da marca Dinateste. Para realização desse ensaio foram rompidos 2 provetes de cada traço aos 28 dias.

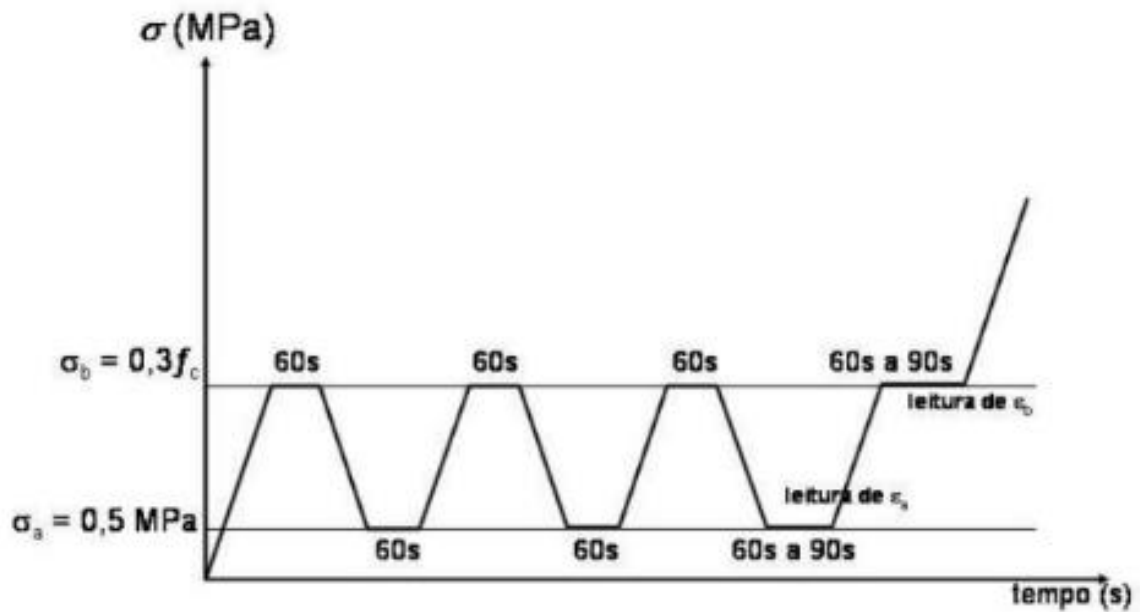


Figura 3.20 Representação esquemática à compressão para a medida do módulo de elasticidade estático, segundo a NBR 8522 (ABNT, 2008).

Após as 8 aplicações de carga é realizada a ruptura do provete e a partir destes valores é possível calcular o módulo de elasticidade, conforme fórmula utilizada abaixo.

$$E = \frac{\frac{\sigma_8 - \sigma_7}{\text{Área}}}{\frac{\Delta l_8 - \Delta l_7}{0,10} \cdot 10^{-6}} \quad (3.2)$$

Onde:

E – Módulo de elasticidade (GPa)

σ_8 – é a maior tensão ($\sigma_8 = 0,3 f_c$) (MPa)

σ_7 – é a menor tensão correspondente a deformação específica (MPa)

Δl_8 – deslocamento correspondente a maior tensão (mm)

Δl_7 – deslocamento correspondente a menor tensão (mm)

Valores obtidos através da tabela de tensão e deformação

A Figura 3.21 apresenta o ensaio de módulo de elasticidade, onde está sendo utilizada a Máquina de AMSLER e o Extensômetro da marca Dinateste.



Figura 3.21 Realização do ensaio de módulo de elasticidade estático.

Os resultados médios obtidos para cada traço estão na Tabela 3.29 abaixo, as tabelas com os resultados de cada provete estão no Anexo I deste trabalho.

Tabela 3.29 Tabela resumo dos resultados médios obtidos no ensaio de módulo de elasticidade aos 28 dias, em GPa.

| Idade | Referência | BRFC 2,5% (Slump 15±10mm) | BRFC 2,5% (Slump 40±10mm) | BRFC 3,5% (Slump 5±10mm) | BRFC 3,5% (Slump 40±10mm) | BRFC 5% (Slump 0±10mm) | BRFC 5% (Slump 40±10mm) |
|-------|------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 28 | 28,1 | 39,0 | 25,6 | 25,6 | 27,4 | 25,7 | 27,4 |

3.6 ENSAIO PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA

Para realização do ensaio de propagação de onda ultrassônica foram utilizados 20 provetes cilíndricos. Estes provetes foram ensaiados conforme a ABNT NBR 8802:2013 Concreto endurecido – Determinação da propagação de onda ultrassônica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Trata-se de um método não destrutivo onde, a partir da propagação de ondas longitudinais, é possível verificar a homogeneidade do betão, falhas, fissuras ou imperfeições e monitoramento do betão ao longo do tempo. Para a realização do mesmo, foi necessário utilizar gel nas extremidades, evitando assim, bolhas de ar, sendo utilizado uma máquina da marca Pundit Plus. Para realização desse ensaio foram utilizados 4 provetes de cada traço aos 28 dias.

A Figura 3.22 apresenta o ensaio de propagação de onda ultrassônica.



Figura 3.22 Realização do ensaio de propagação de onda ultrassônica (módulo de elasticidade dinâmico).

Os resultados obtidos para cada traço estão nas Tabelas 3.30 a 3.36.

Tabela 3.30 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço Piloto (sem fibra).

| Data do Ensaio | PV | Massa Específica (kg/m ³) | Comprimento Altura (cm) | Tempo de Percurso da Onda (μs) | Velocidade (m/s) | Módulo de Elasticidade Dinâmico (GN/m ²) | Coeficiente de Poisson |
|----------------|----|--|-------------------------------|---|---------------------|---|------------------------------|
| | nº | | | | | | |
| 30/abr | 5 | 2350 | 20,00 | 45,2 | 4424 | 41,3 | 0,20 |
| 30/abr | 6 | 2350 | 20,00 | 46,2 | 4329 | 39,6 | 0,20 |
| 30/abr | 7 | 2350 | 20,00 | 44,2 | 4524 | 42,2 | 0,20 |
| 30/abr | 8 | 2350 | 20,00 | 45,5 | 4395 | 40,8 | 0,20 |

Tabela 3.31 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço com 2,5% de fibra de coco
(Slump 15 ± 10 mm).

| Data do Ensaio | PV | Massa Específica (kg/m ³) | Comprimento Altura (cm) | Tempo de Percurso da Onda (μ s) | Velocidade (m/s) | Módulo de Elasticidade Dinâmico (GN/m ²) | Coeficiente de Poisson |
|----------------|----|--|-------------------------------|---|---------------------|---|------------------------------|
| | nº | | | | | | |
| 30/abr | 20 | 2337 | 20,00 | 45,6 | 4385 | 40,4 | 0,20 |
| 30/abr | 21 | 2337 | 20,00 | 45,2 | 4424 | 41,1 | 0,20 |
| 30/abr | 22 | 2337 | 20,00 | 45,2 | 4424 | 41,1 | 0,20 |
| 30/abr | 23 | 2337 | 20,00 | 46,1 | 4338 | 39,5 | 0,20 |

Tabela 3.32 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço com 2,5% de fibra de coco
(Slump 40 ± 10 mm).

| Data do Ensaio | PV | Massa Específica (kg/m ³) | Comprimento Altura (cm) | Tempo de Percurso da Onda (μ s) | Velocidade (m/s) | Módulo de Elasticidade Dinâmico (GN/m ²) | Coeficiente de Poisson |
|----------------|----|--|-------------------------------|---|---------------------|---|------------------------------|
| | nº | | | | | | |
| 07/mai | 50 | 2311 | 20,00 | 48,3 | 4140 | 35,6 | 0,20 |
| 07/mai | 51 | 2311 | 20,00 | 46,2 | 4329 | 38,9 | 0,20 |
| 07/mai | 52 | 2311 | 20,00 | 47,7 | 4192 | 36,5 | 0,20 |
| 07/mai | 53 | 2311 | 20,00 | 47,7 | 4192 | 36,5 | 0,20 |

Tabela 3.33 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço com 3,5% de fibra de coco
(Slump 5 ± 10 mm).

| Data do Ensaio | PV | Massa Específica (kg/m ³) | Comprimento Altura (cm) | Tempo de Percurso da Onda (μ s) | Velocidade (m/s) | Módulo de Elasticidade Dinâmico (GN/m ²) | Coeficiente de Poisson |
|----------------|----|--|-------------------------------|---|---------------------|---|------------------------------|
| | nº | | | | | | |
| 27/jul | 78 | 2350 | 20,00 | 46,3 | 4319 | 43,8 | 0,20 |
| 27/jul | 79 | 2350 | 20,00 | 47,8 | 4184 | 41,1 | 0,20 |
| 27/jul | 84 | 2350 | 20,00 | 47,4 | 4219 | 41,8 | 0,20 |
| 27/jul | 85 | 2350 | 20,00 | 45,4 | 4405 | 45,5 | 0,20 |

Tabela 3.34 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço com 3,5% de fibra de coco
(Slump 40 ± 10 mm).

| Data do Ensaio | PV | Massa Específica (kg/m ³) | Comprimento Altura (cm) | Tempo de Percurso da Onda (μ s) | Velocidade (m/s) | Módulo de Elasticidade Dinâmico (GN/m ²) | Coeficiente de Poisson |
|----------------|----|--|-------------------------------|---|---------------------|---|------------------------------|
| | nº | | | | | | |
| 07/mai | 65 | 2291 | 20,00 | 49,0 | 4081 | 34,3 | 0,20 |
| 07/mai | 66 | 2291 | 20,00 | 49,1 | 4073 | 34,2 | 0,20 |
| 07/mai | 67 | 2291 | 20,00 | 49,2 | 4065 | 34,0 | 0,20 |
| 07/mai | 68 | 2291 | 20,00 | 49,8 | 4016 | 33,2 | 0,20 |

Tabela 3.35 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço com 5% de fibra de coco
(Slump 0 ± 10 mm).

