



FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS
KRAFT EM ARGAMASSAS**

FLÁVIA TOSTES MESSIAS PEREIRA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS
KRAFT EM ARGAMASSAS

FLÁVIA TOSTES MESSIAS PEREIRA

ORIENTADOR: CLÁUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA FEITOSA PEREIRA

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

BRASÍLIA, 5 DE JULHO DE 2018

Flávia Tostes Messias Pereira

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS *KRAFT* EM
ARGAMASSAS**

Relatório final, apresentado a Universidade de Brasília (UnB) como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Doutor Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira

BRASÍLIA

2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS
KRAFT EM ARGAMASSAS

FLÁVIA TOSTES MESSIAS PEREIRA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

APROVADA POR:

Prof. Cláudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira, Doutor. (EnC/UnB)
(Orientador)

Prof. João Henrique da Silva Rêgo, Doutor. (EnC/UnB)
(Examinador Interno)

Eng^a Lilian de Sousa Alves, Mestre (PECC/UnB)
(Examinadora Externa)

“Sim! Grandes coisas fez o Senhor
por nós, por isso estamos alegres! ”

Salmos 126:3

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Geraldo e Kelly. Me faltam palavras para expressar minha gratidão a tudo que vocês são e fazem para mim. Vocês são responsáveis por todas as conquistas que eu possa obter.

Ao meu irmão, Gabriel, por ser meu companheiro de vida. Obrigada por ser um dos melhores amigos que eu poderia ter.

A todos os meus familiares, que, mesmo morando longe, me acompanharam e me apoiaram durante essa trajetória.

Ao Professor Cláudio e à Lilian por terem me permitido fazer parte dessa pesquisa, pela disponibilidade e pela ajuda.

Ao professor Elton Bauer, por ter me ajudado com os ensaios de Compressão no laboratório de materiais.

À Juliana e ao Severo, que me cederam areia para que eu pudesse realizar os ensaios. À Amanda e à Grupotecn Sistemas Construtivos, por terem me doado cimento e outros materiais para que eu pudesse realizar os ensaios.

Aos meus amigos, pelas conversas, ajudas, risadas e orações. Em especial aos meus amigos da UnB, por compartilharem comigo essa experiência e torná-la mais leve. Mais especial ainda, aos meus amigos Leo e Matheus, por terem me ajudado na produção das Fibras Kraft.

Ao meu Deus, por tudo, sempre.

RESUMO

A construção civil é um setor com grande potencial de geração de impactos negativos na questão ambiental, dentre os quais se destacam a geração de resíduos e o esgotamento dos recursos naturais. Para diminuir estes impactos negativos gerados, desenvolvem-se pesquisas de produção de novos materiais que utilizam como matérias primas o que seria descartado como resíduo na construção civil, voltados a promover a reutilização de resíduos no próprio ciclo em que foram gerados, substituindo matéria prima natural. Inserida nesse contexto, esta pesquisa desenvolveu a análise sobre a adição das fibras de papel *kraft* em argamassas, vindas da reciclagem de sacos de cimento, material de grande consumo em obras e reformas. O papel reciclado substituiu parte de agregados naturais na produção. Foram produzidas argamassas com fibras *kraft* com substituição em volume de agregados nos teores 0,1%; 0,25%; 0,5% e 1,0%, e um traço sem adição de fibras. Foi analisada a influência da adição das fibras *kraft* no estado fresco, através do consumo de aditivo superplastificante necessário para atingir a trabalhabilidade fixada no ensaio de mesa de consistência. No estado endurecido, as argamassas produzidas foram avaliadas segundo a resistência à tração na flexão, resistência a compressão e absorção de água por capilaridade e por imersão. Constatou-se que a adição de fibras diminuiu a fluidez da argamassa proporcionalmente à sua adição. No estado endurecido, o ensaio de flexão na tração, demonstrou que a adição das fibras acarreta em um incremento de resistência em relação à argamassa sem fibras, principalmente para teores menores de adição. Para a compressão, a argamassa perdeu resistência conforme o teor aumentado de fibras, principalmente na idade de 28 dias, nas quais o desempenho foi menor do que a argamassa de referência. Para a absorção de água por capilaridade e imersão, as argamassas com fibras celulósicas apresentaram maior absorção de água e um maior índice de vazios, em relação à argamassa de referência.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE ABREVIACÕES.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações sobre o tema e Motivação.....	1
1.2. Objetivos.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Papel.....	5
2.1.1. Composição e Produção do Papel.....	5
2.2. Papel <i>Kraft</i>.....	6
2.2.1. Composição e Produção de Papel <i>Kraft</i>	7
2.2.2. Papel <i>Kraft</i> Natural para Sacos Multifoliados.....	9
2.3. Papel <i>Kraft</i> na Construção Civil.....	11
2.4. Microestrutura das Fibras Celulósicas.....	13
3. METODOLOGIA.....	17
3.1. Etapa I: Obtenção e Caracterização de Materiais.....	19
3.1.1. Fibras <i>Kraft</i>	19
3.1.2. Cimento.....	22
3.1.3. Agregados.....	23
3.1.4. Aditivo.....	25
3.2. Etapa II: Produção de Argamassas.....	25
3.3. Etapa III: Influência da Fibra <i>Kraft</i> no Estado Fresco.....	27
3.3.1. Dosagem do aditivo.....	28
3.3.2. Determinação da Trabalhabilidade.....	29
3.4. Etapa IV: Influência da Fibra <i>Kraft</i> no Estado Endurecido.....	30
3.4.2. Ensaios de Determinação da Resistência Mecânica.....	32
3.4.3. Ensaios de Absorção de Água.....	33
4. RESULTADOS.....	36
4.1. Etapa I: Obtenção e Caracterização dos Materiais.....	36

