

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARIANA DE SOUSA PRAZERES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BLOCOS DE CONCRETO PARA
ALVENARIA DE VEDAÇÃO COMUNS E BLOCOS DE CONCRETO COM
ADIÇÃO DE PAPEL RECICLADO**

São Luís

2018

MARIANA DE SOUSA PRAZERES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BLOCOS DE CONCRETO PARA
ALVENARIA DE VEDAÇÃO COMUNS E BLOCOS DE CONCRETO COM
ADIÇÃO DE PAPEL RECICLADO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar

São Luís

2018

Prazeres, Mariana de Sousa.

Estudo comparativo entre blocos de concreto para alvenaria de vedação comuns e blocos de concreto com adição de papel reciclado / Mariana de Sousa Prazeres. – São Luís, 2018.

151 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar.

1. Blocos. 2. Concreto. 3. Vedação. 4. Adição. 5. Propriedades.
I. Título.

CDU 624.012

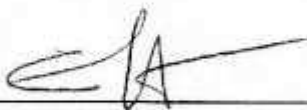
MARIANA DE SOUSA PRAZERES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BLOCOS DE CONCRETO PARA
ALVENARIA DE VEDAÇÃO COMUNS E BLOCOS DE CONCRETO COM
ADIÇÃO DE PAPEL RECICLADO**

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade Estadual
do Maranhão para o grau de bacharelado
em Engenharia Civil.

Aprovada em: __/__/__

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar (Orientador)

Doutor em Engenharia de Estruturas

Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Msc. Clodoaldo Cesar Malheiros Ferreira

Mestre em Engenharia de Estruturas

Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Dra. Maria Ângela Simões Hadade

Doutora em Engenharia de Estruturas

Universidade Estadual do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai e à minha mãe, José Ribamar e Rosevânia, que fizeram tudo por mim e me acompanham nesta jornada, física e espiritualmente. Aos meus amados irmãos Caroline, Maurício, Milena e Thales, que vibraram, torceram, choraram, e riram comigo durante esses cinco árduos anos. Obrigada por acreditarem em mim nos momentos mais difíceis, e por todo o incentivo.

Às minhas amigas, Bárbara, Camila, Carla, Carol, Mariana, Nayara e Renata, que trago desde a infância. Todo carinho, apoio, paciência, amizade e incentivo foram indispensáveis para o meu crescimento durante esses anos.

Aos amigos que tive o prazer de conhecer durante esses cinco anos na UEMA e levarei para o resto da vida, Camilla, Felipe, Milena, Paulo e Valéria. Por todos os ensinamentos, aprendizados, alegrias e frustrações que vivenciamos juntos.

Ao meu amigo Michael, que apesar da distância esteve sempre presente nesses cinco anos de curso com seu apoio, amizade e carinho.

À minha querida amiga Camila Moraes, por todos os momentos de compreensão e paciência. Pelos sábios conselhos e boas risadas, sempre me incentivando nos momentos mais difíceis.

À UEMA, por tornar acessível a todos o conhecimento, sem distinção, por meio da infraestrutura, corpo docente qualificado, e incentivos à pesquisa e extensão.

Ao LABCOM/UEMA, em especial ao Jurandir, por toda a disponibilidade, empenho e paciência para desenvolver as pesquisas na área de materiais de construção.

Ao corpo docente do curso de Engenharia Civil, em especial ao Prof. Dr. Eduardo Barros Aguiar, pelo incentivo à pesquisa e transmissão de ensinamentos durante esta jornada.

Obrigada a todos que acreditaram em mim e, direta ou indiretamente, me ajudaram na realização desta conquista.

RESUMO

A importância do concreto no setor da construção civil é notória: com uma estimativa para o consumo anual de 11 bilhões de toneladas, apresentando um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, a preocupação em torno da produção deste composto tornou necessário estudos e pesquisas que pudessem reduzir, ainda que indiretamente, o impacto ambiental gerado pelo processo de fabricação do concreto. O papel no Brasil apresenta também destaque com índices de produção e consumo elevados, surgiram complicações e questionamentos quanto ao manuseio do material. A alternativa sugerida, com potencial econômico e socialmente aceitável é a reciclagem deste papel, porém com um limite de reciclagem, o material torna-se mais um resíduo sólido. Entre os artefatos de cimento, o destaque maior é dado aos blocos de concreto, por serem aplicados em vedações e necessitarem de baixa resistência, tornando-se ideal para o estudo experimental realizado com papéis reciclados. A partir dos ensaios característicos laboratoriais, este trabalho averiguou a possibilidade de utilização da matéria-prima adotada, bem como o consumo dos materiais para um estudo experimental, com traço 1:2:3:0,6, para confecção de quatro tipos de corpos-de-prova com os teores de 5%, 10%, 15% e 20%. O resultado satisfatório permitiu que a adição do papel fosse considerada para blocos de vedação a partir de uma adaptação no traço e na composição granulométrica, tornando este trabalho um estudo comparativo entre os blocos de concreto com e sem adição de papel reciclado. Os resultados para as propriedades de análise dimensional não apresentaram alterações nas dimensões dos blocos, porém a resistência à compressão apresentou acréscimos consideráveis com os blocos com adição acrescentando aproximadamente 5% da resistência padrão, apesar destes apresentarem um aumento na absorção de água, característica prejudicial aos blocos, porém não alcançou o máximo estipulado pela NBR 6136 de 10%. A partir deste estudo introdutório, novas pesquisas podem ser realizadas analisando a microestrutura do concreto e analisando mais profundamente a atuação das fibras de celulose na matriz cimentícia.

Palavras-Chave: Blocos, Concreto, Vedação, Adição, Propriedades.

ABSTRACT

The importance of concrete in civil construction sector is notorious: with an estimated annual consumption of 11 billion tons, with an average consumption of 1.9 tons of concrete per inhabitant per year, the concern about the production of this compound made it necessary to study and research that could reduce, even indirectly, the environmental impact generated by the concrete manufacturing process. The paper in Brazil also shows high levels of production and consumption, complications and questions about the handling of the material. The suggested alternative, with economic and socially acceptable potential is the recycling of this paper, but with a recycling limit, the material becomes more a solid residue. Among the cement artifacts, the main emphasis is given to concrete blocks, because they are applied in seals and require low resistance, making it ideal for the experimental study with recycled papers. From the laboratory tests, this work investigated the possibility of using the raw material used, as well as the consumption of the materials for an experimental study, with a 1: 2: 3: 0,6 trait, to make four types of bodies with the contents of 5%, 10%, 15% and 20%. The satisfactory result allowed the paper addition to be considered for sealing blocks from an adaptation in the trace and in the granulometric composition, making this work a comparative study between concrete blocks with and without addition of recycled paper. The results for the dimensional analysis properties did not show changes in the dimensions of the blocks, however, the compressive strength presented considerable additions with the blocks with addition adding approximately 5% of the standard resistance, although these presented an increase in the water absorption, characteristic detrimental to the blocks, but did not reach the maximum stipulated by NBR 6136 of 10%. From this introductory study, new researches can be carried out analyzing the microstructure of the concrete and analyzing more deeply the performance of the cellulose fibers in the cement matrix.

Keywords: Blocks, Concrete, Seal, Addition, Properties.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Lei de Abrams e Lei de Lyse em representação gráfica.	28
Figura 2 - Geometrias das fibras de aço.	37
Figura 3 - Rolo de fibras de vidro.....	38
Figura 4 – Aspecto macroscópico da polpa de celulose.....	38
Figura 5 - Tipos de fibras poliméricas. (a) fibras fibriladas, (b) macrofibras.	39
Figura 6 - Bloco de concreto e suas dimensões.....	41
Figura 7 - Molde para fabricação de bloco de concreto.	46
Figura 8 - Sequência básica de funcionamento de uma vibro-prensa automática.....	47
Figura 9 – Classificação das vibro-prensas quanto à direção.....	48
Figura 10 - Classificação dos tipos de fibras.....	49
Figura 11 - Fibra celulósica.....	50
Figura 12 - Cadeia produtiva de papel e celulose.....	52
Figura 13 - Cadeia produtiva de papel e celulose. Continuação	53
Figura 14 - Cadeia produtiva de papel e celulose. Continuação.	53
Figura 15 - Produção de papel no Brasil.	56
Figura 16 - Produção de celulose no Brasil.....	57
Figura 17 - Crescimento da reciclagem de aparas de papel no Brasil.....	58
Figura 18 - Processo de reciclagem das aparas de papel.....	59
Figura 19 - Fluxograma de desenvolvimento dos processos laboratoriais.....	63
Figura 20 - Areia devidamente armazenada.	65
Figura 21 - Pesagem do material úmido. (a) Amostra 1 (b) Amostra 2.	67
Figura 22 - Ensaio de massa específica. (a) Preenchimento do Frasco Chapman (b) Pesagem do material.....	67
Figura 23 - Ensaio de massa específica em andamento. (a) Frasco Chapman preenchido com água e agregado. (b) Detalhe da variação de volume.	68
Figura 24 - Processo de quarteamento em andamento.	70
Figura 25 - Procedimento da umidade da areia. (a) Pesagem da cápsula (b) Pesagem do conjunto cápsula-agregado úmido.....	73
Figura 26 - Cápsulas do ensaio durante o processo de secagem na estufa.....	73
Figura 27 - Brita armazenada devidamente em laboratório.	74
Figura 28 - Amostras em imersão de água para saturação.	75
Figura 29 - Procedimento de ensaio (a) Secagem da brita (b) Pesagem da brita saturada seca superficialmente.....	76

Figura 30 - Quarteamento da brita.....	78
Figura 31 - Ensaio de massa específica. (a) Preenchimento do frasco Le Chatelier (b) Submersão em banho termorregulador. (c) Primeira leitura.	80
Figura 32 - Ensaio de massa específica. (a) Pesagem do aglomerante. (b) Leitura final.	81
Figura 33 - Tratamento do papel. (a) Cortes após passagem em fragmentadora. (b) Redução das tiras.	82
Figura 34 - Tratamento do papel. (a) Trituração das tiras de papel. (b) Consistência após a trituração.	83
Figura 35 - Pelotas após processo de secagem.	83
Figura 36 - Moldagem dos corpos-de-prova. (a) Separação do traço. (b) Corpos-de-prova após moldagem.	85
Figura 37 - Abatimento sendo medido.	86
Figura 38 - Pesagem do corpo-de-prova saturado.	87
Figura 39 - Corpo-de-prova após ensaio.	89
Figura 40 - Fabricação de blocos de concreto. (a) Posicionamento dos materiais na betoneira, (b) Dosagem da água, (c) Vibro-prensa manual utilizada.	93
Figura 41 - Análise Dimensional. (a) Blocos armazenados. (b) Régua de aço.	95
Figura 42 - Processo de capeamento. (a) Blocos após o capeamento. (b) Base metálica utilizada para o capeamento.	96
Figura 43 - Rompimento dos blocos de concreto.	97
Figura 44 - Blocos após saturação.	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físicas das fibras e matrizes.	40
Tabela 2 - Caracterização dos materiais componentes.	64
Tabela 3 - Determinação da massa mínima para amostra de ensaio.	69
Tabela 4 - Zonas granulométricas e ordem das peneiras.	71
Tabela 5 - Massa mínima da amostra úmida em relação ao tamanho mínimo de partículas.	72
Tabela 6- Definição da quantidade de corpos-de-prova.	84
Tabela 7 - Resumo dos ensaios a serem realizados novamente.	90
Tabela 8 - Ensaios a serem realizados para bloco de concreto.	92
Tabela 9 - Quantidade de blocos de concreto a serem confeccionados.	93
Tabela 10 - Massas específicas para cada amostra obtida.	99
Tabela 11 - Valores de umidade obtidos.	99
Tabela 12 - Módulo de Finura e Dimensão Máxima Característica das amostras.	101
Tabela 13 - Fracionamento da amostra 1 e suas massas específicas.	102
Tabela 14 - Fracionamento da amostra 2 e suas massas específicas.	102
Tabela 15 - Porcentagens para a amostra 1.	102
Tabela 16 - Porcentagens para a amostra 2.	102
Tabela 17 - Massas específicas das amostras 1 e 2.	103
Tabela 18 - Dimensão máxima característica do agregado graúdo.	105
Tabela 19 - Massa específica das amostras de cimento.	105
Tabela 20 - Consumos dos materiais para produção de 1 corpo-de-prova.	106
Tabela 21 - Abatimentos obtidos para as diferentes porcentagens de papel.	107
Tabela 22 - Resultados para absorção de água com adição de papel.	109
Tabela 23 - Valores médios obtidos para a resistência à compressão.	112
Tabela 24 - Massas específicas das amostras estudadas.	120
Tabela 25 - Resistências obtidas para corpos-de-prova com pó de brita na composição.	122
Tabela 26 - Absorção média obtida para teores de adição com pó de brita na composição.	123
Tabela 27 - Análise dimensional para amostras com traço padrão e traço com adição de 20% papel.	125
Tabela 28 - Resistência estimada e resistência média obtida.	126
Tabela 29 - Leituras finais do ensaio de massa específica da areia.	139

Tabela 30 - Massa das cápsulas utilizadas para o ensaio de umidade.....	139
Tabela 31 - Massas das cápsulas com areia úmida para o ensaio de umidade.....	139
Tabela 32 - Massa das cápsulas com areia seca para ensaio de umidade.....	139
Tabela 33 - Análise granulométrica para a amostra 1 de areia.....	140
Tabela 34 - Análise granulométrica para amostra 2 de areia.	140
Tabela 35 - Módulo de Finura e Dimensão Máxima Característica das amostras 1 e 2 de areia.	140
Tabela 36 - Massa inicial da amostra após estufa para as amostras 1 e 2 de brita.	141
Tabela 37 - Massas do agregado saturado com superfície seca e sua massa em água para amostra 1 de brita.	141
Tabela 38 - Massas do agregado saturado com superfície seca e sua massa em água para amostra 2 de brita.	141
Tabela 39 - Massa seca após estufa das frações de amostras 1 de brita.	141
Tabela 40 - Massa seca após estufa das frações da amostra 2 de brita.....	141
Tabela 41 - Análise granulométrica da amostra 1 de brita.	142
Tabela 42 - Análise granulométrica da amostra 2 de brita.	142
Tabela 43 - Leitura inicial para massa específica do cimento.....	143
Tabela 44 - Leitura final para massa específica do cimento.....	143
Tabela 45 - Valores obtidos para massas seca e úmida, absorção individual e absorção média dos concretos padrão, 0%, 5%, 10%, 15% e 20% com adição de papel.	143
Tabela 46 - Resistência à compressão para concreto com teor de adição 0%, 5%, 10%, 15% e 20%.....	144
Tabela 47 - Leitura final para o ensaio de massa específica do pó de brita.	145
Tabela 48 - Valores de massa específica para amostra 1 e 2 de pó de brita.....	145
Tabela 49 - Análise granulométrica para amostra 1 de pó de brita.	146
Tabela 50 - Análise granulométrica para amostra 2 de pó de brita.	146
Tabela 51 - Valores obtidos para o ensaio de resistência à compressão com pó de brita na composição do concreto com 20% de papel.....	147
Tabela 52 - Valores obtidos para o ensaio de resistência à compressão com pó de brita na composição do concreto padrão.....	147
Tabela 53 - Valores obtidos para o ensaio de absorção de água com pó de brita na composição.....	147
Tabela 54 - Dados coletados na análise dimensional dos blocos de concreto padrão e com adição de papel.	148

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Justificativa	16
1.2. Objetivos.....	18
1.2.1. Geral	18
1.2.2. Específicos.....	18
1.3. Organização do trabalho	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1. O concreto e seus constituintes	20
2.1.1. Agregados.....	20
2.1.2. Aglomerantes.....	21
2.1.3. Aditivos	23
2.1.4. Adições	25
2.1.5. Água	26
2.2. Tipos de concreto.....	27
2.2.1. Concreto Plástico ou Usual.....	28
2.2.2. Concretos “Secos”	28
2.3. Características dos Concretos Plásticos e Secos.....	29
2.3.1. Estados do concreto	29
2.3.1.1. Estado Fresco	29
2.3.1.1.1. Trabalhabilidade.....	29
2.3.1.2. Estado Endurecido	31
2.3.1.2.1. Fator Água/Cimento.....	32
2.3.1.2.2. Idade	32
2.3.1.2.3. Forma dos agregados.....	33
2.3.1.2.4. Tipo de cimento.....	33

2.4.	Sustentabilidade na Construção Civil	34
2.5.	Materiais cimentícios com adição de fibras.....	35
2.6.	Blocos de Concreto	40
2.6.1.	Métodos de produção de blocos de concreto.....	45
2.7.	Fibras de celulose.....	48
2.8.	A cadeia produtiva de papel e celulose no Brasil	51
2.9.	A produção de papel e celulose propriamente dita	53
2.10.	A reciclagem de papel no Brasil	58
2.11.	A problemática do papel	60
2.12.	Outros estudos de aplicação de papel em matrizes cimentícias	60
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	62
3.1.	Planejamento experimental.....	62
3.2.	Etapa I.....	64
3.2.1.	Areia	65
3.2.1.1.	Massa específica da areia.....	66
3.2.1.2.	Granulometria da areia.....	68
3.2.1.3.	Umidade da areia	71
3.2.2.	Brita	74
3.2.2.1.	Massa específica aparente da brita.....	74
3.2.2.2.	Granulometria da brita	77
3.2.3.	Cimento	79
3.2.3.1.	Massa específica do Cimento Portland	79
3.2.4.	Água	81
3.3.	Etapa II.....	82
3.4.	Etapa III	84
3.4.1.	Dosagem do concreto	84
3.4.2.	Slump Test.....	85

3.4.3.	Absorção de água.....	86
3.4.4.	Resistência à compressão	87
3.5.	Etapa IV	89
3.5.1.	Substituição do agregado graúdo.....	89
3.5.1.1.	Massa específica do pó de brita	90
3.6.	Etapa V	91
3.6.1.	Confeção dos blocos de concreto.....	92
3.6.2.	Análise Dimensional	94
3.6.3.	Resistência à Compressão dos blocos de concreto	95
3.6.4.	Absorção de água e umidade relativa dos blocos de concreto	97
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	98
4.1.	Resultados da Etapa I.....	98
4.1.1.	Resultados para massa específica da areia	99
4.1.2.	Resultados para umidade da areia	99
4.1.3.	Resultados para granulometria da areia.....	100
4.1.4.	Resultados para massa específica aparente da brita	101
4.1.5.	Resultados para granulometria da brita	103
4.1.6.	Resultados para massa específica do cimento	105
4.2.	Resultados da Etapa II	106
4.3.	Resultados da Etapa III	106
4.3.1.	Resultados para dosagem do concreto.....	106
4.3.2.	Resultados para slump test	107
4.3.3.	Resultados para absorção de água	109
4.3.4.	Resultados para resistência à compressão	111
4.4.	Resultados da Etapa IV	119
4.4.1.	Resultados para massa específica do pó de brita.....	119
4.4.2.	Resultados para granulometria do pó de brita	120

4.4.3.	Resultados para resistência à compressão com pó de brita	121
4.4.4.	Resultados para absorção de água com pó de brita	123
4.5.	Resultados da Etapa V	124
4.5.1.	Resultados para análise dimensional	125
4.5.2.	Resultados para resistência à compressão dos blocos de concreto.....	125
4.5.3.	Resultados para absorção de água dos blocos de concreto.....	128
5.	CONCLUSÃO.....	130
5.1.	Etapa I.....	130
5.2.	Etapa II.....	130
5.3.	Etapa III	130
5.4.	Etapa IV	131
5.5.	Etapa V	131

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

Completamente disseminado no setor da construção civil, o concreto possui grande aplicabilidade, sendo utilizado em casas de alvenaria, rodovias, pontes, nos edifícios mais altos, em usinas hidrelétricas, obras de saneamento, entre outros. A estimativa para o consumo anual no mundo deste material é de 11 bilhões de toneladas, apresentando um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água (PEDROSO, 2009).

Sendo um dos maiores compósitos consumidos no mundo devido a sua grande aplicabilidade, a produção do concreto é realizada a partir da exploração de recursos naturais não renováveis pela indústria da construção civil, que consome aproximadamente 50% dos recursos extraídos. (AGOPYAN; JOHN, 2009). A necessidade de desenvolver estudos voltados à reciclagem e/ou reutilização dos resíduos representa uma alternativa capaz de contribuir para a utilização de matérias-primas alternativas e diminuir os custos finais dos setores industriais geradores e consumidores de resíduos, além de preservar o ambiente. Desta forma, a reutilização de resíduos sólidos na construção civil tem a capacidade de reduzir os custos e prejuízos ambientais relativos ao tratamento e descarte final destes resíduos, também auxiliando na redução de impactos ambientais diretos e indiretos promovidos pela própria construção civil. (LUCAS; BENATTI, 2008).

Os investimentos em tecnologia na área propiciaram, nos últimos anos, um crescimento considerável para a Indústria de Papel e Celulose, no Brasil. Em contraste ao crescimento, tem-se a preocupação com a exploração de recursos naturais e os possíveis impactos ambientais gerados. O esgotamento do recurso, sua produção e descarte excessivo sem uma destinação final adequada são tópicos a serem analisados, já que a Indústria de Papel e Celulose é uma das maiores no país.

O relatório anual da Indústria Brasileira das Árvores determina que, apesar da retração volumétrica em papéis especiais, papel-cartão, embalagens e papel imprensa, as produções de papel tissue e papel de imprimir e escrever aumentaram, respectivamente, 2,9% e 0,6%. Apesar da produção em 2016 ter reduzido para 10,3 milhões de toneladas, o país sobe uma colocação no ranking mundial, em relação ao ano anterior, de produtores de papel, tornando-se o oitavo na classificação de maiores produtores de papel (IBÁ, 2017).

Com índices de produção e consumo elevados, surgiram complicações e questionamentos quanto ao manuseio do material. A alternativa sugerida, com potencial econômico e socialmente aceitável é a reciclagem deste papel, visando, de acordo com Fonseca (2013), a preservação de recursos naturais (matéria-prima, energia e água), a minimização da poluição e a diminuição da quantidade de lixo que vai para os aterros.

Apesar da prática de reciclagem, no Brasil, ser bastante difundida, ainda existem limitações quanto a este processo. Segundo Cardoso et al. (2013, apud RECICLOTECA, 2013, p. 18), o papel apresenta uma quantidade de reciclagem máxima em comparação aos outros materiais classificados como recicláveis. São estimadas 4 a 6 ciclos de processamento para alcançar o limite da reciclagem por conta das fibras do papel sofrerem alterações no comprimento e perderem material fibroso, comprometendo suas características físicas.

Soares et al. (2016) expõe a crescente presença e aplicação do papel na construção civil como insumo para fabricação de novos produtos, ecológicos e sustentáveis, entre estes tem-se as telhas ecológicas, fabricadas a partir de resíduos pós-consumo com a mesma funcionalidade das telhas usuais e competitividade considerável em relação as telhas de fibrocimento no mercado por serem leves e flexíveis.

Como vantagem da aplicação do papel como adição em concreto tem-se a alteração do volume aparente, tornando-o economicamente interessante por apresentar maior volume de mistura, porém com a mesma quantidade de cimento, areia, brita e água em sua totalidade, apresentando um maior rendimento do compósito gerado e possibilitando assim, uma maior produtividade por parte das empresas que adotarem o método.

Em suma, pode-se inferir que a adição de papel reciclado em blocos de concreto vazados apresenta diversos pontos positivos, pois a incorporação do material que apresenta um limite de reciclagem para um destino final, auxiliando na redução dos impactos ambientais causados pelo processo de produção, ainda que indiretamente, de maneira sustentável. Apesar das idealizações positivas, os ensaios laboratoriais são imprescindíveis e decisivos para analisar a possibilidade de incorporação do papel e as alterações que ocorrerão no compósito devido a interação concreto-papel.

Desta forma, o presente trabalho tem como função principal apresentar dados comparativos entre as características físico-mecânicas exigidas pela NBR 6136, para blocos de concreto de vedação com e sem a adição do papel reciclado na mistura, averiguando a possibilidade de incorporação, analisando as propriedades alteradas e possíveis benefícios obtidos a partir da aplicação deste material, além de propor uma destinação final a um resíduo que apresenta limitações acerca do seu reuso.

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral

- Comparar, avaliar e apresentar as características físico-mecânicas dos blocos de concreto vazados para alvenaria de vedação com e sem adição de papel reciclado na mistura, confeccionados de acordo com o traço previamente definido. A comparação será realizada para a resistência à compressão e absorção de água, sendo todos os ensaios em conformidade com as normas referentes aos blocos de concreto, tais como a NBR 6136: 2014 e NBR 12118:2010.

1.2.2. Específicos

- Realizar os ensaios de caracterização (massa específica e granulometria dos agregados, massa específica do aglomerante) dos componentes do concreto, tais como a brita, areia e cimento;
- Realizar o estudo para a dosagem de concreto com papel reciclado, determinando o melhor método para que não haja comprometimento das características mecânicas do concreto.
- Confeccionar blocos vazados de concreto simples e concreto adicionado de papel, de acordo com o traço determinado pelo fabricante;
- Correlacionar a resistência à compressão e absorção de água para corpos de prova cilíndricos e blocos de concreto;
- Determinar as propriedades físico-mecânicas para os corpos de prova cilíndricos e para os blocos de concreto, com e sem adição de papel;
- Verificar a possibilidade de utilização e aplicação do bloco vazado de concreto simples para alvenaria de vedação com adição de papel.

1.3. Organização do trabalho

Este trabalho foi fracionado em cinco seções para maior entendimento da pesquisa. Estas seções são:

A introdução, na qual apresenta justificativa do estudo, onde há um aspecto introdutório explicativo da motivação da pesquisa realizada, bem como dados iniciais, objetivos geral e específicos para este trabalho, onde estão determinadas as diretrizes a serem alcançadas nesta pesquisa.

O referencial teórico, no qual o embasamento científico-teórico foi pautado para o desenvolvimento do estudo, onde há detalhes sobre os tópicos que serão abordados por meio de estudos de outros pesquisadores, definições de normatizações, livros, dissertações de mestrado, teses de doutorado, artigos, revistas científicas, entre outros.

Materiais e métodos, onde detalhadamente os métodos científicos adotados para o andamento da pesquisa. Esta seção está ligada principalmente à análise e caracterização dos materiais, aplicação de fórmulas especificadas nas normas brasileiras, os quais serão dispostos seus resultados na próxima seção.

Resultados, onde há a exposição e interpretação dos valores obtidos após a utilização dos métodos científicos para o desenvolvimento da pesquisa. A conclusão, a última seção, é uma finalização dos resultados, na qual apresenta os pontos mais importantes obtidos e as possíveis considerações para próximos estudos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O concreto e seus constituintes

Por definição, o concreto pode ser definido como uma mistura de cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (brita), onde o cimento e a água reagem por meio de uma reação química, a hidratação, para aglomerar os agregados inertes. Outros materiais além dos citados acima podem ser incorporados, assim como as adições e aditivos, alterando e melhorando algumas propriedades. (DOMONE; ILLSTON, 2010, p. 85, tradução nossa).

Para Domone (2010, p. 83, tradução nossa):

“Concreto é um material onipresente e sua versatilidade e pronta disponibilidade garantem que tem sido e continuará sendo de grande e crescente importância para todos os tipos de construção ao redor do mundo. Tem termos de volume, é o material manufaturado mais utilizado largamente, com aproximadamente 2 toneladas produzidas anualmente per capita. O concreto pode ser encontrado acima do terreno em construções residenciais, industriais e comerciais, pontes etc, no terreno em rodovias, pistas de aeroportos etc., abaixo do solo em fundações, tuneis, sistemas de drenagem, esgotos etc., e em trabalhos portuários e estruturas *offshore*.”

Para que seja possível fabricar um concreto durável, resistente, econômico e de bom aspecto, o engenheiro deve conhecer as propriedades de cada um dos materiais componentes, as propriedades do concreto e os fatores que podem alterá-las, o proporcionamento e execução e adensamento, todos da maneira adequada para obter as características finais desejadas. (PETRUCCI, 1998).

2.1.1. Agregados

Ribeiro (2002) denomina genericamente de agregados os materiais que são acrescentados ao cimento e à água para se obterem as argamassas e os concretos. Os agregados apresentam-se em forma de grãos, tais como as areias e britas, e devem ser inertes, ou seja, não devem provocar reações indesejáveis entre os componentes da mistura. Os agregados constituem aproximadamente 70% do volume total dos produtos em que são utilizados, desempenhando, em consequência, um importante papel do ponto de vista do custo total dos mesmos.

Segundo os requisitos da NBR ABNT 7211, os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter

substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

O agregado miúdo é um agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m. Dentro desta classificação encontram-se as areias, estas por sua vez em diversas granulometrias, com a principal finalidade de preencher os vazios entre o aglomerante e o agregado graúdo (ABNT, 2005).

Por sua vez, o agregado graúdo é o agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm. Nesta classificação encontram-se as britas, estas por sua vez apresentando diversas granulometrias, que apresentam a função de acrescer resistência mecânica à mistura (ABNT, 2005).

2.1.2. Aglomerantes

Aglomerantes são definidos por Ribeiro (2002, p. 33):

São materiais pulverulentos que, em presença de água sofrem hidratação, formando uma pasta resistente capaz de aglutinar agregados, dando origem às argamassas e concretos. Os aglomerantes aplicados na construção civil são o cimento, cal e gesso, destes, o cimento apresenta destaque.

Neville (2016) caracteriza o cimento, no sentido geral da palavra, como um material com propriedades adesivas e coesivas que apresenta como característica a união dos fragmentos minerais na forma de uma unidade compacta.

O Cimento Portland (CP) é caracterizado como um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o CP não sofre alterações de estado físico. Pode-se dizer que a reação química entre a água e o cimento torna este material o principal responsável pela transformação da mistura dos componentes dos concretos e das argamassas no produto final (ABCP, 2002).

A evolução dos conhecimentos técnicos e da tecnologia aplicada possibilitaram a fabricação de diversos tipos de CP, segundo a ABCP (2002), diferindo-se em sua composição e aplicação. Atualmente, existem os modelos mais ofertados no mercado, que são aplicados

rotineiramente em obras de construção civil, e modelos de encomenda, que são aplicados em situações específicas e possuem menor oferta no mercado.

De acordo com a ABCP (2002), os tipos de CP mais comuns no território brasileiro são:

- Cimento Portland Comum (CP-I) e Cimento Portland Composto (CP-II)

O CP-I foi o primeiro tipo de cimento a ser lançado no mercado brasileiro. O CP-I não apresenta nenhum tipo de adição em sua composição, exceto pela presença de gesso, que tem como função retardar o tempo de pega da mistura. Já o CP-II pode apresentar em sua composição adições, tais como escória granulada de alto-forno, material pozolânico ou material carbonático.

Quadro 1 - Composições químicas do CP-I e CP-II

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

Fonte: ABCP, 2002.

- Cimento Portland de alto-forno (CP-III) e Cimento Portland pozolânico (CP-IV);

A partir da necessidade de uma redução no consumo energético durante o processo de fabricação do cimento, a incorporação de uma maior porcentagem das adições (escória granulada de alto-forno e material pozolânico) foi considerada. A escória granulada de alto-forno apresenta propriedades hidráulicas e tem como principal ativador químico a cal liberada durante o processo de hidratação do clínquer, tornando possível sua aplicação na mistura. Os materiais pozolânicos por sua vez devem ser finamente divididos para que possam reagir com o hidróxido de cálcio obtido pela hidratação do clínquer.

Quadro 2 - Composição química do CP-III e CP-IV

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

Fonte: ABCP, 2002.

Os modelos aplicados em situações específicas são:

- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP-V ARI)

Este tipo de CP se apresenta como uma variação do CP-I, porém, tem como característica fundamental a sua capacidade de atingir altas resistências nas idades iniciais do concreto endurecido. Esta peculiaridade é obtida a partir de uma dosagem diferenciada de calcário e argila durante a produção do clínquer, além de apresentar uma moagem mais fina do cimento, proporcionando uma maior reação ao interagir com a água.

Quadro 3 - Composição química do CP-V ARI

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)		Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Material carbonático	
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	100-95	0-5	NBR 5733

Fonte: ABCP, 2002.

2.1.3. Aditivos

Os aditivos para concreto são produtos químicos que adicionados intencionalmente, em proporções menores ou iguais a 5%, ao concreto tem a finalidade de reforçar ou melhorar certas características no estado fresco ou endurecido, facilitando seu preparo e utilização, muitas vezes possibilitando a redução de custo (RECENA, 2017). São classificados em, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2011):

- Redutor de água/ plastificante (PR, PA, PN)

Aditivo que reduz o conteúdo de água de um concreto sem afetar a consistência do mesmo durante o estado fresco, ou que modifica a consistência do concreto sem alterar a quantidade de água da mistura. Este tipo de aditivo proporciona o aumento do abatimento e da fluidez. É possível que ele apresente os dois efeitos ao mesmo tempo.

- Alta redução de água/superplastificante tipo I (SP-I R, SP-I A, SP-I N)

Este produto reduz a água de forma elevada, sem que a consistência do concreto em seu estado fresco seja afetada, ou a consistência do concreto é alterada de forma considerável, assim como seu abatimento e sua fluidez, sem que haja mudança na quantidade de água da mistura, ou ainda produzir os dois efeitos ao mesmo tempo.

- Alta redução de água/superplastificante tipo II (SP-II R, SP-II A, SP-II N)

Este aditivo proporciona uma redução elevadíssima da quantidade de água na mistura, sem que a consistência do concreto em seu estado fresco seja alterada, ou o abatimento e a fluidez do concreto são afetadas consideravelmente, sem que haja mudança na quantidade de água da mistura.

- Incorporador de ar (IA)

A partir da aplicação deste aditivo, é possível que seja incorporado durante o amassamento do concreto uma quantidade de pequenas bolhas de ar, controladamente, de forma a tornar o concreto em seu estado endurecido mais leve.

- Acelerador de pega (AP)

Este tipo de aditivo proporciona uma redução no tempo de transição do estado fresco ou plástico, para o estado endurecido do concreto, proporcionando maiores resistências iniciais e redução do tempo de desforma deste concreto.

- Acelerador de resistência (AR)

O AR é um tipo de aditivo que aumenta a taxa de desenvolvimento das resistências iniciais do concreto em seu estado endurecido, com ou sem a modificação do tempo de pega.

- Retardador de pega (RP).

O retardador de pega é um tipo de aditivo que aumenta o tempo de transição do estado fresco ou plástico, para o estado endurecido do concreto, proporcionando retardo no calor de hidratação do cimento e mantendo a trabalhabilidade em grandes distâncias ou temperaturas elevadas.

2.1.4. Adições

Outro material considerável para a confecção do concreto são as adições, classificadas como quaisquer materiais além de água, agregados e aglomerante, que são utilizados como um ingrediente do concreto e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura. (MALHOTRA; MEHTA, 1996 apud FONSECA, 2010)

Segundo a ABCP (2002), as adições são matérias-primas alternativas, que podem ser misturadas ao clínquer durante o processo de produção do cimento, alterando características físico-mecânicas do concreto em seu estado endurecido.

Apesar de aparentar similaridades, há uma diferença entre aditivo e adição, sendo a última aplicada com o objetivo de somar ou mesmo substituir, parcialmente, a matéria-prima cimento (devido às suas propriedades semelhantes às do cimento), enquanto que o aditivo é utilizado para alterar as características do cimento, sem alterar sua proporção na composição do concreto (FONSECA, 2010).

As adições podem ser subdivididas, de acordo Albuquerque e Lima (2014), em origem natural, obtidas por meio de britagem e moagem de rochas ou solos naturais de origem vulcânica, ou de origem artificial, oriundos de produtos que não são primários em suas respectivas indústrias, sejam eles pertencentes as indústrias termelétricas, metalúrgicas ou até da agropecuária. As adições de concreto mais trabalhadas no Brasil, conforme ABCP (2002), são:

- Materiais pozolânicos

Estes materiais são derivados da queima de carvão mineral em usinas termelétricas, este tipo de material proporciona maior impermeabilidade quando se é adicionado até um limite adequado na mistura.

- Gesso

O gesso é sempre presente em pequenas porcentagens (aproximadamente 4% em relação a massa do cimento) no cimento produzido devido a sua capacidade de retardador de pega, tendo em vista que a hidratação do clínquer proporciona um endurecimento rápido.