| Data do Ensaio | PV | Massa Específica (kg/m ³) | Comprimento Altura (cm) | Tempo de Percurso da Onda (μ s) | Velocidade (m/s) | Módulo de Elasticidade Dinâmico (GN/m ²) | Coeficiente de Poisson |
|----------------|----|--|-------------------------------|---|---------------------|---|------------------------------|
| | nº | | | | | | |
| 30/abr | 31 | 2337 | 20,00 | 48,8 | 4098 | 35,3 | 0,20 |
| 30/abr | 32 | 2337 | 20,00 | 47,9 | 4175 | 36,6 | 0,20 |
| 30/abr | 37 | 2337 | 20,00 | 48,7 | 4106 | 35,4 | 0,20 |
| 30/abr | 38 | 2337 | 20,00 | 48,1 | 4158 | 36,3 | 0,20 |

Tabela 3.36 Resultado do ensaio de propagação da onda ultrassônica - Traço com 5% de fibra de coco
(Slump 40 ± 10 mm).

| Data do Ensaio | PV | Massa Específica (kg/m ³) | Comprimento Altura (cm) | Tempo de Percurso da Onda (μ s) | Velocidade (m/s) | Módulo de Elasticidade Dinâmico (GN/m ²) | Coeficiente de Poisson |
|----------------|----|--|-------------------------------|---|---------------------|---|------------------------------|
| | nº | | | | | | |
| 27/jul | 91 | 2219 | 20,00 | 52,5 | 3809 | 32,1 | 0,20 |
| 27/jul | 94 | 2219 | 20,00 | 50,0 | 3992 | 35,1 | 0,20 |
| 27/jul | 95 | 2219 | 20,00 | 51,8 | 3861 | 33,0 | 0,20 |
| 27/jul | 96 | 2219 | 20,00 | 51,2 | 3906 | 33,8 | 0,20 |

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Com o objetivo de analisar a variação da resistência do betão reforçado com fibra de coco (BRFC) quando submetido à esforços de compressão axial, tração por compressão diametral, tração na flexão, módulo de elasticidade elástico e dinâmico, verificou-se que em determinados teores e ensaios ocorrem o acréscimo de resistência e melhora dos módulos de elasticidade.

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL

A Figura 4.1 apresenta o gráfico dos resultados médios obtidos no ensaio de compressão axial aos 7 dias, nota-se que com esses teores de fibra ocorreu uma perda da resistência em relação ao traço de referência.

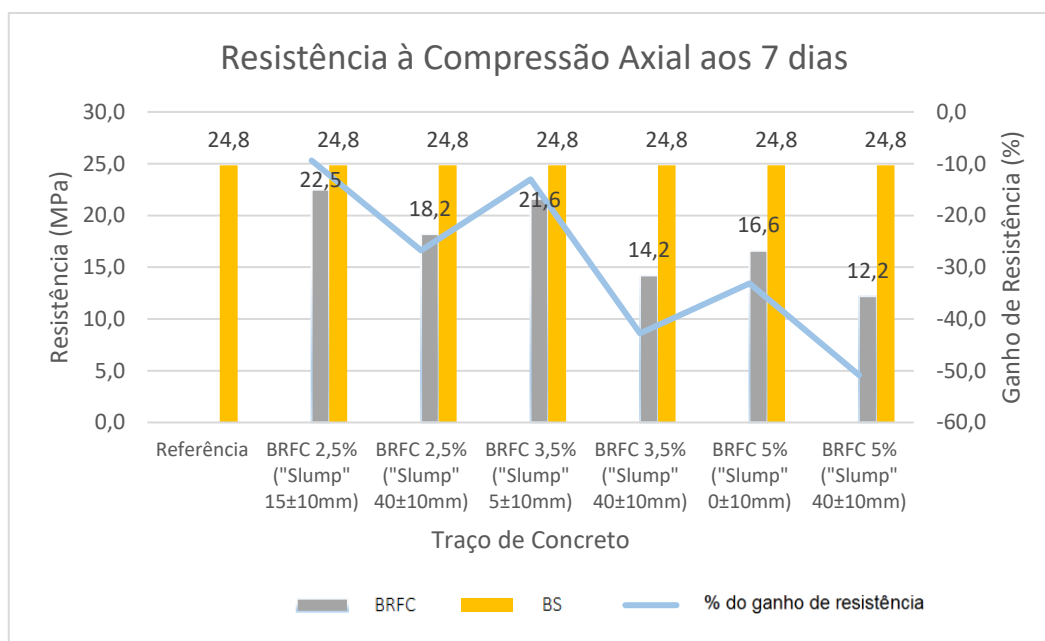


Figura 4.1 Gráfico da resistência à compressão axial aos 7 dias.

Analisando a Figura 4.1, pode-se observar que, aos 7 dias, o BRFC com teor de 2,5% (Slump 15±10mm) apresenta uma resistência média de 22,5 MPa, uma perda de 9,4% em relação ao BS. O BRFC com teor de 2,5% (Slump 40±10mm) proporciona resistência de 18,2 Mpa, perda de 26,8% da resistência em relação ao BS. O BRFC com teor de 3,5% (Slump 5±10mm) apresenta resistência média de 21,6 MPa, demonstrando uma baixa de 13,0%, já o BRFC com teor de 3,5% (Slump 40±10mm) apresenta resistência

média de 14,2 MPa, obtendo uma baixa de 42,8% em relação ao BS. O BRFC com teor de 5% (Slump $0\pm 10\text{mm}$) indica resistência média de 16,6 MPa, sendo esta 33,1% mais baixa que o BS. Por fim, o BRFC com teor de 5% (Slump $40\pm 10\text{mm}$) apresenta resistência média de 12,2 Mpa, sendo a mais baixa do ensaio para 7 dias, com perda de 50,9% em relação ao BS.

A Figura 4.2 apresenta o gráfico dos resultados médios obtidos no ensaio de compressão axial aos 28 dias. Nota-se que, apenas um teor de fibra apresentou um acréscimo de resistência em relação ao BS.

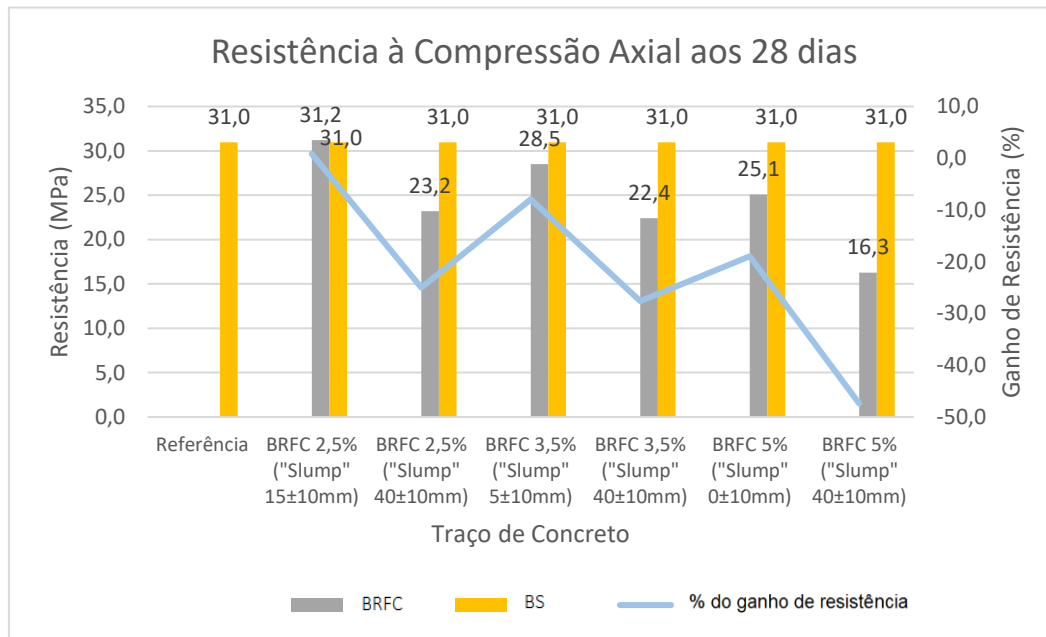


Figura 4.2 Gráfico da resistência à compressão axial aos 28 dias.

Verificando a Figura 4.2 é possível notar que, aos 28 dias, o BRFC com teor de 2,5% (Slump $15\pm 10\text{mm}$) apresenta resistência média de 31,2 MPa, um ganho de 0,9% em relação ao BS. O BRFC com teor de 2,5% (Slump $40\pm 10\text{mm}$) proporciona resistência de 23,2 Mpa, perda de 25,0% da resistência em relação ao BS. O BRFC com teor de 3,5% (Slump $5\pm 10\text{mm}$) apresenta resistência média de 28,5 MPa, demonstrando uma baixa de 7,9%, já o BRFC com teor de 3,5% (Slump $40\pm 10\text{mm}$) apresenta resistência média de 22,4 MPa, obtendo uma baixa de 27,6% em relação ao BS. O BRFC com teor de 5% (Slump $0\pm 10\text{mm}$) indica resistência média de 25,1 MPa, sendo esta 18,9% mais baixa que o BS. Por fim, o BRFC com teor de 5% (Slump $40\pm 10\text{mm}$) apresenta resistência média de 16,3 Mpa, sendo a mais baixa do ensaio para 7 dias, com perda de 47,4% em relação ao BS.

A Figura 4.3 apresenta o gráfico do ganho de resistência média dos resultados obtidos no ensaio de compressão axial aos 7 dias e aos 28 dias.