4.1.1.	Cimento	36
4.2.	Influência da Fibra <i>Kraft</i> no Estado Fresco	37
4.2.1.	Dosagem do Aditivo	37
4.2.2.	Determinação da Trabalhabilidade	40
4.3.	Influência da Fibra <i>Kraft</i> no Estado Endurecido	41
4.3.1.	Ensaio de Determinação da Resistência Mecânica	42
4.3.2.	Ensaio de Absorção de Água	48
5.	CONCLUSÃO	53
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Quantidade de RCD coletado pelos municípios no Brasil. Fonte: ABRELPE (2017)	2
Figura 2: Local não adequado para descarte de resíduos da construção civil. Fonte: QUALIDADEONLINE (2017)	2
Figura 3: Venda acumulada de cimento. Fonte ABCP (2017)	3
Figura 4: Relação entre o Comprimento de Auto Ruptura e o Grau de Polimerização do papel kraft.	14
Figura 5: Estrutura de uma fibra de celulose. Fonte: COUTS, (1992)	16
Figura 6: Etapas do Procedimento Experimental. Fonte: O autor	19
Figura 7: Fluxograma dos processos de obtenção e reciclagem das fibras kraft. Fonte: ALVES, (2016)	19
Figura 8: Misturador usado para a dispersão das fibras. Fonte: o autor	20
Figura 9: Resultado final da fibra kraft. Fonte: Alves (2016)	21
Figura 10: Moldagem dos corpos de prova. Fonte: o autor	22
Figura 11: Frações de areia utilizada na caracterização do cimento. Fonte: o autor	23
Figura 12: Máquina de compressão utilizada e corpos de prova para ensaio. Fonte: o autor	23
Figura 13: Agregados - areia rosa, areia mix e pó de brita. Fonte: o autor	24
Figura 14: Tabela A.2. Fonte: NBR 7215	26
Figura 15: Mistura das argamassas na argamassadeira. Fonte: Dias (2017)	27
Figura 16: Execução da Mesa de Consistência. Fonte: Dias (2017)	29
Figura 17: Ensaio de Penetração do Cone. Fonte: o autor	30
Figura 18: Produção dos corpos de prova. Fonte: Dias (2017)	31
Figura 19: Conservação dos corpos de prova até 48hrs após moldados. Fonte: o autor	31
Figura 20: Corpos de prova para ensaios. Fonte: o autor	32
Figura 21: Ensaio de Resistência à Flexão. Fonte: o autor	32
Figura 22: Ensaio de Resistência à Compressão. Fonte: o autor	33
Figura 23: Ensaio de Absorção de água por Capilaridade. Fonte: o autor	34
Figura 24: Corpos de Prova após ruptura. Fonte: o autor	37
Figura 25: Diagrama Massa de Fibras Kraft versus Massa de Aditivo. Fonte: o autor	38
Figura 26: Diagrama do Consumo de aditivo pela Fibra Kraft. Fonte: o autor	39
Figura 27: Corpos de prova: 0,50%; 0,25%; 1,0%; Traço de Referência e 0,10%. Fonte: o autor	42
Figura 28: Resistência à Tração na Flexão. Fonte: o autor	43
Figura 29: Alguns corpos de prova após a ruptura. Concentração das fibras. Fonte: o autor	45
Figura 30: Resistência à Compressão das Argamassas. Fonte: o autor	46
Figura 31: Ganho de resistência das argamassas. Fonte: o autor	47
Figura 32: Diagrama de Coeficiente de Capilaridade. Fonte: o autor	49
Figura 33: Absorção de Água x Teor de Fibra. Fonte: o autor	51
Figura 34: Índice de Vazios x Teor de Fibras Kraft. Fonte: o autor	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplos de propriedades de Sacos de Cimento.....	10
Tabela 2: Quantidade, em massa, de fibras kraft usada nas argamassas produzidas. Fonte: o autor.....	21
Tabela 3: Características dos Agregados. Fonte: DIAS (2017)	24
Tabela 4: Definição dos traços a serem produzidos, em massa, com adição de fibras kraft. Fonte: o autor	26
Tabela 5: Resistência à Compressão do Cimento. Fonte: o autor	36
Tabela 6: Dosagem de Aditivo. Fonte: o autor.....	37
Tabela 7: Consumo de Aditivo Total e pela Fibra. Fonte: o autor	39
Tabela 8: Resultados dos Ensaio de Trabalhabilidade. Fonte: o autor	40
Tabela 9: Comparação de Resultados obtidos com a pesquisa de Dias (2017). Fonte: o autor	41
Tabela 10: Resistências à Tração na Flexão. Fonte: o autor.....	43
Tabela 11: Comparação de Resultados. Fonte: o autor.....	44
Tabela 12: Ensaio de Resistência à Compressão. Fonte: o autor.....	45
Tabela 13: Absorção de Água por Capilaridade. Fonte: o autor.....	48
Tabela 14: Coeficiente de Capilaridade. Fonte: o autor	49
Tabela 15: Absorção de Água por Imersão e Índice de Vazios. Fonte: o autor	50