- Escória granulada de alto forno

Este resíduo que é obtido a partir da queima do ferro-gusa e apresenta granulometria similar a de uma areia, proporcionando maior durabilidade e resistência final ao concreto em seu estado endurecido.

- Materiais Carbonáticos

Os materiais carbonáticos são obtidos a partir de rochas moídas apresentam em sua composição carbonato de cálcio. Este tipo de material embutido na mistura proporciona maior trabalhabilidade, devido aos grãos moídos se apresentarem em dimensões adequadas para se alojar nos interstícios dos demais componentes da mistura.

2.1.5. Água

Um elemento tão participativo e essencial na realização de atividades humanas, não passa despercebido na construção civil, pode-se destacar a sua utilização na produção do concreto, argamassa, tintas, no processo de cura, além de ser contribuinte na produção de outros materiais construtivos como os blocos cerâmicos (LIMA, 2014).

A reação química de hidratação do aglomerante durante o processo de mistura para a confecção do concreto só ocorrerá em presença de água tratada, para que não haja contaminantes, logo, percebe-se a importância desse elemento e da verificação de seus parâmetros, de acordo com a norma vigente.

Lima (2014) determina que a verificação dos parâmetros da água de amassamento para o concreto é de suma importância para o desempenho do concreto apresentando uma norma reguladora, NBR 15900, subdividida em onze partes na qual a primeira se refere aos

parâmetros, sejam eles a quantidade de sólidos dissolvidos, o pH e os índices de cloreto, que podem influir diretamente na queda da resistência do mesmo e na aparição de manchas e eflorescências.

Além da qualidade, é preciso se ater a quantidade aplicada de água para o amassamento do concreto. Caso a água seja aplicada excessivamente, o concreto apresentará uma consistência mais fluida em seu estado plástico e possivelmente apresentará menor resistência à compressão em seu estado endurecido, causando ocorrências de patologias nas estruturas, por isso a importância do controle sobre a dosagem e da relação água-cimento bem definida. (SOUZA; RIPPER, 1998 apud LIMA, 2014).

Sobre o tipo de água a ser aplicada em concretos, segundo, Bordin (2010):

A água de abastecimento público é adequada para o concreto e já vem sendo utilizada, não necessitando de ensaio. A água potável que atende a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde é considerada dentro dos padrões exigidos pela norma do ABNT/CB-18 e pode ser utilizada sem restrição para a preparação do concreto. A água de esgoto, mesmo com tratamento, não é adequada para uso em concreto.

As propriedades físicas e químicas dos agregados e das misturas ligantes são essenciais para a vida útil das estruturas em que serão aplicados. São inúmeros os exemplos de falência de estruturas em que é possível chegar-se à conclusão que a causa foi a seleção e o uso inadequado dos agregados, desta forma, é imprescindível a verificação de suas propriedades físico-químicas, considerando a norma específica, antes que o material seja aplicado para a confecção do concreto (VALVERDE, 2001).

2.2. Tipos de concreto

Segundo Frasson Júnior (2000), os concretos produzidos a partir do uso do Cimento Portland como aglomerante apresentam diversas aplicações e finalidades. A partir dessas características diversas e específicas e de seus comportamentos que definem propriedades como a resistência à compressão, os concretos podem ser divididos em dois grupos: concretos plásticos e concretos “secos”.

Frasson Júnior (2000, p. 7) determina que:

“Existem várias diferenças entres estes grupos de concreto. Entre elas, pode-se destacar a forma com que o ar é aprisionado às misturas, a trabalhabilidade e o abatimento, a granulometria final, a relação água/materiais secos, os processo de produção, entre outras. Estas diferenças fazem com que as metodologias de dosagem

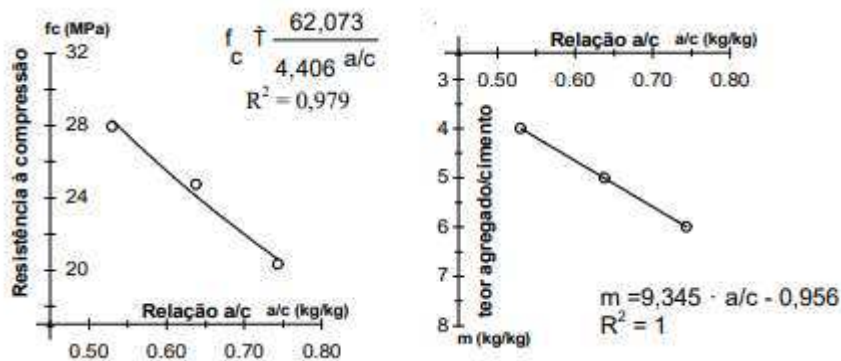
sejam também distintas, e o que vale para os concretos plásticos nem sempre pode ser utilizado como regra para os concretos ‘secos’.”

2.2.1. Concreto Plástico ou Usual

Como característica fundamental, os concretos do tipo plástico apresentam após sua mistura e homogeneização de seus agregados e aglomerantes, uma massa de fácil adensamento, tendo sua retirada de ar realizada por meio de equipamentos simples. Por conta desta característica, os concretos plásticos podem ser transportados e lançados até sua destinação final. (JÚNIOR F, 2000).

Os concretos plásticos são regidos pelas leis clássicas da tecnologia do concreto, as quais são: a Lei de Abrams, que determina que a resistência do concreto é inversamente proporcional a proporção de água e cimento na mistura; a Lei de Lyse, que define, a partir da fixação do cimento e dos agregados na mistura, a consistência do concreto dependerá somente da quantidade de água adicionada. (HELENE; TUTIKIAN, 2011).

Figura 1 - Lei de Abrams e Lei de Lyse em representação gráfica.



Fonte: HELENE; TUTIKIAN, 2011.

2.2.2. Concretos “Secos”

Os concretos do tipo seco são caracterizados pelo baixo teor de umidade em sua mistura, desta forma, este tipo de concreto não possui abatimento, e para seu adensamento é necessário o uso de máquinas ou força manual para a retirada de ar da mistura durante sua utilização. Para concreto seco utilizado em blocos de concreto, as máquinas vibro-prensas são responsáveis pela retirada do ar, e de acordo com a qualidade do maquinário e do processo de fabricação das peças de concreto, sua qualidade pode elevar ou decair (MARCHIONI, 2012).

2.3. Características dos Concretos Plásticos e Secos

2.3.1. Estados do concreto

O concreto possui duas etapas distintas, sendo que a primeira, chamada de concreto fresco, compreende em um curto período, em geral da ordem de 1h a 5h. Essa fase refere-se ao intervalo de tempo necessário para que o concreto possa ser misturado, transportado, lançado e adensado. A sua segunda fase, denominada de concreto endurecido, inicia-se com a hidratação do cimento e consequente endurecimento do concreto, presente durante toda a vida útil da estrutura. (HELENE; ANDRADE, 2010).

2.3.1.1. Estado Fresco

Duran e Fracaro (2011) especificam que durante a primeira fase do concreto (concreto fresco) três características principais definem este estado físico, sendo estas: a consistência, a coesão, segregação e exsudação. A resultante destas três características é definida por trabalhabilidade.

2.3.1.1.1. Trabalhabilidade

A trabalhabilidade determina a capacidade de manipulação do concreto fresco, de maneira que não haja algum tipo de segregação prejudicial ao compósito. Desta maneira, se um concreto for de difícil lançamento e adensamento, isto será nocivo pois aumentará o custo de sua manipulação, afetando também a sua resistência, durabilidade e aparência. Em contrapartida, caso a mistura possua elevada segregação e exsudação, complicações serão constatadas durante o acabamento e o concreto formado terá menor durabilidade. Portanto, a trabalhabilidade está ligada intrinsecamente ao custo e a qualidade do concreto. (MEHTA; MONTEIRO, 1994 apud DURAN; FRACARO, 2011).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) determina que a trabalhabilidade do concreto está conectada a três características, definidas abaixo:

- Capacidade de redução de vazios e de adensamento do concreto;
- Capacidade de moldagem, relacionada com o preenchimento da fôrma e dos espaços entre as barras de aço;

- Resistência à segregação e manutenção da homogeneidade da mistura, durante manuseio e vibração.

Por ser uma característica de difícil mensuração e atualmente não apresentar nenhum ensaio específico para a sua avaliação completa, a trabalhabilidade é afetada por vários fatores, dentre os quais, as características e dosagens dos materiais constituintes e o modo de produção do concreto. (DURAN; FRACARO, 2011).

Segundo Duran e Fracaro (2011), apesar de não haver um ensaio para a trabalhabilidade do concreto, tem-se ensaios que determinam a consistência, uma das características que determinam a trabalhabilidade. O ensaio do Slump Test, ou abatimento do tronco de cone, é aplicado como referência das características do concreto fresco, e por isso, é exigido como método avaliativo.

- Coesão

Coesão, Segundo Mehta e Monteiro (1994), é a capacidade de apresentar facilidade durante o seu adensamento e acabamento. É usualmente avaliada por julgamento visual da resistência à segregação e pela facilidade de desempenar.

A coesão é uma característica pertencente à trabalhabilidade do concreto. A falta da coesão no compósito possibilita a desagregação do concreto em seu estado fresco, alterando sua composição física e sua homogeneidade. O concreto fresco adequado é aquele que apresenta as duas características, coesão e trabalhabilidade, na medida correta. (GEYER; DE SÁ, 2006).

- Segregação e Exsudação

A segregação é caracterizada, de acordo com Geyer e De Sá (2006), por separar os componentes do concreto fresco de maneira nociva, desuniformizando sua distribuição. São determinadas duas maneiras de segregação no concreto, a primeira, é a segregação resultante de um lançamento muito enérgico ou vibração excessiva na qual há a separação dos grãos maiores de agregados dos demais. A segunda forma de segregação é uma forma

particular em concretos muito plásticos, em que a pasta é separada da mistura, conhecida por exsudação.

Ainda em Geyer e De Sá (2006), tem-se:

A exsudação é uma forma particular de segregação, em que a água da mistura tende elevar-se à superfície do concreto recentemente lançado. Esse fenômeno é provocado pela impossibilidade dos constituintes sólidos fixarem toda a água da mistura e depende, em grande escala, das propriedades do cimento.

A água aflorando na superfície do concreto, resultante da exsudação, após o seu lançamento e adensamento e a manifestação de diversos problemas como a fraqueza na aderência entre a pasta e seus agregados, facilidade de penetração da água no concreto, e caso a água seja impossibilitada de evaporar por conta da camada que superpõe resulta em problemas durante a sua cura, fragiliza a constituição da mistura, aumenta a porosidade e reduz sua durabilidade.

2.3.1.2. Estado Endurecido

O estado endurecido é considerado a partir da pega. O concreto é um composto em evolução constante e vulnerável às alterações impostas pelo ambiente, sejam essas alterações físicas, químicas e mecânicas, ocorrendo de maneira lenta. O concreto endurecido, para estruturas de edificações, apresenta como característica primordial sua resistência mecânica, englobando a resistência à compressão e à tração, apresentando um bom desempenho na primeira e um mal desempenho na segunda (FREITAS, 2012; BAUER, 2000).

Os fatores que influem diretamente no desempenho da resistência do concreto em seu estado endurecido são, segundo Petrucci (1987):

- Fator água/cimento;
- Idade;
- Forma dos agregados;
- Tipo de cimento.

2.3.1.2.1. Fator Água/Cimento

Este fator pode ser definido pela relação entre a massa de água e de cimento necessários para determinada dosagem do concreto. O fator água/cimento apresenta importância pois a variação de água em relação a quantidade de cimento determina a eficiência da hidratação do cimento, tendo em vista que reação química que inicia o processo depende fundamentalmente da água.

Caso a água seja colocada de maneira errônea, o concreto resultante apresentará maior trabalhabilidade, porém, sua resistência mecânica será comprometida pela hidratação exacerbada, entretanto, se a quantidade de água for inferior ao especificado, o concreto endurecido apresentará alta resistência mecânica mas terá sua trabalhabilidade comprometida, impedindo o manuseio correto durante seu lançamento e adensamento.

Quando se trata de resistência à compressão, a resistência da pasta é o principal fator. Por outro lado, é conhecida a influência da porosidade da pasta sobre a resistência do concreto. Como porosidade depende do fator água/cimento, assim como do tipo de cimento, pode-se dizer que para um mesmo tipo de cimento a resistência da pasta depende unicamente do fator água/cimento, sendo também um dos principais fatores determinantes da resistência da ligação pasta/agregado. (FREITAS, 2012)

2.3.1.2.2. Idade

A dependência entre a relação água/cimento e a resistência do concreto varia para cada tipo de cimento para cada idade, bem como, também para as condições de cura. Por outro lado, a dependência entre a resistência e a razão gel/espaco é mais geral porque a quantidade de gel presente na pasta de cimento em qualquer tempo é uma função da idade e do tipo de cimento. Assim, esta ultima leva em conta o fato de que cimentos diferentes exigem tempos diferentes para produzir iguais quantidades de gel. (NEVILLE, 1997 apud FREITAS, 2012)

Freitas (2012) expõe que na prática a resistência do concreto é tradicionalmente caracterizada pelo valor aos 28 dias, e outras propriedades do concreto usam como referência a resistência a essa idade. Não existe um significado científico para a escolha da idade de 28 dias; isso se deve simplesmente ao fato de que a evolução da resistência do concreto é lenta e era necessário se referir à resistência de um concreto no qual já tivesse processado uma hidratação significativa do cimento.

2.3.1.2.3. Forma dos agregados

Os agregados representam em grande parte da massa constituinte do concreto, sendo assim, suas características influem de maneira predominante no compósito. Eles devem ser isentos de impurezas e ter uma resistência sempre maior que a da pasta. Naturalmente a forma dos grãos e a conformação superficial influenciam muito na trabalhabilidade, aderência e resistência do concreto. Os agregados lisos facilitam a mistura e adensamento e os de superfície áspera aumentam a resistência à tração. (FREITAS, 2012)

Ainda segundo Freitas (2012), também a granulometria é fator decisivo na resistência do concreto. A composição granulométrica dos agregados é determinada em ensaios padronizados de peneiração. As curvas granulométricas devem ficar dentro de certos limites, fixados nas especificações, de modo que os agregados misturados apresentem um bom entrosamento, com pequeno volume de espaço vazio entre suas partículas.

2.3.1.2.4. Tipo de cimento

O tipo de cimento é essencial para determinação da resistência do concreto, pois, dependendo de sua qualidade, da composição química (o cimento apresenta uma grande variedade de composições, de acordo com sua finalidade) e da finura do material pode-se obter mudanças nas características físico-químicas do concreto a ser produzido.

De acordo com Pandolfelli (2011), as variações nas características dos cimentos influenciam as propriedades dos concretos. Ao se manter os materiais constituintes da mistura e, alterando apenas o tipo de cimento para determinado estudo, apresentou-se mudanças no

teor ótimo da porcentagem de aditivos necessários para concreto auto adensável, modificando assim, seu desempenho.

As mudanças realizadas nas composições de clínquer, gesso, escória granulada de alto-forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos podem proporcionar maior resistência e durabilidade do concreto em seu estado endurecido em ambientes agressivos, podem melhorar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco e podem melhorar as resistências iniciais do mesmo, de acordo com a necessidade do usuário (ABCP, 2002).

2.4. Sustentabilidade na Construção Civil

Uma definição do desenvolvimento sustentável foi elaborada a partir de um documento promovido pela ONU em que era proposto o desenvolvimento sustentável como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades”. A nova visão da relação homem/meio-ambiente fica claro que além do limite mínimo para o bem-estar da sociedade existe também um limite máximo para a utilização dos recursos naturais de modo que sejam estes preservados e perpetuados (CORRÊA, 2009).

A preocupação com a sustentabilidade vem crescendo a partir da exploração de recursos naturais não renováveis que são consumidos sem que haja reposição deste recurso. O Ministério do Meio Ambiente (2014) promoveu um estudo para apresentar dados sobre a indústria de materiais de construção no Brasil. A indústria consome aproximadamente 50% dos recursos naturais extraídos, com uma demanda de aproximadamente 4 a 7t de habitantes por ano, sendo necessária políticas de desmaterialização e reciclagem para promoção da sustentabilidade na construção civil (AGOPYAN; JOHN, 2009).

Com a finalidade de reduzir os impactos ambientais provocados pela construção, há o novo conceito de construção sustentável. Conforme o Ministério do Ambiente (2014), o setor possui vários desafios que se resumem na redução e otimização do consumo de materiais e energia, na redução dos resíduos gerados, na preservação do ambiente natural e na melhoria da qualidade do ambiente construído. Logo, deve-se haver:

- Mudança dos conceitos da arquitetura convencional na direção de projetos flexíveis com possibilidade de readequação para futuras mudanças de uso e atendimento de novas necessidades, reduzindo as demolições;
- Busca de soluções que potencializem o uso racional de energia ou de energias renováveis;
- Gestão ecológica da água;
- Redução do uso de materiais com alto impacto ambiental;
- Redução dos resíduos da construção com modulação de componentes para diminuir perdas e especificações que permitam a reutilização de materiais.

A necessidade de desenvolver estudos voltados à reciclagem e/ou reutilização dos resíduos representa uma alternativa capaz de contribuir para a utilização de matérias-primas alternativas e diminuir os custos finais dos setores industriais geradores e consumidores de resíduos, além de preservar o ambiente. Desta forma, a reutilização de resíduos sólidos na construção civil tem a capacidade de reduzir os custos e prejuízos ambientais relativos ao tratamento e descarte final destes resíduos, também auxiliando na redução de impactos ambientais diretos e indiretos promovidos pela própria construção civil. (LUCAS; BENATTI, 2008).

2.5. Materiais cimentícios com adição de fibras

O concreto reforçado com fibras (CRF) é considerado como um compósito, ou seja, é um composto formado de duas fases bem definidas: fase matriz, que apresenta um aspecto mais frágil e pode ser cimentícia, cerâmica, polimérica ou metálica, e a fase dispersa, composta por fibras ou partículas que são empregadas para a melhoria das propriedades mecânicas, eletromagnéticas, físicas ou químicas do material como um todo. (PEREIRA, 2002 apud ALVES, 2016).

Materiais cimentícios, segundo Domone e Illston (tradução nossa) são relativamente fáceis de se manusear, e apresentam alta resistência à compressão, porém, tem pobre resistência à tensão, impacto e dureza. Isto torna os compósitos suscetíveis ao fissuramento e intolerantes as sobrecargas transientes locais, principalmente aquelas desenvolvidas em pontos de apoio ou causadas por instalação. A incorporação de fibras dúcteis nas matrizes cimentícias de concretos ou argamassas pode produzir um material com maior grau de dureza e ductilidade em comparação com um concreto ou argamassa comum.

“A matriz mais comum aplicada para cimento reforçado com fibras (CRF) é a de Cimento Portland (CP) para concreto ou argamassa. O ambiente micro estrutural do CP é tipicamente altamente alcalino, com mudanças no decorrer do tempo a medida que a matriz continua sendo hidratada e afetada por fatores externos tais como umidade e temperatura. A interação das fibras com este ambiente significa que as propriedades do cimento reforçado com fibras dependem do tempo, geralmente em escalas anuais, com implicações importantes para a durabilidade. Modificar a interação fibra-matriz para melhora da durabilidade tem sido o impulso principal de pesquisas relacionadas ao CRF nos últimos 20 anos, com foco no desenvolvimento de matrizes alternativas.” (DOMONE et al., 2010, tradução nossa, p. 365)

As fibras utilizadas como reforço no concreto, de acordo com Abid e Franzén (2011), são produzidas por diversos tipos de materiais, sendo naturais ou artificiais, com diversos formatos e tamanhos. As fibras mais comercialmente conhecidas e aplicadas são: Fibras de aço, fibras de vidro, fibras naturais e fibras poliméricas.

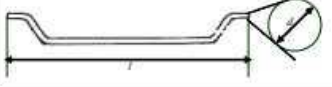
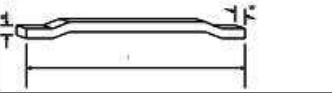
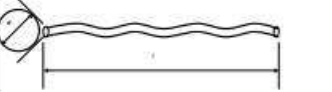
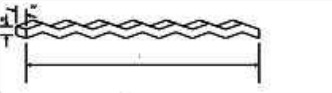
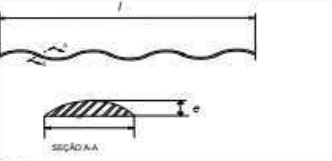
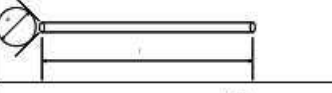
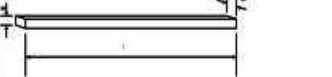
- Fibras de aço

As fibras de aço vem sendo aplicadas em matrizes cimentícias desde o início dos estudos teóricos, logo, são as fibras mais comumente aplicadas e estudadas. Essas fibras incrementam a dureza das matrizes, prevenindo ou minimizando as fissuras devido a mudança de temperatura ou umidade relativa, e também aumentam a resistência às cargas dinâmicas (ocasionadas por fadiga, impacto, explosões ou abalos sísmicos), porém, esses benefícios são vistos modestamente, sendo acentuados caso haja excesso volumétrico de fibras na mistura. (BENTUR; MINDESS, 2007).

A NBR 15530:2007 especifica os tipos de fibra de acordo com o tamanho, sendo 25 mm as fibras curtas, e 60 mm as fibras longas. São classificadas também de acordo com a sua geometria, sendo tipo A, as fibras de aço com ancoragens nas extremidades, tipo C, as fibras de aço corrugada e tipo R, fibras de aço reta. Outra classificação contundente da norma é de acordo com sua origem, sendo classe I, fibras de arame trefilado a frio, classe II, oriundas de chapa laminada cortada a frio, e por fim, classe III, oriunda de arame trefilado e escarificado (FIGUEIREDO, 2011).

As fibras de aço apresentam a seguinte geometria, conforme figura abaixo:

Figura 2 - Geometrias das fibras de aço.

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

Fonte: FIGUEIREDO, 2011.

- Fibras de vidro

O reforço de compósitos cimentícios por meio das fibras de vidro foi desenvolvido principalmente para a produção de componentes com pouca espessura, com uma matriz de pasta ou argamassa e contendo, aproximadamente, 5% de fibras (MAJUMDAR; NURSE, 1974). O vidro comum não apresenta estabilidade nas matrizes cimentícias devido a sua natureza de alta alcalinidade, desta forma, fibras de vidro especiais, álcali-resistentes, foram desenvolvidas e são utilizadas comercialmente para esta aplicação. A adição de zircônio na composição reduz a reação entre o vidro e a matriz alcalina e proporciona uma camada de proteção extra nas fibras. (DOMONE; ILLSTON, 2010).

Figura 3 - Rolo de fibras de vidro.



Fonte: DOMONE; ILLSTON, 2010.

Ainda segundo Domone e Illston (2010), os módulos de elasticidade e a resistência estão em torno de 70 GPa e 1500 MPa, respectivamente, tornando as fibras úteis para a produção de concreto reforçado, sendo as fibras multifilamentos e vendidas usualmente em rolos com aproximadamente 200 filamentos com diâmetro de 14 micrômetros.

- Fibras naturais

Este tipo de fibra é encontrada no estado adequado para uso na própria natureza, sem processos de fabricação. As fibras naturais podem ser de origem vegetal, animal ou mineral, porém, para o uso como reforço em concreto, as fibras vegetais apresentam destaque, tais como as fibras de bambu e madeira. Estas fibras tem como principal vantagem o baixo custo, boa resistência à tração e baixo custo e consumo de energia em sua produção (ALVES, 2016).

Figura 4 – Aspecto macroscópico da polpa de celulose.



Fonte: ALVES, 2016.

Alguns autores classificam as fibras naturais de acordo com a morfologia da fibra, esta pode ser proveniente do caule; obtida a partir de um processo úmido com ações bacterianas, das folhas (sisal); obtida a partir da quebra, raspagem e secagem das folhas, da superfície; obtida a partir da lavagem da casca (fibras de côco e algodão); e por fim, da madeira (celulose), obtida a partir de processos químicos e físicos complexos (BENTUR; MINDESS, 2007).

- Fibras poliméricas

As fibras poliméricas ou sintéticas são fibras, segundo Figueiredo (2011), do tipo artificiais, obtidas a partir de processos de produção químicos e físicos para confecção das cadeias poliméricas, e podem apresentar diversos arranjos moleculares, visto que os polímeros apresentam variados modelos estruturais. Como representante desta modalidade, as fibras de polipropileno que vem ganhando cada vez mais destaque, são subdivididas em dois formatos: microfibras e macrofibras.

As microfibras se apresentam em monofilamentos, os quais são apenas fios cortados em comprimento padrão, ou as fibriladas, as quais são malhas de finos filamentos de seção retangular. As macrofibras, por sua vez, consistem em fibras em grande quantidade unidas por uma fita externa.

Figura 5 - Tipos de fibras poliméricas. (a) fibras fibriladas, (b) macrofibras.



Fonte: FIGUEIREDO, 2011.

Outro método de classificação das fibras é de acordo com seu módulo de elasticidade, assim, as fibras que apresentam módulo de elasticidade inferior ao do concreto endurecido são classificadas como fibras de baixo módulo, entretanto, as fibras que apresentam maior módulo de elasticidade em relação ao concreto são conhecidas como fibras

de alto módulo, e estas características dependem unicamente da composição química de cada material (FIGUEIREDO, 2011).

Segue abaixo uma tabela para comparação entre dados físicos das fibras e suas respectivas matrizes para melhor entendimento dos benefícios da incorporação de fibras nas matrizes cimentícias:

Tabela 1 - Características físicas das fibras e matrizes.

<i>Material or fibre</i>	<i>Relative density</i>	<i>Diameter or thickness (microns)</i>	<i>Length (mm)</i>	<i>Elastic modulus (GPa)</i>	<i>Tensile strength (MPa)</i>	<i>Failure strain (%)</i>	<i>Volume in composite (%)</i>
Mortar matrix	1.8–2.0	300–5000	–	10–30	1–10	0.01–0.05	85–97
Concrete matrix	1.8–2.4	10 000–20 000	–	20–40	1–4	0.01–0.02	97–99.9
Aromatic polyamide (aramid)	1.45	10–15	5–continuous	70–130	2900	2–4	1–5
Asbestos	2.55	0.02–30	5–40	164	200–1800	2–3	5–15
Carbon	1.16–1.95	7–18	3–continuous	30–390	600–2700	0.5–2.4	3–5
Cellulose	1.5	20–120	0.5–5.0	10–50	300–1000	20	5–15
Glass	2.7	12.5	10–50	70	600–2500	3.6	3–7
Polyacrylonitrile (PAN)	1.16	13–104	6	17–20	900–1000	8–11	2–10
Polyethylene pulp	0.91	1–20	1	–	–	–	3–7
HDPE filament	0.96	900	3–5	5	200	–	2–4
High modulus Polypropylene	0.96	20–50	continuous	10–30	> 400	> 4	5–10
Monofilament	0.91	20–100	5–20	4	–	–	0.1–0.2
Chopped film	0.91	20–100	5–50	5	300–500	10	0.1–1.0
Continuous nets	0.91–0.93	20–100	continuous	5–15	300–500	10	5–10
Polyvinyl alcohol (PVA, PVOH)	1–3	3–8	2–6	12–40	700–1500	–	2–3
Steel	7.86	100–600	10–60	200	700–2000	3–5	0.3–2.0

Fonte: DOMONE; ILLSTON, 2010.

2.6. Blocos de Concreto

Os blocos de concreto começaram a ganhar espaço no Brasil no fim da década de 60, por meio da alvenaria estrutural, a partir da montagem de grandes fábricas produtoras de blocos de concreto em São Paulo, com fortalecimento na década de 70 a partir da construção de grandes conjuntos habitacionais com a tecnologia. A substituição dos blocos de cerâmico para a construção de edificações apresentou crescimento, não só apenas em alvenarias estruturais mas também para alvenaria de vedação. (FRASSON, 2000)

Um dos principais fatores do crescimento dos blocos de concreto para alvenaria são as vantagens técnicas, conforme Frasson (2000) determina. Além das vantagens técnicas, o esgotamento das jazidas de argila para a produção de blocos cerâmicos e fortalecimento das

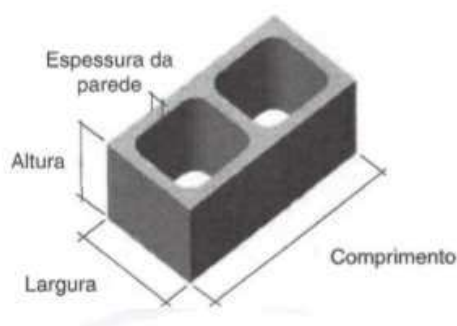
leis ambientais que desencorajam o desmatamento das reservas ambientais específicas para produção de lenha (matéria-prima mais utilizada nas fábricas cerâmicas como combustível) são fatores que pesam durante a produção de blocos de cerâmica.

A alvenaria de vedação tem papel primordial em qualquer projeto e possui a função apenas de vedação, pois não resiste às cargas da edificação, conforme Alves (2016). Estas podem ser construídas com blocos cerâmicos, concreto, entre outros. O bloco de concreto de vedação, objetivo deste estudo, tem como função o fechamento de vãos das edificações, de modo a proporcionar vãos modulados em função das dimensões dos blocos. Estes blocos devem apresentar requisitos mínimos de desempenho e segurança.

A precisão dimensional quase que absoluta das peças diminui a espessura das camadas de revestimento além de simplificar e tornar mais rápida a sua aplicação reduzindo assim os custos. Além disso, a possibilidade de conceber os projetos com dimensões coordenadas e múltiplas dos blocos e de incorporação das instalações elétricas e, em alguns casos hidráulica, elimina desperdícios com quebras de paredes e retrabalhos (FRASSON, 2000).

Tem-se, por definição da ABNT NBR 6136:2014, que blocos vazados de concreto simples são componentes para a execução da alvenaria, com função estrutural ou apenas de vedação, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% de sua área bruta. (ABNT, 2014). Os blocos de concreto podem ser destinados a fechamento de vãos - bloco de vedação ou à sustentação das construções tendo função estrutural - blocos estruturais. Os blocos de vedação e estruturais feitos de concreto são fisicamente semelhantes e a forma de produção é a mesma. Entretanto, os blocos estruturais possuem paredes mais espessas e maior resistência a compressão (SANDES, 2008).

Figura 6 - Bloco de concreto e suas dimensões.



Fonte: ABNT, 2014.

Os blocos de concreto devem ser vazados para que seja possível o aproveitamento dos furos para a passagem de instalações e posterior aplicação do graute. O furo também proporciona maior economia durante o assentamento pois há necessidade de menos argamassa para o processo (T&A, 2005). Outro aspecto importante dos blocos vazados de concreto é a especificação das dimensões de blocos, de acordo com a largura. A partir dessas padronizações, os blocos formam famílias, obtidas a partir da fixação da largura e altura e variação do comprimento dos blocos, sendo bloco inteiro o predominante da família, meio bloco e blocos de amarração em T e L para encontros de paredes e blocos compensadores para ajuste na modulação. Essas dimensões padronizadas dos blocos apresentam tolerâncias de 2mm para a largura, enquanto para a altura e comprimento apresentam uma tolerância de 3mm (ABNT, 2014).

Os blocos devem ser fabricados e curados por processos que assegurem a obtenção de um concreto suficientemente homogêneo e compacto, devem apresentar arestas vivas e não devem apresentar trincas ou qualquer tipo de patologia que prejudique seu assentamento, resistência ou sua durabilidade. O transporte do material deve conservar sua qualidade e, por fim, deve apresentar todas as especificações inerentes ao lote, tais como classe, resistência característica à compressão, dimensões, entre outros (ABNT, 2014).

A modulação é a projeção da alvenaria a partir de uma unidade modular, ou seja, a partir do bloco padrão. A modulação pode ou não ser múltipla, logo, caso não seja múltipla a modulação deverá ser compensada a partir de elementos pré-fabricados ou fabricados em obra. (T&A, 2005).

Como requisitos específicos, a NBR 6136 determina qual tipo de água, agregados e cimento podem ser empregados para a produção de blocos de concreto, e quais as dimensões e as características físico-mecânicas são as mais pertinentes. As dimensões nominais dos blocos vazados de concreto, modulares e submodulares devem seguir as modulações de acordo com o quadro 4.

Quadro 4 - Dimensões nominais para blocos de concreto.

Familia		20 x 40	15 x 40	15 x 30	12,5 x 40	12,5 x 25	12,5 x 37,5	10 x 40	10 x 30	7,5 x 40	
Medida Nominal mm	Largura	190	140		115			90		65	
	Altura	190	190	190	190	190	190	190	190	190	
	Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
		Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
		2/3	-	-	-	-	-	240	-	190	-
		1/3	-	-	-	-	-	115	-	90	-
		Amarração "L"	-	340	-	-	-	-	-	-	-
		Amarração "T"	-	540	440	-	365	-	-	290	-
		Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	90
		Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	40
		Canaleta inteira	390	390	290	390	240	365	390	290	-
		Meia canaleta	190	190	140	190	115	-	190	140	-
	NOTA 1 As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados nesta Tabela são de $\pm 2,0$ mm para a largura e $\pm 3,0$ mm para a altura e para o comprimento. NOTA 2 Os componentes das famílias de blocos de concreto têm sua modulação determinada de acordo com a ABNT NBR 15873. NOTA 3 As dimensões da canaleta <i>J</i> devem ser definidas mediante acordo entre fornecedor e comprador, em função do projeto.										

Fonte: ABNT, 2014

No quadro 5, determina-se a espessura mínima de acordo com o tipo de classe do bloco em questão, com uma tolerância permitida nas dimensões da parede de 1,0 mm para cada valor (ABNT, 2014):

Quadro 5 - Classes, larguras e espessuras mínimas para blocos de concreto.

Classe	Largura nominal mm	Paredes longitudinais ^a mm	Paredes transversais	
			Paredes ^a mm	Espessura equivalente ^b mm/m
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135

Fonte: ABNT, 2014.

Quadro 6 - Classes, larguras e espessuras mínimas para blocos de concreto (Continuação)

Classe	Largura nominal mm	Paredes longitudinais ^a mm	Paredes transversais	
			Paredes ^a mm	Espessura equivalente ^b mm/m
C	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

^a Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.
^b Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

Fonte: ABNT, 2014.

A menor dimensão do furo para as classes A e B, atendidas as demais exigências da ABNT NBR 6136:2014, devem obedecer aos critérios abaixo:

- Dfuro > 70 mm, para blocos de 140 mm;
- Dfuro > 110 mm, para blocos de 190 mm.

Para os requisitos físico-mecânicos, os blocos devem atingir aos limites de resistência, absorção de água e retração linear estipulados no quadro 7, de acordo com o tipo de classificação adotada para o determinado bloco (ABNT, 2014).

Quadro 7 - Requisitos para resistência à compressão, absorção de água e retração linear.

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial ^a MPa	Absorção %				Retração ^d %
			Agregado normal ^b		Agregado leve ^c		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 8,0$	$\leq 6,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 8,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 12,0$	$\leq 10,0$			

^a Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.
^b Blocos fabricados com agregado normal. (ver definição na ABNT NBR 9935).
^c Blocos fabricados com agregado leve. (ver definição na ABNT NBR 9935).
^d Ensaio facultativo.

Fonte: ABNT, 2014.

Como vantagem o bloco de concreto vazado, não contém fundo, viabiliza o aproveitamento dos furos, os quais ficam alinhados na vertical, para a passagem das instalações elétricas e hidráulicas, sem a necessidade de quebrar os blocos. Outra vantagem consiste em uma maior velocidade no levantamento de paredes, devido ao maior tamanho das peças, quando comparadas aos blocos cerâmicos.

2.6.1. Métodos de produção de blocos de concreto

Os principais métodos de produção dos blocos de concreto no Brasil são a produção manual e a produção por meio equipamentos, automatizados ou não, chamados de vibro-prensas.

A produção manual é caracterizada, segundo Gregório (2012), pelo uso de formas plásticas, metálicas ou de madeira. Essas formas são preenchidas com concreto de maior consistência, sendo este confeccionado em betoneira ou manualmente, em seguida, é feita a compactação para a retirada dos vazios, com um equipamento concebido para tal, que pode ser uma prancha lisa de madeira. Por fim, os blocos são retirados da forma cuidadosamente, em local protegido das intempéries e que permita que a cura do bloco seja efetiva.