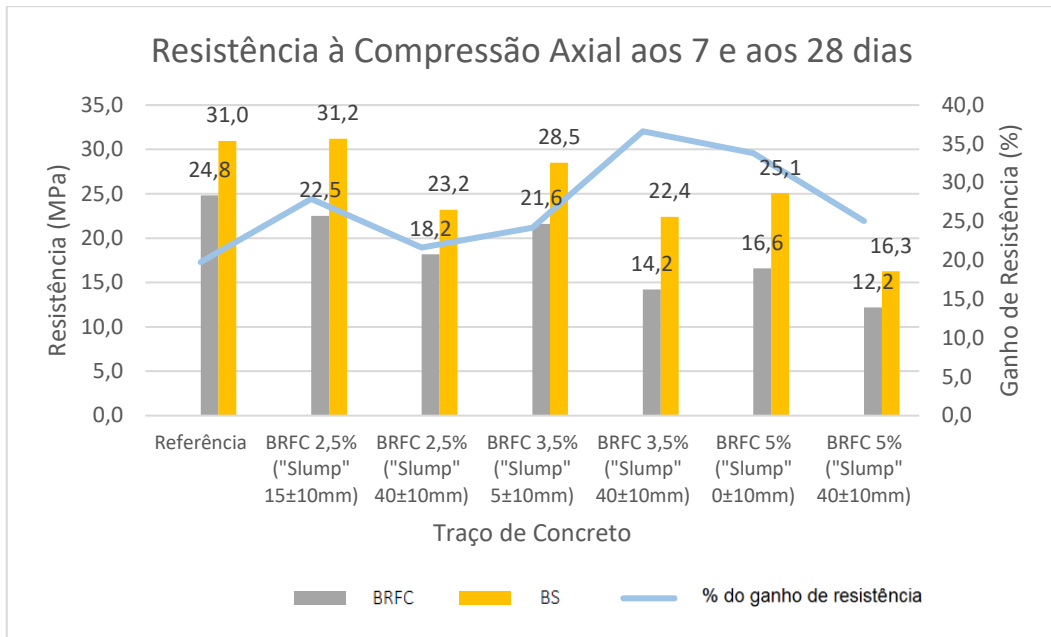


Figura 4.3 Gráfico da resistência média à compressão axial aos 7 dias e aos e 28 dias.

Analisando a Figura 4.3, pode-se notar que o BS apresenta ganho médio de resistência de 19,8% dos 7 dias para os 28 dias, enquanto no BRFC com teor de 2,5% (Slump 15±10mm) apresenta ganho de 27,9% para esse período. O ganho médio do BRFC com teor de 2,5% (Slump 40±10mm) é de 21,6%, já para o BRFC com teor de 3,5% (Slump 5±10mm) esse ganho médio é de 24,2% dos 7 aos 28 dias. O BRFC com teor de 3,5% (Slump 40±10mm) apresentou o maior ganho do ensaio com 36,6%, enquanto o BRFC com teor de 5% (Slump 0±10mm) apresenta ganho de 33,8% e o BRFC com teor de 5% (Slump 40±10mm) apresenta 25,0% dos 7 aos 28 dias.

A Tabela 4.1 abaixo apresenta o resumo dos resultados médios obtidos no ensaio de compressão axial aos 7 e 28 dias, e o percentual do ganho médio de cada traço.

Tabela 4.1 Tabela resumo dos resultados médios do ensaio de Compressão axial.

| Idade | Ref. | BRFC 2,5% | | BRFC 3,5% | | BRFC 5% | |
|--------------------------|------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | Slump 15±10mm | Slump 40±10mm | Slump 5±10mm | Slump 40±10mm | Slump 0±10mm | Slump 40±10mm |
| 7 | 24,8 | 22,5 | 18,2 | 21,6 | 14,2 | 16,6 | 12,2 |
| 28 | 31,0 | 31,2 | 23,2 | 28,5 | 22,4 | 25,1 | 16,3 |
| Ganho de Resistência (%) | 19,8 | 27,9 | 21,6 | 24,2 | 36,6 | 33,8 | 25,0 |

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A Figura 4.4 apresenta o gráfico com os resultados médios obtidos no ensaio de tração por compressão diametral aos 7 dias e, o ganho de resistência em determinados teores em relação ao traço de referência aos 7 dias.

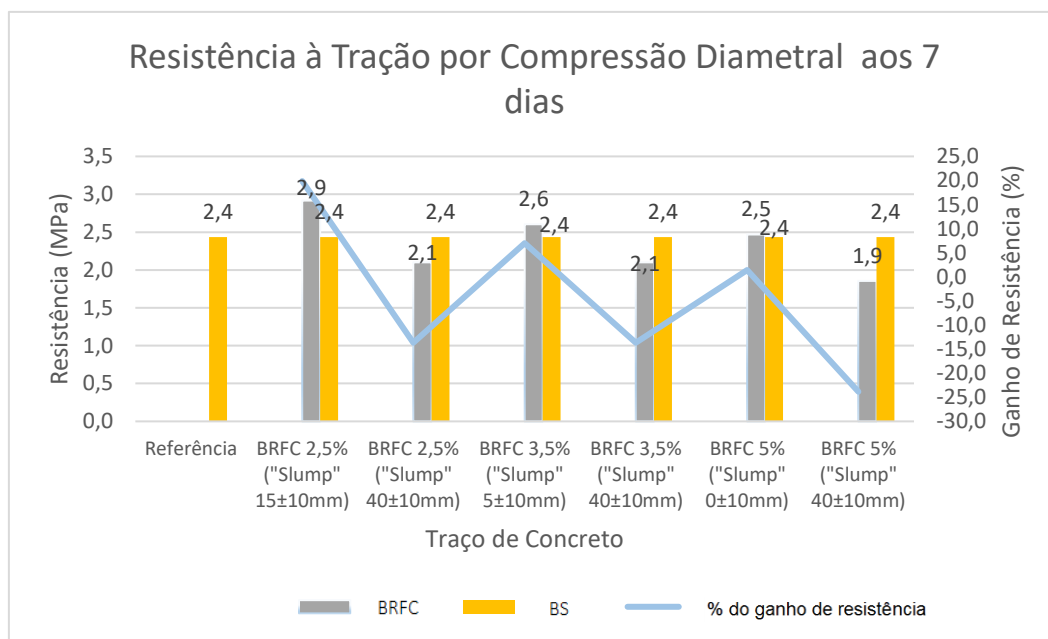


Figura 4.4 Gráfico da resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias.

Analisando o gráfico na Figura 4.4 é possível observar que o BRFC com teor de 2,5% (Slump 15±10mm) apresenta resistência média de 2,9 MPa, ganho de 19,9% em relação ao BS. O BRFC com teor de 2,5% (Slump 40±10mm) proporciona a resistência de 2,1 Mpa, perda de 13,7% da resistência em relação ao BS. O BRFC com teor de 3,5% (Slump 5±10mm) apresenta resistência média de 2,6 MPa, demonstrando ganho de 7,0%, já o BRFC com teor de 3,5% (Slump 40±10mm) apresenta resistência média de 2,1 MPa, obtendo uma baixa de 13,7% em relação ao BS. O BRFC com teor de 5% (Slump 0±10mm) indica resistência média

de 2,5 MPa, sendo esta 1,4% mais alta que o BS. Por fim, o BRFC com teor de 5% (Slump $40\pm 10\text{mm}$) apresenta resistência média de 1,9 Mpa, sendo a mais baixa do ensaio para 7 dias, com perda de 23,8% em relação ao BS.

A Figura 4.5 apresenta o gráfico dos resultados médios obtidos no ensaio de tração por compressão diametral aos 28 dias e seus respectivos acréscimos ou decréscimos de resistência.

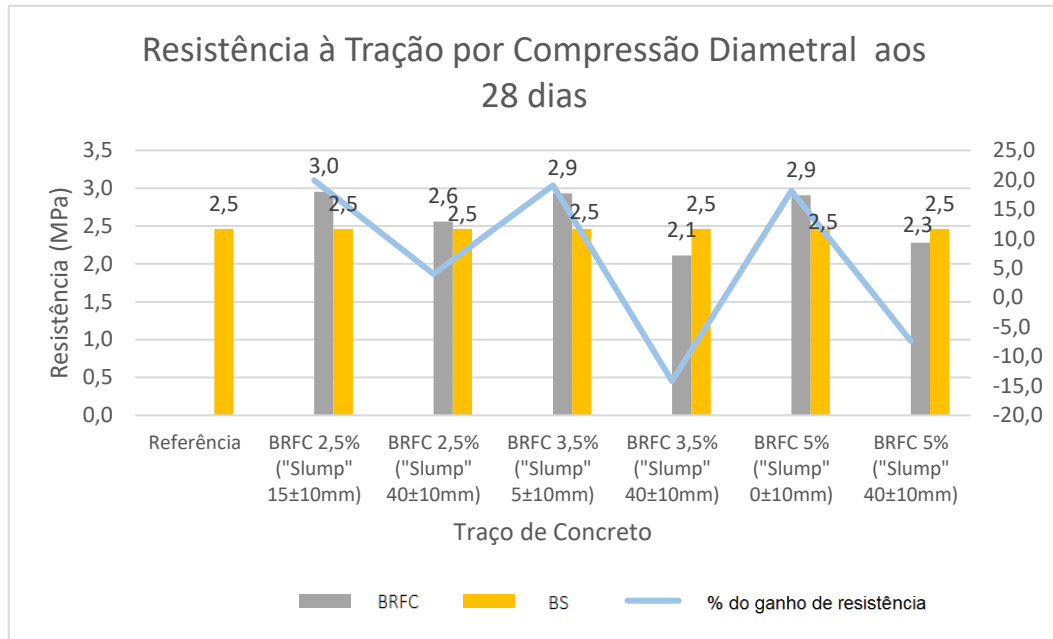


Figura 4.5 Gráfico da resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias.

Observando a Figura 4.5 é possível verificar que, aos 28 dias, o BRFC com teor de 2,5% (Slump $15\pm 10\text{mm}$) apresenta resistência média de 3,0 MPa, ganho de 19,9% em relação ao BS. O BRFC com teor de 2,5% (Slump $40\pm 10\text{mm}$) proporciona resistência de 2,6 Mpa, ganho de 4,0% da resistência em relação ao BS. O BRFC com teor de 3,5% (Slump $5\pm 10\text{mm}$) apresenta resistência média de 2,9 MPa, demonstrando ganho de 16,0%, já o BRFC com teor de 3,5% (Slump $40\pm 10\text{mm}$) apresenta resistência média de 2,1 Mpa, a mais baixa do ensaio aos 28 dias, obtendo baixa de 16,0% em relação ao BS. O BRFC com teor de 5% (Slump $0\pm 10\text{mm}$) indica resistência média de 2,9 MPa, sendo esta 16,0% mais alta que o BS. Por fim, o BRFC com teor de 5% (Slump $40\pm 10\text{mm}$) apresenta resistência média de 2,3 Mpa, com perda de 8,0% em relação ao BS.