LISTA DE ABREVIACÕES

SIDUSCON-DF – Sindicato da Indústria da Construção Civil do Distrito Federal
ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
RCD – Resíduos de Construção e Demolição
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
ABCTP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores
CPV ARI RS – Cimento Portland V Alta Resistência Inicial Rápida Secagem
CP II Z-32 – Cimento Portland II
CEPED – Centro de Estudo e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM – American Society for Testing and Materials
NIR – Near Infrared
CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
LEM-UnB – Laboratório de Ensaio de Materiais-Universidade de Brasília
NM – Níveis de Normlização

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações sobre o tema e Motivação

A construção civil é parte significativa da economia brasileira. Em termos de estabelecimentos (dado que inclui empresas e filiais), no Brasil, a construção civil conta com 176 mil estabelecimentos, o que representa 34% do total da indústria. Em termos de emprego, o segmento gera 24% do total de vagas, segundo dados da Federação das Indústrias do Distrito Federal (FIBRA), apresentados em 2017.

Em contrapartida com o potencial desenvolvimento urbano e social que a construção civil pode proporcionar à sociedade, tem-se a problematização envolvendo os resíduos gerados pela construção civil. Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, afirmam que, aproximadamente, 50% de todo resíduo gerado no Brasil é proveniente das atividades de construção e demolição (MARQUES NETO, 2005).

A Resolução 307 do CONAMA define como resíduos da construção civil todos os “provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultados da preparação e escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, argamassa, gesso, telhas, pavimentos asfálticos, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc. comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”.

O CONAMA também classifica os resíduos em classes e dá direções sobre a maneira correta de coleta e descarte destes materiais. Entretanto, grande parte desse material não é destinada corretamente e resulta em acúmulo de lixo em áreas que não foram separadas para este uso, tornando-se um problema ambiental e de saúde pública.