Figura 7 - Molde para fabricação de bloco de concreto.



Fonte: USIMAK, 2018.

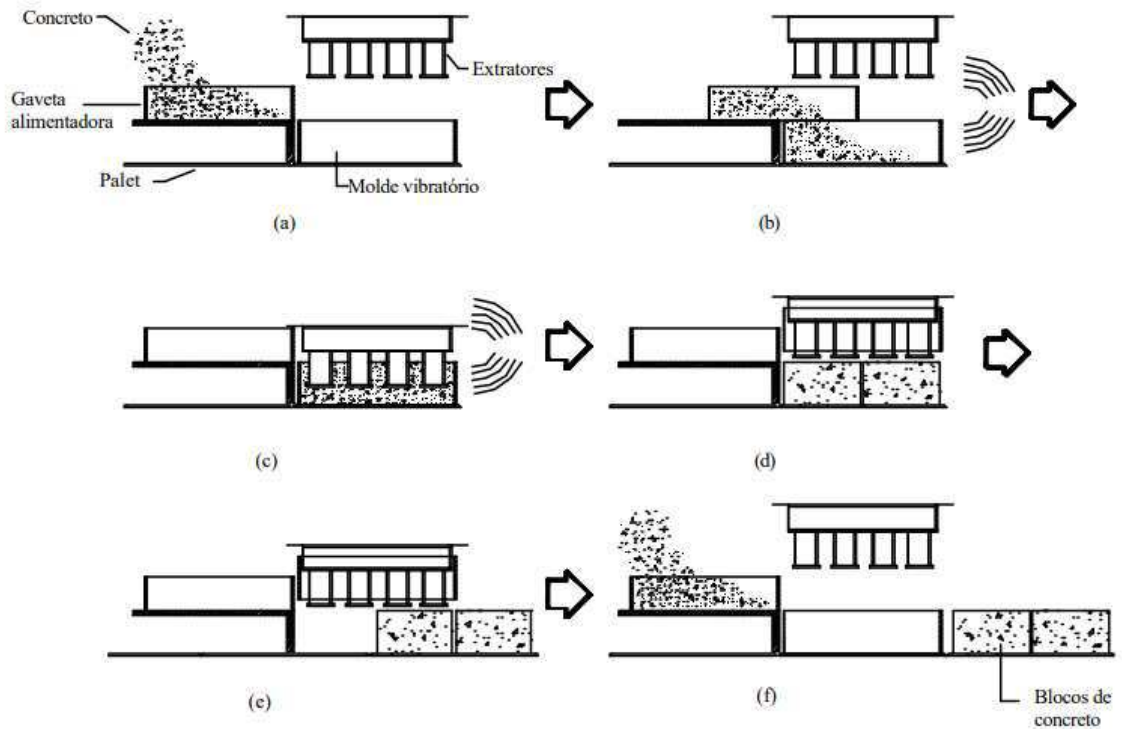
Apesar de ser menos oneroso, os processos manuais não produzem blocos de concreto satisfatórios para funções estruturais, pois o processo de compactação aplicado não é suficiente para garantir um alto grau de compactação das partículas do concreto “seco” utilizado, logo, o produto final obtido não apresenta resistência à compressão, absorção de água e texturas adequadas para função estrutural (GREGORIO, 2012).

“As vibro-prensas recebem esta denominação devido ao mecanismo de funcionamento empregado durante o processo de moldagem dos blocos: vibração associada à prensagem. A primeira função é responsável pelo preenchimento e adensamento da mistura nos moldes, e a segunda, influencia o adensamento e o controle da altura dos blocos (acabamento).” (SOUSA, 2001, p. 9).

A produção por meio das vibro-prensas é realizada, conforme Salvador Filho (2007), por meio do maquinário que realiza a vibração e compressão do concreto durante a confecção dos blocos de concreto. O maquinário apresenta dois elementos que são responsáveis pela forma dos blocos: os moldes e os pentes. O concreto em seu estado fresco é levado até o molde, onde é vibrado e prensado pelos extratores na direção vertical. O molde é suspenso, enquanto os pentes ficam imóveis mantendo os blocos sobre o palete. Por fim, os extratores são elevados, e o palete é retirado, com as unidades. Para dar continuidade ao processo, outro palete é posicionado no local e dá-se início a outro ciclo de produção. A quantidade de blocos por ciclo depende do tipo de maquinário utilizado e das dimensões dos equipamentos.

A figura abaixo exemplifica o processo, conforme a ordem:

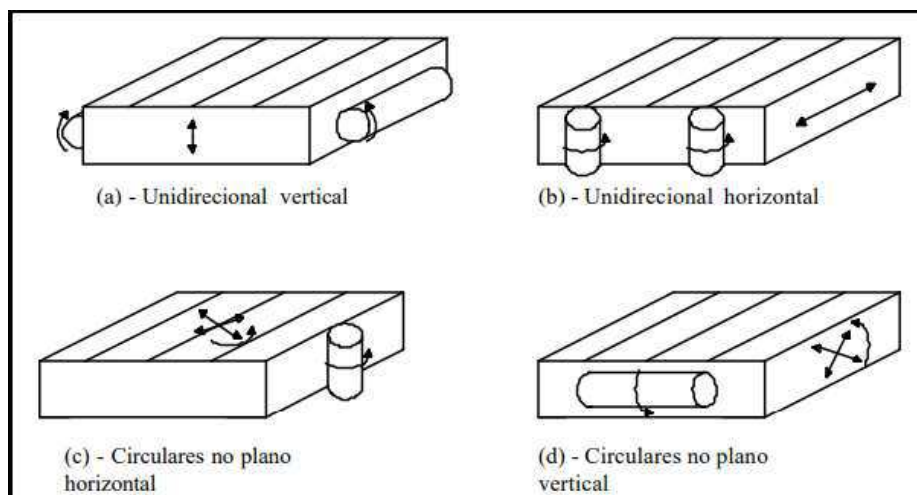
Figura 8 - Sequência básica de funcionamento de uma vibro-prensa automática.



Fonte: SOUZA et al, 1990 apud MEDEIROS, 1993

O mecanismo de vibração das vibro-prensas influi diretamente nas propriedades dos componentes moldados. Os principais parâmetros que caracterizam a vibração, com influência no processo são: direção, amplitude, velocidade, aceleração e tempo de adensamento. Quanto à direção, as vibro-prensas podem ser classificadas em unidirecional e circular, no plano horizontal ou vertical. Estes parâmetros, estreitamente relacionados, exercem influência significativa em todo o processo de produção dos blocos de concreto (BRESSON, 1981 apud SOUSA, 2001).

Figura 9 – Classificação das vibro-prensas quanto à direção.



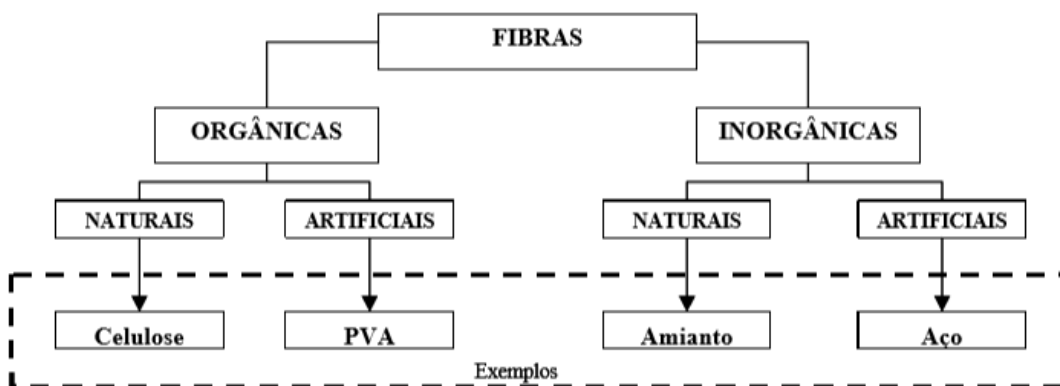
Fonte: BRESSON, 1981.

A produção por meio de vibro-prensas, por sua vez, apresenta como principal fator um maior grau de compactação das peças pré-moldadas, permitindo que o produto final obtenha melhores características físico-mecânicas, tais como a resistência, arestas vivas e absorção adequadas conforme os requisitos normativos mais criteriosos, como blocos com função estrutural (FRASSON Jr., 2000).

2.7. Fibras de celulose

As fibras podem ser classificadas em orgânicas ou inorgânicas. As fibras orgânicas se dividem ainda em naturais ou artificiais. Existem controvérsias relativas a alguns tipos de fibras e sua classificação, principalmente em relação às fibras de celulose, pois apesar de serem provenientes da natureza, o pré-tratamento industrial para fabricação do papel antes do seu emprego ocasiona em opiniões contrárias. O diagrama abaixo adaptado demonstra algumas classificações das fibras (ZHU, 1993 apud SILVA, 2002).

Figura 10 - Classificação dos tipos de fibras.



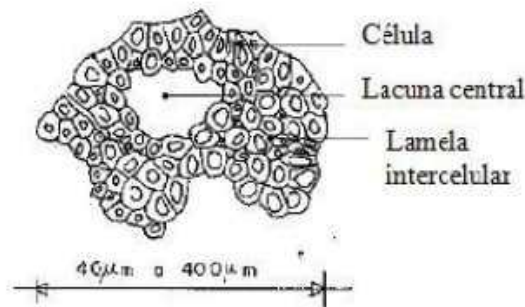
Fonte: ZHU, 1993 apud SILVA, 2002.

O interesse recente em fibras naturais como substituto da fibra de vidro tem crescido. Possíveis vantagens como mais leveza na composição, menor custo da matéria-prima e potencial para reciclagem e reutilização são causas plausíveis. Fibras naturais são utilizadas para reforço nas características físico-mecânicas do concreto, e são usualmente curtas e possuem orientação aleatória. (DOMONE; ILLSTON, 2010).

A celulose $(C_6H_{10}O_5)_n$ é classificada, conforme Domone e Ilston (2010), como um polímero e se apresenta em forma de longas cadeias ou filamentos, sendo construídas a partir do monômero da glicose $(C_6H_{12}O_6)$. As fibras naturais apresentam em sua composição a celulose, hemicelulose e lignina, sendo estes os principais componentes que determinam as propriedades físicas das fibras. Santos e Carvalho (2011) relatam a estrutura física da macromolécula de celulose, demonstrada na figura abaixo:

“Quanto à estrutura física, as fibras celulósicas são compostas por um aglomerado de células formadas por microfibrilas que se unem pelas lamelas intercelulares. À fração de celulose é corresponde a essas microfibrilas, e a fibra, ou macrofibra, o conjunto formado pela união desses filamentos de celulose com a lignina e a hemicelulose.”

Figura 11 - Fibra celulósica.



Fonte: SANTOS; CARVALHO, 2011.

Seu alto grau de polimerização e maior cristalinidade permitem à celulose uma maior estabilidade e resistência aos efeitos de degradação mecânica, térmica ou física quando se compara aos componentes não-celulósicos, desta forma, por apresentar moléculas grandes, a celulose torna-se mais resistente às tensões mecânicas e térmicas se comparadas com compostos formados por moléculas menores. A durabilidade e a resistência à tração de fibras individuais de celulose serão superiores em comparação por macrofibras. (VAN VLACK, 1970; COUTTS, 1986 apud SILVA, 2002).

Em contrapartida, a aplicação de fibras vegetais naturais apresentam algumas dificuldades associadas ao uso em compósitos cimentícios, tais como a adequação dos processos de produção dos compósitos, tendo em vista que os processos convencionais de mistura e moldagem geralmente originam problemas de má distribuição das fibras na matriz, com incorporação excessiva de vazios, causando aumento na porosidade do material (COUTTS; NI, 1995 apud SAVASTANO et al., 2000).

Algumas características físicas e mecânicas importantes de diversas fibras, principalmente as fibras de celulose, são sintetizadas por Savastano (2000) no quadro 8. Propriedades como a resistência à tração e módulo de elasticidade possuem aspecto bastante vantajoso para a utilização das fibras celulósicas como reforço de matrizes frágeis, porém, a absorção máxima deve ser observada com cautela para que não se tenha um baixo desempenho da matriz.

Quadro 8 - Características físicas e mecânicas das fibras vegetais.

Fibras	Propriedades				
	Massa específica (Kg/m ³)	Absorção máxima (%)	Alongamento na ruptura (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Coco	1177	93,8	23,9 a 51,4	95 a 118	2,8
Sisal	1370	110,0	4,9 a 5,4	347 a 378	15,2
Malva	1409	182,2	5,2	160	17,4
Amianto	2200 a 2600	-	2	560 a 750	164
Polipropileno	913	-	22,3 a 26,0	250	2,0
Celulose	1609	643	-	700	10-40

Fonte: SAVASTANO, 2000.

As fibras de celulose se apresentam em dois estados: polpas ou folhas. As polpas são as pastas úmidas utilizadas na indústria de papel e celulose, enquanto as folhas são a forma comercial de apresentação da celulose. Estes dois estados tem diversos fins, principalmente a produção de variados tipos de papel (COUTTS, 1986). As polpas celulósicas tem sido cada vez mais utilizadas como reforço de materiais à base de matrizes cimentícias, com destaque para países desenvolvidos (SAVASTANO, 2000).

2.8. A cadeia produtiva de papel e celulose no Brasil

Para o melhor entendimento da produção propriamente dita do papel, deve-se compreender que a matéria-prima da indústria de papel e celulose é proveniente de uma cadeia produtiva. A cadeia produtiva apresenta-se como uma sucessão mais ou menos linear de operações técnicas de produção (BATALHA, 1997). A cadeia produtiva de papel e celulose, é determinada de acordo com a propriedade agrícola, dividida em três fases, segundo Osório (2007):

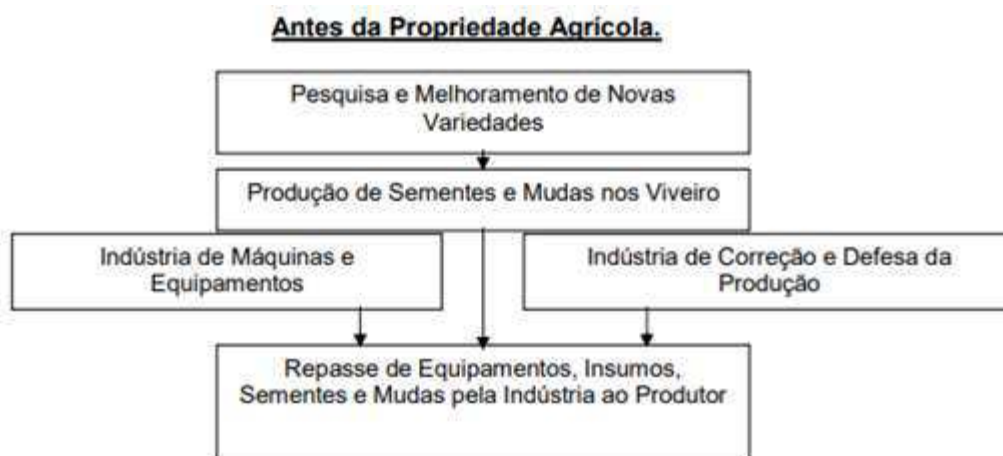
- A que é desenvolvida antes de adentrar a propriedade agrícola;
- A que transcorre dentro da propriedade agrícola;
- Após a produção na propriedade agrícola.

“[...]Antes da propriedade agrícola a Cadeia Produtiva é composta pelas empresas e indústrias produtoras de insumos (adubo, sementes, mudas,...), de máquinas e de equipamentos, responsáveis pelas necessidades do setor primário, não atendidas dentro da propriedade. Nessa fase atuam também as entidades, públicas e privadas, responsáveis por corrigir e defender a produção primária, visando suprir exigências da indústria de papel e celulose, tais como a pesquisa e o melhoramento de variedades, a produção de mudas nos viveiros, o desenvolvimento de técnicas de cultivo, entre outros. Todas essas etapas costumam ser financiadas pela indústria visando chegarem à unidade produtiva. A fase que transcorre dentro propriedade agrícola abrange desde o plantio até a colheita, começando pela implantação e manutenção de florestas, onde ocorre o preparo do solo, o plantio, a adubação, o combate às pragas e às invasoras e a proteção florestal. Após dá-se a colheita florestal, o baldeio e o transporte. Todo esse processo envolve atividades na unidade produtiva, durante um período de cinco a sete anos.”(OSORIO, 2007, p. 22).

A última fase, a produção industrial de papel e celulose, tem-se o preparo da madeira a partir de um reconhecimento inicial, para o posterior descascamento e picagem desta. A seguir, o cozimento, lavagem e depuração da madeira, logo em seguida, o processo de branqueamento da celulose em conformidade com os índices de qualidade. Por fim, tem-se a produção do papel, extração, secagem, rotulagem e identificação. Dentro desta etapa ocorre as vendas e exportação, para que a última etapa, seja realizada pelos varejistas que realizam a distribuição final do produto para o consumidor. (OSORIO, 2007).

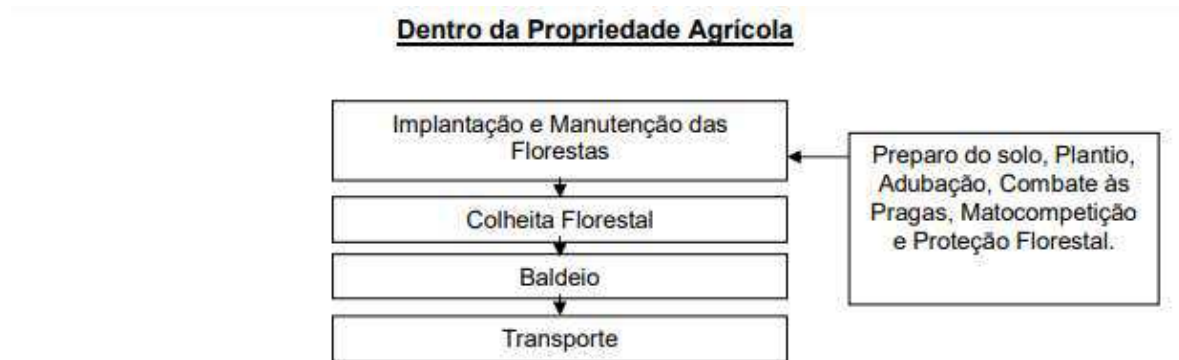
As relações que determinam a cadeia produtiva do papel e celulose, tratando desde a produção dos insumos até sua distribuição e venda, estão resumidas na figura, de acordo com Osorio (2007):

Figura 12 - Cadeia produtiva de papel e celulose.



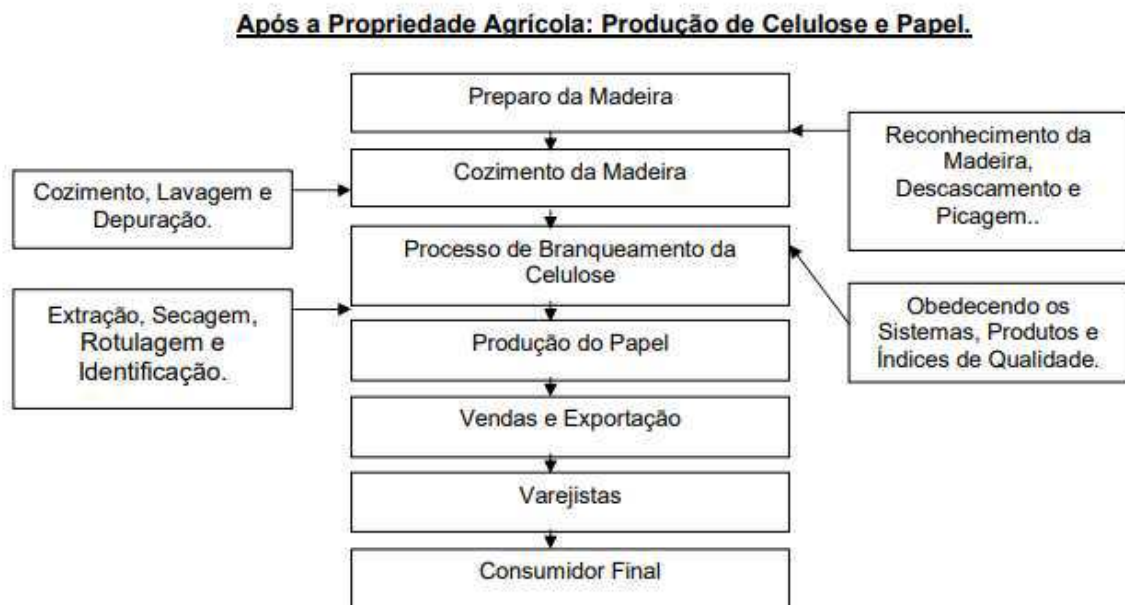
Fonte: OSÓRIO, 2007.

Figura 13 - Cadeia produtiva de papel e celulose. Continuação



Fonte: OSÓRIO, 2007.

Figura 14 - Cadeia produtiva de papel e celulose. Continuação.



Fonte: OSÓRIO, 2007.

2.9. A produção de papel e celulose propriamente dita

A indústria de celulose e papel realiza processos químicos e operações unitárias com o objetivo de obter como seu produto final o papel da maneira que é conhecida, logo,

para melhor entendimento do fluxograma anteriormente apresentado, tem-se a seguinte divisão, conforme Teixeira et al (2017):

- (a) Preparação da madeira;
- (b) Extração da celulose ou polpação;
- (c) Branqueamento da celulose;
- (d) Refinação;
- (e) Secagem e papel acabado.

(a) Preparação da madeira

A preparação da madeira é iniciada, segundo Teixeira et al. (2017) a partir da lavagem das toras de madeira, promovendo a limpeza e retirada de detritos. Após a lavagem, tem-se a retirada das cascas da madeira, processo denominado de descascamento. A retirada das cascas é realizada por meio de atrito mecânico, no qual o tronco recebe jatos de água a alta pressão, retirando assim as cascas. Outro método para a retirada é a colocação das toras em cilindros com água, e por meio da agitação as cascas são separadas. Em seguida, as toras são picadas em pequenos pedaços denominados cavacos. A dimensão desses pedaços deve estar em conformidade com a próxima etapa, visto que o tamanho dos pedaços interfere no consumo de reagentes e conseqüentemente no rendimento da polpa celulósica. Tendo em vista esta preocupação, os cavacos são classificados por peneiramento, onde os de tamanho médio são encaminhados para a polpação, os de tamanho grande são levados a picagem e os de menores dimensões são levados para a queima.

(b) Extração da celulose ou polpação

Por ser formada de múltiplas fibras ligadas entre si por forças interfibrilares e pela lignina que age como ligante, a matéria-prima (madeira) necessita de um processo de separação entre as diferentes fibras componentes unidas por forças coesivas intermoleculares, tais como a lignina, celulose e hemicelulose, desta forma, a extração da celulose, ou polpação, é o processo de separação destas fibras mediante utilização de energia química ou mecânica. Os processos de polpação são classificados de acordo com o tipo de energia utilizada (química ou mecânica), rendimentos da polpa ou pH utilizado (KLOCK, 2013).

(b.1) Processo de polpação mecânica

Este processo consiste na moagem em água quente dos cavacos, de forma a facilitar o desfibramento e a flutuação das fibras. Como não há a remoção total dos constituintes da matéria-prima o papel obtido por este processamento é mais frágil e apresenta deterioração mais rapidamente, porém, este processo é mais econômico que a polpação química, logo, aplicado para finalidades que não exijam alta durabilidade. (TEIXEIRA et al, 2017).

(b.2) Processo de polpação química

Este processo é o mais aplicado na indústria de celulose e papel, promovendo a retirada total da lignina das fibras de celulose e ainda obtém fibras mais longas. A polpação química pode ocorrer tanto em meio alcalino como em meio ácido. A polpação química em meio alcalino é realizada com a digestão dos cavacos de madeira em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) sob pressão de 6,8 a 9,2 atm, com temperatura entre 170 e 177 °C, durante 2 a 5 horas. Esta polpação ocorre a deslignificação sem a degradação ou perda da celulose, tornando a polpa de alta resistência. Já no meio ácido, os cavacos de madeira são digeridos em uma mistura de ácido sulfuroso e íons bisulfito sob pressão de 6,1 a 7,5 atm, em temperatura de 125 a 160 °C, por um período de 6 a 12 horas, sendo a polpa menos resistente. (TEIXEIRA et al, 2017)

(c) Branqueamento da celulose

Após a etapa anterior a polpa apresenta uma coloração marrom por conta da lignina residual na mistura. O processo de branqueamento visa branquear a polpa celulósica por meio da remoção ou modificação de substâncias químicas capazes de proporcionar cor à polpa. O objetivo principal desta etapa é melhorar as propriedades ópticas da polpa celulósica, considerando mínima danificação da fibra, baixo custo e mínimo impacto ao meio ambiente. (AZEVEDO, 2011).

(d) Refinação

Trata-se de um processo mecânico a qual a polpa é submetida, com auxílio de disco refinador com diversas lâminas rotativas, com a finalidade de tornar as fibras mais flexíveis e com maior área específica, requisitos fundamentais para o processo de fabricação da folha de papel, sendo esta uma operação de suma importância para a etapa de

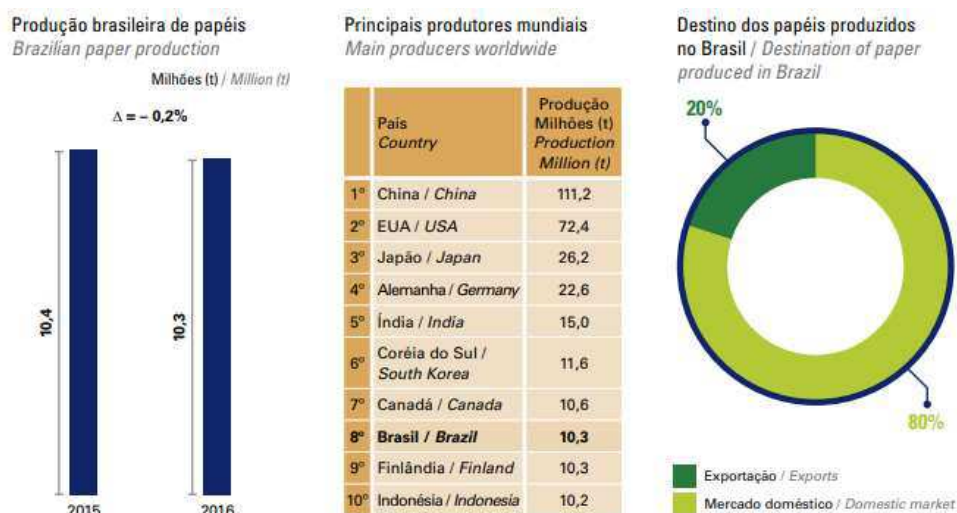
desaguamento e secagem da folha na máquina de papel, além das propriedades do papel a ser produzido (CLARK, 1978 apud BARBOSA, 2015). Durante o processo, as macromoléculas de celulose são hidratadas, ou seja, há a penetração de moléculas de água entre as moléculas de celulose por meio do rompimento das pontes de hidrogênio entre as moléculas de celulose. A partir dessa hidratação ocorre o inchamento das fibras, aumentando sua flexibilidade. (GIERTZ, 1993).

(e) Secagem e papel acabado

[...]”A formação de papel é feita a partir de uma suspensão da polpa em água, podendo ser adicionados nessa suspensão aditivos para dar uma maior resistência ao papel, alterar a textura e o brilho, entre outros. Esta suspensão é peneirada, as fibras ficam retidas e formam um filme de celulose, o qual após a secagem se torna a folha de papel. Na indústria, esse processo é feito em regime contínuo, usando esteiras e rolos compressores que produzem o papel na forma de grandes bobinas.” (TEIXEIRA et al, 2017).

O relatório anual da Indústria Brasileira das Árvores determina que, apesar da retração volumétrica de 0,2% da produção brasileira de papel de 2016 em comparação com o ano antecedente, a produção anual totalizou 10,3 milhões de toneladas com 90% da destinação dos papéis para o mercado doméstico, elevando para a oitava posição o país na colocação no ranking mundial de produtores de papel, posição semelhante também ao de maiores consumidores de papel (IBÁ, 2017).

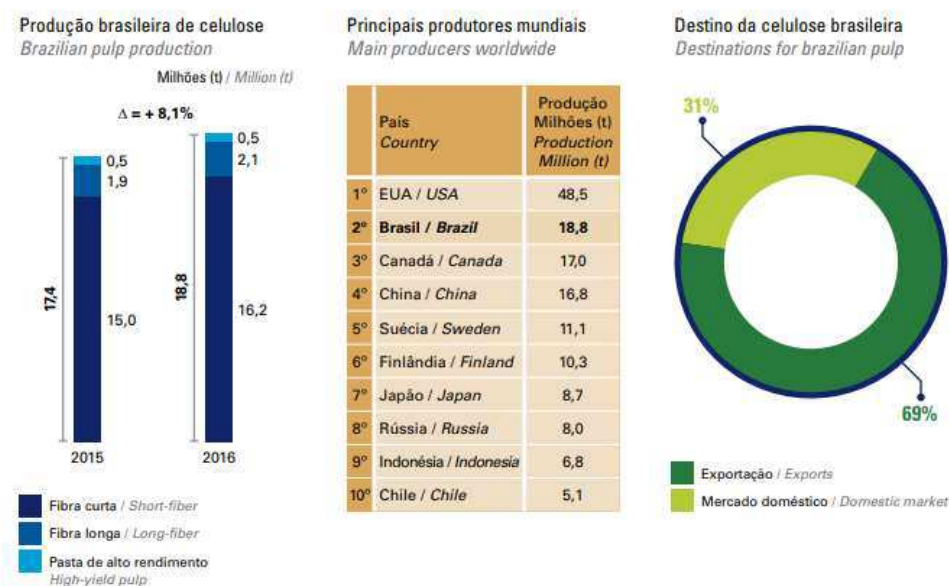
Figura 15 - Produção de papel no Brasil.



Fonte: IBÁ, 2017.

A produção de celulose no Brasil, segundo a IBÁ (2017), chegou ao patamar de 18,8 milhões de toneladas, com um aumento de 8,1% em relação ao ano de 2015. O volume de exportação atingiu 12,9 milhões de toneladas, com um aumento de 11,9% em relação ao ano anterior. Com esses resultados, o Brasil subiu duas posições, alcançando a segunda colocação no ranking de maiores produtores mundiais, consolidado no mercado da celulose mundial.

Figura 16 - Produção de celulose no Brasil.



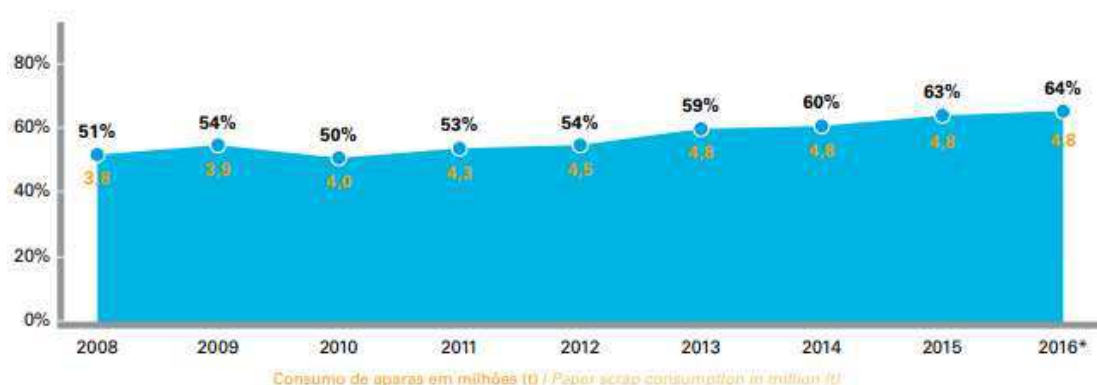
Fonte: IBÁ, 2017.

Os investimentos em tecnologia na área propiciaram, nos últimos anos, um crescimento considerável para a Indústria de Papel e Celulose, no Brasil. Em contraste ao crescimento, tem-se a preocupação com a exploração de recursos naturais e os possíveis impactos ambientais gerados. O esgotamento do recurso, sua produção e descarte excessivo sem uma destinação final adequada são tópicos a serem analisados, já que a Indústria de Papel e Celulose é uma das maiores no país.

2.10. A reciclagem de papel no Brasil

Além de ser um grande produtor de papel, o Brasil apresenta altas taxas de recuperação deste material, sendo um dos principais recicladores do mundo. Em 2016, de acordo com o relatório anual da IBÁ (2017), estima-se que 4,8 milhões de toneladas foram reaproveitadas para o processo produtivo de papel, equivalendo a 64% de todo papel consumido no Brasil, apresentando uma melhoria em relação ao seu ano anterior, de acordo com a figura 17:

Figura 17 - Crescimento da reciclagem de aparas de papel no Brasil.



Fonte: IBÁ, 2017.

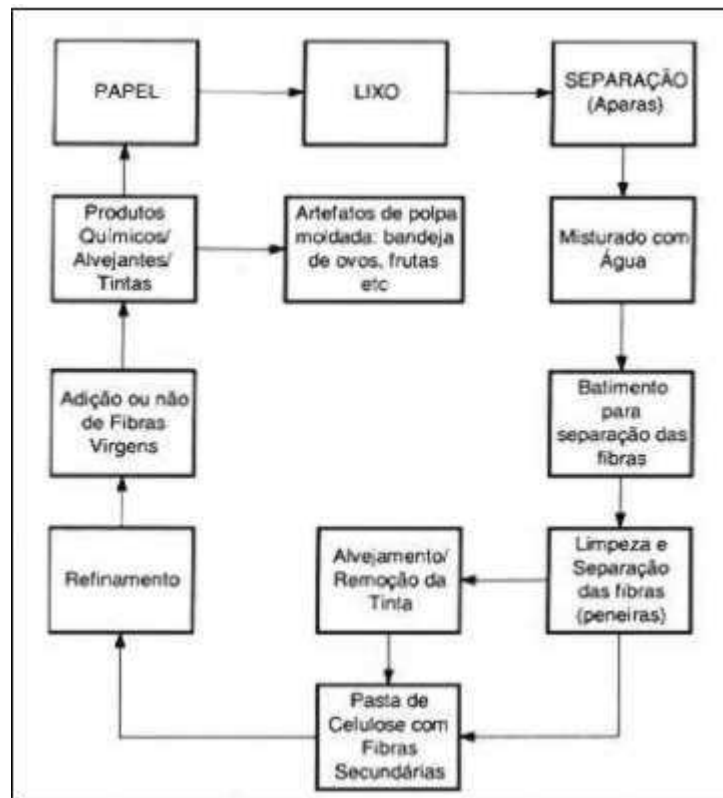
Antes da reciclagem, o papel deve ser previamente separado de outros detritos para que não haja interferência de outros materiais com composições diferentes durante o processo de reciclagem. Para que haja um processo homogêneo de reciclagem é de suma importância que a coleta dos materiais recicláveis seja feita de maneira adequada, de forma que outros materiais que estejam associados ao papel (plásticos, papéis ligados a outros materiais como embalagens aluminizadas, entre outros) sejam excluídos. (GRIGOLETTO, 2011).

O processo de reciclagem, conforme Grigoletto (2011), pode ser realizado de duas maneiras distintas:

- Reciclagem dentro da indústria de papel e celulose;
- Reciclagem artesanal.
- Reciclagem dentro da indústria de papel e celulose

Este processo utiliza como matéria-prima para reciclagem aparas de papel, que são materiais classificados como pré-consumo, ou seja, são resíduos do processo industrial de fabricação do papel, conforme definição do Instituto Centro de Capacitação e Apoio ao Empreendedor (CENTROCAPE). As aparas são submetidas ao controle de qualidade e estocado. As aparas mais antigas são transportadas por meio de esteiras para moer o papel na presença de água, transformando a mistura em polpa. Por meio de uma bomba, a polpa é sugada para a retirada de possíveis plásticos, seguido por um processo de retirada de impurezas. Em seguida, aditivos são adicionados à mistura no refinamento, posteriormente há uma retirada da umidade excedente, acerto da gramatura do papel para mais uma vez haver a secagem, dessa vez, em rolos. Por fim, há a formação do rolo de papel em bobinas locadas para o controle de qualidade, venda e armazenamento (GRIGOLETTO, 2011).