A Figura 4.6 apresenta o gráfico com o ganho de resistência média dos resultados obtidos no ensaio de tração por compressão diametral aos 7 dias e aos 28 dias.

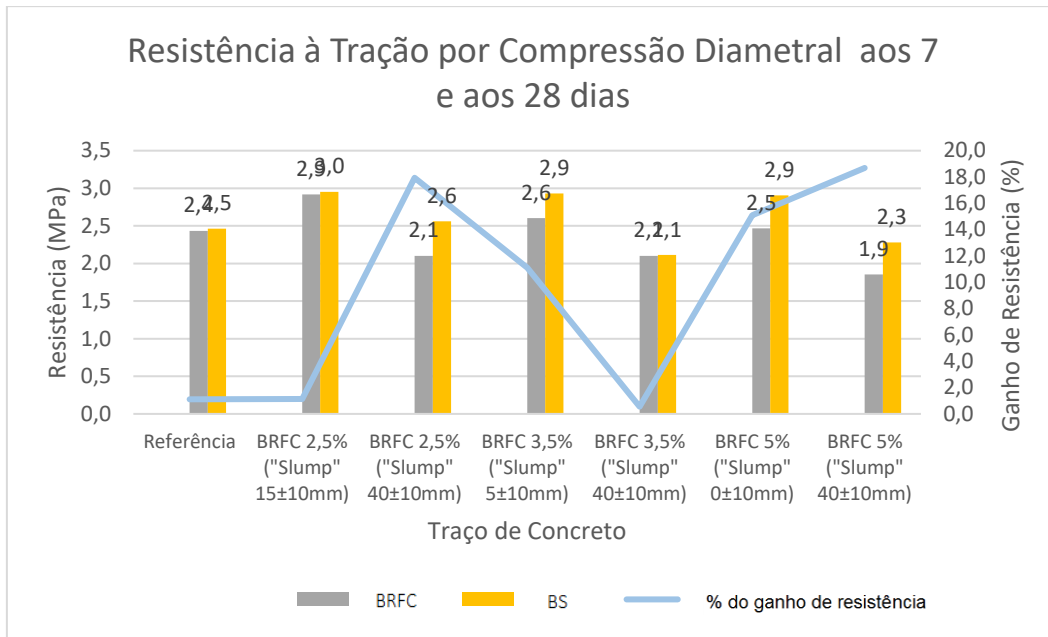


Figura 4.6 Gráfico da resistência média à tração por compressão diametral aos 7 dias e aos 28 dias.

Analisando a Figura 4.6 nota-se que o BS apresenta ganho médio de resistência de 1,1% dos 7 dias para os 28 dias, igual ao ganho do BRFC com teor de 2,5% (Slump 15±10mm). O ganho médio do BRFC com teor de 2,5% (Slump 40±10mm) é de 17,9%, já para o BRFC com teor de 3,5% (Slump 5±10mm) esse ganho médio é de 11,1% dos 7 aos 28 dias. O BRFC com teor de 3,5% (Slump 40±10mm) apresentou o menor ganho do ensaio com 0,6%, sendo o menor ganho de resistência para o período, enquanto o BRFC com teor de 5% (Slump 0±10mm) apresenta um ganho de 15,1% e o BRFC com teor de 5% (Slump 40±10mm) apresenta 18,7% dos 7 aos 28 dias.

A Tabela 4.2 abaixo apresenta o resumo dos resultados médios obtidos no ensaio de tração por compressão diametral aos 7 e 28 dias, e o percentual do ganho médio de cada traço.

Tabela 4.2 Tabela resumo dos resultados médios do ensaio de Tração por Compressão diametral.

| Idade | Ref. | BRFC 2,5% | | BRFC 3,5% | | BRFC 5% | |
|--------------------------|------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | Slump 15±10mm | Slump 40±10mm | Slump 5±10mm | Slump 40±10mm | Slump 0±10mm | Slump 40±10mm |
| 7 | 2,4 | 2,9 | 2,1 | 2,6 | 2,1 | 2,5 | 1,9 |
| 28 | 2,5 | 3,0 | 2,6 | 2,9 | 2,1 | 2,9 | 2,3 |
| Ganho de Resistência (%) | 1,1 | 1,1 | 17,9 | 11,1 | 0,6 | 15,1 | 18,7 |

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

A Figura 4.7 apresenta o gráfico dos resultados médios obtidos no ensaio de tração na flexão aos 7 dias e, seus respectivos acréscimos e/ou decréscimos de resistência.

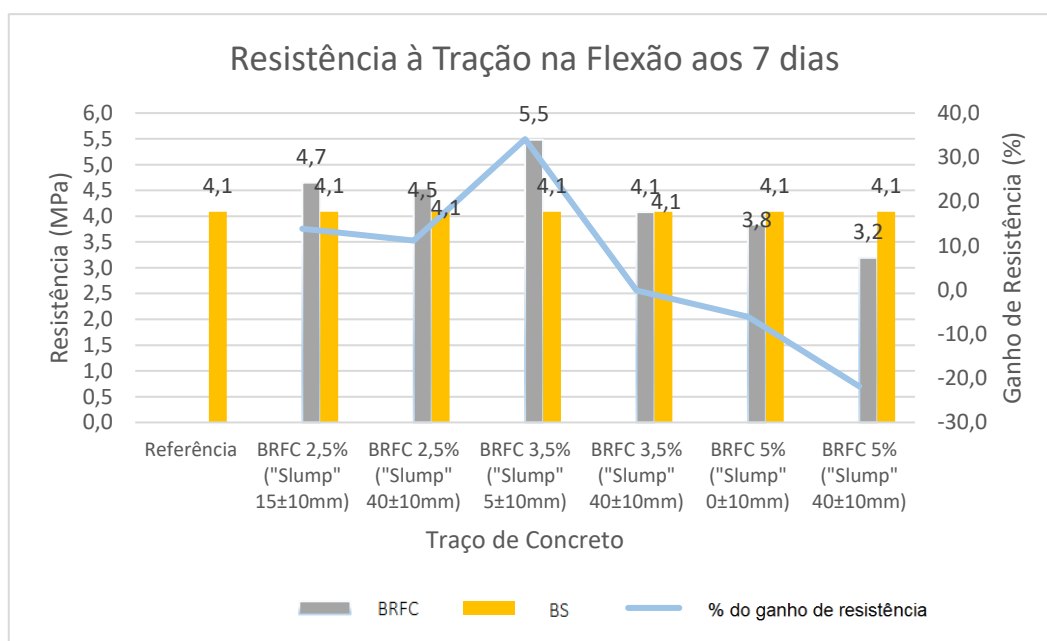


Figura 4.7 Gráfico da resistência à tração na flexão aos 7 dias.

Analisando a Figura 4.7, é possível verificar que o BRFC com teor de 2,5% (Slump 15±10mm) apresenta resistência média de 4,7 MPa, ganho de 13,8% em relação ao BS. O BRFC com teor de 2,5% (Slump 40±10mm) proporciona resistência de 4,5 Mpa, uma perda de 11,1% da resistência em relação ao BS. O BRFC com teor de 3,5% (Slump 5±10mm) apresenta resistência média de 5,5 MPa, demonstrando ganho de 34,1%, já o BRFC com teor de 3,5% (Slump 40±10mm) apresenta resistência média de 4,1 MPa, obtendo baixa de 0,2% em relação ao BS. O BRFC com teor de 5% (Slump 0±10mm) indica resistência média de 3,8 MPa, sendo esta 6,1% mais alta que o BS. Por fim, o BRFC com teor de 5% (Slump 40±10mm) apresenta

resistência média de 3,2 Mpa, sendo a mais baixa do ensaio para 7 dias, com perda de 21,8% em relação ao BS.

A Figura 4.8 apresenta o gráfico dos resultados médios obtidos no ensaio de tração na flexão aos 28 dias e, seus respectivos acréscimos e/ou decréscimos de resistência.

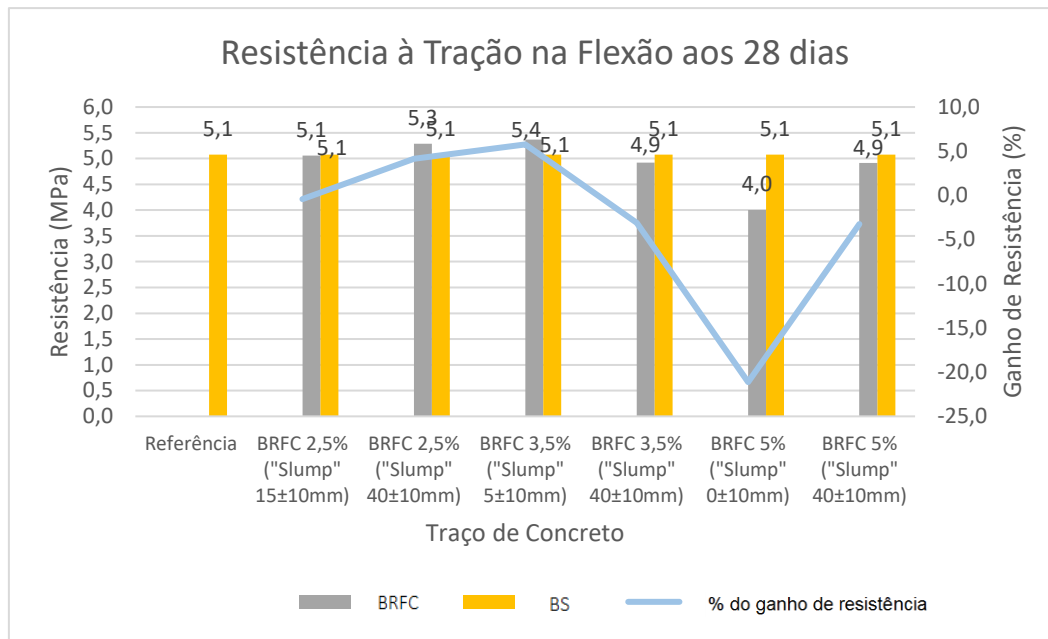


Figura 4.8 Gráfico da resistência à tração na flexão aos 28 dias.