Segundo o relatório anual de 2017 da ABRELPE, a taxa de coleta de resíduos de construção e demolição no ano de 2016 foi 123619 toneladas ao dia, no Brasil, conforme indicado na Figura 1:

Região	2015	2016	
	RCD Coletado (t/dia)/ Índice (Kg/hab/dia)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab/dia)
Brasil	123.721/0,605	123.619	0,600

Figura 1: Quantidade de RCD coletado pelos municípios no Brasil. Fonte: ABRELPE (2017)

Ao analisar os dados da imagem, a quantidade coletada de resíduos por dia diminuiu em 2016, em relação ao ano anterior. Porém, segundo a observação da ABRELPE, esse não é indicativo de que houve uma menor produção de resíduos no ano. Ao contrário, a associação aponta a tendência do aumento da geração de RCD. Portanto, uma maior quantidade de resíduos não foi coletada e, provavelmente, descartada em locais inadequados, conforme ilustrado na Figura 2:



Figura 2: Local não adequado para descarte de resíduos da construção civil. Fonte: QUALIDADEONLINE (2017)

O setor também é o maior responsável por grande parcela da utilização dos recursos naturais. Segundo John (2002), o consumo de recursos naturais pela construção civil é ainda maior do que o necessário devido ao elevado volume de perdas incorporadas às construções ou eliminadas como resíduos. Ainda segundo o autor, a perda incorporada, apesar de na maioria das vezes ser menos perceptível que a perda que sai da obra na forma de resíduos, é causadora de consumo excessivo de recursos e geração de desperdício.

Segundo a pesquisa de venda acumulada em 12 meses do mercado interno brasileiro de cimento, feita pela Associação Brasileira de Concreto Portland em 2017, entre março de 2015

e fevereiro de 2016, 63133 toneladas de cimento foram comercializadas, conforme indica o gráfico na Figura 3:



Figura 3: Venda acumulada de cimento. Fonte ABCP (2017)

Fazendo o exercício de considerar um traço de 1:6 (relação cimento e agregados) na produção de concreto, considerando o total de cimento vendido em 2016, foram consumidas 378798 mil toneladas de agregados naturais nesse período, apenas para este uso.

A necessidade de encontrar soluções para minorar os impactos negativos causados pela construção civil impulsionou o desenvolvimento de diversos estudos nas áreas de tecnologia de construções, processos construtivos e materiais. Uma das correntes de pesquisas desenvolvida é o reaproveitamento de um material utilizado no próprio ciclo construtivo: o material, antes considerado problema no processo, analisado sob perspectiva de resíduo, passa a adquirir valor na cadeia de construção.

Reutilizar materiais no ciclo construtivo favorece tanto a diminuição do esgotamento dos recursos minerais quanto a problemática dos resíduos. Em vez de buscar mais insumos naturais para produção de materiais primas para construção, a obra conta com insumos alternativos, advindos de materiais que seriam considerados lixo. Nesse contexto, a atividade de reciclagem de resíduo de construção e demolição iniciou-se no Brasil na década de 80, com um crescimento lento da atividade até final da década de 90 (SILVA, 2002).

Dentre esses estudos, surgiram pesquisas para a utilização de fibras celulósicas como insumo de substituição ou de favorecimento de matérias primas tradicionais da construção, como os produtos de matrizes cimentícias: concreto e argamassas. As fibras utilizadas advêm de reciclagem de papéis, utilizados em outras cadeias produtivas.

Mais especificamente, destaca-se a reutilização de matérias primas celulósicas já utilizadas no ciclo construtivo, como o caso do papel *kraft* multifoliado, do qual se produzem embalagens de cimento. O papel *kraft* multifoliado apresenta alta resistência, sendo submetido a padrões rígidos exigidos pelos fabricantes e consumidores de cimento (BUSON, 2009). É um material com propriedades potenciais atrativos no contexto da construção civil.

Dado que em grande parte das construções ainda se utilizam de compósitos para construção civil produzidos no próprio canteiro de obras, como o caso de argamassas e concretos rodados no canteiro, a demanda por este insumo é muito vigente. Apenas em 2017, 635 milhões dessas embalagens foram utilizadas no Brasil (SNIC, 2018).

Estes são os fatores motivadores da pesquisa realizada. Propõe-se uma nova maneira de reutilizar as embalagens produzidas em papel *kraft*, utilizada para ensacar cimento: adicioná-las como material de substituição de agregados naturais em argamassas. O estudo da reutilização de insumos no ciclo construtivo abre uma nova gama para a redução de impactos negativos, desenvolvimento e melhorias no setor de construção civil.