Figura 18 - Processo de reciclagem das aparas de papel.



Fonte: GRIGOLETTO, 2011.

- Reciclagem artesanal

A reciclagem caseira ou artesanal tem como matéria-prima papeis usados, que são diferentes tipos de papeis e artefatos descartados após o seu uso. O papel, conforme Grigoletto (2011), usado é picado em pequenos pedaços, posto de molho em água para a retirada de impurezas. Em sequência, o papel picado é liquidificado com água, formando uma pasta. Esta pasta é posta em uma caixa plástica, em seguida, posiciona-se uma tela de náilon na caixa plástica, para que a pasta seja moldada no formato da tela. Por fim, o papel reciclado é retirado, prensado para a retirada de água excessiva e posto para secagem, assim, após a secagem o papel reciclado está pronto para uso.

2.11. A problemática do papel

Com índices de produção e consumo elevados, surgiram complicações e questionamentos quanto ao manuseio do material. A alternativa sugerida, com potencial econômico e socialmente aceitável é a reciclagem deste papel, visando, de acordo com Fonseca (2013), a preservação de recursos naturais (matéria-prima, energia e água), a minimização da poluição e a diminuição da quantidade de lixo que vai para os aterros.

Apesar da prática de reciclagem, no Brasil, ser bastante difundida, ainda existem limitações quanto a este processo. Segundo Cardoso et al. (2013, apud RECICLOTECA, 2013), o papel apresenta uma quantidade de reciclagem máxima em comparação aos outros materiais classificados como recicláveis. São estimadas 4 a 6 ciclos de processamento para alcançar o limite da reciclagem por conta das fibras do papel sofrerem alterações no comprimento e perderem material fibroso, comprometendo suas características físicas.

Em suma, pode-se inferir que a adição de papel reciclado em concretos de baixa resistência requer estudos laboratoriais, com o intuito de apresentar dados que corroborem a possibilidade de aplicação do material, visto que são necessárias novas alternativas para uma oferta crescente, o papel reciclado em seu limite de reuso, atualmente sem uma função definida.

2.12. Outros estudos de aplicação de papel em matrizes cimentícias

No Brasil e no âmbito mundial observa-se a preocupação com o descarte de materiais, em especial o papel descartado sem finalidade adequada e o papel residual da indústria de papel e celulose. Diversos estudos foram realizados por pesquisadores para

analisar a interferência das fibras de celulose ao se adicionar, ou em alguns casos, substituir parcialmente o cimento, este material em matrizes cimentícias, desde argamassas a blocos de concreto.

Ahmadi e Al-Khaja (2001) realizaram estudos iniciais utilizando lodo de papel residual, obtido em indústrias de papel e celulose. O material substituiu parcialmente a areia utilizada na mistura, sendo o traço utilizado de 1:3:6, em massa. Cinco misturas foram realizadas com 0%, 3%, 5%, 8% e 10% para maior obtenção de dados acerca das alterações em suas características físico-mecânicas, tais como: absorção de água, densidade, resistência à tração, compressão e flexão. Os resultados demonstraram que quanto maior a quantidade de lodo utilizada, as resistências apresentavam redução, e a absorção de água apresentou acréscimo. A porcentagem adequada de lodo foi de 5%, na qual obteve-se resultados satisfatórios para aplicação em blocos de concreto sem função estrutural.

Alves (2016) avaliou a influência da adição de fibras de celulose, nas características dos blocos de concreto não estrutural (vedação), provenientes do papel kraft, obtido a partir de sacos de cimento. A adição foi realizada em relação a massa de material seco, em dois traços diferentes. Os resultados obtidos apresentaram dados interessantes como: a adição de fibras nos blocos não interferiu nas dimensões finais do bloco, bem como apresentou-se um aumento na absorção de água.

Santos e Carvalho (2011) avaliaram argamassas com fibras de papel kraft, também provenientes de embalagens de sacos de cimento, tanto por substituição como por adição das fibras. Entre as alternativas propostas a que apresentou melhor possibilidade de aplicação foi a substituição de 10% da massa de areia, apta para aplicação em alvenaria de vedação de blocos cerâmicos. Os dados obtidos foram: melhoria de 17% em sua resistência de aderência e valores semelhantes para a resistência à compressão comparada com a argamassa de referência.

Silva (2002) avaliou a durabilidade de compósitos produzidos com escória de alto-forno reforçados com fibra de celulose, a partir de ensaios de envelhecimento, que simulavam ação do tempo outros agentes e mecanismos de degradação por meio de ciclos de molhagem e secagem à carbonatação. Os resultados demonstraram a eficiência da incorporação das fibras, com melhoria nas propriedades mecânicas do compósito, porém, a durabilidade do material apresentou respostas diferentes de acordo com o tipo de matriz utilizada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

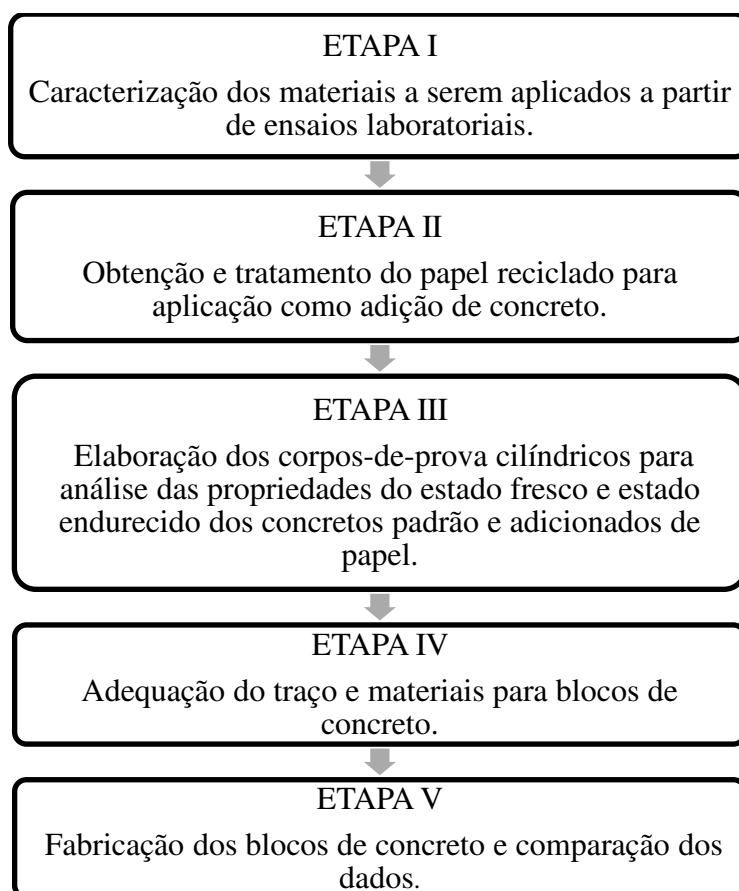
Neste capítulo será abordado a metodologia aplicada para o desenvolvimento do estudo, os tipos de materiais que foram utilizados e a normatização que serviu como base para os ensaios laboratoriais realizados.

O estudo experimental originou-se da necessidade de averiguar a possibilidade de aplicação das fibras de celulose provenientes do papel reciclado, sendo este um resíduo sólido em abundância e sem destinação final adequada, como adição em blocos de concreto vazados para alvenaria de vedação, do tipo C. O estudo experimental proposto, além de apresentar dados comparativos entre os blocos de concreto com e sem a adição do papel reciclado, apresenta também as possíveis interferências causadas pela adição do papel na matriz cimentícia. A metodologia propõe a destinação final e ambientalmente correta deste resíduo, que vem se apresentando cada vez mais presente devido a sua limitação de uso, visto que as fibras de celulose sofrem encurtamento no processo de reciclagem.

3.1. Planejamento experimental

O estudo proposto foi dividido em cinco etapas, conforme o fluxograma apresenta abaixo:

Figura 19 - Fluxograma de desenvolvimento dos processos laboratoriais.



Fonte: AUTORA, 2018.

A etapa I trata-se da obtenção e caracterização dos materiais utilizados, tais como agregados graúdos, miúdos e aglomerante. Para que seja realizada a posterior dosagem do concreto, é necessário que se tenham dados como a granulometria dos agregados graúdos e miúdos, e também a massa específica de todos os componentes da mistura.

A etapa II trata-se da coleta da matéria-prima e definição do tipo de processo aplicado para que a matéria-prima papel esteja apta para utilização na mistura. Nesta etapa são apresentados dados de obtenção do papel, bem como o procedimento adotado para alterar a forma inicial do papel, de maneira a possibilitar sua incorporação na composição do concreto.

Em seguida, a etapa III aborda o processo de moldagem de corpos-de-prova (CPs) cilíndricos 10x20 cm com cinco diferentes porcentagens de papel reciclado adicionado à mistura, tais sejam em 0%, 5%, 10%, 15% e 20% em relação ao volume de cimento considerado, afim de encontrar o teor adequado de adição. Nesta etapa tem-se também os

dados obtidos para os diferentes abatimentos dos concretos em estado fresco, resistências à compressão e absorções de água em estado endurecido.

Na etapa IV tem-se a adequação dos materiais e traço aplicados na etapa II a partir da troca do agregado graúdo, variação no fator água/cimento previamente aplicado, e por fim, mudança no tipo de cura adotada para os CPs, de maneira a assimilar o processo de fabricação com a de blocos de concreto na região.

A etapa V apresenta a moldagem dos blocos de concreto com e sem o teor ótimo de papel reciclado adicionado, bem como os resultados de ensaios de resistência à compressão, absorção de água e análise dimensional dos blocos, demonstrando assim a influência da incorporação desta adição e possíveis alterações nas características físico-mecânicas dos blocos.

3.2. Etapa I

Antes de iniciar qualquer procedimento de moldagem de corpos-de-prova ou de blocos de concreto é necessária a caracterização dos materiais constituintes do concreto, pois estes componentes devem ser utilizados para a confecção de concreto se corresponderem os requisitos determinados por norma. Conforme os estudos realizados durante a introdução e referencial teórico, pode-se afirmar que para a fabricação adequada do concreto é imprescindível a obtenção de seus constituintes, sendo estes os agregados, graúdo e miúdo, o aglomerante e, em suas devidas proporções, a água.

Os materiais obtidos para este estudo foram coletados a partir de uma empresa local da região metropolitana da cidade de São Luís, locada no bairro do São Cristóvão, próximo à Universidade Estadual do Maranhão. Os ensaios de caracterização de agregados graúdos, agregados miúdos e Cimento Portland foram efetuados no Laboratório de Concreto e Materiais da Universidade Estadual do Maranhão (LABCOM/UEMA), de acordo com a normatização descrita na tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização dos materiais componentes.

Caracterização dos materiais componentes		
Ensaio	Materiais Ensaados	Norma
Massa específica	Areia, Brita e Cimento	ABNT NBR 9776:1987, AMN NBR NM 53:2009 e AMN NBR NM 23:2000

Umidade	Areia	DNER-ME 213/94
Granulometria	Areia e Brita	AMN NBR NM 248:2003 e ABNT NBR 7211:2005

Fonte: AUTORA, 2018.

3.2.1. Areia

Por ser um estudo experimental, à princípio, não há uma especificação em torno do tipo de agregado, tanto graúdo quanto miúdo, a ser considerado. Por questões de conformidade com a norma, a autora optou por obter uma areia média lavada de uma distribuidora de materiais de construção local, que não houvesse materiais orgânicos que pudessem comprometer o produto final. A partir desta escolha, a areia foi devidamente ensacada e armazenada de forma que não houvesse mistura ou contato com água excessiva ou agentes contaminantes.

Figura 20 - Areia devidamente armazenada.



Fonte: AUTORA, 2018.

Para este material, os seguintes ensaios foram realizados:

- Massa específica da areia por meio do frasco Chapman, segundo a ABNT NBR 9776:1987;
- Granulometria da areia, de acordo as especificações para concreto da AMN NM 248:2003 e conforme as determinações de peneiras especificadas na ABNT NBR 7211:2005;
- Umidade da areia, a partir do uso de cápsulas segundo a normatização DNER-ME 213/1994.

3.2.1.1. Massa específica da areia

Para que a seja possível realizar o cálculo da dosagem adequada dos compósitos do concreto, é imprescindível que se tenha informações sobre a massa específica do agregado miúdo a ser utilizado. Tendo em vista que a massa específica é, conforme definição da ABNT NBR 9776:1987, é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis, e dessa forma, para que seja realizado um traço em massa na fabricação de corpos de prova do concreto, é necessário a realização do ensaio da determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Para a realização deste método de acordo com a normatização vigente, alguns equipamentos se fizeram necessários, como por exemplo:

- Balança, que deve ter capacidade mínima de 1 kg e sensibilidade de 1 g ou menos;
- Frasco, que deve ser de vidro e composto de dois bulbos e de um gargalo graduado. No estrangulamento existente entre os dois bulbos deve haver um traço que corresponde a 200 cm³, e acima dos bulbos situa-se o tubo graduado de 375 cm³ a 450 cm³;
- Funil de vidro para ajudar na inserção de areia no Frasco Chapman.

Ao iniciar o procedimento, devem ser pesados 600 g de areia (agregado miúdo) para enfim executar o ensaio de acordo com a ABNT NBR 9776:1987. Logo após serem pesados 600 g do material, ele deve ir à estufa com temperatura de aproximadamente 110° +/- 5° e 24 hrs +/- 4 hrs depois, deve ser retirado. Ressalta-se que o ensaio foi realizado duas vezes, conforme demonstram as figuras 21 (a) e (b), para maior precisão dos resultados.

Figura 21 - Pesagem do material úmido. (a) Amostra 1 (b) Amostra 2.



Fonte: AUTORA, 2018.

Encheu-se o frasco Chapman com água destilada, até o nível compreendido a marca de 200 cm³ conforme a figura 22 (a), deixando-o em repouso por alguns minutos para que a água em suas faces internas pudesse escorrer por completo. Em sequência, 500 g do material foram pesados de acordo com a figura 22 (b), após sua secagem em estufa, e por fim, a amostra de agregado miúdo seco foi introduzida no frasco Chapman cuidadosamente de maneira que não houvesse desperdício de material. O frasco foi agitado vagarosamente para a liberação das bolhas de ar internas.

Figura 22 - Ensaio de massa específica. (a) Preenchimento do Frasco Chapman (b) Pesagem do material.



Fonte: AUTORA, 2018.

O ensaio é finalizado ao se obter a leitura do nível final (L) atingido, indicando assim em valores volumétricos a alteração obtida ao se incorporar a areia no frasco, conforme a figura 23(a) e (b) apresentam. É importante frisar que deve-se esperar alguns minutos antes

de se realizar a leitura final, de maneira que não haja grãos presos na superfície lateral do frasco. O cálculo da massa específica é realizado a partir da equação (3.1). Os valores das leituras finais obtidas estão presentes no apêndice A.

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (3.1)$$

Onde γ , é a massa específica do material ensaiado, em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3), L , leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo), em centímetro cúbico (cm^3).

Figura 23 - Ensaio de massa específica em andamento. (a) Frasco Chapman preenchido com água e agregado. (b) Detalhe da variação de volume.



Fonte: AUTORA, 2018.

3.2.1.2. Granulometria da areia

Para que se verifique a possibilidade de utilização de determinado agregado miúdo como componente do concreto é necessário que haja a comparação entre a composição granulométrica do material e a composição aceitável pela ABNT NBR 7211:2005. A metodologia executada para a obtenção da composição granulométrica do agregado em questão está em conformidade com a AMN NBR NM 248:2003, esta por sua vez, apresenta informações referentes à aparelhagem, amostragem, ensaio e resultados. Para a realização deste método de acordo com a NM 248:2003, são necessários alguns equipamentos, como por exemplo:

- Balança, com capacidade mínima de 5kg e resolução de 0,1g.

- Estufa, para secagem do material.
- Bandejas, para posterior pesagem do material.
- Jogo de peneiras, da série normal e intermediária com tampa e fundo de maneira a atender o agregado graúdo.
- Agitador mecânico de peneiras, para facilitar o processo de peneiramento.

A amostra de ensaio foi obtida após seguir os procedimentos de amostragem definidos pela NM 26, bem como a redução da amostra de campo para ensaios laboratoriais, conforme a NM 27. O processo de redução pelo método do quarteamento, conforme a figura 24, foi considerado até que fosse atingida a quantia de massa mínima em relação à dimensão máxima nominal do agregado, conforme a tabela 3. A quantia mínima para a dimensão do agregado comercialmente conhecido como areia foi de 0,3 kg.

Tabela 3 - Determinação da massa mínima para amostra de ensaio.

Massa mínima, por amostra de ensaio	
Dimensão máxima nominal do agregado, mm	Massa mínima da amostra de ensaio, kg
< 4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

(*) Após secagem.

Fonte: ABNT, 2003.

Figura 24 - Processo de quarteamento em andamento.



Fonte: AUTORA, 2018.

Por especificação da norma, duas amostras foram obtidas, totalizando 2 kg. É válido salientar que o diâmetro máximo adotado para a areia foi menor que 4,5 mm. Como o mínimo por norma era de 300 g, resolveu-se pegar 1 kg, para garantir maior precisão no ensaio, por amostra. As duas amostras foram submetidas a secagem por estufa durante aproximadamente 24 horas. Após o período anteriormente citado, as amostras foram retiradas da estufa, esfriando à temperatura ambiente para possibilitar o manuseio do material. As peneiras que compõem o conjunto foram separadas e limpas individualmente, para em seguida, serem encaixadas em ordem crescente de abertura de malha, da base para o topo. Em sua base, encaixou-se um fundo para evitar perda de material passante na última peneira. A amostra 1 foi colocada cuidadosamente a partir da abertura superior do conjunto de modo a evitar a formação de camadas que impeçam a passagem do material. A ordem das peneiras, encontra-se no anexo A e a zona granulométrica a ser atendida é descrita conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Zonas granulométricas e ordem das peneiras.

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

NOTAS

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

Fonte: ABNT, 2005.

Por fim, o jogo de peneiras é selado com uma tampa e ajustado para o agitador mecânico. A velocidade de agitação é controlada pelo painel do dispositivo, no qual foi especificado uma agitação de nível médio por um tempo razoável. Em sequência, o jogo de peneiras foi retirado do agitador, e as peneiras foram destacadas seguindo a ordem do topo para a base. Os materiais retidos em cada peneira foram retirados e pesados, e o procedimento anteriormente descrito foi repetido para a amostra 2. Os resultados obtidos para as duas amostras de agregado miúdo estão presentes no apêndice B.

3.2.1.3. Umidade da areia

A determinação da umidade do agregado miúdo consiste em mensurar a quantidade de água presente nos espaços entre os grãos do material em questão. Este índice é de suma importância na medida em que a água interfere no cálculo do traço de compostos utilizando a areia como agregado. De acordo com a DNER-ME 213:1994, a umidade do agregado miúdo é a relação entre a massa de água presente em um certo volume de solo e a massa das partículas sólidas, no mesmo volume, expressa em porcentagem. A aparelhagem necessária para a elaboração do ensaio inclui a presença dos seguintes aparelhos:

- Estufa elétrica, controlada automaticamente por termostato, capaz de manter a temperatura continuamente entre 110° +/- 5° C.
- Balanças de resolução com 0,1% da massa da amostra de solo.
- Recipientes de material resistente à corrosão e infenso à mudança de massa ou desintegração, quando submetidos a repetidos ciclos de aquecimento e resfriamento.

É válido ressaltar que o ensaio foi realizado três vezes devido a não constância na umidade da areia. Logo, o resultado encontrado é resultante de uma média de três amostras. De acordo com a DNER-ME 213:1994 deve-se coletar uma amostra do material do qual se deseja determinar o teor de umidade, na quantidade prescrita pelo método de ensaio que se estiver executando. Caso não haja indicação desta quantidade, deve-se adotar as massas mínimas especificadas em norma, conforme a tabela abaixo:

Tabela 5 - Massa mínima da amostra úmida em relação ao tamanho mínimo de partículas.

Tamanho máximo das partículas, mm (peneira)	Massa mínima da amostra úmida, g
0,42 (n° 40)	10
4,8 (n° 4)	100
12,5	300
25	500
50	1000

Fonte: DNER, 1994.

Desta forma, considerou-se uma massa úmida de 60 g para cada recipiente (cápsula) de forma a suprir a massa mínima da amostra. Ao iniciar o procedimento de ensaio, as cápsulas tiveram suas massas aferidas (m), conforme a figura 25 (a) em sequência a massa das cápsulas com areia úmida (m_{bu}) foi obtida antes de entrar em processo de secagem na estufa, conforme apresenta a figura 26 (b).

Figura 25 - Procedimento da umidade da areia. (a) Pesagem da cápsula (b) Pesagem do conjunto cápsula-agregado úmido.



Fonte: AUTORA, 2018.

Após aproximadamente 24 horas de secagem em estufa de acordo com a figura 26, em temperatura de $105^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$, afere-se a massa seca da areia e cápsulas (m_{bs}), finalizando-se assim o procedimento de ensaio para obtenção da umidade da areia. A equação (3.2) apresenta o cálculo a ser realizado. Todos os valores das cápsulas utilizadas, suas numerações e dados obtidos neste ensaio se encontram no apêndice A.

$$h = \frac{m_{bu} - m_{bs}}{m_{bs} - m} \times 100 \quad (3.2)$$

Onde m_{bu} é massa bruta úmida correspondente à massa do recipiente mais a amostra de material úmido, em gramas (g), m , massa do recipiente, em gramas (g) e m_{bs} a massa bruta seca correspondente à massa do recipiente mais a amostra do material seco, em gramas (g).

Figura 26 - Cápsulas do ensaio durante o processo de secagem na estufa.



Fonte: AUTORA, 2018.

3.2.2. Brita

O agregado graúdo aplicado neste estudo foi obtido em uma distribuidora de materiais de construção local, a qual definiu comercialmente o material como uma “brita 0”. A brita obtida foi, durante o processo de obtenção, levemente umidificada para a retirada das impurezas, devidamente armazenada e ensacada de maneira que não fosse contaminada por agentes externos.

Figura 27 - Brita armazenada devidamente em laboratório.



Fonte: AUTORA, 2018.

Para este material, os seguintes ensaios foram realizados:

- Massa específica aparente da brita pelo método do fracionamento de amostras, segundo a ABNT NBR 9776:1987;
- Granulometria da brita, de acordo as especificações para concreto da AMN NM 248:2003 e conforme as determinações de peneiras especificadas na ABNT NBR 7211:2005.

3.2.2.1. Massa específica aparente da brita

Para a obtenção da densidade aparente do agregado graúdo, necessária para o cálculo de dosagem segundo o traço a ser utilizado posteriormente, a AMN NBR NM 53:2009 foi adotada. A partir desta norma tem-se a aparelhagem, amostragem, procedimento e cálculo da massa específica. A aparelhagem para este ensaio consiste em:

- Balança, com capacidade mínima de 10kg e resolução de 1g.
- Estufa, para secagem do material.

- Recipiente, em formato de cesta metálica com capacidade de conter e impedir a perda de material da amostra em estudo.
- Tanque de água, para submergir a cesta preenchida com o material em estudo.

A amostragem foi realizada em conformidade com a NM 26 e reduzida pelo método do quarteamento, de acordo com o procedimento exigido pela NM 27. Pela tabela de massa mínima de amostra para o ensaio da NM 53, tem-se que, para dimensão característica máxima de 12,5 mm, por ser uma brita comercialmente conhecida como “brita zero”, adotou-se como massa mínima 2 kg, desta forma, duas amostras de 2 kg foram consideradas para este ensaio. Em sequência, as amostras foram lavadas por completo, para remoção de possíveis resíduos, e levadas a estufa durante 24 horas. Após as 24 horas na estufa, o material é levado a temperatura ambiente durante aproximadamente 3 horas para esfriar e ser possível manuseá-lo, e sua massa é aferida.

Figura 28 - Amostras em imersão de água para saturação.



Fonte: AUTORA, 2018.

Os valores iniciais, m_i , das duas amostras são coletados e em sequência são submersas em água por um período de 24 horas conforme a figura 28, sendo fracionados posteriormente para melhor manuseio e precisão dos resultados conforme a normatização propõe. Após as 24 horas, as amostras foram retiradas da água, envolvidas por um pano absorvente para retirada da água superficial em torno do agregado, de forma a não evaporar a água presente nos poros da amostra. Ao enxugar, imediatamente as amostras foram separadas em suas respectivas frações em cestas metálicas e pesadas, obtendo-se o valor do agregado saturado com superfície seca, m_s , conforme as figuras 29 (a) e (b) demonstram:

Figura 29 - Procedimento de ensaio (a) Secagem da brita (b) Pesagem da brita saturada seca superficialmente.



Fonte: AUTORA, 2018.

Com as frações devidamente especificadas, prepara-se o tanque de água. Este, por sua vez, será posicionado acima da balança que será zerada. Com um suporte, posiciona-se uma cesta metálica vazia dentro do tanque de água e zera-se novamente a balança. Desta forma, as frações anteriormente separadas são utilizadas para preencher a cesta metálica vazia, sendo pesados dentro do tanque de água pela balança. O valor obtido é a massa em água, m_a . Findada a pesagem, as frações são locadas em um recipiente e levadas a estufa em uma temperatura de aproximadamente 105 °C. Após 24 horas de secagem o agregado é retirado da estufa, esfriado em temperatura ambiente durante aproximadamente 3 horas e pesado de acordo com suas respectivas frações obtendo-se os valores secos, m , previamente determinadas. A equação (3.3) final para a massa específica segue abaixo. Os valores obtidos neste ensaio estão apresentados no apêndice C.

$$d_p = \frac{1}{\frac{P_1}{d_1} + \frac{P_2}{d_2}} \quad (3.3)$$

Sendo d_p , a massa específica média em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3); P_1 , as porcentagens em massa de cada fração, presentes na amostra original e d_1 , os valores de massa específica de cada fração em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

3.2.2.2. Granulometria da brita

Para que se verifique a possibilidade de utilização de determinado agregado graúdo como componente do concreto é necessário que haja a comparação entre a composição granulométrica do material e a composição aceitável pela ABNT NBR 7211:2005. A metodologia executada para a obtenção da composição granulométrica do agregado em questão está em conformidade com a ANM NBR NM 248:2003, esta por sua vez, apresenta informações referentes a aparelhagem, amostragem, ensaio e resultados. A aparelhagem para este procedimento resume-se em:

- Balança, com capacidade mínima de 5 kg e resolução de 0,1 g.
- Estufa, para secagem do material.
- Bandejas, para posterior pesagem do material.
- Jogo de peneiras, da série normal e intermediária com tampa e fundo de maneira a atender o agregado graúdo.
- Escova de cerda metálica, para retirada do material retido nas malhas das peneiras.
- Agitador mecânico de peneiras, para facilitar o processo de peneiramento.

A amostra de ensaio foi obtida após seguir os procedimentos de amostragem definidos pela ANM NBR NM 26:2001, bem como a redução da amostra de campo para ensaios laboratoriais, conforme a ANM NBR NM 27:2001. O processo de redução pelo método do quarteamento foi considerado até que fosse atingida a quantia de massa mínima em relação à dimensão máxima nominal do agregado, conforme a tabela 3 vista anteriormente da NM 248:2003. A quantia mínima para a dimensão do agregado comercialmente conhecido como “brita 0” foi de 1kg. Por especificação da norma e para garantir maior coerência nos resultados, duas amostras foram obtidas para a realização da granulometria, totalizando 2 kg.

Figura 30 - Quarteamento da brita.



Fonte: AUTORA, 2018.

As duas amostras foram submetidas a secagem por estufa durante aproximadamente 24 horas. Após o período anteriormente citado, as amostras foram retiradas da estufa, esfriando à temperatura ambiente para possibilitar o manuseio do material. As peneiras que compõem o conjunto foram separadas e limpas individualmente, para em seguida, serem encaixadas em ordem crescente de abertura de malha, da base para o topo de acordo com a sequência da tabela 6. Em sua base, encaixou-se um fundo para evitar perda de material passante na última peneira. A amostra 1 foi posicionada cuidadosamente dentro do jogo de peneiras para que não houvesse perda de material.

Por fim, o jogo de peneiras é selado com uma tampa e ajustado para o agitador mecânico. A velocidade de agitação é controlada pelo painel do dispositivo, no qual foi especificado uma agitação de nível médio por um tempo razoável. Em sequência, o jogo de peneiras foi retirado do agitador, e as peneiras foram destacadas seguindo a ordem do topo para a base. Os materiais retidos em cada peneira foram retirados, pesados e sua malha foi escovada para garantir a limpeza da peneira. O procedimento anteriormente descrito foi repetido para a amostra 2. Os resultados obtidos para as duas amostras de agregado graúdo estão presentes no apêndice D. Os limites da zona granulométrica estão presentes no anexo B, e a ordem das peneiras encontra-se no anexo A.

3.2.3. Cimento

Sabe-se que há uma grande quantidade de aglomerantes que apresentam a sua característica de ligação entre as partículas do concreto, porém, por ser o mais comum, o Cimento Portland foi o aglomerante adotado para este estudo. Em relação ao tipo de Cimento, por ser mais comercializado e apresentar maior oferta dentro do mercado local, o Cimento Portland Composto do tipo II (CP-II) foi adotado para este estudo. Para este material, o seguinte ensaio foi realizado:

- Massa específica do Cimento Portland pelo uso do frasco Le Chatelier, conforme a normatização da AMN NBR NM 23:2000.

3.2.3.1. Massa específica do Cimento Portland

Para que seja possível realizar o cálculo da dosagem adequada dos compósitos do concreto, é imprescindível que se tenha informações sobre a massa específica do aglomerante a ser utilizado. Tendo em vista que a massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis, a ANM NBR NM 23:2000 determina os métodos laboratoriais para se obter a massa específica de materiais pulverulentos, nos quais inclui-se o Cimento Portland. O método será aplicado a seguir, pelo uso do frasco Le Chatelier. Para a realização deste método de acordo com a normatização vigente foram necessários alguns equipamentos, como por exemplo:

- Frasco volumétrico de Le Chatelier, que deve ser de vidro e com capacidade de 250 m³ até a marca zero da escala;
- Balança que permita determinar a massa com resolução de 0,01 g;
- Recipiente capaz de conter a quantidade de material cuja massa será determinada;
- Funil, que será utilizado para auxiliar o lançamento do líquido no frasco volumétrico e o funil responsável por orientar a entrada do material no frasco.

Inicialmente, o frasco foi preenchido com querosene até o nível compreendido entre as marcas correspondentes a zero e 1 cm³, conforme figura 31 (a). O frasco foi posicionado no banho de água em posição vertical, onde ficou submerso durante um período de 30 min para equalização das temperaturas dos líquidos do frasco e do banho, conforme figura 31 (b). Após

30 minutos mergulhado em água, retirou-se o frasco do banho termorregulador e registrou-se a primeira leitura, v_i , com aproximação de $0,1 \text{ cm}^3$, conforme figura 31 (c).

Figura 31 - Ensaio de massa específica. (a) Preenchimento do frasco Le Chatelier (b) Submersão em banho termorregulador. (c) Primeira leitura.



Fonte: AUTORA, 2018.

Posteriormente, aferiu-se a massa de 60 g do cimento em estudo para aplicação no frasco, de acordo com a figura 32 (a). Em seguida, introduziu-se o material em pequenas porções no frasco, atentando-se para que não houvesse perda de material e não ocorresse aderência de material nas paredes internas durante o processo, de forma a prejudicar o fluxo descendente do aglomerante, acima do nível do líquido. Para que não houvesse entupimento no pescoço do frasco, aplicou-se a tampa do frasco e o girou em posição inclinada, ou suavemente em círculos horizontais, de maneira que não subissem borbulhas de ar para a superfície do líquido.

Figura 32 - Ensaio de massa específica. (a) Pesagem do aglomerante. (b) Leitura final.



Fonte: AUTORA, 2018.

Por fim, registrou-se a leitura final (v_f) com aproximação de $0,1 \text{ cm}^3$, como mostrado na figura 32 (b). O procedimento de cálculo para obtenção da massa específica do cimento é apresentado na equação (3.4). Assim, as leituras finais e iniciais, (v_i), (v_f), estão presentes no apêndice E.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.4)$$

Onde ρ é a massa específica do material ensaiado, em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3), m , é a massa do material ensaiado, em gramas (g) e v é o volume deslocado pela massa do material ensaiado ($v_f - v_i$), em centímetros cúbicos (cm^3).

3.2.4. Água

A importância da água neste processo é considerável, já que se sabe da importância de uma água própria para o amassamento do concreto, visto que a água inicia o processo de hidratação do cimento e promove a reação química que desencadeia a confecção do concreto. Conforme viu-se anteriormente, a água proveniente do abastecimento público pode ser adotada para a confecção de concreto sem maiores problemas, por isto, nenhum ensaio foi realizado para a água utilizada.

3.3. Etapa II

A coleta da matéria-prima para a obtenção das fibras de celulose é abordada nesta etapa, obtidas a partir de um processo de reciclagem de folhas de papel utilizadas em setores administrativos, para processos rotineiros de impressão e escrita, cedidas por uma repartição pública do Estado do Maranhão. As folhas são do tipo sulfite e formato A4, 210 x 297 mm, gramatura de 75 g/m².

O primeiro tratamento dado as folhas foi de retirada de possíveis impurezas como cliques metálicos ou grampos que possam prejudicar o desenvolvimento do processo de reciclagem. Após a limpeza inicial, o papel foi submetido ao corte por meio de máquina fragmentadora, esta na qual possui discos de corte de aço responsáveis pelo processo, transformando assim a folha em diversas tiras. As longas tiras foram reduzidas a tiras menores por meio de corte manual, conforme as figuras 33 (a) e (b) abaixo:

Figura 33 - Tratamento do papel. (a) Cortes após passagem em fragmentadora. (b) Redução das tiras.



Fonte: AUTORA, 2018.

Em sequência, as tiras obtidas foram submetidas à liquidificação, ou seja, as tiras sólidas foram misturadas com cerca de 1,5 l de água no copo do liquidificador, sofreram o corte mecânico das lâminas e apresentou-se ao fim uma consistência de pasta, conforme as figuras 34 (a) e (b) abaixo:

Figura 34 - Tratamento do papel. (a) Trituração das tiras de papel. (b) Consistência após a trituração.



Fonte: AUTORA, 2018.

A pasta fibrosa colocada em peneiras grandes foi submetida à secagem pela compressão da pasta na tela da peneira, e a partir desta secagem em movimentos circulares pelotas de papel foram formadas (figura 35). O processo de secagem foi realizado até que não se houvesse mais água incorporada nas pelotas de forma a não afetar o fator água/cimento dos traços a serem rodados na betoneira, posteriormente.

Figura 35 - Pelotas após processo de secagem.



Fonte: AUTORA, 2018.

Definiu-se incorporar nos traços diversas porcentagens de papel reciclado, afim de analisar a variação das propriedades físico-mecânicas dos concretos resultantes, logo, as porcentagens de 5%, 10%, 15% e 20% da adição de papel reciclado em relação ao volume de cimento das misturas ficaram previamente estabelecidas.

3.4. Etapa III

A partir do traço padrão definido de 1:2:3:0,6, foram confeccionados corpos-de-prova (CP's) cilíndricos para o concreto padrão e para os concretos adicionados de papel reciclado, com a adição do papel em 5%, 10%, 15% e 20%. Foram considerados 8 CP's para o ensaio de resistência à compressão, com rompimento em pares nos 7, 14, 21 e 28 dias de idade, conforme a ABNT NBR 5739:1994, e 3 CP's para o ensaio de absorção de água, conforme a ABNT NBR 9778:1987, totalizando assim, 55 CP's moldados. É importante frisar que todos os concretos elaborados foram submetidos a ABNT NBR NM 67:1998 para análise da consistência. A tabela 7 se apresenta como resumo dos dados anteriormente definidos.

Tabela 6- Definição da quantidade de corpos-de-prova.

Definição da quantidade de corpos-de-prova			
Tipo de concreto	Quantidade de CP		Normas
Padrão	8	3	ABNT NBR 5739:1994, ABNT NBR 9778:1987 e ABNT NBR NM 67:1998
5%	8	3	
10%	8	3	
15%	8	3	
20%	8	3	
Total: 55 CP's			

Fonte: AUTORA, 2018.