Observando a Figura 4.8, é possível verificar que o BRFC com teor de 2,5% (Slump 15±10mm) apresenta resistência média de 5,1 MPa, mesma resistência do BS. O BRFC com teor de 2,5% (Slump 40±10mm) proporciona uma resistência de 5,3 MPa, ganho de 4,1% da resistência em relação ao BS. O BRFC com teor de 3,5% (Slump 5±10mm) apresenta resistência média de 5,4 MPa, demonstrando ganho de 5,8%, já o BRFC com teor de 3,5% (Slump 40±10mm) apresenta resistência média de 4,9 MPa, obtendo baixa de 3,1% em relação ao BS. O BRFC com teor de 5% (Slump 0±10mm) indica resistência média de 4,0 MPa, sendo esta 21,1% mais alta que o BS, apresentando o menor resultado do ensaio. Por fim, o BRFC com teor de 5% (Slump 40±10mm) apresenta resistência média de 4,9 Mpa, com perda de 3,2% em relação ao BS.

A Figura 4.9 apresenta o ganho de resistência média dos resultados obtidos no ensaio de tração na flexão aos 7 dias e aos 28 dias.

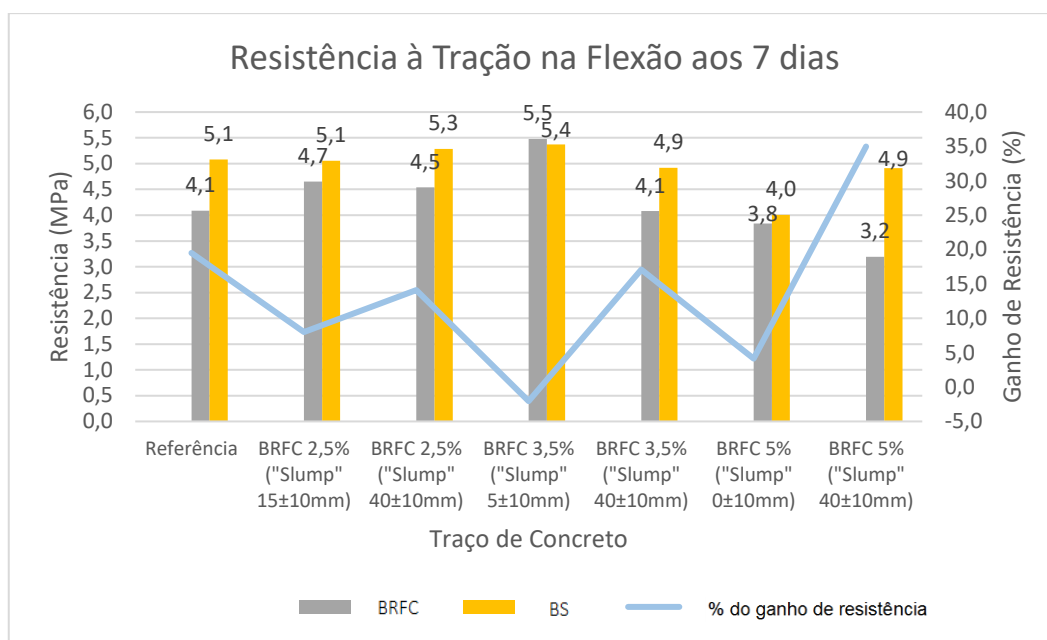


Figura 4.9 Gráfico da resistência média à tração na flexão aos 7 dias e aos 28 dias.

Examinando a Figura 4.9, nota-se que, o BS apresenta ganho médio de resistência de 19,5% dos 7 dias para os 28 dias, o ganho do BRFC com teor de 2,5% (Slump 15±10mm) é de 8,0%. O ganho médio do BRFC com teor de 2,5% (Slump 40±10mm) é de 14,1%, já para o BRFC com teor de 3,5% (Slump 5±10mm) apresentou perda de 2,0% da resistência dos 7 aos 28 dias. O BRFC com teor de 3,5% (Slump 40±10mm) apresentou ganho de resistência de 17,1%, sendo o menor ganho de resistência para o período, enquanto o BRFC com teor de 5% (Slump 0±10mm) apresenta ganho de 4,1% e o BRFC com teor de 5% (Slump 40±10mm) apresenta o maior ganho de resistência do ensaio com 35,0% dos 7 para os 28 dias.

A Tabela 4.3 abaixo apresenta o resumo dos resultados médios obtidos no ensaio de tração na flexão aos 7 e 28 dias, e o percentual do ganho médio de cada traço.

Tabela 4.3 Tabela resumo dos resultados médios do ensaio de Tração na Flexão.

| Idade | Ref. | BRFC 2,5% | | BRFC 3,5% | | BRFC 5% | |
|--------------------------|------|---------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | | Slump 15±10mm | Slump 40±10mm | Slump 5±10mm | Slump 40±10mm | Slump 0±10mm | Slump 40±10mm |
| 7 | 4,1 | 4,7 | 4,5 | 5,5 | 4,1 | 3,8 | 3,2 |
| 28 | 5,1 | 5,1 | 5,3 | 5,4 | 4,9 | 4,0 | 4,9 |
| Ganho de Resistência (%) | 19,5 | 8,0 | 14,1 | -2,0 | 17,1 | 4,1 | 35,0 |

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO

A Figura 4.10 apresenta o gráfico com os resultados médios obtidos no ensaio de módulo de elasticidade estático aos 28 dias.

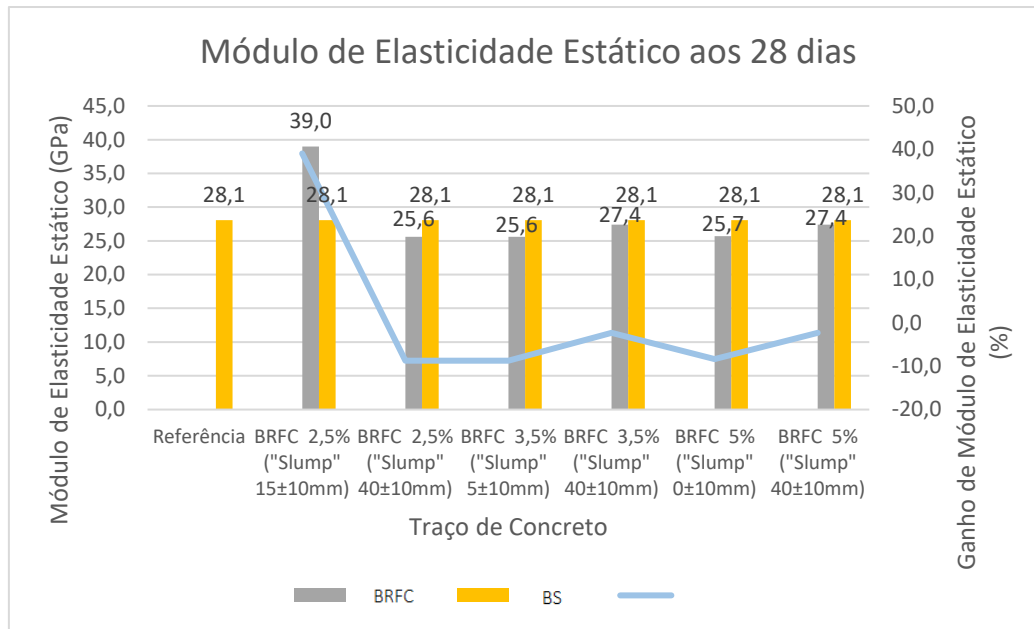


Figura 4.10 Gráfico dos resultados do módulo de elasticidade estático aos 28 dias.

Analisando a Figura 4.10, pode-se observar que o módulo estático de elasticidade médio do BRFC com teor de 2,5% (Slump 15±10mm) é de 39,0 GPa, sendo 39% a mais que o módulo do BS. O BRFC com teor de 2,5% (Slump 40±10mm) e o BRFC com teor de 3,5% (Slump 5±10mm) proporcionaram o mesmo módulo de 25,6 GPa, uma perda de 8,7% do módulo em relação ao BS. Já o BRFC com teor de 3,5% (Slump 40±10mm) apresenta módulo de 27,4 GPa, obtendo uma baixa de 2,3% em relação ao BS. O BRFC com teor de 5% (Slump 0±10mm) indica módulo de 25,7 GPa, sendo esta 8,4% mais alta que o BS. Por fim, o BRFC com teor de 5% (Slump 40±10mm) apresenta módulo médio de 27,4 GPa, com perda de 2,3% em relação ao BS.

A Tabela 4.4 abaixo apresenta o resumo dos resultados médios obtidos no ensaio do módulo de elasticidade estático aos 28 dias, e o percentual do ganho médio de cada traço.