3.4.1. Dosagem do concreto

O material composto do concreto é calculado a partir de sua dosagem de maneira que não haja desperdício de seus componentes e que a proporção seja realizada conforme o traço definido. Os concretos elaborados foram todos misturados por meio da betoneira para melhor homogeneização dos materiais, seguindo a ordem de mistura e preparo, com a sequência de brita, parte da água, cimento, areia e o restante da água. Em casos de adição do papel, este foi posto por último. Os materiais foram previamente separados antes de se começar o preparo, e ao fim do preparo foram locados em CP's cilíndricos 10x20 cm, conforme as figuras 36 (a) e (b) demonstram.

Figura 36 - Moldagem dos corpos-de-prova. (a) Separação do traço. (b) Corpos-de-prova após moldagem.



Fonte: AUTORA, 2018.

Durante o processo de confecção dos CP's o concreto se apresenta em dois estados físicos, conforme o entendimento obtido durante o referencial teórico: o estado fresco, sendo este o primeiro estado onde a argamassa se apresenta como uma pasta fluida e sem rigidez na qual se analisa a sua consistência, e por fim, o estado endurecido, sendo este o último estado onde o concreto apresenta como um sólido com rigidez no qual se analisa sua resistência aos esforços externos e propriedades físicas.

3.4.2. Slump Test

O *slump test* ou abatimento do tronco de cone é realizado quando o concreto ainda se encontra em seu estado fresco, e define como parâmetro a sua consistência, aferida para melhor avaliação e entendimento da mudança de consistência conforme o acréscimo de papel na mistura. O ensaio foi realizado para os seis tipos de concreto preparados, conforme a ABNT NBR NM 67:1998. A aparelhagem necessária para este estudo é:

- Tronco de cone metálico;
- Haste de adensamento;
- Placa de base metálica.

A amostra de concreto a ser ensaiada foi representativa de todo o lote confeccionado, e obtida de acordo com a AMN NBR NM 33:1998 que define a amostragem de concreto fresco. O tronco de cone, a haste de adensamento e a placa de base foram previamente lavadas para retirada de impurezas que pudessem comprometer o teste. O concreto fresco é introduzido no tronco de cone por meio de uma pá, preenchendo e adensando o cone em três camadas distintas, com 25 golpes para cada camada preenchida. Em sequência, retira-se o tronco de cone metálico virando a base para cima. A haste de adensamento serve como guia para o posicionamento adequado da trena, auxiliando na aferição do abatimento obtido, conforme a figura 37.

Figura 37 - Abatimento sendo medido.



Fonte: AUTORA, 2018.

3.4.3. Absorção de água

Para analisar a variação da absorção de água causada pelo acréscimo do papel, o ensaio de absorção é realizado conforme ABNT NBR 9778:1987 para os seis tipos de concreto confeccionados. A norma especifica uma quantidade mínima de três amostras para garantir maior precisão ao identificar o resultado, bem como a aparelhagem, amostragem e o procedimento do ensaio. A aparelhagem para este ensaio resume-se em:

- Balança;
- Tanque de imersão em água para os corpos-de-prova;
- Estufa, para secagem dos corpos-de-prova.

As amostras consideradas para este ensaio foram obtidas a partir da ABNT NBR 5738:2015, obtidas durante a moldagem dos corpos-de-prova. Os corpos-de-prova foram submetidos a secagem durante 72 horas à temperatura constante em estufa. Após o período, as três amostras são pesadas, obtendo-se a massa seca em estufa, M_s , e levadas ao saturamento em tanque de água durante também 72 horas. Por fim, as três amostras são secas superficialmente e pesadas conforme a figura 38, obtendo-se a massa do corpo-de-prova saturado, M_{sat} . A absorção de água é calculada conforme a equação (3.5). Os resultados obtidos para este ensaio encontram-se no apêndice E.

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \quad (3.5)$$

Onde A é a absorção da água, em porcentagem (%), M_{sat} é a massa do corpo saturado, em gramas (g), e M_s é a massa do corpo seco em estufa, em gramas, (g).

Figura 38 - Pesagem do corpo-de-prova saturado.



Fonte: AUTORA, 2018.

3.4.4. Resistência à compressão

Todos os CP's foram moldados e curados conforme a ABNT NBR 5738:2015, com moldes cilíndricos de diâmetros de 10 cm e altura de 20 cm. Após a cura saturada em tanque, o rompimento dos corpos-de-prova foi realizado nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias, conforme a ABNT NBR 5739:1994, sendo esta a norma que especifica a aparelhagem, o procedimento e os métodos de cálculo para a obtenção da resistência à compressão dos CP's. A aparelhagem é definida por:

- Prensa mecânica ou automatizada, para rompimento de corpos-de-prova, devidamente calibrada;
- Anéis para posicionamento dos corpos-de-prova.

As amostras consideradas para este ensaio foram obtidas a partir da ABNT NBR 5738:2015, obtidas durante a moldagem dos corpos-de-prova. Antes do rompimento dos corpos-de-prova submetidos à compressão axial é necessário garantir que a superfície dos CP's estão uniformes e planas para que a força imposta pela máquina não sofra alterações na leitura por deformações ou incoerências na superfície. Para evitar este problema, o capeamento nas faces dos corpos-de-prova é feito, garantindo a planicidade da superfície em contato com a máquina. Após a secagem do capeamento os corpos-de-prova, em suas devidas idades de ensaio, sendo a contagem da idade iniciada no dia da moldagem, estão prontos para serem rompidos. Os CP's são centralizados na máquina, e esta por sua vez, aplica a força axial necessária para o rompimento de cada um dos corpos-de-prova. A leitura exposta na máquina, em tf, é transformada para kgf, e considerando a área circular de aplicação da força com diâmetro de 10 cm do corpo-de-prova. A figura 39 apresenta um CP após seu rompimento. O cálculo para obtenção da resistência à compressão é realizado conforme a equação (3.6). Os resultados obtidos para este ensaio encontram-se no apêndice F.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

Onde σ é a tensão de resistência à compressão, em quilograma-força por centímetro quadrado (Kgf/cm²), F é a força aplicada à ruptura do concreto, em quilograma-força (Kgf) e A é a área de aplicação da força, em centímetro quadrado (cm²). Para obter a tensão em megapascal (MPa) deve-se multiplicar o resultado obtido em Kgf/cm² por 0,098.

Figura 39 - Corpo-de-prova após ensaio.



Fonte: AUTORA, 2018.

3.5. Etapa IV

O teor ótimo de adição de papel no concreto foi definido a partir da etapa anterior, porém, para a produção de blocos de concreto é importante analisar as características de materiais que são utilizados para esta aplicação averiguando a interação papel-materiais, desta forma, esta etapa apresenta a substituição do agregado graúdo, bem como ensaios de caracterização, elaboração de novos CP's com e sem adição de papel, ensaio de resistência à compressão e ensaio de absorção de água.

O fator água/cimento do traço utilizado nas etapas anteriores também foi adequado, tendo em vista que o concreto a ser utilizado em blocos de concreto apresenta maior consistência e é definido como concreto seco, com baixo teor de umidade na mistura. A adequação foi realizada por diversas tentativas no LABCOM, considerando-se a consistência adequada com um fator água/cimento de 0,35. Assim, o traço determinado foi 1:2:3:0,35.

3.5.1. Substituição do agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado nas etapas anteriores foi substituído nesta etapa por outro componente, o pó de brita. Esta substituição se fez necessária por questões de adequação ao formato do bloco, pois como visto no referencial teórico, a dimensão máxima do agregado deve ser menor que a espessura das paredes do bloco. Outro aspecto considerado

por fabricantes é a melhor compactação promovida pelo uso do pó de brita para blocos do tipo de vedação.

Para esta substituição considerou-se novos ensaios de caracterização a serem feitos, além de analisar a variação de possíveis resultados para dois concretos, o primeiro sem adição de papel, e o segundo com adição de 20% de papel em relação ao volume de cimento da mistura. Foram confeccionados 8 CP's para os ensaios de resistência à compressão e 3 CP's para os ensaios de absorção de água, totalizando assim 22 CP's para esta etapa.

Os concretos foram analisados em seus estados endurecidos, visando as alterações em relação aos componentes do concreto a serem aplicados de fato na fabricação dos blocos de concreto. Desta forma, tem-se a tabela 8 como um resumo dos novos ensaios laboratoriais a serem realizados.

Tabela 7 - Resumo dos ensaios a serem realizados novamente.

Substituição do agregado graúdo		
Ensaio	Materiais Ensaiaados	Norma
Massa específica e Granulometria	Pó de Brita	ABNT NBR 9776:1987, AMN NBR NM 248:2003 e ABNT NBR 7211:2005
Resistência à compressão e Absorção de água	Concreto no Estado Endurecido	ABNT NBR 5739:1994 e ABNT NBR 9778:1987

Fonte: AUTORA, 2018.

3.5.1.1. Massa específica do pó de brita

A massa específica para o pó de brita foi obtida a partir do frasco Chapman, visto que a granulometria deste material se assemelha ao de um agregado miúdo e não houve possibilidade de se utilizar o método do fracionamento, aplicado para a obtenção da massa específica aparente da brita. O procedimento do frasco Chapman foi realizado conforme descrito em 3.2.1.1. para obtenção da massa específica, e seus resultados são apresentados no apêndice G.

3.5.1.2. Granulometria do pó de brita

A granulometria do pó de brita foi realizada para a verificação da possibilidade de utilização deste material como componente do concreto é necessário que haja a comparação entre a composição granulométrica do material e a composição aceitável pela ABNT NBR 7211:2005. A metodologia deste ensaio é demonstrada em AMN NBR NM 248:2003, conforme o item 3.2.1.2. deste trabalho determina. Os resultados são apresentados no apêndice H.

3.5.1.3. Resistência à compressão com pó de brita

Os CP's desta etapa foram submetidos ao mesmo tipo de cura adotado para os blocos de concreto para melhor adequação do processo produtivo e comparação dos dados obtidos entre os moldes cilíndricos e os blocos de concreto. A cura adotada para os CP's foi de secagem ao ar livre, sem saturação. O rompimento dos corpos-de-prova foi realizado nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias, conforme a ABNT NBR 5739:1994, e de acordo com o procedimento determinado no item 3.4.3. deste trabalho. Os resultados estão dispostos no apêndice I.

3.5.1.4. Absorção de água com pó de brita

Para analisar a variação da absorção de água causada pela alteração do tipo de agregado utilizado na mistura, esta com e sem adição de papel, o ensaio de absorção é realizado conforme ABNT NBR 9778:1987 para os dois tipos de concreto confeccionados, conforme explicitado no item 3.4.2. deste trabalho. Os resultados estão dispostos no apêndice I.

3.6. Etapa V

A partir do traço modificado anteriormente, com novo fator água/cimento e mudança da brita zero para o pó de brita, e o papel reciclado tratado para aplicação como adição na mistura, tem-se o traço adequado para a confecção dos blocos de concreto para vedação. Esta etapa apresenta a confecção dos blocos de concreto, os requisitos a serem

alcançados e os métodos de ensaio adotados, todos em conformidade com as normas ABNT NBR 12118:2013 e ABNT NBR 6136:2014. A tabela 9 determina os ensaios realizados nesta etapa.

Tabela 8 - Ensaaios a serem realizados para bloco de concreto.

Blocos de Concreto		
Ensaios	Materiais Ensaeados	Normas
Análise Dimensional, Resistência à Compressão, Absorção de água.	Blocos de Concreto	ABNT NBR 12118:2013, ABNT NBR 6136:2014

Fonte: AUTORA, 2018.

3.6.1. Confeção dos blocos de concreto

Os blocos de concreto foram produzidos com auxílio de uma empresa situada na Estrada da Raposa que disponibilizou mão-de-obra e a máquina vibroprensa manual para o desenvolver deste trabalho. A mistura do concreto foi realizada no local por meio de betoneira com capacidade de 600 litros e carregador, com o traço 1:2:3:0,35. As figuras 40 (a), (b) e (c) expõem aspectos da produção dos blocos e a máquina vibroprensa manual utilizada.

De acordo com a ABNT NBR 6136:2014, a quantidade mínima de blocos para os ensaios de resistência à compressão e análise dimensional estão especificadas de acordo com o critério de conhecimento ou não do desvio-padrão de fábrica. Para este estudo, considerou-se não saber o desvio-padrão da fábrica, logo, foram ensaiados por idade, 6 blocos para o ensaio dimensional e resistência à compressão e 3 blocos para o ensaio de absorção de água, totalizando 9 por idade.

A norma determina também que a idade máxima de controle para análise das características físico-mecânicas deve ser de até, no máximo, 28 dias a partir da data de fabricação, logo, para este estudo, considerou-se as idades de 14, 21 e 28 dias para maior coleta de dados sobre a alteração das propriedades devido à adição do papel reciclado. Assim, tem-se a tabela 10 demonstrando a totalidade dos 56 blocos produzidos.

Figura 40 - Fabricação de blocos de concreto. (a) Posicionamento dos materiais na betoneira, (b) Dosagem da água, (c) Vibro-prensa manual utilizada.



Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 9 - Quantidade de blocos de concreto a serem confeccionados.

Definição da quantidade de blocos de concreto				
Tipo de concreto	Quantidade de blocos por idade			Normas
Padrão	9	9	9	ABNT NBR 12118:2013, ABNT NBR 6136:2014
20%	9	9	9	
Total: 54 CP's				

Fonte: AUTORA, 2018.

3.6.2. Análise Dimensional

Conforme a definição da ABNT NBR 12118:2013, a análise dimensional é a verificação das dimensões dos blocos e é necessária para que se tenha blocos homogêneos, garantindo maior uniformidade nos lotes e que não haja a utilização de pastas retificadoras durante o assentamento dos blocos, ocasionando em maiores gastos. A ABNT NBR 6136:2014 determina as dimensões mínimas e aceitáveis para a utilização dos blocos. A aparelhagem, execução do ensaio e seus resultados estão dispostos na norma anteriormente citada. A aparelhagem pode ser resumida em:

- Esquadro de aço, para aferição das alturas, larguras e comprimentos dos blocos.
- Paquímetro, para aferição da espessura das paredes do bloco.

As dimensões dos blocos, largura, altura e comprimento são aferidas no mínimo em três pontos diferentes do bloco, com suas leituras expressas em milímetros (mm). As paredes transversais e longitudinais do bloco são aferidas também, retiradas na face de menor espessura da parede. As figuras 41 (a) e (b) apresentam os blocos armazenados em laboratório, o esquadro de aço e um bloco que teve suas medidas analisadas. De acordo com a ABNT NBR 12118:2013 deve-se calcular a espessura equivalente (mm/m) de acordo com a equação (3.7) pela soma de todas as espessuras transversais, dividida pelo comprimento nominal. Os resultados referentes a este ensaio estão dispostos no apêndice J.

$$e_{eq} = \frac{\sum e_{ti}}{l_{real}} \quad (3.7)$$

Onde e_{eq} é a espessura mínima equivalente expressa em milímetros por metro (mm/m), e_{ti} são as espessuras das paredes transversais do bloco, expressas em milímetros (mm) e l_{real} é o comprimento real do bloco, expresso em metros (m).

Figura 41 - Análise Dimensional. (a) Blocos armazenados. (b) Régua de aço.



Fonte: AUTORA, 2018.

3.6.3. Resistência à Compressão dos blocos de concreto

A resistência à compressão é, conforme determinação da ABNT NBR 12118:2013, a relação entre a carga de ruptura e a área bruta de um corpo-de-prova quando submetido ao ensaio de compressão axial, logo, este ensaio é realizado de acordo com a normatização citada anteriormente com a finalidade de encontrar a carga de ruptura para os blocos de concreto fabricados, de forma a analisar se estes encontram compatíveis com a ABNT NBR 6136:2014, a qual define a resistência característica à compressão axial, em MPa, mínima a ser atingida para blocos de concreto de vedação. O método de ensaio é determinado pela ABNT NBR 12118:2013. A aparelhagem necessária para este procedimento consiste em:

- Prensa automatizada, devidamente calibrada;
- Placas de apoio, sem desníveis e com rigidez suficiente para não interferir no ensaio.

Os blocos foram previamente separados para constituir os corpos-de-prova a serem ensaiados à compressão secos ao ar. Os blocos tiveram suas faces de trabalho regularizadas com uma pasta de cimento e gesso, colocada sobre o molde de capeamento, que deve ser plano e uniforme. As figuras 42 (a) e (b) demonstram o molde de capeamento utilizado e alguns blocos após o processo de capeamento.

Figura 42 - Processo de capeamento. (a) Blocos após o capeamento. (b) Base metálica utilizada para o capeamento.



Fonte: AUTORA, 2018.

Após o capeamento, os blocos de concreto foram submetidos ao ensaio de compressão axial, com seu centro de gravidade coincidindo com as placas de apoio. As idades ensaiadas foram 14, 21 e 28 dias, com 6 blocos por idade. A figura 43 apresenta um ensaio de compressão axial em andamento após a regularização de ambas as faces do bloco.

O cálculo para a obtenção dos resultados individuais é realizado da mesma maneira que se calculam para CP's cilíndricos, porém, por não se ter os dados do desvio-padrão de fábrica, de acordo com a classificação da NBR 6136, deve-se realizar a estimativa conforme a equação (3.8). Os resultados obtidos estão expressos no apêndice K.

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{bi} \quad (3.8)$$

Onde i é definido pela quantidade de blocos da amostra, $f_{bk,est}$, a resistência característica estimada da amostra em megapascal (MPa) e $f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}$ são valores da resistência à compressão individuais dos blocos.

Figura 43 - Rompimento dos blocos de concreto.



Fonte: AUTORA, 2018.

3.6.4. Absorção de água e umidade relativa dos blocos de concreto

A absorção de água é por definição da ABNT NBR 12118:2013 relação entre a massa de água contida no bloco saturado e a massa do bloco seco em estufa, propriedade esta apresentada em porcentagem. A absorção do bloco de concreto deve ser considerada por ser uma propriedade que, caso não esteja de acordo com a normatização vigente, pode prejudicar a integridade dos blocos, levando ao colapso. Os métodos de ensaio estão expostos na ABNT NBR 12118:2013. A aparelhagem necessária consiste em:

- Balança, para aferição das massas dos blocos;
- Estufa, com capacidade para comportar os blocos para a secagem.

Os blocos de concreto são inicialmente pesados, obtendo-se sua massa em condições de ensaio de compressão axial, m . A seguir, os testemunhos são levados à estufa, em uma temperatura constante de 110 ± 5 °C durante o período de 24 horas. Após este período, os blocos são pesados para a obtenção da massa seca, m_1 . Após o período de secagem, os blocos são impostos à saturação total durante 24 horas em tanque e pesados, obtendo-se a massa saturada, m_2 . A figura 44 apresenta três blocos após a saturação com superfície seca. A equação (3.9) determina a absorção de água dos blocos.

$$Ab = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad (3.9)$$

Onde Ab é a absorção da água, em porcentagem (%), m_2 é a massa do corpo saturado, em gramas (g), e m_1 é a massa do corpo seco em estufa, em gramas, (g).

Figura 44 - Blocos após saturação.



Fonte: AUTORA, 2018.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico apresenta os resultados obtidos durante o estudo experimental realizado no item anterior. Cada item exposto a seguir, de acordo com a etapa proposta pelo fluxograma da metodologia aplicada, apresentará os resultados obtidos para cada etapa.

4.1. Resultados da Etapa I

Os resultados a seguir apresentados estão relacionados com a caracterização dos materiais componentes do concreto, bem como a confirmação da possibilidade de uso destes para agregados e aglomerante de concreto, conforme a normatização vigente.

4.1.1. Resultados para massa específica da areia

De acordo com a ABNT NBR 9776:1987, a massa específica do agregado miúdo é determinada mediante a expressão que relaciona a quantidade de massa do material posicionada no frasco Chapman com a variação do volume ocupado pelo conjunto água-agregado. Desta forma, tem-se os resultado para cada amostra, bem como a média definida, conforme a tabela 11.

Tabela 10 - Massas específicas para cada amostra obtida.

Amostra	Massa específica (g/cm³)
1	2,645
2	2,652
Média	2,648

Fonte: AUTORA, 2018.

4.1.2. Resultados para umidade da areia

Como citado anteriormente, de acordo com a DNER-ME 213:1994, a umidade do agregado miúdo é a relação entre a massa de água presente em um certo volume de solo e a massa das partículas sólidas, no mesmo volume, expressa em percentagem. A umidade é calculada a partir da diferença entre a massa úmida do conjunto agregado-cápsula e massa seca do conjunto agregado cápsula, dividido pela diferença entre a massa seca do conjunto agregado-cápsula e massa da cápsula. Três umidades foram obtidas e tirou-se a média para encontrar a umidade final do material em questão. Assim, conforme a formulação acima exposta, os valores encontrados foram resumidos na seguinte tabela, para melhor visualização:

Tabela 11 - Valores de umidade obtidos.

Cápsulas	Umidade (%)
18	2,02
26	2,04
24	2,1
Média	2,05

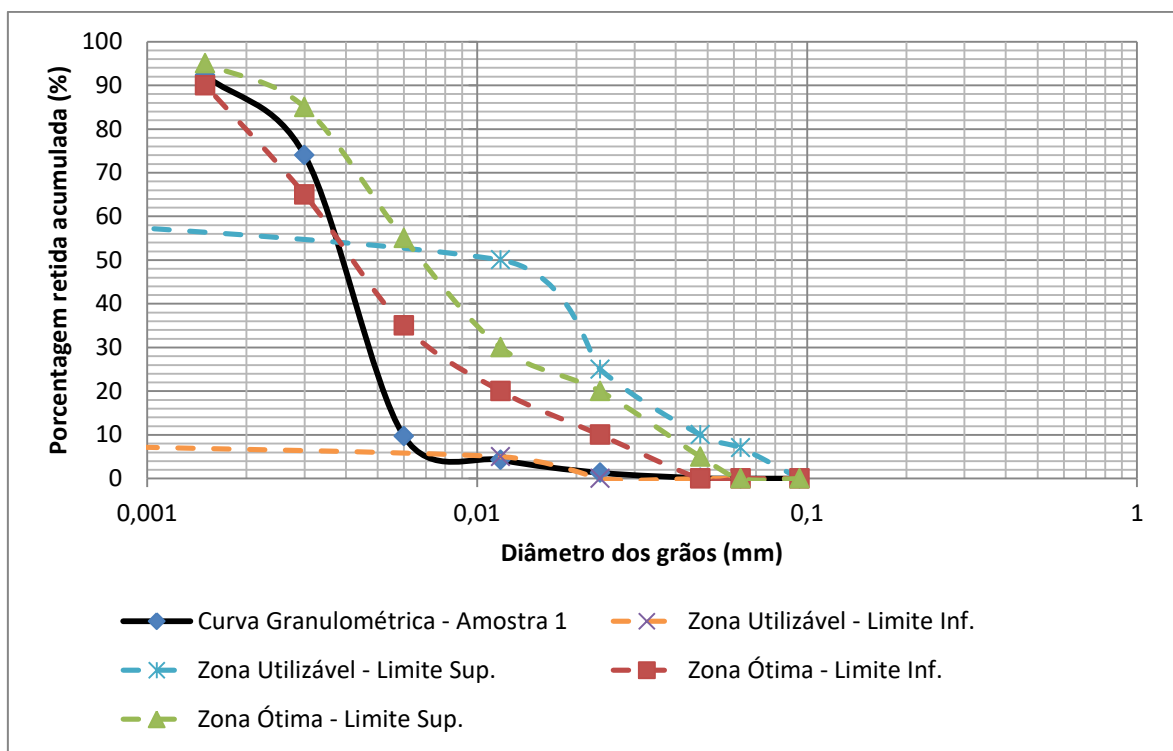
Fonte: AUTORA, 2018.

4.1.3. Resultados para granulometria da areia

A determinação da composição granulométrica da areia foi realizada conforme os requisitos da AMN ABNT NM 248:2003, na qual especifica a série de peneiras a ser utilizada, bem como o procedimento do ensaio, logo, as especificações para os agregados de concreto encontram-se na ABNT NBR 7211:2005.

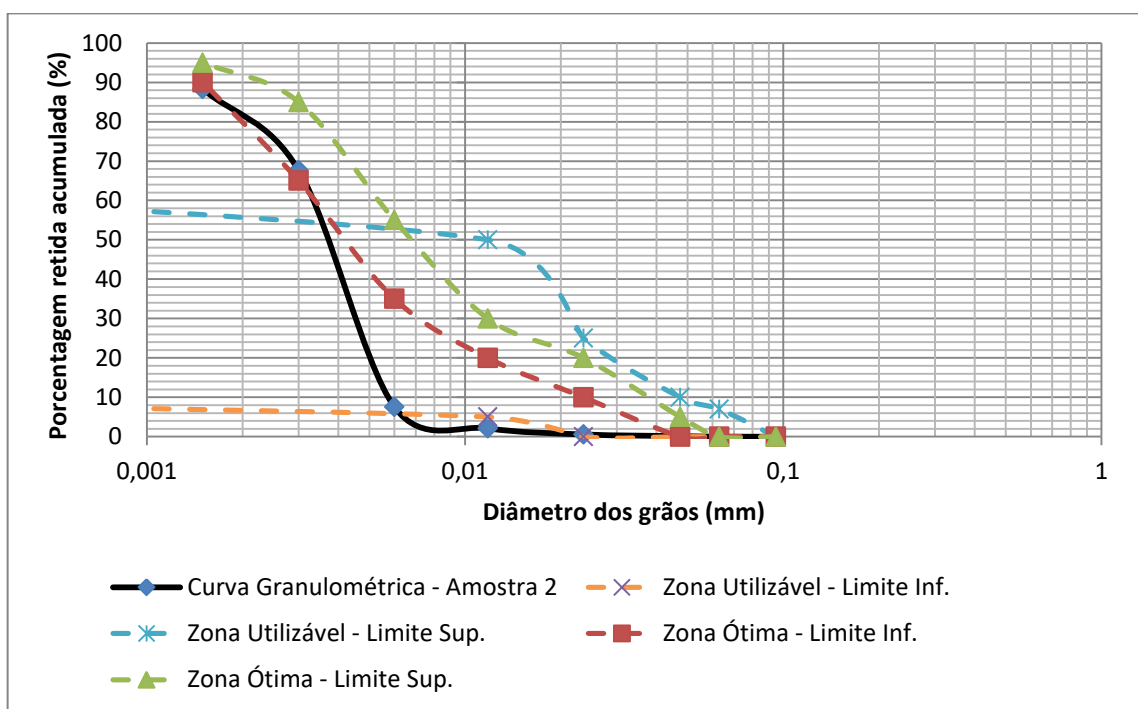
A distribuição granulométrica deve atender aos limites inferiores e superiores, sendo da zona ótima ou da zona utilizável. A norma permite utilizar uma granulometria que não esteja dentro das duas zonas citadas acima para concreto, desde que estudos prévios de dosagem comprovem a aplicação deste material. As figuras apresentam a granulometria das amostras 1 e 2, bem como os limites superiores e inferiores das zonas.

Gráfico 1 - Distribuição granulométrica da areia e limite das zonas para amostra 1.



Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 2 - Distribuição granulométrica da areia e limites das zonas para amostra 2.



Fonte: AUTORA, 2018.

De acordo com a curva granulométrica das amostras acima, os grãos deste material se encaixam nos limites de distribuição granulométrica da norma em sua zona utilizável. Ambas as amostras apresentaram módulo de finura (MF) dentro da zona utilizável inferior, com os valores entre o intervalo de 1,55 a 2,20. A tabela 12 apresenta os valores de MF e MDC para as amostras 1 e 2, corroborando a utilização deste material.

Tabela 12 - Módulo de Finura e Dimensão Máxima Característica das amostras.

Amostras	Módulo de Finura	Dimensão Máxima Característica
Amostra 1	1,66	1,18
Amostra 2	1,82	1,18

Fonte: AUTORA, 2018.

4.1.4. Resultados para massa específica aparente da brita

Conforme especificado pela AMN NBR NM 53:2009, o método fracionado para obtenção da massa específica aparente é obtido a partir da diminuição do tamanho das amostras afim de obter as massas específicas de cada fração para, em seguida, obter a massa específica aparente média. A partir da relação entre a massa ao ar da amostra seca e a

diferença entre a massa ao ar saturada com superfície seca e massa em água saturada com superfície seca, tem-se os seguintes resultados para a massa específica de cada fração:

Tabela 13 - Fracionamento da amostra 1 e suas massas específicas.

Amostra 1	Massa específica Aparente (g/cm³)
Fração 1	1,54
Fração 2	1,56

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 14 - Fracionamento da amostra 2 e suas massas específicas.

Amostra 2	Massa específica Aparente (g/cm³)
Fração 1	1,55
Fração 2	1,55

Fonte: AUTORA, 2018.

A massa específica média é calculada pela relação inversa entre a soma das porcentagens em massa de cada fração em relação a amostra original, divididas pela massa específica obtida para cada fração, conforme demonstrado anteriormente. O cálculo das porcentagens é realizado considerando a massa de cada amostra em sua totalidade, ou seja, após a preparação da amostragem e a secagem do material totalizou-se para a primeira amostra 1891,4 kg e para a segunda amostra 1946,3 kg. A partir desses valores, considerando as frações, após a secagem, adotadas para cada amostra, tem-se as seguintes porcentagens:

Tabela 15 - Porcentagens para a amostra 1.

Amostra 1	Porcentagem (%)
Fração 1	0,5
Fração 2	0,5

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 16 - Porcentagens para a amostra 2.

Amostra 2	Porcentagem (%)
Fração 1	0,5
Fração 2	0,5

Fonte: AUTORA, 2018.

Por fim, tem-se o cálculo da massa específica aparente média após a obtenção de todos os valores referentes a formulação dada inicialmente. É importante frisar que a densidade média deve ser calculada para cada amostra, logo, como duas amostras foram consideradas para esta metodologia, deve-se realizar o cálculo duas vezes, levando em conta os dados da respectiva amostra. Assim, tem-se a tabela 18 das densidades aparentes obtidas para as duas amostras.

Tabela 17 - Massas específicas das amostras 1 e 2.

Amostra	Massa específica (g/cm³)
1	1,55
2	1,55
Média	1,55

Fonte: AUTORA, 2018.

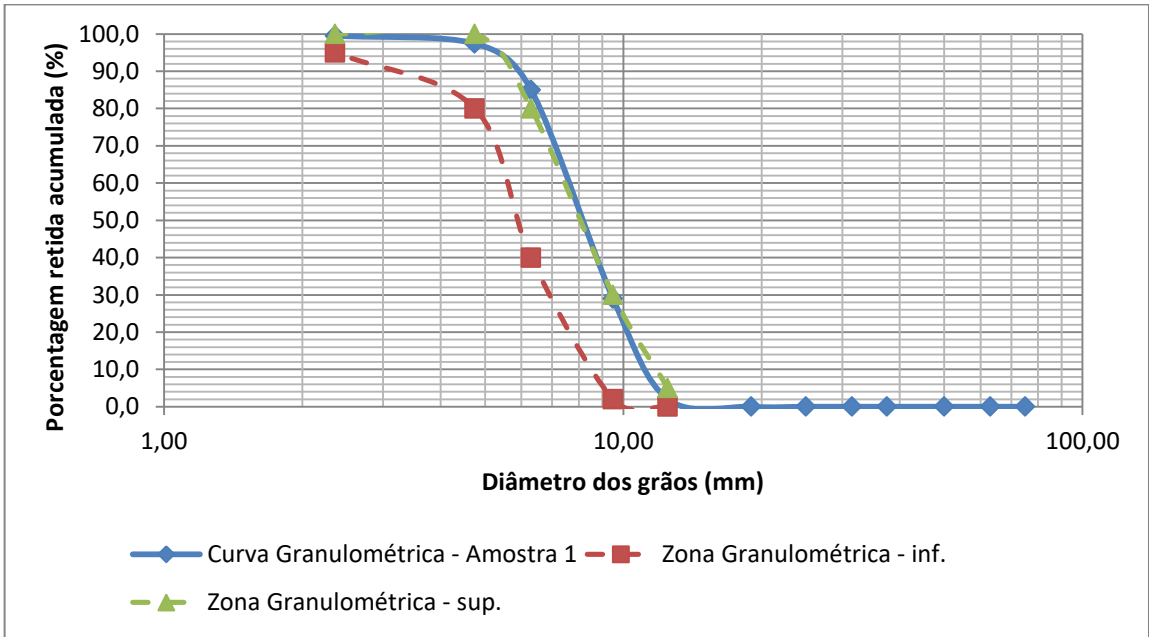
Segundo a NM 53:2009, a subtração entre dois resultados individuais obtidos a partir de uma mesma amostra submetida a ensaio, ou seja, as frações das amostras não devem diferir mais que 0,02 g/cm^3 para o ensaio de massa específica; logo, ambas as amostras obtiveram resultados satisfatórios em relação às massas específicas de suas respectivas frações.

4.1.5. Resultados para granulometria da brita

A determinação da composição granulométrica da brita foi realizada conforme os requisitos da AMN ABNT NM 248:2003, na qual especifica a série de peneiras a ser utilizada, bem como o procedimento do ensaio, logo, as especificações para os agregados de concreto encontram-se na ABNT NBR 7211:2005.

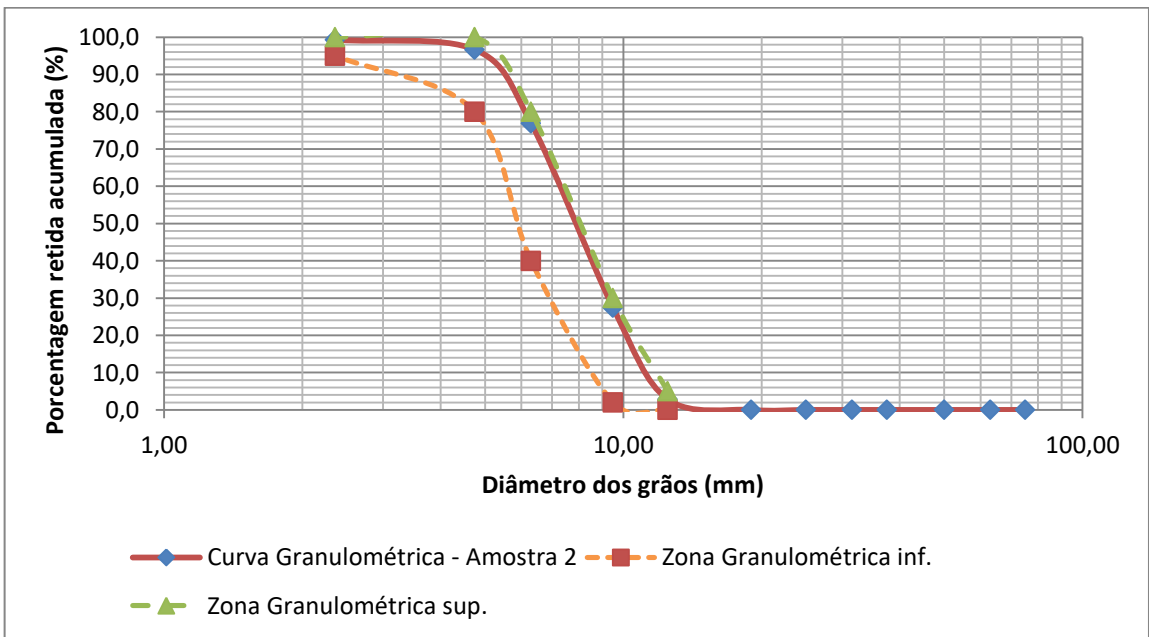
Os resultados para a determinação da porcentagem retida acumulada encontram-se no apêndice D. A composição granulométrica deve atender os limites das zonas granulométricas para agregado graúdo de acordo com a relação entre o diâmetro máximo e mínimo de grãos do material. Desta forma, as composições granulométricas das amostras 1 e 2 estão especificadas nas figuras abaixo, bem como os limites da zona granulométrica na qual este componente se enquadra:

Gráfico 3 - Composição granulométrica da amostra 1.



Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 4 - Composição granulométrica da amostra 2.



Fonte: AUTORA, 2018.