Tabela 4.4 Tabela resumo dos resultados médios do ensaio de Módulo de elasticidade estático (GPa).

| Idade | Ref. | BRFC 2,5% | | BRFC 3,5% | | BRFC 5% | |
|-------------------------------------|------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | Slump 15±10mm | Slump 40±10mm | Slump 5±10mm | Slump 40±10mm | Slump 0±10mm | Slump 40±10mm |
| 28 | 28,1 | 39,0 | 25,6 | 25,6 | 27,4 | 25,7 | 27,4 |
| Ganho do Módulo de Elasticidade (%) | | 39,0 | -8,7 | -8,7 | -2,3 | -8,4 | -2,3 |

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE ONDA ULTRASSÔNICA

A Figura 4.11 apresenta os resultados médios obtidos no ensaio de módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias

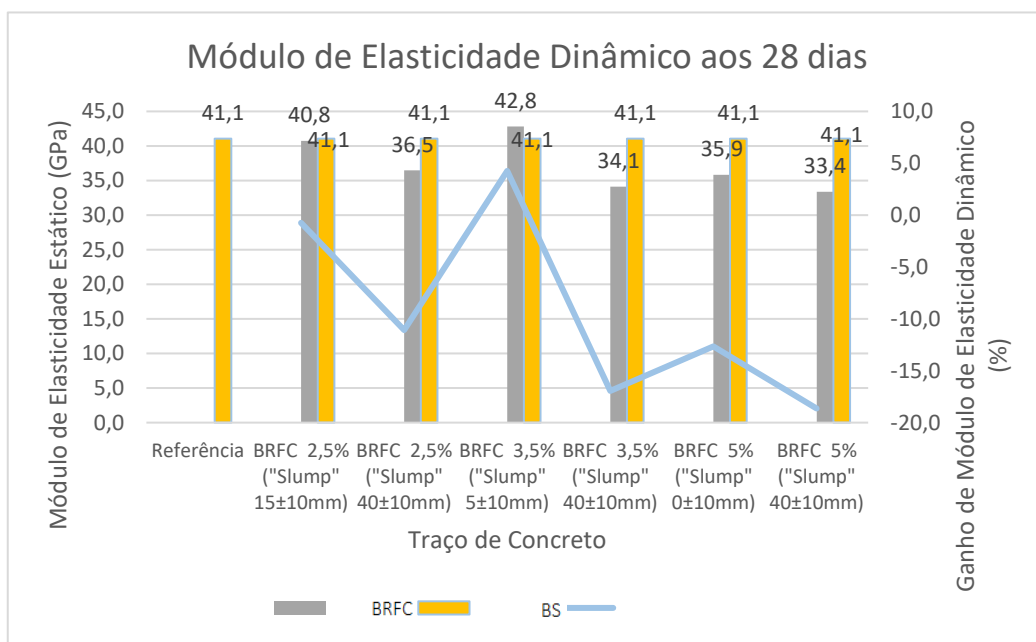


Figura 4.11 Gráfico dos resultados do módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias.

Examinando a Figura 4.11, é possível verificar a diferença do módulo de elasticidade dinâmico dos BRFC com teor de 2,5% (Slump 15±10mm) é de 40,8 GPa, sendo 0,7% mais baixa que o módulo do BS. O BRFC com teor de 2,5% (Slump 40±10mm) obteve módulo de 36,5 GPa, sendo 11,1% mais baixa em relação ao BS, já o BRFC com teor de 3,5% (Slump 5±10mm) proporciona módulo de 42,8 GPa, ganho de 4,3% do módulo em relação ao BS. Já o BRFC com teor de 3,5% (Slump 40±10mm) apresenta módulo de 34,1 GPa, obtendo uma baixa de 16,9% em relação ao BS. O BRFC com teor de 5% (Slump 0±10mm) indica módulo de 35,9 GPa, sendo esta 12,7% mais alta que o BS. Por fim, o BRFC com teor de 5% (Slump 40±10mm)

CAPÍTULO 4

apresenta módulo médio de 33,4 GPa, o mais baixo do ensaio para esse período, com perda de 18,6% em relação ao BS.

A Tabela 4.5 abaixo apresenta o resumo dos resultados médios obtidos no ensaio do módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias, e o percentual do ganho médio de cada traço.

Tabela 4.5 Tabela resumo dos resultados médios do ensaio de Módulo de elasticidade dinâmico (GPa).

| Idade | Ref. | BRFC 2,5% | | BRFC 3,5% | | BRFC 5% | |
|-------------------------------------|------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | Slump 15±10mm | Slump 40±10mm | Slump 5±10mm | Slump 40±10mm | Slump 0±10mm | Slump 40±10mm |
| 28 | 41,1 | 40,8 | 36,5 | 42,8 | 34,1 | 35,9 | 33,4 |
| Ganho do Módulo de Elasticidade (%) | | -0,7 | -11,1 | 4,3 | -16,9 | -12,7 | -18,6 |

5 CONCLUSÃO

A motivação desse trabalho deveu-se a grande produção de coco verde no Brasil, estimada em 2011 em 8,1 bilhões de frutos, segundo Vale (2011). Do fruto, cerca de 20%, destinam-se a produção da água de coco, enquanto o restante tem o potencial para ser beneficiado e resultado em fibra e pó de coco. A fibra de coco já é utilizada como substrato agrícola, confecção de embalagens (chamadas de “coco bag”), mistura asfáltica, mantas para proteção de encostas, produtos para jardinagem, chapas para isolamento acústico e térmico e banco de automóveis.

Estudar a viabilidade técnica da aplicação da fibra de coco em betão foi objeto deste trabalho, preparou-se para tanto um traço de betão de proporções em massa 1 parte de cimento para 2,1 parte de areia média fina para 2,9 partes de agregado graúdo e 0,56 partes de água, com 3 teores de fibra de coco, respectivamente 2,5%, 3,5% e 5% em relação a massa de cimento. Numa segunda etapa, o mesmo estudo abrangeu a fixação do índice de consistência (Slump) do betão. Para cada alternativa foram moldados provetes cilíndricos e prismáticos para ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral, tração na flexão com carga nos terços do vão, módulos de elasticidade estático e dinâmico nas idades de 7 e 28 dias.

Neste estudo pode-se observar que na resistência à compressão axial aos 7 dias, todos os traços de betão com fibra apresentaram uma resistência mais baixa em comparação ao betão sem adição de fibras. E, aos 28 dias, apenas o traço com teor de fibra 2,5% (Slump 15 ± 10 mm) apresentou um pequeno acréscimo na resistência na comparação. Essa redução de resistência no betão reforçado com fibra ocorre devido à incorporação de ar na matriz e a superfície da fibra, por ser irregular em tamanho e forma, interfere na aderência entre os materiais.

Já na análise da resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias, os traços com fibra que apresentaram acréscimo de resistência, possuem os menores índices de consistência (Slump) do ensaio, ou seja, menor teor de água na relação água cimento. Já aos 28 dias, apenas um traço com fibra apresenta uma resistência mais baixa em relação à de referência, o melhor traço com fibra de coco do ensaio foi o 2,5% (Slump 15 ± 10 mm).

Quanto a resistência à tração na flexão, nota-se um ganho de desempenho aos 7 dias nos traços com menor índice de consistência (Slump), onde se manteve a relação água cimento do traço piloto. Esse dado é importante devido à ação da retração plástica, oriunda da evaporação da água no lançamento do betão, que gera tensões internas, produzindo fissuras na superfície, reduzindo a resistência e durabilidade do betão. Já no ensaio aos 28 dias, é possível notar que os traços com maior índice de consistência (Slump) apresentam as menores médias de resistência do ensaio, o melhor traço preparado para o ensaio foi o BRFC com teor de 3,5% (Slump 15 ± 10 mm), nota-se que esse traço não apresentou melhora na resistência do ensaio dos 7 aos 28 dias.

Os módulos de elasticidade estático foram determinados a partir do diagrama de tensão-deformação. Nota-se que apenas o traço com 2,5% de fibra (Slump 15 ± 10 mm) apresentou um valor mais elevado do módulo em comparação ao sem fibra.

Para o ensaio de obtenção do módulo de elasticidade dinâmico, apenas o BRFC com teor 3,5% de fibra (Slump 5 ± 10 mm) apresentou módulo superior ao traço piloto aos 28 dias. Por tratar de um ensaio que analisa a homogeneidade do betão, quando adicionada a fibra, que possui diferentes formas, é alterada.

Sucintamente, ao analisar a compressão axial, não se nota a importância da fibra, pois o betão já apresenta uma boa resistência à compressão. Entretanto, ao analisar as resistências à tração por compressão diametral e na flexão, essa adição é viável para determinados teores, fator importante para o controle de fissuração, aumento da resistência ao impacto e pós fissuração, conforme demonstra a literatura. O betão reforçado com fibra passa de um material frágil para pseudo-dúctil. Em relação aos módulos de elasticidade, não há sinais de melhoras. Ainda assim, é possível visualizar um ganho satisfatório de resistência no betão reforçado com fibra de coco com teor de 2,5% e 3,5%, com baixo índice de consistência (Slump).

Para trabalhos futuros recomenda-se a realização ensaios a fim de se determinar a durabilidade desse betão reforçado, seu envelhecimento, agentes que podem comprometê-lo, tipos de cimento que favorecem a utilização da fibra de coco, a preparação de betão com diferentes teores de fibra, analisando a curva do ganho de resistência, verificando o teor ideal. E ainda, hidratar a fibra, para que não absorva água da mistura, analisando possíveis melhoras na resistência e módulos de elasticidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABO Palácio Têxtil. **Fibra de Sisal**. Disponível em:

<<http://www.palaciotextil.com.br/sisal.html#>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

ALEXANDRA PASSUELO (Brasil). Instituto Brasileiro do Concreto. **Concreto: Ensino, Pesquisas e Realizações**. 47. ed. Nacional, 2015. 792 p.

ALVORADA Materiais de Construção. **Cimento não é tudo igual, não!**. Disponível em:

<<http://alvoradams.com.br/blog/cimento-nao-e-tudo-igual-nao/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. 2016. **Fabricação**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/fabricacao/fabricacao/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738/2008** – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos. ABNT, Rio de Janeiro, 2008, 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 67/1998** – Concreto da consistência pelo abatimento do tronco de cone. ABNT, Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739/2007** – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. ABNT, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7222:2010** – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. ABNT, Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12142:2010** – Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. ABNT, Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8522:2008** – Concreto – Determinação do módulo de estático de elasticidade à compressão. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8802:2013** – Concreto endurecido – Determinação da propagação de onda ultrassônica. ABNT, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10024/2012** – Chapa dura de fibra de madeira – Requisitos e métodos de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 17/10/2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15530:2007** – Fibra de aço para concreto – Especificações. ABNT, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11578:1991** – Cimento Portland composto. ABNT, Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5735/1991** – Cimento Portland de Alto forno. ABNT, Rio de Janeiro, 1991.

BERNARDI, Stefania Tesi. 2003. **Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibra de aramida kevlar**. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Porto Alegre, 2003. 179 páginas.