Desta forma, é possível afirmar que a granulometria do agregado encontra-se em conformidade com as limitações de sua zona granulométrica, sendo assim, aplicável para a fabricação de concreto. Ambas as amostras apresentaram dimensão máxima característica (DMC) equivalentes, de 12,5 mm conforme a tabela 19, corroborando assim a homogeneidade das amostras e a veracidade do tipo de brita utilizada, do tipo zero.

Tabela 18 - Dimensão máxima característica do agregado graúdo.

Amostras	Dimensão Máxima Característica
Amostra 1	12,5
Amostra 2	12,5

Fonte: AUTORA, 2018.

4.1.6. Resultados para massa específica do cimento

De acordo com a AMN NBR NM 23:2000, a massa específica do cimento Portland é caracterizada pela massa da unidade de volume do material, assim, a formulação proposta pela norma relaciona a massa de aglomerante utilizada no ensaio com a variação da leitura do frasco Le Chatelier, indicando a mudança do volume do conjunto solvente-aglomerante. Desta forma, aplicando os valores encontrados durante o procedimento laboratorial, os resultados para massa específica obtidos, bem como a média dos valores, encontram-se na tabela 20.

Tabela 19 - Massa específica das amostras de cimento.

Amostra	Massa específica (g/cm³)
1	3,108
2	3,125
Média	3,116

Fonte: AUTORA, 2018.

As massas específicas obtidas apresentaram uma diferenciação menor que 0,2 g/cm³ entre si, conforme especificação da AMN NBR NM 23:2000, validando assim o método aplicado para este ensaio. Os resultados confirmam a utilização de um cimento do tipo CP-II, viabilizando assim o uso deste cimento para a produção de concreto.

4.2. Resultados da Etapa II

Conforme visto na etapa II, o tratamento realizado para as tiras de papel, obtidas a partir do corte das fragmentadoras, apresentou alterações no formato do material, dificultando a obtenção da sua massa específica. Desta forma, para se obter a quantidade necessária para a adição nos concretos com 5%, 10%, 15% e 20% de papel, considerou-se o volume de cimento de cada mistura, calculado a partir da massa específica obtida em laboratório. A partir da relação massa-volume e com o uso de uma proveta de polipropileno o volume de papel pode ser obtido.

4.3. Resultados da Etapa III

Os resultados desta etapa se referem ao processo de fabricação dos concreto padrão, com adição de 5%, 10%, 15% e 20% de papel na mistura. É importante frisar que todos os concretos foram fabricados a partir do mesmo método de dosagem, mesmos materiais e mesmo fator água/cimento para melhor compreensão e comparação dos resultados obtidos.

4.3.1. Resultados para dosagem do concreto

A dosagem do concreto foi elaborada a partir da relação entre o volume do corpo-de-prova cilíndrico de (10x20) cm pela relação inversa do traço determinado, ou seja, 1:2:3:0,6, com as massas específicas obtidas a partir da etapa I. Definindo o volume de um corpo-de-prova e aplicando os valores obtidos no traço em massa, as massas específicas calculadas anteriormente, e considerando-se a umidade do agregado miúdo, o consumo de cada material pode ser obtido. A tabela 21 apresenta os valores obtidos para esta dosagem.

Tabela 20 - Consumos dos materiais para produção de 1 corpo-de-prova.

Consumos	Valores referentes a 1 corpo-de-prova (Kg)
Cimento	0,43
Areia	0,86
Brita	1,29
Água	0,118 Kg

Fonte: AUTORA, 2018.

4.3.2. Resultados para slump test

O slump test é, conforme visto anteriormente, um método de ensaio utilizando o tronco de cone para avaliação da consistência e trabalhabilidade do concreto em seu estado fresco. A partir deste entendimento, apesar dos procedimentos adotados para os seis tipos de concreto serem iguais, os resultados apresentaram variações consideráveis. A alteração na consistência dos concretos com adição de papel é causada pela alta capacidade de absorção de água, conforme visto no referencial teórico, pelas fibras de celulose presentes no material. O aumento da consistência do concreto é verificado à medida que a porcentagem de papel reciclado na mistura cresce, confirmando assim, a interferência da adição na trabalhabilidade do concreto. A tabela abaixo apresenta os abatimentos verificados para cada tipo de concreto.

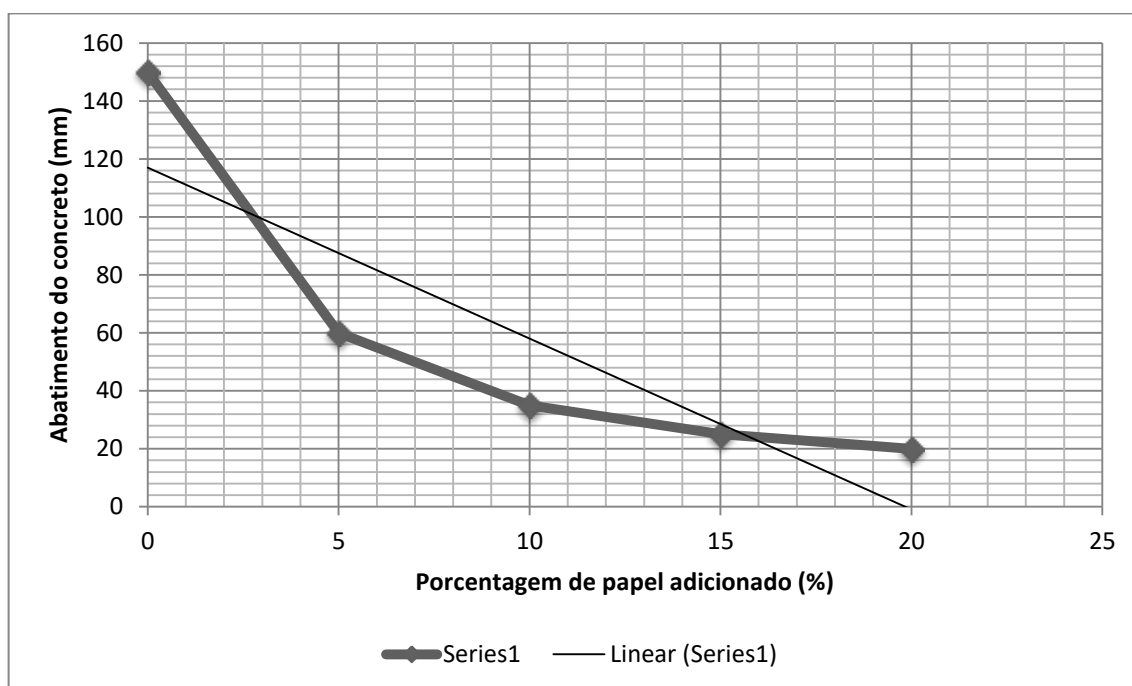
Tabela 21 - Abatimentos obtidos para as diferentes porcentagens de papel.

Porcentagem de papel na mistura (%)	Abatimento (mm)
0	150
5	60
10	35
15	25
20	20

Fonte: AUTORA, 2018.

A partir dos dados obtidos para cada porcentagem, é possível traçar um gráfico representando a variação do abatimento em relação à porcentagem de adição de papel na mistura. Desta forma, tem-se o seguinte gráfico:

Gráfico 5 - Variação do abatimento de acordo com a porcentagem de papel adicionado.



Fonte: AUTORA, 2018.

A adição de 5% de papel reciclado apresentou perda considerável da trabalhabilidade e aumento da consistência, com cerca de 60% de redução do abatimento inicial, de 150 mm para 60 mm. A segunda redução, com adição de 10% de papel reciclado, obteve uma redução de aproximadamente 77% em relação ao abatimento inicial, de 150 mm para 35 mm, porém a redução de 5% para 10% não foi tão expressiva como a de 0% para 5%, sendo a primeira de apenas 17%. A terceira variação, com adição de 15% de papel reciclado, obteve uma redução de aproximadamente 83% em relação ao abatimento inicial, de 150 mm para 25 mm, porém em relação à sua variação anterior, apresentou uma redução de 6%. A última redução, de 20% de papel reciclado, apresentou uma variação de aproximadamente 87% em relação ao abatimento inicial, de 150 mm para 20 mm, mas sua variação em relação ao abatimento anterior foi de apenas 4%.

Os resultados expostos demonstram que a elevação da consistência e diminuição da trabalhabilidade do concreto são consideráveis a partir de uma comparação entre um concreto padrão e os concretos com adição, porém, à medida que se acresce o papel reciclado as variações tornam-se cada vez menores, comportando-se assim como uma função linear e demonstrando certa proporcionalidade.

4.3.3. Resultados para absorção de água

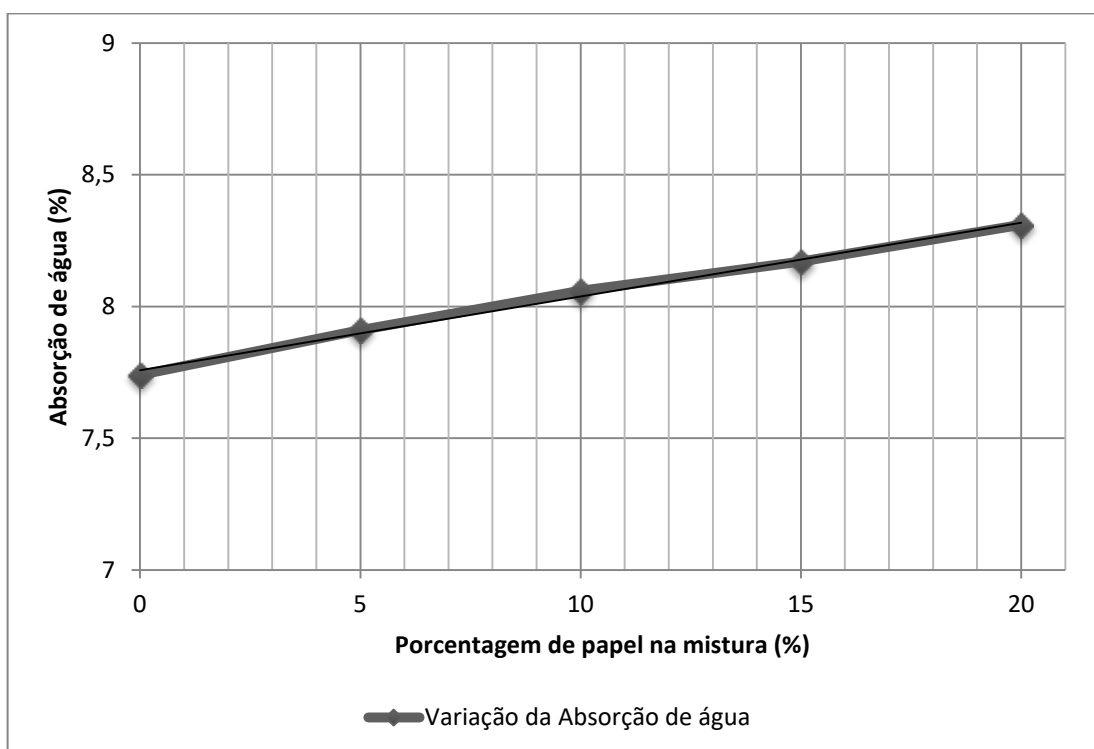
A absorção de água é a propriedade física do concreto em seu estado endurecido que relaciona a massa de concreto em seu estado seco via estufa com a massa de concreto após a saturação, de acordo com o tempo de secagem e submersão. Esta propriedade apresenta importância por estar ligada diretamente à porosidade do concreto, determinando a qualidade em seu estado endurecido, pois quanto mais poroso, maior a capacidade de absorção de água devido aos poros, tornando o concreto frágil e menos resistente. A tabela 23 apresenta os valores finais obtidos para as absorções do concreto padrão e seus respectivos concretos adicionados de papel, e os gráficos 6 e 7 propõem a representação gráfica dos valores obtidos.

Tabela 22 - Resultados para absorção de água com adição de papel.

Porcentagem de papel na mistura (%)	Absorção de água (%)
0	7,74
5	7,91
10	8,06
15	8,17
20	8,31

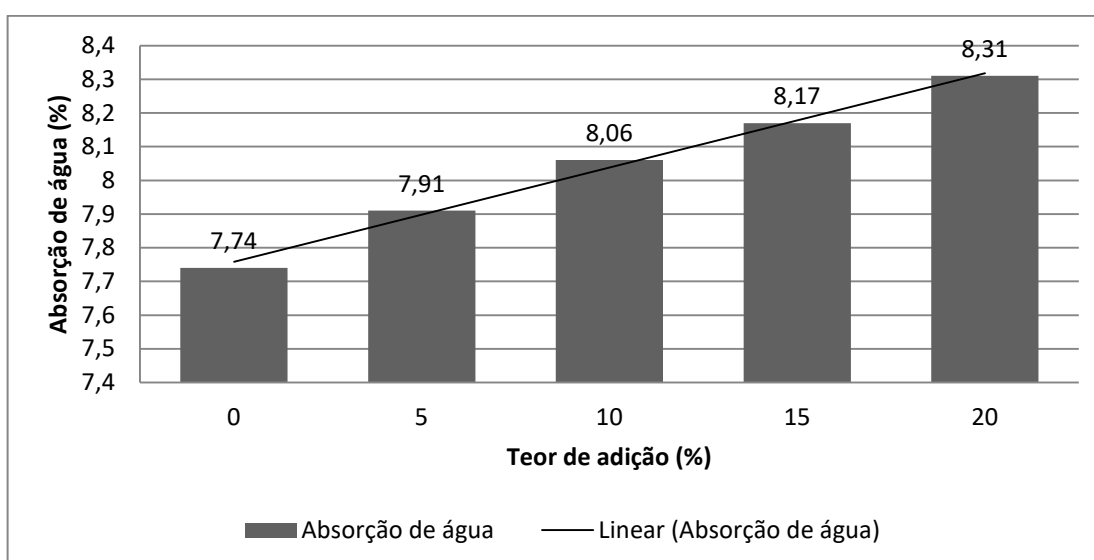
Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 6 - Variação da absorção de água em relação à porcentagem de papel.



Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 7 - Variação da absorção de água em relação ao acréscimo de papel na mistura.



Fonte: AUTORA, 2018.

A influência da incorporação de papel reciclado como adição na mistura deve ser levada em consideração, ainda que aparentemente pequena. A absorção de água para o concreto com 5% de papel adicionado apresentou-se 0,17% maior que a do concreto padrão, sendo a primeira de 7,91%, a última com 7,74%. Para o concreto com 10% de papel continuou o acréscimo em relação ao concreto padrão, com aumento de 0,32% chegando aos 8,06% de absorção, porém em relação ao concreto de 5%, a variação foi apenas de 0,15%. O concreto com 15% de adição também se elevou alcançando 8,17% de absorção com 0,43% de variação positiva em relação ao concreto padrão, porém, em relação à sua absorção anterior a variação foi de apenas 0,11%. O último concreto moldado com 20% de papel em sua mistura apresentou a maior absorção em relação à todos que foram analisados, alcançando o patamar de 8,31%, 0,57% a mais que o valor do concreto padrão, porém sua variação em relação ao concreto com 15% de adição é de 0,14%, variação maior que a dos últimos concretos analisados em pares, porém não muito expressiva.

Os resultados demonstram que apesar do acréscimo da absorção em relação ao concreto padrão a variação obtida da absorção padrão para a absorção com 20% de papel reciclado é de aproximadamente 0,6%, um valor de pequena escala, sendo possível assim, a aplicação deste concreto para uso desde que se tenha um monitoramento adequado desta característica e de suas possíveis alterações no concreto.

4.3.4. Resultados para resistência à compressão

A resistência à compressão é, conforme visto anteriormente, uma relação entre a área de contato e a força de ruptura axial de um corpo com dimensões definidas. Esta propriedade mecânica tem grande importância devido à sua capacidade de apresentar valores de resistência à ruptura para determinada composição de materiais a serem utilizados para a fabricação do concreto, permitindo assim, que se defina a resistência do concreto para determinada idade. A tabela 24 apresenta o resumo das resistências obtidas a partir do ensaio de compressão axial, após o cálculo da força em relação à área de contato do CP. Os valores individuais de cada resultado obtido encontram-se no apêndice F.

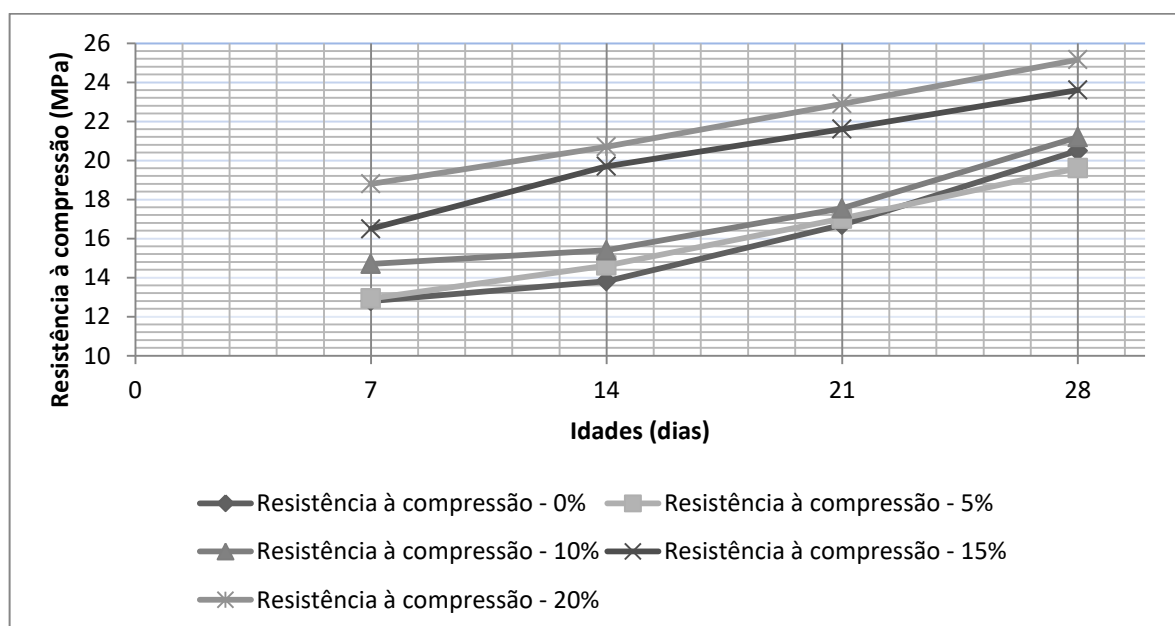
Tabela 23 - Valores médios obtidos para a resistência à compressão.

Resistência à Compressão (MPa)					
Traço	Teor de adição	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
1:2:3:0,6	Padrão (0%)	12,8	13,82	16,7	20,5
	5%	12,93	14,62	17,02	19,6
	10%	14,7	15,4	17,55	21,19
	15%	16,5	19,7	21,6	23,6
	20%	18,8	20,7	22,9	25,16

Fonte: AUTORA, 2018.

A partir destes resultados é possível traçar diversos gráficos de correlação entre o teor de adição definido de papel, as idades de cura e as resistências obtidas. Desta forma, os gráficos a seguir apresentam o crescimento da resistência de acordo com os dias de cura, bem como os teores de adição de papel reciclado.

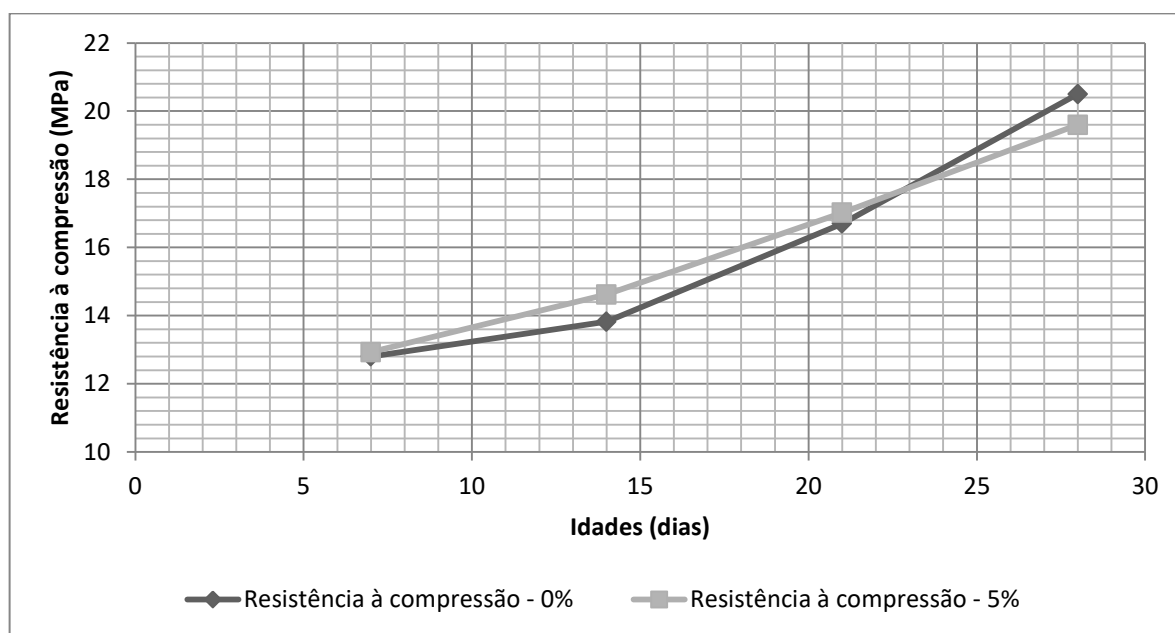
Gráfico 8 - Variação da resistência à compressão de acordo com a porcentagem de papel utilizada.



Fonte: AUTORA, 2018.

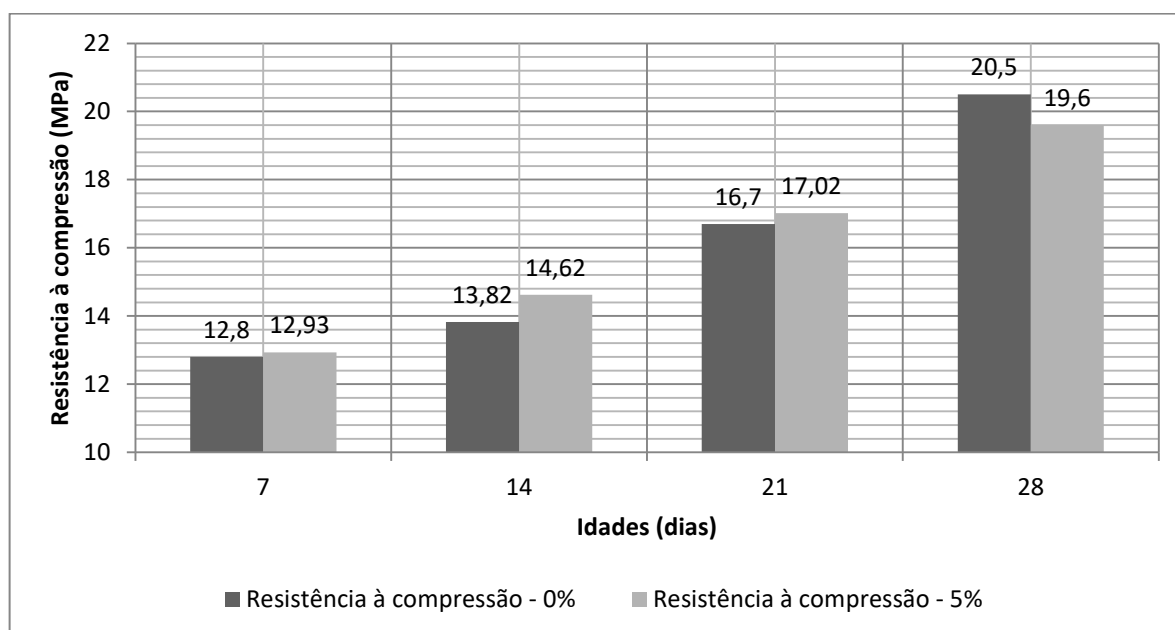
Para melhor análise e comparação dos resultados obtidos, os próximos gráficos apresentados serão comparativos entre os diferentes teores adotados e o concreto padrão com teor de 0% de adição. A primeira comparação de resistências é com o 5% de adição, demonstrado em formato de dispersão com linhas retas e colunas.

Gráfico 9 - Comparação da resistência entre 0% e 5% de papel reciclado.



Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 10 - Comparação entre o crescimento da resistência nas idades de cura entre concreto padrão e concreto com 5% de adição.

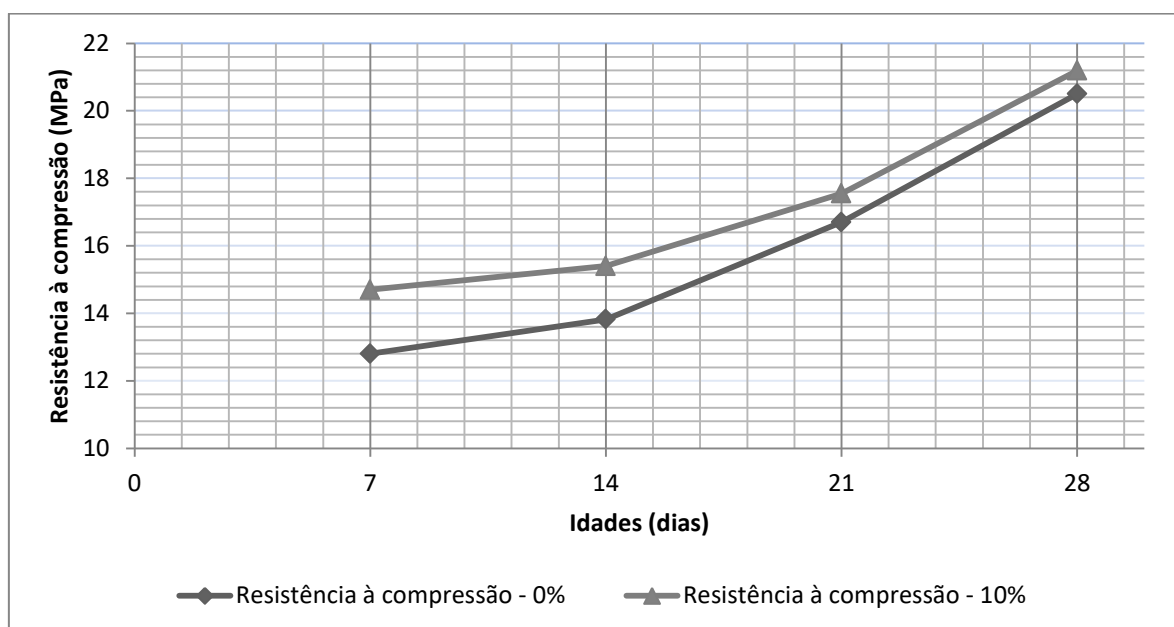


Fonte: AUTORA, 2018.

As resistências nas três primeiras idades, 7, 14 e 21 dias, para o concreto com adição apresentam um aumento de 0,13 MPa, 0,8 MPa e 0,32 MPa em relação às resistências para o concreto padrão sem adição, sendo um crescimento de aproximadamente 1%, 6% e 2% para os valores obtidos do concreto padrão, porém, na última idade apesar de ainda haver crescimento da resistência em relação à sua idade anterior observa-se um valor obtido menor que o do concreto padrão, com uma diferença de 0,9 MPa e aproximadamente 5% de decréscimo do concreto padrão para o concreto com teor de 5%. Este decréscimo ocorre por conta de falhas durante o processo de fabricação do concreto, principalmente pelo adensamento inadequado durante a elaboração dos corpos-de-prova, promovendo maior número de espaços vazios na mistura, reduzindo o valor da força de compressão axial para a ruptura do concreto.

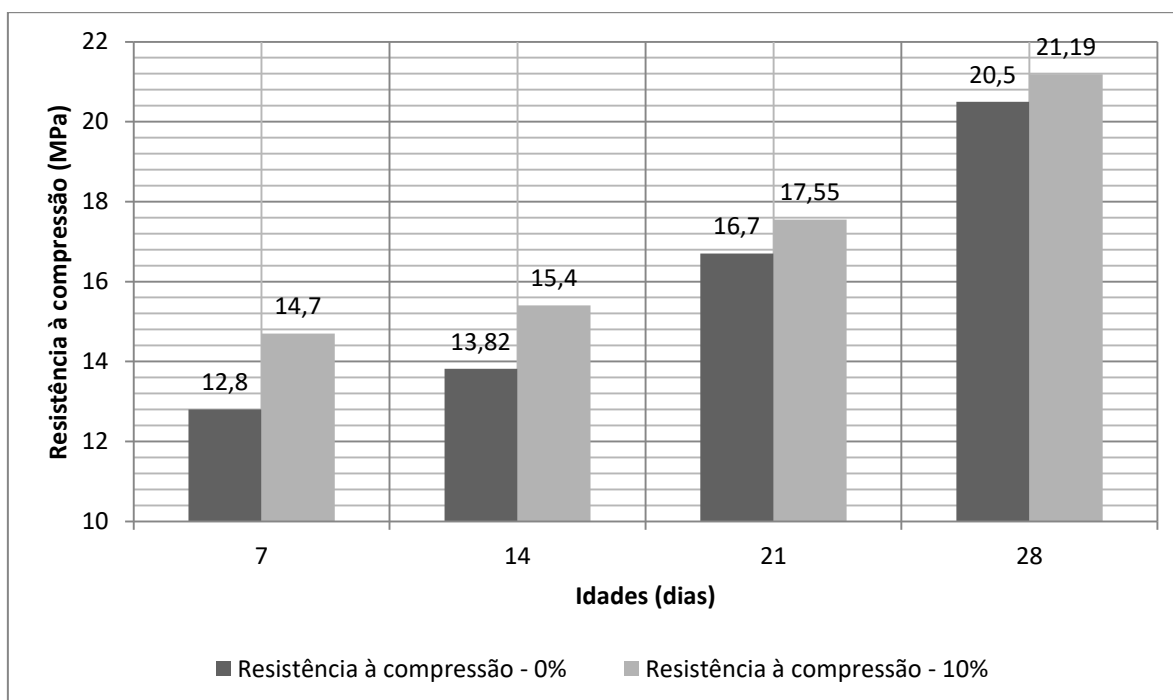
A segunda análise será realizada com o concreto padrão e o concreto com teor de adição de 10%, também em formato de dispersão com linhas retas e colunas para melhor visualização dos resultados.

Gráfico 11 - Comparação entre o crescimento da resistência entre o concreto padrão e concreto com 10% de adição.



Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 12 - Comparação entre o crescimento da resistência nas idades de cura entre concreto padrão e concreto com 10% de adição.

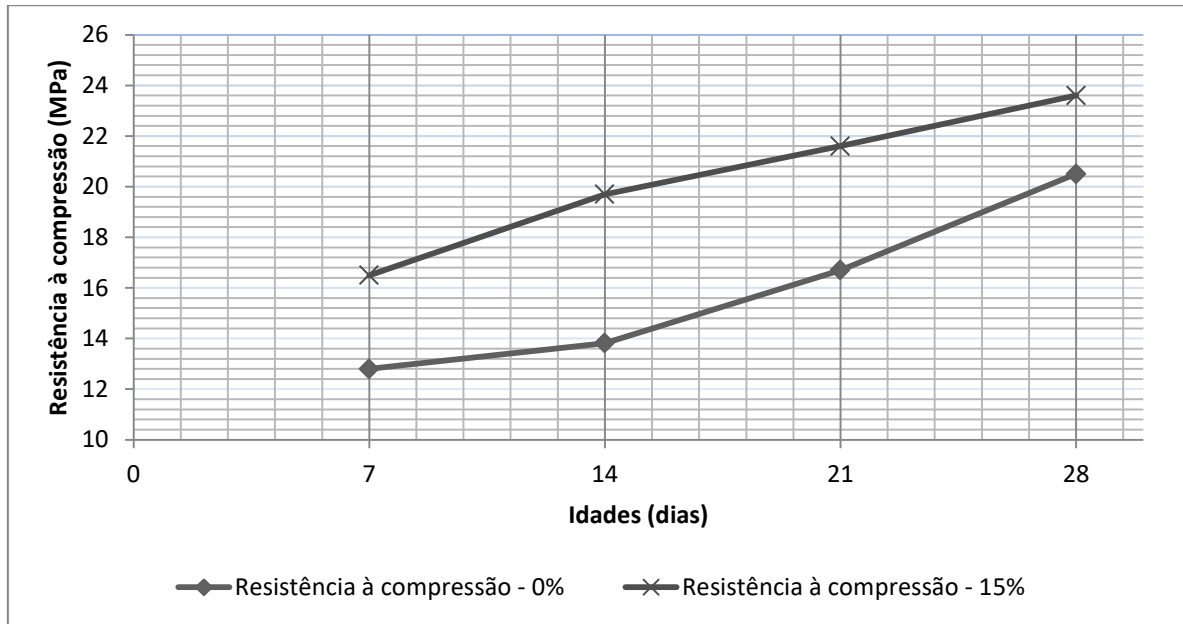


Fonte: AUTORA, 2018.

Conforme os dados expostos, todas as resistências apresentadas nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias para o concreto com teor de adição em 10% apresentaram valores maiores que as alcançadas pelo concreto padrão, demonstrando numericamente que a adição do papel reciclado influenciou para o acréscimo da resistência. Os concretos de 7, 14, 21 e 28 dias apresentaram um acréscimo de 1,9 MPa, 1,58 MPa, 0,85 MPa e 0,7 MPa em relação aos concretos padrões nas mesmas idades de cura, sendo 15%, 11%, 5% e 3% aproximadamente as taxas de crescimento em relação ao concreto padrão. O aumento de resistência mais expressivo para o concreto 10% apresentou-se entre o dia 21 e o dia 28 de idade, com uma elevação de 3,64 MPa, para o concreto padrão, o aumento mais expressivo da resistência foi também entre as duas últimas idades, sendo de 3,8 MPa.

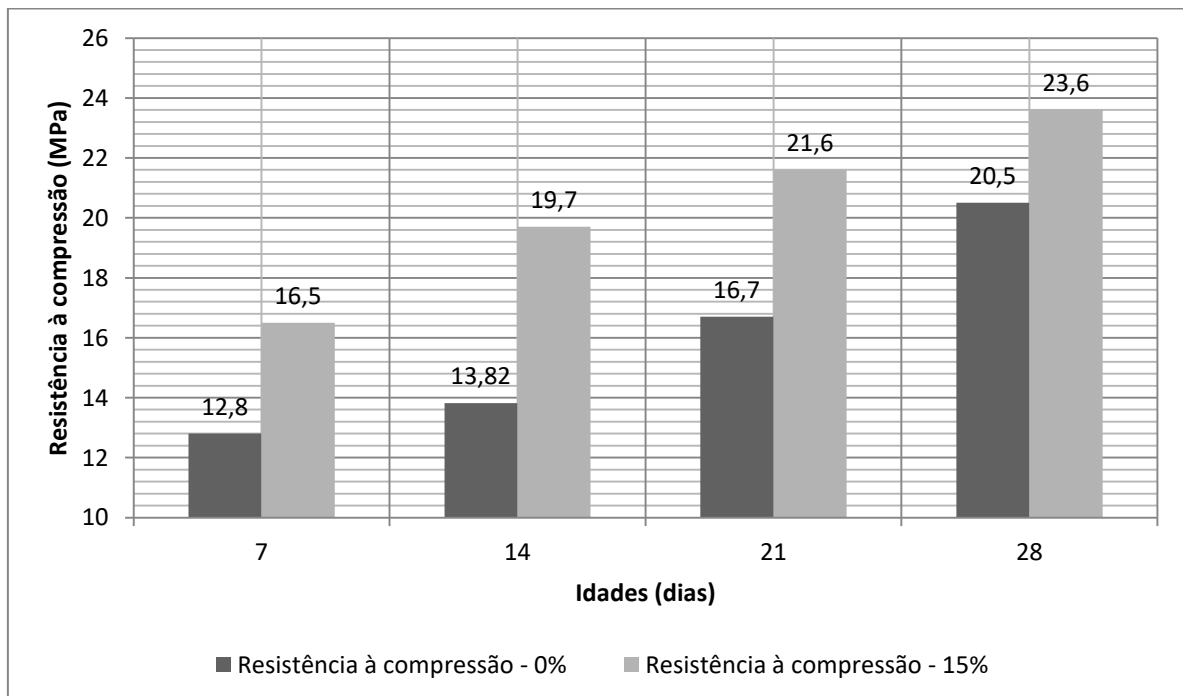
A terceira análise será realizada com o concreto padrão e o concreto com teor de adição de 15%, novamente com gráficos no formato dispersão com linha reta e colunas, para melhor entendimento e comparação dos resultados obtidos.

Gráfico 13 - Comparação entre o crescimento da resistência entre o concreto padrão e concreto com 15% de adição.



Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 14 - Comparação entre o crescimento da resistência nas idades de cura entre concreto padrão e concreto com 15% de adição.

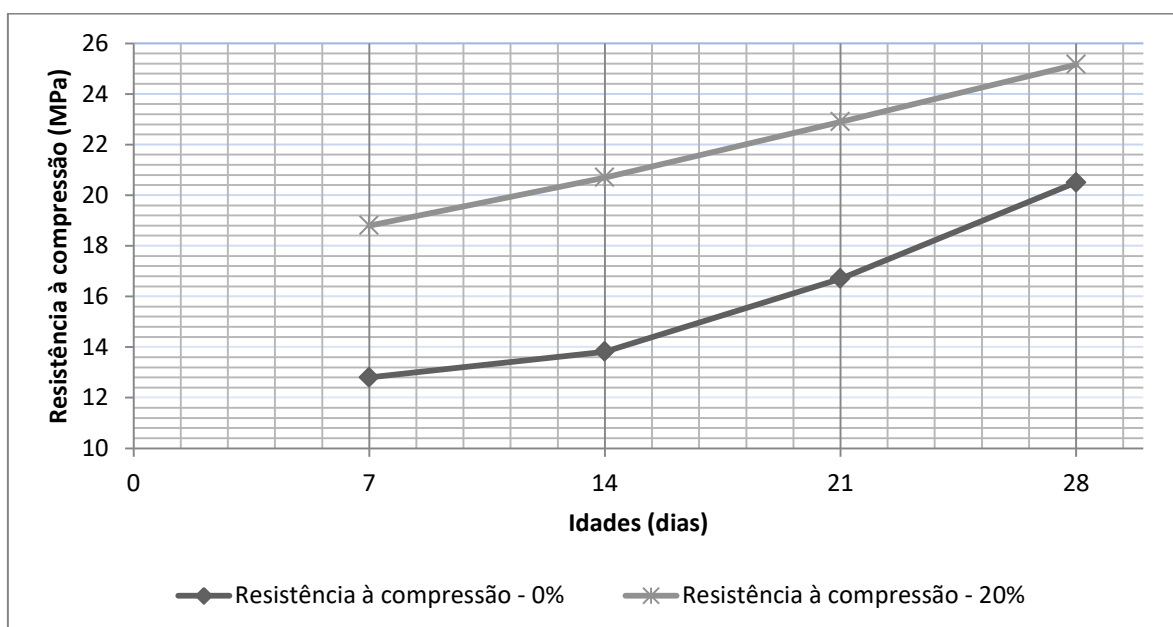


Fonte: AUTORA, 2018.

As resistências apresentadas nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias para o concreto com teor de adição em 15% apresentaram novamente valores maiores que as alcançadas pelo concreto padrão, com maiores acréscimos da resistência. Os concretos de 7, 14, 21 e 28 dias apresentaram um acréscimo de 3,7 MPa, 5,88 MPa, 4,9 MPa e 3,1 MPa em relação aos concretos padrões nas mesmas idades de cura, sendo 29%, 42%, 29% e 15% aproximadamente as taxas de crescimento em relação ao concreto padrão. O aumento de resistência mais expressivo para o concreto 15% apresentou-se entre os dias 7 e 14, com uma elevação de 3,7 MPa, para o concreto padrão, o aumento mais expressivo da resistência foi também entre 21 e 28 dias, sendo de 3,8 MPa.

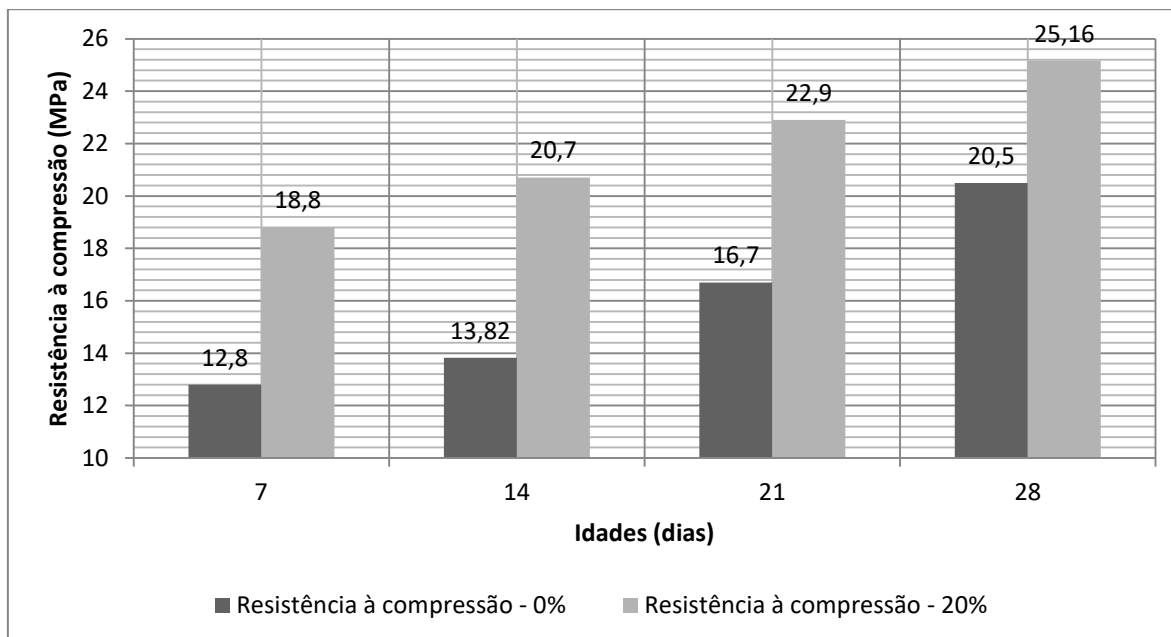
A quarta e última análise será realizada entre o concreto padrão e o concreto com teor de adição de 20%. Os dois gráficos utilizados serão do tipo dispersão com linha reta e colunas para melhor identificação dos números e comparação dos resultados, com a adição de mais um gráfico de coluna, representando todos os concretos anteriormente analisados em um só plano.

Gráfico 15 - Comparação entre o crescimento da resistência entre o concreto padrão e concreto com 20% de adição.



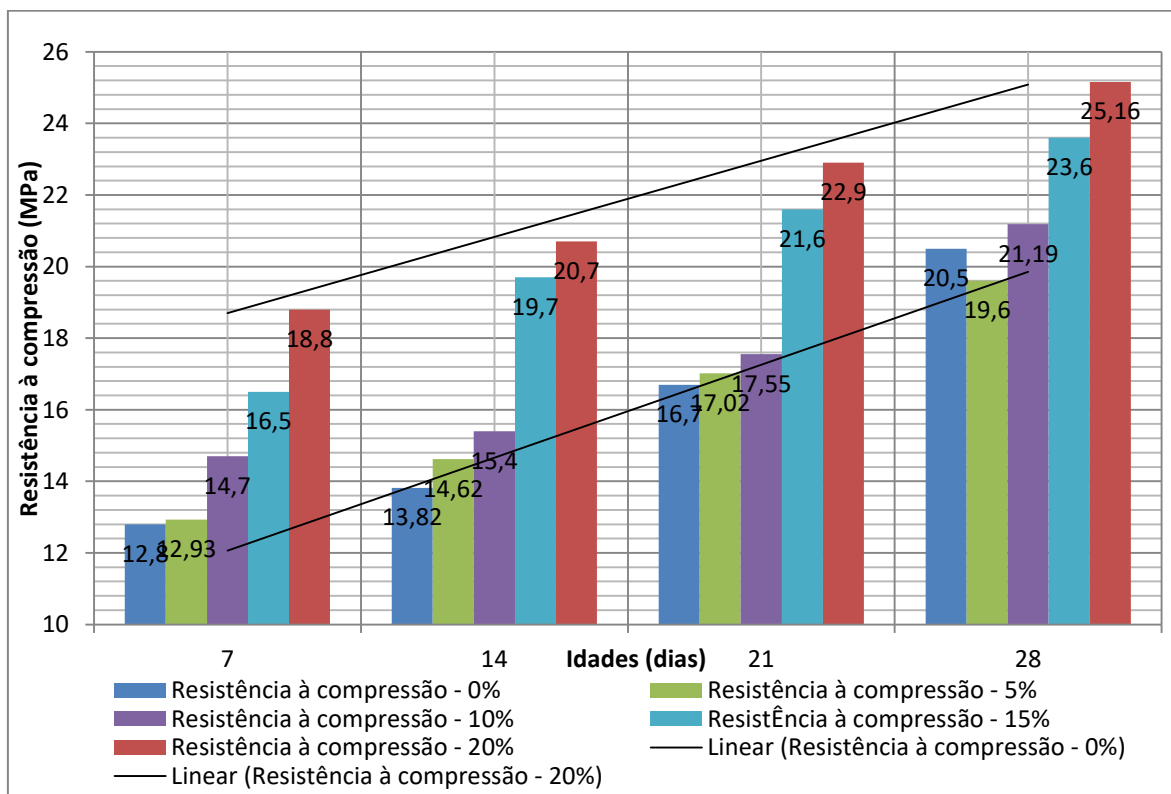
Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 16 - Comparação entre o crescimento da resistência nas idades de cura entre concreto padrão e concreto com 20% de adição.



Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 17 - Comparação entre o crescimento de todos os concretos confeccionados.



Fonte: AUTORA, 2018.

As resistências apresentadas nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias para o concreto com teor de adição em 20% apresentaram, entre todos os resultados alcançados neste estudo, as maiores resistências. As idades de 7, 14, 21 e 28 dias apresentaram um acréscimo de 6 MPa, 6,88 MPa, 6,2 MPa e 4,66 MPa em relação ao concreto padrão nas mesmas idades de cura, sendo 47%, 49%, 35% e 23% aproximadamente as taxas de crescimento em relação ao concreto padrão. O aumento de resistência mais expressivo para o concreto 20% apresentou-se entre os dias 21 e 28, com uma elevação de 2,65 MPa, para o concreto padrão, o aumento mais expressivo da resistência foi também entre 21 e 28 dias, sendo de 3,8 MPa.

É possível inferir também que o crescimento da resistência apresentou uma tendência linear para todos os tipos de concreto de acordo a análise do último gráfico, o qual apresenta as linhas de tendência para o concreto padrão e o concreto com adição de 20%. O concreto com maior teor de papel apresentou a maior resistência aos 28 dias de idade, alcançando o patamar de 25,15 MPa, com acréscimo de 4,65 MPa, 5,55 MPa, 3,96 MPa e 1,55 MPa em relação aos concretos padrão, 5%, 10% e 15%.

4.4. Resultados da Etapa IV

Os resultados desta etapa determinam as mudanças realizadas no traço a partir da alteração do agregado graúdo por pó de brita para maior compatibilidade com o modelo produtivo dos blocos de concreto. A partir desta mudança, é necessário que haja nova caracterização do pó de brita, de sua composição granulométrica, além da influência deste material no concreto endurecido com e sem adição de papel, obtendo-se novos resultados para a resistência à compressão e absorção de água. É importante frisar que o método de cura para os CP's cilíndricos sofreu alteração por conta do processo produtivo dos blocos de concreto, no qual a cura ao ar livre é mais utilizada.

4.4.1. Resultados para massa específica do pó de brita

A massa específica é a relação entre a massa de determinado material e o volume ocupado pelo mesmo, desta forma, é necessário que a massa específica do pó de brita seja aferida, tendo em vista que o material substituirá o agregado graúdo aplicado para a confecção do concreto, desta forma, a aferição da massa específica do pó de brita permite que se confeccione o novo traço a partir do resultado obtido pois a dosagem do concreto requer os

valores de massa específica de seus componentes. A tabela 25 apresenta os valores obtidos para as duas amostras analisadas.

Tabela 24 - Massas específicas das amostras estudadas.

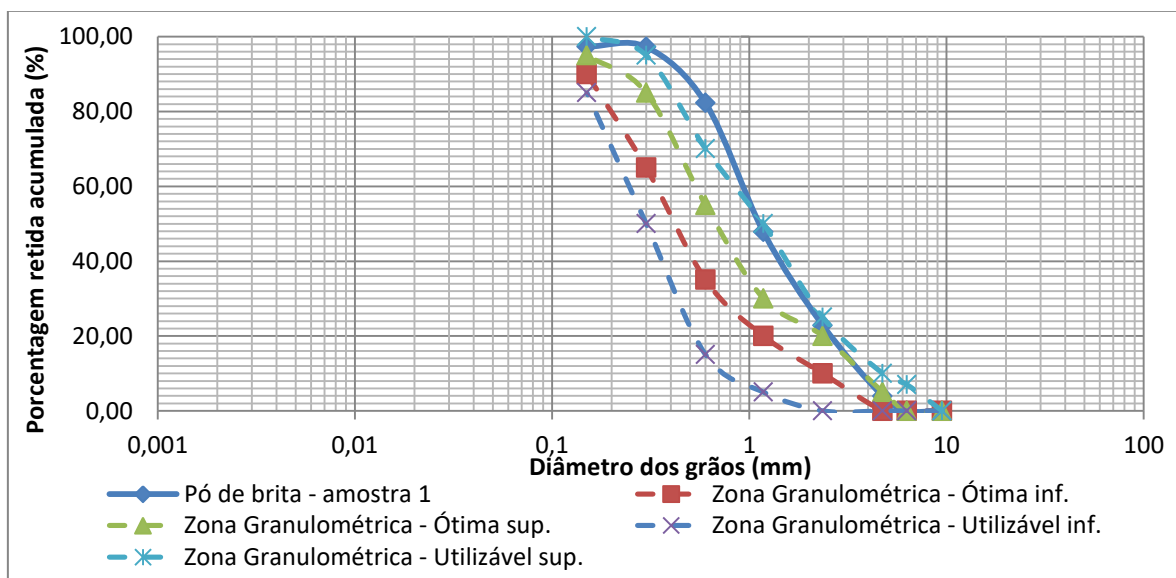
Amostra	Massa específica (g/cm^3)
1	2,764
2	2,766

Fonte: AUTORA, 2018.

4.4.2. Resultados para granulometria do pó de brita

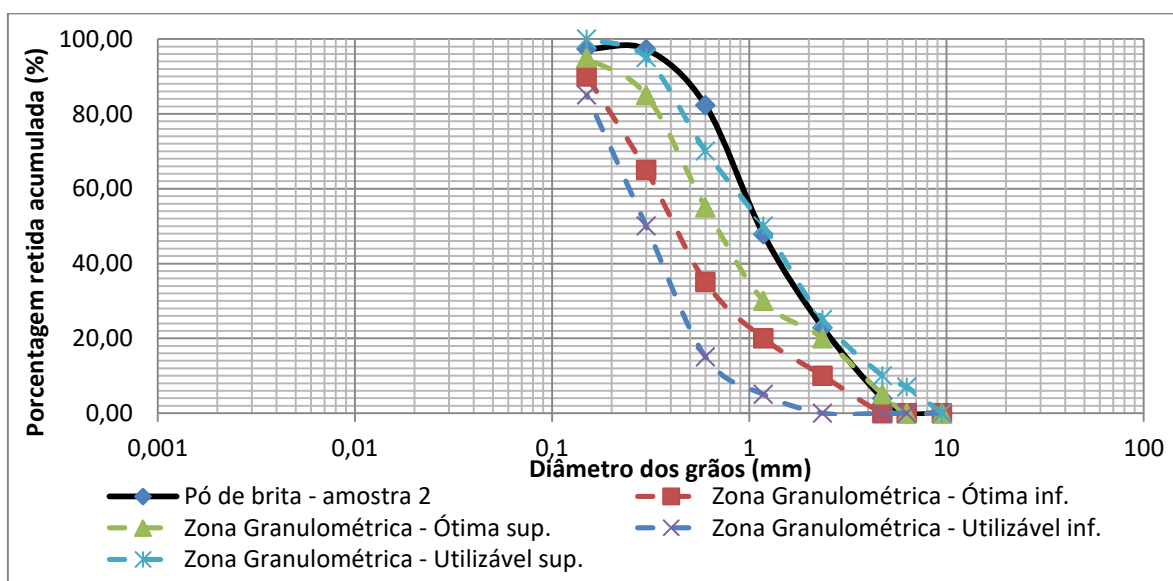
O pó de brita apresenta uma granulometria mais semelhante à de um agregado miúdo, onde seus grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm , de acordo com o ensaio de granulometria proposto pela AMN NBR NM 248:2003. Assim, os resultados obtidos foram comparados com as especificações da NBR 7211 para agregados miúdos. A granulometria do pó de brita para as amostras 1 e 2 são apresentadas nos gráficos, bem como os limites da norma.

Gráfico 18 - Distribuição granulométrica do pó de brita para amostra 1 e os limites das zonas.



Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 19 - Distribuição granulométrica do pó de brita para amostra 2 e os limites das zonas.



Fonte: AUTORA, 2018.

A partir da análise da granulometria obtida pode-se definir que as duas amostras apresentaram o mesmo MF de 3,5, limite determinado pela NBR 7211 o qual estabelece a zona granulométrica. Pelos gráficos é seguro afirmar que a granulometria do pó de brita se encaixa na utilizável superior, apesar de uma pequena variação da curva, o pó de brita pode ter sua granulometria aceitável por definição da norma.

4.4.3. Resultados para resistência à compressão com pó de brita

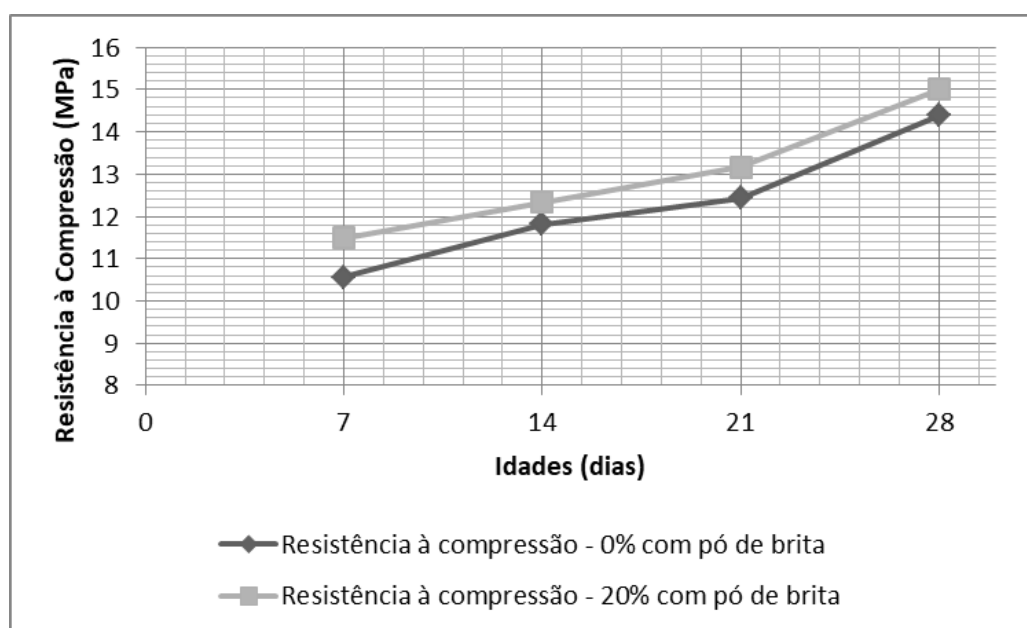
Fez-se necessário realizar mais um estudo de resistência à compressão devido a mudança da composição granulométrica do concreto, uma vez que a brita zero antes utilizada foi substituída pelo pó de brita para que a produção dos CP's se assemelhassem à produção dos blocos de concreto, com o mesmo traço. Sabe-se que a resistência à compressão é uma característica mecânica que relaciona a carga de ruptura que um corpo pode suportar com a sua área de atuação, logo, tem-se os seguintes resultados para as resistências à compressão em corpos cilíndricos do tipo (10x20) cm, bem como o gráfico apresentando graficamente os resultados obtidos.

Tabela 25 - Resistências obtidas para corpos-de-prova com pó de brita na composição.

Resistência à Compressão (MPa)					
Traço	Teor de adição	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
1:2:3:0,35 com pó de brita	Padrão(0%)	10,56	11,81	12,44	14,38
	20%	11,48	12,34	13,16	15

Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 20 - Variação da resistência para os concretos padrão e com 20% de papel com pó de brita na composição.



Fonte: AUTORA, 2018.

Conforme os resultados, houve uma redução da resistência à compressão para este novo traço. O principal fator para a redução das resistências foi a cura adotada, pois para estes CP's a cura foi semelhante a cura natural, usualmente aplicada na produção de blocos de concreto na região. Outro fator de grande importância é que mesmo com a troca de materiais o concreto continuou apresentando crescimento em sua resistência à compressão, conforme é visto pelo valor em seu último dia de cura, aos 28 dias, a resistência para o concreto padrão é de 14,38 MPa, enquanto para o concreto com teor de adição de 20% a resistência alcança os 15 MPa, apresentando assim um crescimento de 4,3% em relação ao concreto padrão.

É importante frisar também que a variação da resistência apresentou valores menores se comparadas ao traço com brita zero, que apresentou um acréscimo de aproximadamente 20% da resistência. Esta mudança pode estar relacionada ao tipo de cura

que foi implementada, já que como os CP's não passaram por processo de saturação em cura, a resistência foi naturalmente reduzida, bem como o acréscimo proporcionado pelas fibras de papel na mistura. Outro aspecto que pode estar relacionado é a mudança da granulometria por conta do novo agregado.

4.4.4. Resultados para absorção de água com pó de brita

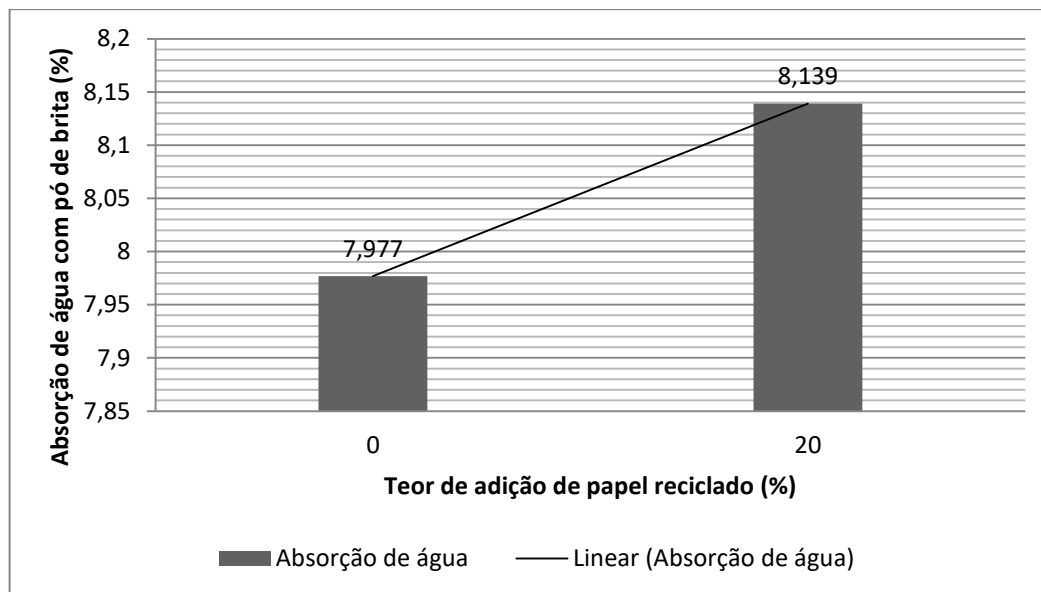
A absorção de água foi estudada novamente devido a variação no traço estudado a partir da mudança do agregado graúdo para pó de brita, logo, é fundamental que as características físico-mecânicas sejam analisadas, tendo em vista que a incorporação do papel reciclado como adição pode interferir em alguns resultados por conta da mudança das interações entre as partículas, desta forma, é essencial que a absorção de água seja refeita após a adequação do traço para blocos de concreto. A tabela ___ apresenta os valores médios de absorção de água obtidas para o concreto padrão e o concreto com a adição de 20%, tendo em vista que esta última foi adotada como o teor ótimo de papel.

Tabela 26 - Absorção média obtida para teores de adição com pó de brita na composição.

Traço	Teor de adição (%)	Absorção média (%)
1:2:3:0,35 com pó de brita	0%	7,977
	20%	8,139

Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 21 - Variação da absorção de água de acordo com a adição de papel na mistura, com pó de brita na composição.



Fonte: AUTORA, 2018.

A partir da análise dos resultados obtidos, é possível inferir que a utilização do pó de brita apresentou um acréscimo da absorção de água comparando-se com a absorção obtida com o traço com brita zero, de 7,74%. Porém, o aumento obtido a partir da incorporação da adição foi menor se comparada com a variação para o traço com brita zero, este com uma variação de 0,6% de acréscimo da absorção aproximadamente. O acréscimo de absorção para este traço do traço sem adição para o com adição é de aproximadamente 0,2%, valor que se reduziu por conta da presença do pó de brita que possui partículas finas que atuam como fileres, preenchendo os vazios, reduzindo os poros e conseqüentemente reduzindo a absorção de água.

4.5. Resultados da Etapa V

A adequação do traço, mais precisamente do fator água-cimento, realizado na etapa IV permitiu a utilização do concreto elaborado para aplicação em blocos de concreto, logo, esta etapa resume todos os valores obtidos para os ensaios de análise dimensional, resistência à compressão, absorção de água e umidade relativa, em conformidade com a ABNT NBR 12118:2013 e ABNT NBR 6136:2014.

4.5.1. Resultados para análise dimensional

A análise dimensional tem como finalidade determinar as dimensões dos CP's, como a largura, comprimento, altura e espessura das paredes. Desta forma, tem-se a seguinte tabela resumo dos resultados obtidos para três blocos de concreto com e três sem adição de papel. Os resultados individuais estão presentes no apêndice J.

Tabela 27 - Análise dimensional para amostras com traço padrão e traço com adição de 20% papel.

Teor de adição	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Espessura da parede (mm)		Espessura Equivalente (mm/m)	Área Bruta (mm ²)
	Comprimento real	Largura real	Altura Real	Espessura longitudinal real	Espessura transversal real		
Padrão	391	189	190	19	19	189	73836
	390	190	190	20	19	197	74100
	391	190	190	19	20	205	74420
20%	390	190	190	20	19	192	74037
	389	190	191	20	19	193	74040
	391	190	190	20	20	202	74357

Fonte: AUTORA, 2018.

Os valores obtidos para o comprimento real, largura real e altura real estão adequados para a classificação do bloco, confirmando a homogeneidade do lote analisado. É possível inferir também que a incorporação do papel não afetou as dimensões exigidas por norma. E por fim, as espessuras equivalentes foram maiores que o valor mínimo imposto por norma de 135 mm/m para blocos não estruturais de classe C.

4.5.2. Resultados para resistência à compressão dos blocos de concreto

A resistência à compressão é, conforme definição da NBR 6136, a relação entre a carga de ruptura do bloco e sua área bruta durante o ensaio de compressão axial. Esta propriedade é devidamente especificada e apresenta seus valores mínimos para blocos não estruturais. A obtenção dos resultados se faz por meio de cálculos estimativos do item 6.5 da NBR 6136. Os resultados coletados para as idades de 14, 21 e 28 dias dos blocos são apresentados de forma simplificada pelo valor da resistência característica à compressão, em seguida os valores médios dos dias de rompimento para os blocos com e sem papel. O gráfico apresenta os valores de resistência média encontrados de maneira comparativa, entre os

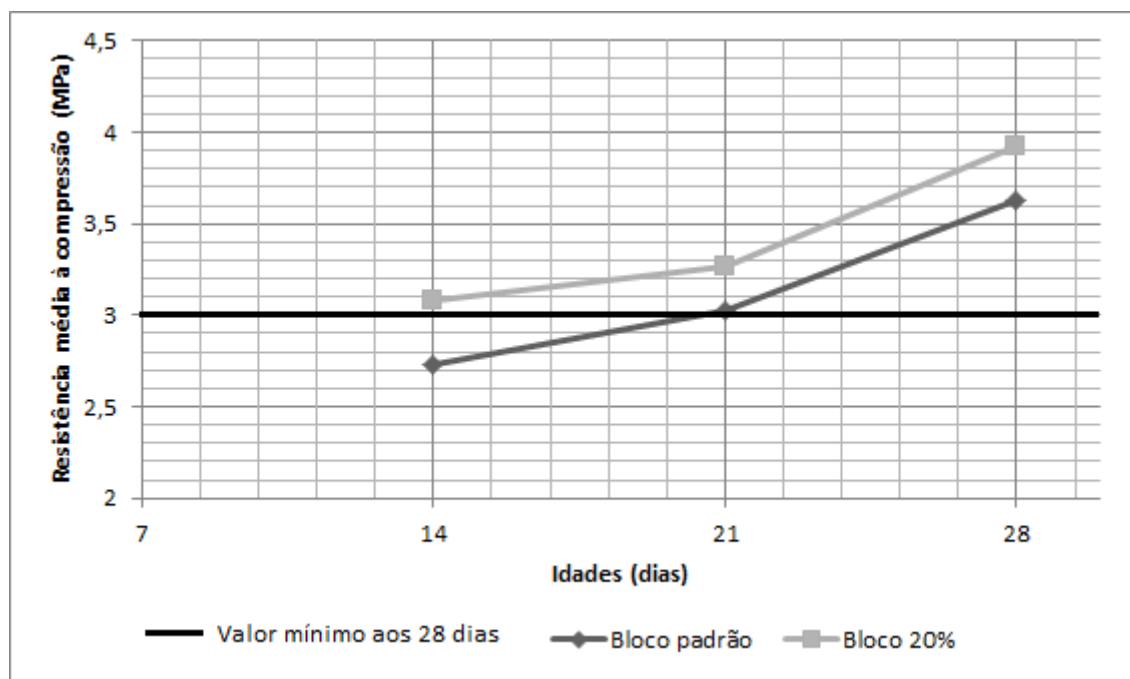
blocos com adição de papel e sem. Os valores detalhados deste ensaio estão presentes no apêndice K.

Tabela 28 - Resistência estimada e resistência média obtida.

Teor de Adição	Resistência característica à compressão, estimada (MPa)	Idades de rompimento	Média das resistências obtidas (MPa)
0%	10,408	14	2,73
	11,706	21	3,03
	13,891	28	3,63
20%	11,206	14	3,08
	12,982	21	3,27
	16,250	28	3,92

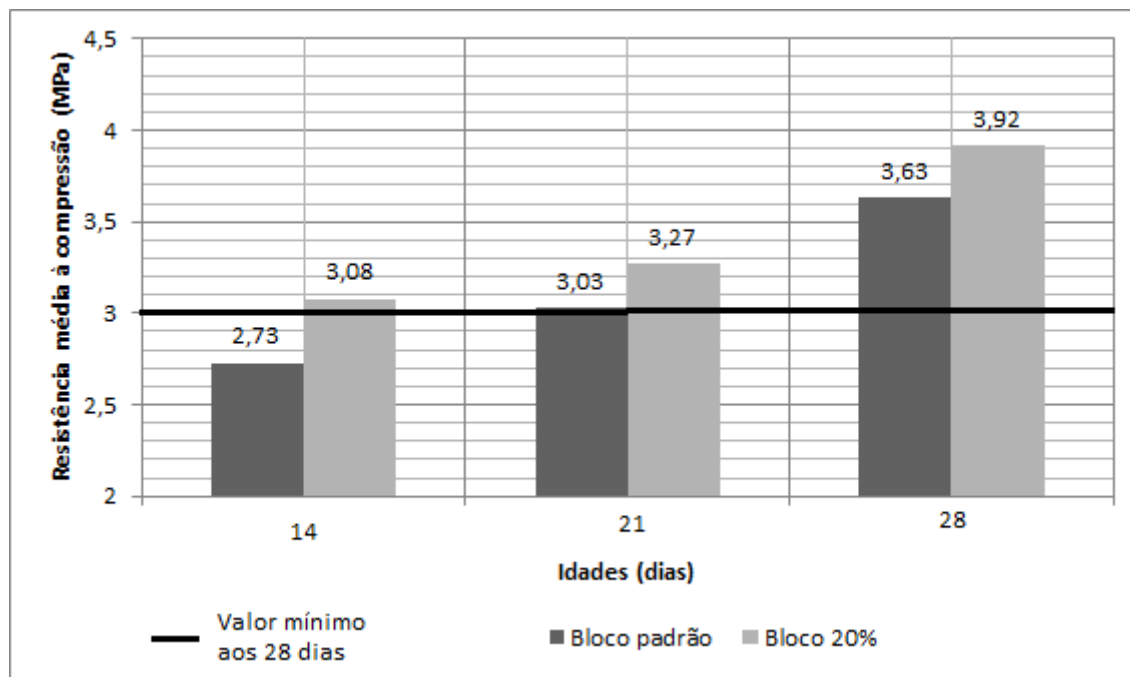
Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 22 - Variações da resistência média à compressão para blocos padrão e com adição de papel.



Fonte: AUTORA, 2018.

Gráfico 23 - Variações da resistência média à compressão de blocos padrão e com adição de papel.



Fonte: AUTORA, 2018.

Os resultados obtidos confirmam o aumento da resistência à compressão visto nos CP's cilíndricos. Aos 14 dias, a diferença entre os blocos padrões e os blocos com adição é notória, com cerca de 0,35 MPa, um acréscimo de aproximadamente 13% em relação à resistência do bloco padrão. Esta diferença de resistências já permite que o bloco modificado seja utilizado para fins não estruturais, visto que o valor mínimo aos 28 dias é de 3,0 MPa, enquanto o bloco com adição alcança os 3,08 MPa.

Aos 21 dias de cura, o bloco padrão supera o limite mínimo de 3,0 MPa para blocos de vedação alcançando 3,03 MPa, enquanto o bloco modificado chega aos 3,27 MPa no mesmo período. O acréscimo de resistência em relação ao padrão é menor que a idade anterior, cerca de 8%, porém o crescimento se apresenta com certa linearidade, conforme já havia demonstrado pelos estudos anteriores.

Aos 28 dias o bloco padrão alcança 3,63 MPa, enquanto o bloco modificado continua apresentando um crescimento linear, alcançando 3,92 MPa. A taxa de crescimento em relação ao bloco padrão alcançou novamente 8%, demonstrando mais uma vez a linearidade do crescimento da resistência, conforme já se havia comentado. É interessante

frisar que a cura aplicada para estes blocos não foi a que traria maior resistência, porém, devido ao traço aplicado os resultados foram satisfatórios.

4.5.3. Resultados para absorção de água dos blocos de concreto

A absorção de água tem como função principal determinar a durabilidade das unidades de alvenaria a partir da análise dos poros presentes nos blocos de concreto. Caso o bloco seja muito poroso, a absorção de água aumentará e conseqüentemente a redução da vida útil do bloco é observada, por isso, é de suma importância que o ensaios de absorção de água sejam realizados. Para este estudo, totalizou-se 9 blocos para o concreto padrão e 9 blocos para o concreto com 20% de papel na mistura. Desta forma, tem-se os resultados obtidos para os 18 blocos analisados no quadro 9.