CIMENTO.ORG. 2010. **CP II-E – Cimento Portland composto com escória**. Disponível em: <<http://cimento.org/cp-ii-e-32-cimento-portland-composto-com-escoria/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

CONCRETO- soluções duráveis. CREA-BA, Bahia, v. 26, n. 26, p. 14-17, jan. 2009. Disponível em: <<http://www.creaba.org.br/Artigo/33/Concreto--Solucoes-duraveis.aspx>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

DAVIDOVITS, Joseph. **The History of Concrete and the Nabataeans**. article. s.f. Disponível em: <<http://nabataea.net/cement.html>>. Acesso em: 13 mai 2015.

DUARTE, Denise; IMAI, Estela Mari; NII, Patricia Megumi. **Fibras naturais e sua aplicação na arquitetura**. São Paulo: USP, 2009. Disponível em: Acesso em: 25 maio 2011.

DUPONT Perú. **Fibras**. Disponível em: <<http://www.dupont.com.pe/productos-y-servicios/fabrics-fibers-nonwovens.html>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

EMBRAPA (Sergipe). **Evolução da produção de coco no Brasil**. 2011. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_164.pdf>. Acesso em: 28 out. 2014.

EM FOCO Revista. 2011. **Tecnologia - A utilização da fibra de coco na construção civil**. Em Foco, Maceió, v. 26, n. 26, p. 15-16, jan. 2011. Disponível em: <<http://www.gw3mn.com.br/site/index.php/revista-em-foco-n-26/191-tecnologia-a-utilizacao-da-fibra-do-coco-na-construcao-civil>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

FAO; FONTES, Wanderley; JÚNIOR, Jesus. **O comércio do coco**. 2011. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_164.pdf>. Acesso em: 28 out. 2014.

FCIÊNCIAS, FERNANDES, Henrique. 2013. **Kevlar – Molécula da semana**. Disponível em: <<http://fciencias.com/2013/04/08/molecula-da-semana-kevlar/>>. Acesso em: 23/06/2016

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo: EPUSP, 2000. Disponível em: <<http://www.allquica.com.br/arquivos/websites/artigos/a000222006526153128.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2014.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 367 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FONTES, H. R.; WANDERLEY, M. **Novos cenários para a cultura do coqueiro gigante no Brasil**. 2010. Disponível em: <http://agrosoft.com.br/agropag/212960>. Acesso em: 14 nov. 2010.

- GONÇALVES, Stephanie A. **Uso da Fibra de Coco em Concreto**. 2016. 101 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para graduação em Engenharia Civil. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.
- GUIMARÃES, Diego. **Pisos industriais em concreto: determinação de teores ótimos de fibra de aço e polipropileno em ensaios mecânicos**. 2010. 90 páginas. Trabalho de diplomação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ISAIA, Geraldo C. et al. IBRACON. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. 2005. 792 p. (Volume 1).
- LEONHARDT, Fritz; MONNIG, Eduard. **Construções de Concreto: Princípios Básicos do Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado**. Stuttgart: Interciência, 1977. 308 p. (Volume 1)
- LISIANE, Fernanda Fabro de Castilhos; VALE; DUARTE; Imai Inn (Brasil). Instituto de Tecnologia do Paraná- Tecpar. **Aproveitamento da fibra de coco**. 2011. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTY0MA==>>. Acesso em: 08 ago. 2011.
- MARTINS, Carlos Roberto; JÚNIOR, Luciano Alves de Jesus. EMBRAPA. 2011. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional - Panorama 2010**. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2011/doc_164.pdf. Acesso em: 15 jun. 2016
- MASSA CINZENTA empresa. AOKI, Jorge. 2010. **Fibras para concreto**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/fibras-para-concreto/>>. Acesso em 15 jun. 2016
- MATTOS, Adriano Lincoln Albuquerque, et al. EMBRAPA, **Beneficiamento da casca de coco verde**. 2011. Disponível em: http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_3830.pdf. Acesso em 16/06/2016
- MODRO, N. L. R. et al. 2009. **Avaliação de cimento Portland contendo resíduos de PET**. Revista Matéria Rio de Janeiro. Disponível em: <http://scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762009000100007%20e%20>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- O Panteão romano**. Disponível em: <http://www.janelaitalia.com/o-panteao-romano/>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- ONUKEI, Michelle A.F.; GASPARETTO, Patrycia A. **Comparativo das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido com adição de fibras de aço e de polipropileno**. 2013. 87 f. Dissertação (Graduação em Tecnologia do Concreto) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- PEREIRA, Claudio H. A. F.; FIGUEIREDO, Enio J. P.; BAUER, Elton. **Avaliação da influência da adição de fibras sintéticas ao concreto quanto ao ingresso de íons cloreto**. Revista Vektor, Rio Grande, v. 2, n. 15, p.7-17, 2005. Disponível em: <<http://www.seer.furg.br/vektor/article/view/182/10>>. Acesso em: 24 set. 2014.
- PETRUCCI, Eládio. 1998. **Concreto de cimento portland**. Globo, Porto Alegre. 1998.

- PINHEIRO, Libânio M; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P.. 2004. **Estruturas de concreto – capítulo 2**. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>>. Acesso em 15 jun. 2016
- QUALIVIDA Argila Expandida. **Argila Expandida - Empresa de Curitiba**. Disponível em: <http://argilaexpandida.com.br>. Acesso em: 15 jun. 2016
- QUIMER Produtos Químicos. **Fibra de vidro cortada 3 mm**. Disponível em: <<http://quimer.pt/pt/ms/ms/produtos-2860-706-moita/ms-90005699-p-3/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- QUININO, Uziel Cavalcante de Medeiros. 2015. **Investigação experimental das propriedades mecânicas de compósitos de concreto com adições híbridas de fibras**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Porto Alegre, Abril, 2015. 243 páginas.
- ROSA, Morsyleide de Freitas, et al. EMBRAPA, **Caracterização do pó da casca de coco verde como substrato agrícola**. 2001. Disponível em http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_2459.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- RESENDE, Fabrício Meneses. **Influência das fibras de aço, polipropileno e sisal no amortecimento de concretos de resistência normal e de alto desempenho**. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de, 2003.
- SAVASTANO JR., Holmer. **A experiência brasileira com as fibras vegetais**. Técnica, São Paulo, v. 32, n. 32, p. 38-43, set. 2004.
- SALAZAR, Vera Lúcia Pimentel; LEÃO, Alcides Lopes. **Biodegradação das fibras de coco e de sisal aplicadas na indústria automotiva**. 2006. 35f. Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Unesp, Botucatu, 2006.
- SAHEB, D. Nabi; JOB, J P. 1999. **Natural fiber polymer composites: a review**. Disponível em: <http://www.academia.edu/1962118/Natural_fiber_polymer_composites_a_review>. Acesso em: 16 jun. 2016.
- SANTOS, Altair. **Concreto Ciclotrópico**. Artigo público, set. 2009. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/concreto-ciclopico/>. Acesso em: 13 mai. 2015.
- SEBRAE. 2016. **O cultivo e o mercado de coco verde**. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/O-cultivo-e-o-mercado-do-coco-verde>>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- SILVA, Luiz Cláudio Ferreira da. **Análise das propriedades mecânicas e térmicas de tijolos solo-cimento com e sem adição do pó da fibra de coco**. 2008. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- TANESI, Jussara; FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Fissuração por retração em concretos reforçados com fibras de polipropileno (CRFP)**. São Paulo: Boletim Técnico EPUSP, 1999. 24 p. (BT/PCC/239). Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00239.pdf>. Acesso em: 23 set. 2014.

VASCONCELOS, Yuri. Revista Mundo. Edição 14 Estranho. **O que foi o Coliseu de Roma?**. Disponível em: < <http://mundoestranho.abril.com.br/materia/o-que-foi-o-coliseu-de-roma>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

YEGUL, Fikret. **Roman building technology and architecture**. Disponível em: <http://id-archserve.ucsb.edu/courses/arhistory/152k/index.html>. Acesso em: 15 jun. 2016.

ANEXO I – TABELAS DO ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTÁTICO

Tabela Anexo I.1 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço Piloto (sem fibra).

| PV 7 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Carga de Ruptura Média = 24400 kgf | | | | |
| 30% 24400 = 7320 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) | (após 60s) | |
| | | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 7300 | 29 | 33 | 31,0 |
| 3 | 400 | 0 | 3 | 1,5 |
| 4 | 7300 | 28 | 36 | 32,0 |
| 5 | 400 | 1 | 3 | 2,0 |
| 6 | 7300 | 27 | 37 | 32,0 |
| 7 | 400 | 1 | 3 | 2,0 |
| 8 | 7300 | 27 | 37 | 32,0 |
| 9 Ruptura | 24900 | | | |
| E = | 88,0295 0,0003 | = 293432 kgf/cm ² | E = | 29,3 GPa |

Tabela Anexo I.2 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço Piloto (sem fibra).

| PV 8 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Carga de Ruptura Média = 24400 kgf | | | | |
| 30% 24400 = 7320 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) | (após 60s) | |
| | | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 7300 | 31 | 38 | 34,5 |
| 3 | 400 | 1 | 2 | 1,5 |
| 4 | 7300 | 31 | 39 | 35,0 |
| 5 | 400 | 1 | 3 | 2,0 |
| 6 | 7300 | 31 | 39 | 35,0 |
| 7 | 400 | 1 | 3 | 2,0 |
| 8 | 7300 | 31 | 39 | 35,0 |
| 9 Ruptura | 24800 | | | |
| E = | 88,3830 0,0003 | = 267827 kgf/cm ² | | E = 26,8 GPa |

Tabela Anexo I.3 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 2,5% de fibra de coco
(Slump 15 ± 10 mm)

| PV 22 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Carga de Ruptura Média = 24300 kgf | | | | |
| 30% 24400 = 7290 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) | (após 60s) | |
| | | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 7300 | 29 | 26 | 27,5 |
| 3 | 400 | 3 | 0 | 1,5 |
| 4 | 7300 | 28 | 26 | 27,0 |
| 5 | 400 | 3 | 0 | 1,5 |
| 6 | 7300 | 28 | 26 | 27,0 |
| 7 | 400 | 3 | 0 | 1,5 |
| 8 | 7300 | 28 | 26 | 27,0 |
| 9 Ruptura | 22700 | | | |
| E = | 87,8535 0,0003 | = 344524 kgf/cm ² | E = | 34,5 GPa |

Tabela Anexo I.4 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 2,5% de fibra de coco
(Slump 15 ± 10 mm)

| PV 23 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Carga de Ruptura Média = 24300 kgf | | | | |
| 30% 24400 = 7290 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) | (após 60s) | |
| | | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 7300 | 31 | 36 | 33,5 |
| 3 | 400 | 1 | 1 | 1,0 |
| 4 | 7300 | 31 | 37 | 34,0 |
| 5 | 400 | 1 | 1 | 1,0 |
| 6 | 7300 | 31 | 37 | 34,0 |
| 7 | 400 | 0 | 1 | 0,5 |
| 8 | 7300 | 31 | 37 | 34,0 |
| 9 Ruptura | 21900 | | | |
| E = | 87,6781 0,0003 | = 261726 kgf/cm ² | E = | 26,2 GPa |

Tabela Anexo I.5 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 2,5% de fibra de coco
(Slump 40 ± 10 mm)

| PV 52 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Carga de Ruptura Média = 18150 kgf | | | | |
| 30% 18150 = 5445 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) | (após 60s) | |
| | | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 5400 | 22 | 25 | 23,5 |
| 3 | 400 | 1 | 2 | 1,5 |
| 4 | 5400 | 22 | 26 | 24,0 |
| 5 | 400 | 1 | 2 | 1,5 |
| 6 | 5400 | 23 | 27 | 25,0 |
| 7 | 400 | 2 | 3 | 2,5 |
| 8 | 5400 | 23 | 28 | 25,5 |
| 9 Ruptura | 19600 | | | |
| E = | 63,1557 0,0002 | = 274590 kgf/cm ² | E = | 27,5 GPa |

Tabela Anexo I.6 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 2,5% de fibra de coco
(Slump 40 ± 10 mm)

| PV 53 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|--|--|---------------|
| Carga de Ruptura Média = 18150 kgf | | | | |
| 30% 18150 = 5445 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) ($\Delta l \times 10^6 m$) | (após 60s) ($\Delta l \times 10^6 m$) | |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 5400 | 29 | 29 | 29,0 |
| 3 | 400 | 3 | 2 | 2,5 |
| 4 | 5400 | 29 | 30 | 29,5 |
| 5 | 400 | 3 | 2 | 2,5 |
| 6 | 5400 | 29 | 30 | 29,5 |
| 7 | 400 | 3 | 2 | 2,5 |
| 8 | 5400 | 29 | 30 | 29,5 |
| 9 Ruptura | 17400 | | | |
| E = | 63,9174 0,0003 | = 236731 kgf/cm ² | E = | 23,7 GPa |

Tabela Anexo I.7 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 3,5% de fibra de coco
(Slump 5 ± 10 mm)

| PV 84 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Carga de Ruptura Média = 22300 kgf | | | | |
| 30% 22300 = 6690 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) | (após 60s) | |
| | | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 6700 | 26 | 27 | 26,5 |
| 3 | 400 | 1 | 1 | 1,0 |
| 4 | 6700 | 25 | 27 | 26,0 |
| 5 | 400 | 1 | 1 | 1,0 |
| 6 | 6700 | 25 | 27 | 26,0 |
| 7 | 400 | 1 | 1 | 1,0 |
| 8 | 6700 | 25 | 27 | 26,0 |
| 9 Ruptura | 23800 | | | |
| E = | 80,2141 0,0003 | = 274590 kgf/cm ² | E = | 27,5 GPa |

Tabela Anexo I.8 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 3,5% de fibra de coco
(Slump 5 ± 10 mm)

| PV 85 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Carga de Ruptura Média = 22300 kgf | | | | |
| 30% 22300 = 6690 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) | (após 60s) | |
| | | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 6700 | 25 | 30 | 27,5 |
| 3 | 400 | 1 | 4 | 2,5 |
| 4 | 6700 | 25 | 27 | 26,0 |
| 5 | 400 | 1 | 6 | 3,5 |
| 6 | 6700 | 25 | 25 | 25,0 |
| 7 | 400 | 1 | 8 | 4,5 |
| 8 | 6700 | 25 | 24 | 24,5 |
| 9 Ruptura | 17400 | | | |
| E = | 80,0539 0,0002 | = 236731 kgf/cm ² | E = | 23,7 GPa |

Tabela Anexo I.9 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 3,5% de fibra de coco
(Slump 40 ± 10 mm)

| PV 67 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Carga de Ruptura Média = 17600 kgf | | | | |
| 30% 17600 = 5280 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) | (após 60s) | |
| | | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 5300 | 18 | 23 | 20,5 |
| 3 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 4 | 5300 | 17 | 24 | 20,5 |
| 5 | 400 | 1 | 1 | 1,0 |
| 6 | 5300 | 17 | 25 | 21,0 |
| 7 | 400 | 1 | 1 | 1,0 |
| 8 | 5300 | 17 | 25 | 21,0 |
| 9 Ruptura | 16900 | | | |
| E = | 62,0161 0,0002 | = 310080 kgf/cm ² | E = | 31,0 GPa |

Tabela Anexo I.10 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 3,5% de fibra de coco
(Slump 40 ± 10 mm)

| PV 68 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|--|--|---------------|
| Carga de Ruptura Média = 17600 kgf | | | | |
| 30% 17600 = 5280 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) ($\Delta l \times 10^6 m$) | (após 60s) ($\Delta l \times 10^6 m$) | |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 5300 | 27 | 26 | 26,5 |
| 3 | 400 | 1 | 1 | 1,0 |
| 4 | 5300 | 27 | 27 | 27,0 |
| 5 | 400 | 0 | 1 | 0,5 |
| 6 | 5300 | 26 | 27 | 26,5 |
| 7 | 400 | 0 | 1 | 0,5 |
| 8 | 5300 | 26 | 27 | 26,5 |
| 9 Ruptura | 16600 | | | |
| E = | 61,7695 0,0003 | = 237575 kgf/cm ² | E = | 23,8 GPa |

Tabela Anexo I.11 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 5% de fibra de coco
(Slump 0 ± 10 mm)

| PV 37 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Carga de Ruptura Média = 19700 kgf | | | | |
| 30% 19700 = 5910 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) | (após 60s) | |
| | | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 5900 | 27 | 28 | 27,5 |
| 3 | 400 | 2 | 2 | 2,0 |
| 4 | 5900 | 27 | 29 | 28,0 |
| 5 | 400 | 2 | 3 | 2,5 |
| 6 | 5900 | 27 | 29 | 28,0 |
| 7 | 400 | 1 | 2 | 1,5 |
| 8 | 5900 | 27 | 30 | 28,5 |
| 9 Ruptura | 17100 | | | |
| E = | 69,7489 0,0003 | = 258329 kgf/cm ² | E = | 25,8 GPa |

Tabela Anexo I.12 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 5% de fibra de coco
(Slump 0 ± 10 mm)

| PV 38 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Carga de Ruptura Média = 19700 kgf | | | | |
| 30% 19700 = 5910 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) | (após 60s) | |
| | | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 5900 | 27 | 27 | 27,0 |
| 3 | 400 | 1 | 1 | 1,0 |
| 4 | 5900 | 26 | 29 | 27,5 |
| 5 | 400 | 1 | 2 | 1,5 |
| 6 | 5900 | 25 | 30 | 27,5 |
| 7 | 400 | 1 | 2 | 1,5 |
| 8 | 5900 | 24 | 30 | 27,0 |
| 9 Ruptura | 20200 | | | |
| E = | 70,3091 0,0003 | = 275722 kgf/cm ² | E = | 25,6 GPa |

Tabela Anexo I.13 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 5% de fibra de coco
(Slump 40 ± 10 mm)

| PV 67 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Carga de Ruptura Média = 12850 kgf | | | | |
| 30% 12850 = 3855 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) | (após 60s) | |
| | | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 3900 | 16 | 33 | 24,5 |
| 3 | 400 | 1 | 3 | 2,0 |
| 4 | 3900 | 19 | 31 | 25,0 |
| 5 | 400 | 2 | 4 | 3,0 |
| 6 | 3900 | 20 | 30 | 25,0 |
| 7 | 400 | 3 | 4 | 3,5 |
| 8 | 3900 | 21 | 30 | 25,5 |
| 9 Ruptura | 12400 | | | |
| E = | 44,6526 0,0002 | = 310080 kgf/cm ² | E = | 31,0 GPa |

Tabela Anexo I.14 Resultado do ensaio de módulo de elasticidade - Traço com 5% de fibra de coco
(Slump 40 ± 10 mm)

| PV 68 | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Carga de Ruptura Média = 12850 kgf | | | | |
| 30% 12850 = 3855 kgf | | | | |
| Estágio | Carga de Ruptura Média (Kgf) | Leitura 1 | Leitura 2 | Leitura Média |
| | (kgf) | (após 60s) | (após 60s) | |
| | | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) | ($\Delta l \times 10^6 m$) |
| 1 | 400 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | 3900 | 11 | 22 | 16,5 |
| 3 | 400 | 3 | 1 | 2,0 |
| 4 | 3900 | 9 | 20 | 14,5 |
| 5 | 400 | 4 | 3 | 3,5 |
| 6 | 3900 | 8 | 18 | 13,0 |
| 7 | 400 | 5 | 4 | 4,5 |
| 8 | 3900 | 7 | 17 | 12,0 |
| 9 Ruptura | 16600 | | | |
| E = | 44,6526 0,0001 | = 237575 kgf/cm ² | E = | 23,8 GPa |


ANEXO II – DECLARAÇÃO DA EMPRESA PLANCOMAR

Declaração

Declaro para todos os fins que a empresa Plancomar Indústria e Comércio Ltda – CNPJ NO. 04.974.670/0001-60, forneceu, a pedido de Stephanie Gonçalves, cursando Engenharia Civil na Universidade Mackenzie, amostras de fibra de coco para aplicação em concreto, visando conclusão de TCC .
Por ser a expressão da verdade, firmo a presente declaração.

São Paulo, 06 de Abril de 2015

Plancomar Indústria e Comércio Ltda



Roberto Nobuo Kaneko (Assinatura)

Sócio Proprietário