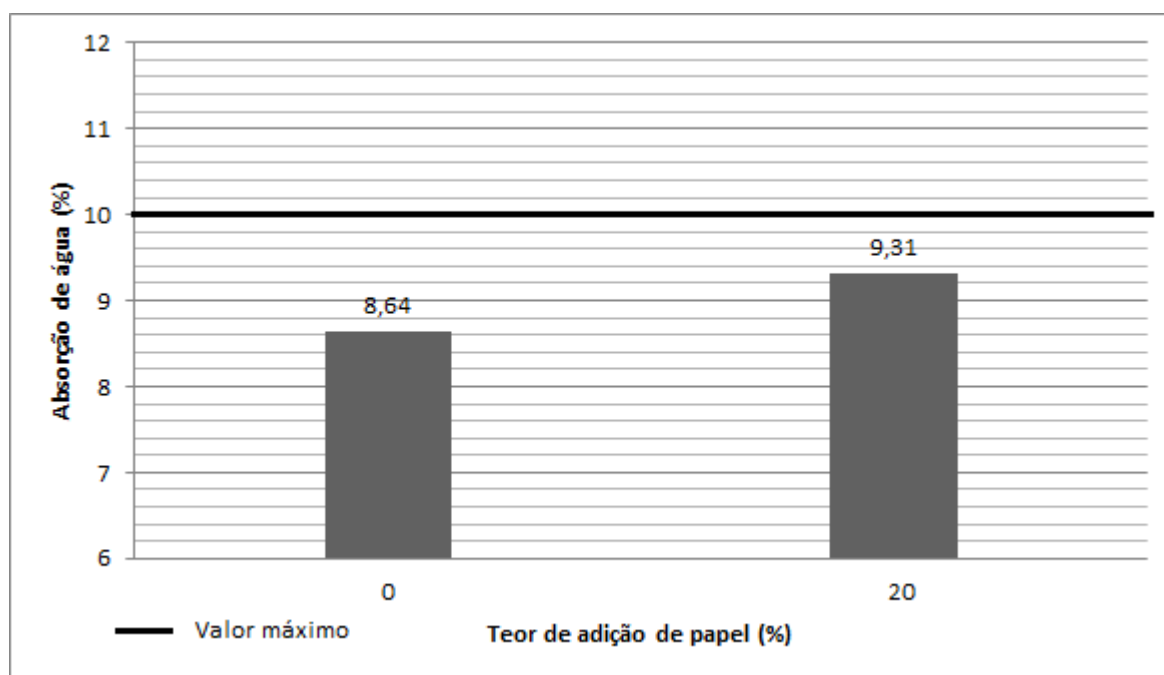
Quadro 9 - Resultados de absorção de água para blocos de concreto.

Teor de adição	Massa seca do bloco (g)	Massa saturada do bloco (g)	Absorção individual do bloco (%)	Absorção média do bloco (%)
Padrão	11200	12100	8,04	8,402
	11800	12800	8,47	
	11500	12500	8,70	
	11600	12700	9,48	8,675
	11700	12600	7,69	
	11300	12300	8,85	
	10500	11400	8,57	8,862
	11600	12500	7,76	
	11700	12900	10,26	
20%	11300	12500	10,619	9,263
	11800	12800	8,475	
	11500	12500	8,696	
	11200	12200	8,929	9,513
	11500	12700	10,435	
	10900	11900	9,174	
	11900	13100	10,084	9,512
	11600	12800	10,345	
	11100	12000	8,108	

Fonte: Autora, 2018.

Os dois tipos de blocos de concreto se mantiveram nos requisitos mínimos de absorção da ABNT NBR 6136:2014, que especifica uma absorção individual de até 12% e uma média de até 10%. A partir de uma comparação gráfica da absorção do concreto padrão com o concreto adicionado de papel é possível inferir que a presença das fibras de celulose advindas do material reciclado promovem uma maior absorção de água, conforme já visto nos resultados anteriores. O gráfico 22 demonstra que apesar da absorção dos blocos com adição de papel apresentarem um aumento a absorção para os blocos de concreto com papel foi aceitável nos requisitos da NBR 6136. A diferença entre os valores obtidos para o bloco padrão e o bloco com 20% de papel foi de apenas 0,7%, um valor um pouco superior aos estudos anteriores mas não muito significativo. Ainda assim é necessário um controle rígido para esta propriedade, tendo em vista sua importância e influência no desempenho dos blocos de concreto para alvenaria de vedação.

Gráfico 24 - Valores médios de absorção de água dos blocos de concreto com 0% e 20% de papel na mistura.



Fonte: Autora, 2018.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a proposta de realizar um estudo comparativo entre os blocos de concreto para alvenaria de vedação do tipo padrão e blocos de concreto, também de alvenaria de vedação, com a adição de papel reciclado em formato de pelotas proveniente de folhas brancas do tipo A4 descartadas. A seguir, as conclusões das etapas I, II, III, IV e V do tópico de materiais e métodos.

5.1. Etapa I

Os materiais adotados como matéria-prima para a fabricação do concreto a ser estudado estavam em concordância com as normas referentes à granulometria, possibilitando assim, seu uso e aplicação. Os ensaios laboratoriais necessários para a aferição das massas específicas também foram realizados em concordância com suas respectivas normatizações, tornando assim, o estudo experimental válido.

5.2. Etapa II

O papel descartado do tipo A4 apresentou-se como uma opção de fácil acesso, por sua disponibilidade principalmente em locais que utilizam o papel em larga escala, e conseqüentemente, permitiu uma maior incorporação deste resíduo no estudo em questão, se tornando um material viável. O processo de reciclagem adotado é simples, de baixo custo e apresenta uma destinação adequada para folhas utilizadas.

5.3. Etapa III

A determinação da adição de papel reciclado em diferentes porcentagens em relação ao volume do cimento durante o processo de dosagem tornou possível interpretações acerca das mudanças no concreto devido à adição de um material que apresenta uma alta taxa absorvente afetando a trabalhabilidade do concreto, possui fibras de celulose em sua composição ainda que tenha sido submetido a um tratamento prévio, elevando a resistência à compressão axial do concreto.

A capacidade coesiva das fibras de celulose proporcionou crescimento na resistência à medida que a adição é incorporada em maiores teores, apesar do teor de 5%

decrecer. Esta redução se deve à um adensamento inadequado durante a moldagem dos CP's,, pois ao se comparar as outras porcentagens a resistência cresce.

A absorção de água apresentou crescimento à medida que a quantidade de papel reciclado se eleva na mistura, provavelmente por conta da absorção da água durante o tempo de pega. Ao absorver a água, o papel reciclado temporariamente apresenta inchamento, porém, durante o estado endurecido do concreto há uma maior absorção de água, logo, a água armazenada nas pelotas de papel é coletada.

Apesar do crescimento, a absorção de água não apresentou mudanças bruscas, sendo assim, é importante analisar esta propriedade com cautela. Para melhor entendimento desta propriedade é interessante que sejam feitas análises da microestrutura do concreto, bem como ensaios especiais que apresentam visualmente a interação matriz cimentícia-papel durante um período de tempo.

5.4. Etapa IV

A alteração da composição do traço experimental de 1:2:3:0,6 previamente utilizado se fez necessária devido as características do tipo de concreto implementado para a produção de blocos de concreto. Tendo em vista que blocos de concreto apresentam paredes finas, os agregados aplicados devem apresentar uma granulometria fina, com a proposta de maior compactidade da mistura, por isso, a substituição da brita zero pelo pó de brita é imprescindível.

5.5. Etapa V

O estudo comparativo entre os blocos de concreto comuns e os blocos com adição de papel reciclado foi realizado adequadamente, comparando-se as alterações entre a absorção de água, resistência à compressão e análise dimensional.

A absorção de água apresentou crescimento do bloco padrão em relação ao bloco adicionado, conforme já notado na Etapa III, esta propriedade deve ser analisada com cautela. Apesar do acréscimo, o bloco adicionado se manteve abaixo do limite máximo de 10% para média de absorção, sendo assim aplicável para a construção civil.

A resistência à compressão dos blocos adicionados com papel reciclado apresentou valores individuais mais elevados que os blocos comuns, ultrapassando a resistência mínima de 3 MPa para blocos de vedação nos 14 dias de idade, enquanto o bloco comum alcançou a resistência mínima aos 21 dias de idade.

A resistência continuou crescendo, ainda que não apresentando as mesmas taxas, de maneira linear. A diferença mais expressiva encontrou-se aos 28 dias de idade, em que o bloco com adição alcançava os 4 MPa. Se possível, para estudos futuros, analisar a viabilidade de utilização dos blocos adicionados para fins estruturais, por meio de ensaios especiais e maiores resistências a partir de um traço definido.

A análise dimensional não apresentou variações quanto à incorporação do papel na massa total do bloco. As medidas de largura, comprimento, espessura das paredes, espessura equivalente estavam em conformidade com as especificações da NBR 6136, tanto para os blocos comuns quanto para os blocos com adição de papel.

Para estudos futuros, sugere-se que tenha:

- Análise das propriedades de taxa de absorção inicial, retração à secagem e aderência de argamassas para o bloco de concreto com adição de papel, proporcionando assim uma coleta de dados mais abrangente;
- Averiguar se há interferências das fibras de celulose do papel na pasta de cimento hidratada, a partir de ensaios de difração de raio-X.
- Confecção com outros traços e com materiais de granulometria mais grossa, afim de analisar o comportamento do papel com partículas maiores;
- Incrementar o processo de tratamento do papel, para que se tenha uma produção em maior escala deste resíduo reaproveitado.
- Avaliar alterações causadas na mistura com adição de papel a partir de simulações do processo de envelhecimento acelerado.

REFERÊNCIAS

AHMADI, B.; AL-KHAJA, W. **Utilization of paper waste sludge in the building construction industry. Resources, Conservation and Recycling**, Bahrain. v..32, n.2, p. 105-113, jun. 2001.

ALBUQUERQUE, R. T. O.; LIMA, N. L. de A. **Adições minerais ao concreto: melhores propriedades, maior economia e mais sustentabilidade**. Revista Interdisciplinar da Universidade Veiga de Almeida. Rio de Janeiro, n. 11, p. 57-66, Disponível em: <<http://ojs.uva.br/index.php?journal=revistaaquila&page=article&op=view&path%5B%5D=191>> Acesso em: 30 jan. 2018.

ALVES, L. S. **Influência da adição de fibras de celulose (papel kraft) nas características dos blocos de concreto não estrutural**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 129p, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de utilização do Cimento Portland**. 7.ed, São Paulo, 2002. 28p. Disponível em <http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf> Acesso em: 20 de jan. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção água por imersão – Índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26: Agregados - Amostragem.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27: Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica e massa aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2001.

AZEVEDO, Marco Antônio Bandeira. (2011). **Diferentes processos de branqueamento da celulose e seus efeitos nas propriedades físicas e cristalinidade.** Tese de Doutorado em Ciências – Química, Departamento de Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 181p.

BARBOSA, Francisco Elpídio Viana (2015). **Análise das variáveis operacionais de um processo de produção de papel visando maior eficiência da operação.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 143p.

BATALHA, M. O. **Sistemas agroindustriais: definições e correntes metodológicas.** In: BATALHA, M. O. (Coord.). *Gestão Agroindustrial.* São Paulo: Atlas, 1997. p. 23-63.

BENTUR, Arnon. MINDESS, Sidney. **Fibre Reinforced Cementitious Composites.** 2 ed. Londres: Taylor & Francis, 2007.

BORDIN, V. **Nova norma da ABNT estabelece critérios para o uso de água em concreto. 2010.** Artigo técnico – Cimento Itambé. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/nova-norma-da-abnt-estabelece-criterios-para-o-uso-de-agua-em-concreto/> Acesso em: 10 jan. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável.** Brasília, DF. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>. Acesso em: 15 nov. 2018.

CARDOSO, M. de M. et alii. **Materiais recicláveis,** 1ª Ed. Sorocaba: Unesp Campus Sorocaba, 2013. Disponível em: www.sorocaba.unesp.br/Home/Extensao/residuossolidos/catalogoebook.pdf Acesso em: 31 mar. 2017

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 213/94: Solos – determinação do teor de umidade.** Rio de Janeiro, 1994.

DOMONE, Peter. ILLSTON, John, et al. **Construction Materials: Their nature and behaviour**. 4 ed. Londres: Spon Press, 2010.

DURAN, A. P; FRACARO, D. **Verificação das propriedades básicas do concreto industrializado fornecido em embalagens de 30kg**. 2011. 61f. Trabalho de Diplomação (Tecnólogo em Concreto) – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

FONSECA, G. C. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: Uma abordagem epistêmica**. 2010. 106f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FONSECA, L. H. A. **Reciclagem: o primeiro passo para a preservação ambiental**. 30f. Barra Mansa, Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/reciclagem.pdf>> Acesso em: 31 mar. 2017.

GEYER, A. L. B; DE SÁ, R. R. **Importância do Controle de Qualidade do Concreto Fresco**. 2006. 8f. Informativo Técnico – Realmix, Ano 2, nº 2, Aparecida de Goiânia. Disponível em: <http://www.realmixconcreto.com.br/downloads/Ano2_informativo_internet.pdf> Acesso em: 10 jan. 2018.

Giertz, Hanz W. **Pulp and Paper Technology**, PT Course in Markarid – Sweden, 1993.

GONÇALVES, R. **Agregados reciclados de resíduos de concreto – Um novo material para dosagens estruturais**. 2001. 148f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HELENE, P; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: ISAlA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Ibracon, 2010. Cap. 29, p. 906 -944, São Paulo.

HELENE, Paulo; TUTIKIAN, Bernardo. Dosagem dos concretos de Cimento Portland. In: ____ **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 12.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual – Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores**. Brasília, 2016. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf> Acesso em: 31 mar. 2017

JÚNIOR, H. S. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. Tese (Concurso de Livre – Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulato de; HERNANDEZ, José Anzaldo. **Manual Didático - Polpa e Papel**. 3. Ed. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 118p.

LIMA, A. B. P. de. **Análise das condições da água de amassamento utilizada no concreto produzido em obras da UFERSA, de acordo com as especificações da ABNT NBR 15900:2009**. 2014. 70f. Trabalho Final de Graduação (Bacharel em Engenharia Civil) – Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

LUCAS, D. BENATTI, C. T. **Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil.** Revista em Agronegócios e Meio Ambiente. v.1, n.3. 2008.

MAJUMDAR, A. J. NURSE, R. W. **Glass fibre reinforced cement.** Building Research Establishment Current Paper, Building Research Establishment, England, 1974.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Estrutura, Propriedades e Materiais.** Ed.:PINI. 1994.

MENDES, G. **Aditivos e Adições.** Construção Mercado. São Paulo, ed. 62, Disponível em: <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/62/aditivos-e-adicoes-desempenho-aditivado-283188-1.aspx>> Acesso em: 20 jan. 2018.

MORAES, J. S. de L. J. **Aditivos para Concreto.** 2014. 4f. Itapeva, Disponível em: <http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/HtBS04Wx0iBUAD2_2014-4-22-17-20-16.pdf> Acesso em: 31 mar. 2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto,** 5ª Ed. Rio de Janeiro: Bookman, 2016.

OSORIO, E. G. **Indústria de Papel e Celulose:** Estudo de caso da implantação da VCP Florestal no extremo sul do Rio Grande do Sul. 2007. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Economia). Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem.** Revista Concreto e Construções. São Paulo, v. 53, p. 14-19, Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf> Acesso em: 31 mar. 2017.

RECENA, F. A. **Dosagem e controle de qualidade de concretos convencionais de Cimento Portland.** 4ª. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2017. 120 p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?isbn=8539707381>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

RIBEIRO, C.; PINTO, J.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil.** 2ª. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 102 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=t4b1NY_WhjMC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 20 jan. 2018.

RODRIGUES, E. C. **Concreto fresco e suas propriedades.** 2017. 6f. Artigo acadêmico – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/concreto-fresco-e-as-suas-propriedades/81326>> Acesso em: 19 jan. 2018.

ROSA, B. N. et alii. **A importância da reciclagem do papel na melhoria da qualidade do meio ambiente.** 7f. In: XXV Encontro Nacional de Eng. De Produção, 2005, Porto Alegre. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2005_Enegep1004_1116.pdf>

SALVADOR FILHO, José Américo Alves. (2007). **Blocos de Concreto para alvenaria em construções industrializadas.** Tese de Doutorado em Engenharia de Estruturas, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 246p.

SANDES, V. de S. **Estudo sobre a qualidade dos blocos de concreto em fábricas de Feira de Santana.** 2008. 61f. Trabalho Final de Graduação (Bacharel em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia, Universidade Feira de Santana, Feira de Santana.

SANTOS, L. R.; CARVALHO, P. E. F. **Avaliação de argamassas com fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cimento.** 2011. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2011.

SAVASTANO Jr., HOLMER. **Materiais a base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** Tese (Livre Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

SILVA, A. C. (2002). **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Construção Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 128p.

SOARES, M. S.; AGUIAR, E. A. B.; GOMES, G. B. **O uso do papel reciclado como aditivo em misturas de concreto para blocos de baixa resistência.** Práticas Sustentáveis no processo de ambientalização da Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, v.1, p. 291-310. 2016.

SOUSA, José Tulio Gomes. (2001). **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 124p.

VALVERDE, F. **Agregados para Construção Civil: Balanço Mineral Brasileiro - Agência Nacional de Mineração.** Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-contrucao-civil.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A – MASSA ESPECÍFICA E UMIDADE DA AREIA

Tabela 29 - Leituras finais do ensaio de massa específica da areia.

Amostra	Leitura final (cm^3)
1	389
2	388,5

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 30 - Massa das cápsulas utilizadas para o ensaio de umidade.

Cápsulas	Massa, m (g)
18	15,92
26	16,11
24	16,18

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 31 - Massas das cápsulas com areia úmida para o ensaio de umidade.

Cápsulas	Massa da cápsula com areia, m_{bu} (g)
18	75,91
26	76,02
24	76,31

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 32 - Massa das cápsulas com areia seca para ensaio de umidade.

Cápsulas	Massa da cápsula e areia seca, m_{bs} (g)
18	74,72
26	74,82
24	75,07

Fonte: AUTORA, 2018.

APÊNDICE B - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA AREIA

Tabela 33 - Análise granulométrica para a amostra 1 de areia.

Diâm. (mm)	Pe. Retida (g)	Pe. Acumulado (g)	Pe. Passante (g)	Po. Retida (%)	Po. Acumulada (%)	Po. Passante (%)
9,5	0	0	1926,1	0	0	100
6,3	0,18	0,18	1925,92	0,01	0,01	99,99
4,75	2,14	2,32	1923,78	0,11	0,12	99,88
2,36	23,37	25,69	1900,41	1,21	1,33	98,67
1,18	56,66	82,35	1843,75	2,94	4,28	95,72
0,6	104,51	186,86	1739,24	5,43	9,7	90,3
0,3	1238,24	1425,1	501	64,29	73,99	26,01
0,15	352,4	1777,5	148,6	18,3	92,28	7,72
Fundo	148,6	1926,1	0	7,72	100	0
Somatório	1926,1			100	100	

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 34 - Análise granulométrica para amostra 2 de areia.

Diâm. (mm)	Pe. Retida (g)	Pe. Acumulado (g)	Pe. Passante (g)	Po. Retida (%)	Po. Acumulada (%)	Po. Passante (%)
9,5	0	0	1929,8	0	0	100
6,3	0,44	0,44	1929,36	0,02	0,02	99,98
4,75	2,35	2,79	1927,01	0,12	0,14	99,86
2,36	8,19	10,98	1918,82	0,42	0,57	99,43
1,18	30,11	41,09	1888,71	1,56	2,13	97,87
0,6	104,51	145,6	1784,2	5,42	7,54	92,46
0,3	1160	1305,6	624,2	60,11	67,65	32,35
0,15	398	1703,6	226,2	20,62	88,28	11,72
Fundo	226,2	1929,8	0	11,72	100	0
Somatório	1929,8			100	100	

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 35 - Módulo de Finura e Dimensão Máxima Característica das amostras 1 e 2 de areia.

Amostras	Módulo de Finura	Dimensão Máxima Característica
Amostra 1	1,66	1,18
Amostra 2	1,82	1,18

Fonte: AUTORA, 2018.

APÊNDICE C – MASSA ESPECÍFICA DA BRITA

Tabela 36 - Massa inicial da amostra após estufa para as amostras 1 e 2 de brita.

Amostras consideradas	Massa inicial da amostra após estufa, m_i (g)
Amostra 1	1891,4
Amostra 2	1946,3

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 37 - Massas do agregado saturado com superfície seca e sua massa em água para amostra 1 de brita.

Amostra 1	Agregado saturado com superfície seca, m_s (g)	Massa em água, m_a (g)
Fração 1	960,9	340,3
Fração 2	996,5	362,8

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 38 - Massas do agregado saturado com superfície seca e sua massa em água para amostra 2 de brita.

Amostra 2	Agregado saturado com superfície seca, m_s (g)	massa em água, m_a (g)
Fração 1	968,5	346,0
Fração 2	984,8	354,0

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 39 - Massa seca após estufa das frações de amostras 1 de brita.

Amostra 1	Massa seca, m (g)
Fração 1	952,9
Fração 2	990

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 40 - Massa seca após estufa das frações da amostra 2 de brita.

Amostra 2	Massa seca, m (g)
Fração 1	964
Fração 2	975,5

Fonte: AUTORA, 2018.

APÊNDICE D – GRANULOMETRIA DA BRITA

Tabela 41 - Análise granulométrica da amostra 1 de brita.

Diâm. (mm)	Peso Ret. (g)	Peso Acum. (g)	Peso Pass. (g)	Porcentagem Ret. (%)	Porcentagem Acum. (%)	Porcentagem Pass. (%)
75	0,0	0,0	998,8	0,0	0,0	100,0
63	0,0	0,0	998,8	0,0	0,0	100,0
50	0,0	0,0	998,8	0,0	0,0	100,0
37,5	0,0	0,0	998,8	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	998,8	0,0	0,0	100,0
25	0,0	0,0	998,8	0,0	0,0	100,0
19	0,0	0,0	998,8	0,0	0,0	100,0
12,5	20,4	20,4	978,4	2,0	2,0	98,0
9,5	269,2	289,5	709,3	26,9	29,0	71,0
6,3	559,4	848,9	149,9	56,0	85,0	15,0
4,75	124,0	972,9	25,9	12,4	97,4	2,6
2,36	21,1	994,0	4,8	2,1	99,5	0,5
Fundo	4,8	998,8	0,0	0,5	100,0	0,0
Somatório	998,8			100,0	100,0	

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 42 - Análise granulométrica da amostra 2 de brita.

Diâm. (mm)	Peso Ret. (g)	Peso Acum. (g)	Peso Pass. (g)	Porcentagem Ret. (%)	Porcentagem Acum. (%)	Porcentagem Pass. (%)
75	0,0	0,0	999,2	0,0	0,0	100,0
63	0,0	0,0	999,2	0,0	0,0	100,0
50	0,0	0,0	999,2	0,0	0,0	100,0
37,5	0,0	0,0	999,2	0,0	0,0	100,0
31,5	0,0	0,0	999,2	0,0	0,0	100,0
25	0,0	0,0	999,2	0,0	0,0	100,0
19	0,0	0,0	999,2	0,0	0,0	100,0
12,5	28,3	28,3	970,9	2,8	2,8	97,2
9,5	245,9	274,2	725,0	24,6	27,4	72,6
6,3	494,0	768,2	231,0	49,4	76,9	23,1
4,75	197,4	965,6	33,6	19,8	96,6	3,4
2,36	26,7	992,3	6,9	2,7	99,3	0,7
Fundo	6,9	999,2	0,0	0,7	100,0	0,0
Somatório	999,2			100,0	100,0	

Fonte: AUTORA, 2018.

APÊNDICE E – MASSA ESPECÍFICA DO CIMENTO E ABSORÇÃO DE ÁGUA

Tabela 43 - Leitura inicial para massa específica do cimento.

Amostra	Leitura inicial, v_i (cm^3)
1	0,6
2	0,5

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 44 - Leitura final para massa específica do cimento.

Amostra	Leitura final, v_f (cm^3)
1	19,9
2	19,7

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 45 - Valores obtidos para massas seca e úmida, absorção individual e absorção média dos concretos padrão, 0%, 5%, 10%, 15% e 20% com adição de papel.

Teor de adição (%)	Amostra	Massa seca (g)	Massa úmida (g)	Absorção (%)	Absorção Média (%)
0%	CP I	3417,1	3662,1	7,17	7,74
	CP II	3346,88	3632,7	8,54	
	CP III	3399,65	3655,3	7,52	
5%	CP I	3395,65	3672,4	8,15	7,91
	CP II	3388,56	3656,6	7,91	
	CP III	3404,81	3666,3	7,68	
10%	CP I	3406,46	3689,2	8,3	8,06
	CP II	3394,48	3665,7	7,99	
	CP III	3409,62	3678,3	7,88	
15%	CP I	3412,68	3699	8,39	8,17
	CP II	3400,31	3675,4	8,09	
	CP III	3413,53	3687,3	8,02	
20%	CP I	3386,27	3678,5	8,63	8,31
	CP II	3411,71	3688,4	8,11	
	CP III	3415,06	3695,1	8,2	

Fonte: AUTORA, 2018.

APÊNDICE F - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA A ETAPA III

Tabela 46 - Resistência à compressão para concreto com teor de adição 0%, 5%, 10%, 15% e 20%.

Traço	Teor de adição	Idades de cura (dias)	Resistência à Compressão (MPa)	
1:2:3:0,6 com brita zero	0%	7	12,3	13,3
		14	13	14,64
		21	16,4	17
		28	20,3	20,7
	5%	7	12,8	13,06
		14	14,3	14,9
		21	16,9	17,14
		28	19,5	19,7
	10%	7	14,3	15,1
		14	15,1	15,7
		21	18,3	18,7
		28	21,1	21,08
	15%	7	16,2	16,8
		14	19,4	19,88
		21	21,2	22
		28	23,2	24
	20%	7	18,5	19,1
		14	20,2	21,2
		21	22,1	23,72
		28	24,9	25,42

Fonte: AUTORA, 2018.

APÊNDICE G – MASSA ESPECÍFICA DO PÓ DE BRITA

Tabela 47 - Leitura final para o ensaio de massa específica do pó de brita.

Amostra	Leitura final (cm³)
1	380,88
2	380,75

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 48 - Valores de massa específica para amostra 1 e 2 de pó de brita.

Amostra	Massa específica (g/cm³)
1	2,764
2	2,766

Fonte: AUTORA, 2018.

APÊNDICE H – GRANULOMETRIA DO PÓ DE BRITA

Tabela 49 - Análise granulométrica para amostra 1 de pó de brita.

Diâm. (mm)	Peso Ret. (g)	Peso Acum. (g)	Peso Pass. (g)	Porcentagem Ret. (%)	Porcentagem Acum. (%)	Porcentagem Pass. (%)
9,5	0	0	1920,4	0	0	100
6,3	0	0	1920,4	0	0	100
4,75	72,3	72,3	1848,1	3,76	3,76	96,24
2,36	350,5	422,8	1497,6	18,25	22,02	77,98
1,18	461,4	884,2	1036,2	24,03	46,04	53,96
0,6	637,7	1521,9	398,5	33,21	79,25	20,75
0,3	340,2	1862,1	58,3	17,72	96,96	3,04
0,15	50,4	1912,5	7,9	2,62	99,59	0,41
Fundo	7,9	1920,4	0	0,41	100	0
Somatório 1920,4						

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 50 - Análise granulométrica para amostra 2 de pó de brita.

Diâm. (mm)	Peso Ret. (g)	Peso Acum. (g)	Peso Pass. (g)	Porcentagem Ret. (%)	Porcentagem Acum. (%)	Porcentagem Pass. (%)
9,5	0	0	1850,6	0	0	100
6,3	0	0	1850,6	0	0	100
4,75	72,3	72,3	1778,3	3,91	3,91	96,09
2,36	350,5	422,8	1427,8	18,94	22,85	77,15
1,18	461,4	884,2	966,4	24,93	47,78	52,22
0,6	637,7	1521,9	328,7	34,46	82,24	17,76
0,3	277,5	1799,4	51,2	15	97,23	2,77
0,15	1,8	1801,2	49,4	0,1	97,33	2,67
Fundo	49,4	1850,6	0	2,67	100	0
Somatório 1850,6						

Fonte: AUTORA, 2018

**APÊNDICE I – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COM PÓ DE BRITA E
ABSORÇÃO DE ÁGUA.**

Tabela 51 - Valores obtidos para o ensaio de resistência à compressão com pó de brita na composição do concreto com 20% de papel.

Traço	Teor de adição	Força aplicada (Kgf)		Área (cm²)	Idades de cura (dias)	Resistência à Compressão (MPa)	
1:2:3:0,35 com pó de brita	20%	9490	8890	78,5	7	11,85	11,10
		9988	9780	78,5	14	12,47	12,21
		10669	10421	78,5	21	13,32	13,01
		12071	11959	78,5	28	15,07	14,93

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 52 - Valores obtidos para o ensaio de resistência à compressão com pó de brita na composição do concreto padrão.

Traço	Teor de adição	Força aplicada (Kgf)		Área (cm²)	Idades de cura (dias)	Resistência à Compressão (MPa)	
1:2:3:0,35 com pó de brita	Padrão	8290	8635	78,5	7	10,35	10,78
		9524	9396	78,5	14	11,89	11,73
		9908	10020	78,5	21	12,37	12,51
		11903	11142	78,5	28	14,86	13,91

Fonte: AUTORA, 2018.

Tabela 53 - Valores obtidos para o ensaio de absorção de água com pó de brita na composição.

Teor de adição (%)	Amostra	Massa seca (g)	Massa úmida (g)	Absorção (%)	Absorção Média (%)
0%	CP I	3317,4	3588	8,157	7,97
	CP II	3310,5	3573,1	7,932	
	CP III	3311,4	3571,1	7,843	
20%	CP I	3310,2	3580,3	8,159	8,14
	CP II	3312,3	3581,7	8,133	
	CP III	3315,1	3584,5	8,126	

Fonte: AUTORA, 2018.

APÊNDICE J – ANÁLISE DIMENSIONAL

Tabela 54 - Dados coletados na análise dimensional dos blocos de concreto padrão e com adição de papel.

Traço	Teor de adição	Comprimento (mm)			Largura (mm)			Altura (mm)			Espessura da Parede (mm)			Espessura Equivalente (mm/m)	Área Bruta (mm ²)			
		Indiv.	Mé.	Mé.	Indiv.	Mé.	Mé.	Indiv.	Mé.	Mé.	Long.	Transv.	Mé.					
		390	391	391	188	189	190	190	191	190	190	19	18	19	19	19	73836	
		390	390	390	190	190	190	190	191	190	190	19	22	18	18	23	18	197,44
		391	392	390	190	191	190	190	191	190	190	19	21	18	18	23	21	204,60
		390	390	390	191	191	190	190	191	190	191	22	22	18	21	18	23	205,13
		392	390	390	192	191	191	190	190	191	190	22	20	18	20	19	21	204,78
		390	390	391	190	190	190	190	192	190	191	21	22	18	20	19	21	204,95
		390	391	391	190	191	190	190	190	190	191	21	22	18	20	19	19	191,98
		390	392	390	191	190	191	190	190	189	190	21	22	18	20	19	18	202,22
		390	388	389	191	192	190	191	190	191	190	21	22	18	20	19	19	205,66
		390	390	390	190	188	190	189	191	190	190	19	20	21	20	21	19	207,69
		390	391	390	189	190	190	190	190	190	190	19	20	21	20	21	19	210,08
		390	392	390	190	191	190	190	189	190	190	19	20	21	20	20	21	207,34
		391	390	390	190	190	191	190	190	190	190	19	21	18	19	20	21	212,64
		391	391	391	188	188	190	189	190	191	190	19	21	18	19	20	18	196,93
		392	390	391	188	190	192	190	191	190	190	19	21	18	19	20	18	191,82
		390	390	390	190	192	190	191	190	189	190	19	21	18	19	20	18	197,44
		390	390	390	192	190	190	190	188	190	189	19	21	20	20	18	19	192,31
		390	391	390	190	190	190	190	190	188	190	19	20	20	20	18	19	192,14
		390	389	390	190	190	190	190	190	190	190	19	20	20	20	18	19	192,47
		389	389	389	190	191	190	190	191	190	191	19	20	20	20	18	19	192,80
		390	391	391	190	190	191	190	190	189	190	19	20	20	20	18	19	202,22
		390	390	390	190	190	190	190	190	189	190	19	20	20	20	20	18	200,00
		390	390	391	191	190	190	190	189	190	190	19	20	19	19	20	18	199,83
		388	388	390	190	191	190	190	189	190	190	19	20	19	20	20	18	200,69
		388	389	390	190	190	191	190	189	190	191	19	20	19	19	20	18	197,94
		390	391	390	190	191	190	190	190	191	190	20	18	18	20	19	18	197,27
		390	389	390	192	190	190	191	191	190	190	20	18	18	19	20	18	192,47
		390	390	390	190	189	190	190	190	192	191	20	20	18	19	20	21	202,56
		391	390	390	189	190	190	190	190	190	190	19	20	18	19	20	18	199,83
		391	390	390	190	190	189	190	190	192	191	19	20	18	19	20	21	204,95
		390	391	390	190	190	190	190	191	190	190	20	18	18	19	20	21	204,95
		390	391	391	189	190	191	189	190	189	188	189	20	18	19	20	21	204,95
		391	390	391	189	190	190	190	189	188	189	20	18	18	19	20	21	204,78
		390	390	392	191	190	190	190	190	190	190	19	18	18	19	20	19	197,10
		390	388	389	192	191	190	191	190	190	190	19	18	18	18	20	20	203,08
		390	391	390	190	190	191	190	191	190	190	19	20	18	19	20	19	197,27

1:2:3:0,3
5 com pó
de brita

20%

APÊNDICE K – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO

Quadro 10 - Valores obtidos no ensaio de resistência à compressão para blocos de concreto.

Teor de adição	14 dias			21 dias			28 dias		
	Carga (Tf)	Área Bruta (mm ²)	Tensão (MPa)	Carga (Tf)	Área Bruta (mm ²)	Tensão (MPa)	Carga (Tf)	Área Bruta (mm ²)	Tensão (MPa)
0%	22,55	73836	2,99	23,01	74357	3,03	28,75	74293	3,79
	19,94	74100	2,64	22,94	74357	3,02	27,77	73769	3,69
	20,54	74420	2,70	21,78	74299	2,87	27,43	74290	3,62
	19,51	74360	2,57	24,5	73840	3,25	29,87	74360	3,94
	20,68	74748	2,71	23,98	74033	3,17	29	74360	3,82
	21,01	74163	2,78	21,66	74357	2,85	21,99	74163	2,91
Média 14 dias			2,73	Média 21 dias		3,03	Média 28 dias		3,63
20%	27,55	74037	3,65	25,67	74040	3,40	31,45	74163	4,16
	23,1	74040	3,06	24,78	74293	3,27	28,4	74163	3,75
	21,59	74357	2,85	22,01	74296	2,90	30,76	74096	4,07
	23	74100	3,04	25,77	73970	3,41	30,11	74357	3,97
	22,7	74293	2,99	24,98	74033	3,31	29,97	74299	3,95
	21,99	73976	2,91	24,99	74033	3,31	27,66	74293	3,65
Média 14 dias			3,08	Média 21 dias		3,27	Média 28 dias		3,92

Fonte: AUTORA, 2018.

ANEXOS

ANEXO A – CONJUNTO DE PENEIRAS

Quadro 11 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária.

Tabela 1 — Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal)

Série normal	Série intermediária
75 mm	—
—	63 mm
—	50 mm
37,5 mm	—
—	31,5 mm
—	25 mm
19 mm	—
—	12,5 mm
9,5 mm	—
—	6,3 mm
4,75 mm	—
2,36 mm	—
1,18 mm	—
600 µm	—
300 µm	—
150 µm	—

Fonte: ABNT, 2005.

ANEXO B – LIMITES DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA PARA AGREGADO GRAÚDO

Quadro 12 - Limites da composição granulométrica para agregado graúdo.

Tabela 6 — Limites da composição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica $d/D^{1)}$				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 – 5
63 mm	-	-	-	-	5 – 30
50 mm	-	-	-	0 – 5	75 – 100
37,5 mm	-	-	-	5 – 30	90 – 100
31,5 mm	-	-	0 – 5	75 – 100	95 – 100
25 mm	-	0 – 5	5 – 25 ²⁾	87 – 100	-
19 mm	-	2 – 15 ²⁾	65 ²⁾ – 95	95 – 100	-
12,5 mm	0 – 5	40 ²⁾ – 65 ²⁾	92 – 100	-	-
9,5 mm	2 – 15 ²⁾	80 ²⁾ – 100	95 – 100	-	-
6,3 mm	40 ²⁾ – 65 ²⁾	92 – 100	-	-	-
4,75 mm	80 ²⁾ – 100	95 – 100	-	-	-
2,36 mm	95 – 100	-	-	-	-

¹⁾ Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

²⁾ Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: ABNT, 2005.