1.2. Objetivos

Os objetivos dessa pesquisa são avaliar a interferência da adição das fibras *kraft*, em argamassas, em seu estado endurecido, em relação à resistência mecânica e à absorção de água e em seu estado fresco, segundo a sua trabalhabilidade.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Analisar a influência das fibras *kraft* no estado fresco, segundo o consumo de aditivo superplastificante, a partir os ensaios de mesa de consistência e penetração de cone;
- Analisar o desempenho dos diferentes traços de argamassa produzidos, através de ensaios no estado endurecido, em corpos de prova, tais como resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial, absorção por imersão, e absorção por capilaridade;

- Comparar os resultados dos ensaios das argamassas produzidas com diferentes teores de fibra entre si e em relação à argamassa de referência.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo agrega informações fundamentadoras para a pesquisa, retirada de diferentes fontes bibliográficas que contribuíram para o desenvolvimento deste projeto. É discorrido sobre a composição e a produção do papel, as especificações para o papel *kraft* e o papel *kraft* natural multifoliado, utilização do papel *kraft* na engenharia civil e análise da influência da microestrutura das fibras celulósicas nos compostos reforçados.

2.1. Papel

O papel é um produto de origem natural com matérias primas obtidas, quase em sua totalidade, de diversas fontes vegetais (IPT, 1988). É utilizado em grande escala ainda hoje, com o advento de novas tecnologias que possibilitam a substituição deste material. Estima-se que até 2030 a demanda por papel mundial alcançará aproximadamente 467 milhões de toneladas, representando uma taxa de crescimento de 1,0% ao ano (ABTCP, 2017). No Brasil, no ano de 2016, 10,3 milhões de toneladas de papel foram produzidas (IBÁ, 2017), ocupando a oitava posição no ranking mundial de produtores de papel.

2.1.1. Composição e Produção do Papel

O papel é composto por matérias primas fibrosas e não fibrosas. Na matéria prima fibrosa tem-se a pasta celulósica que é composta majoritariamente por fibras de celulose, carboidrato que compõe a maior parte das paredes das células vegetais (IPT, 1988) e outros compostos presentes na parede vegetal como a lignina, polifenol construído de unidades de fenil-propanas (C₆-C₃) (CASTRO, 2009), e a hemicelulose, um grupo de polissacarídeos (CASTRO, 2009) em menores concentrações. As matérias primas não fibrosas são adicionadas ao papel para melhorar propriedades e obter a versatilidade do produto final (IPT, 1988), sendo as principais: cargas, agentes de colagem, amido e pigmentos (PIOTTO, 2003).

Diferentes tipos de papéis podem ser obtidos a partir de processos de produção de pastas celulósicas diferentes. Os processos mais utilizados na produção das pastas são os mecânicos – nos quais a matéria prima é prensada a úmido contra rolos giratórios, para utilização principal

em papeis em jornais e revistas (PIOTTO, 2003), e processos químicos – nos quais a madeira é tratada com adições de compostos químicos. Esse processo gera uma pasta de celulose mais resistente (PIOTTO, 2003) e passível de melhoramentos para papeis *kraft*, papéis para impressão, e embalagens. O processo final da pasta celulósica é o branqueamento, feito em vários estágios, com adição de cloro, ozônio, oxigênio e peróxido (PIOTTO, 2003) para promover mais deslignificação e atingir níveis elevados de alvura do papel (CASTRO, 2009), desejado para alguns tipos de papeis utilizados.

A partir da pasta celulósica, o processo de produção de papel é continuado com a desagregação da celulose. Em seguida ocorre a refinação das fibras em processos de cortes, esmagamento ou fibrilação. Após a refinação é preparada a receita, composta pela adição das matérias primas não fibrosas (PIOTTO, 2003) na pasta. É realizada, então, a depuração ou limpeza da receita, retirando corpos estranhos como sujeiras e fibras enroladas da mistura para prosseguir no processo na máquina de papel. A receita entra na máquina de papel pela caixa de entrada, onde é distribuída uniformemente sobre uma tela formadora. A tela corre longitudinalmente sobre uma mesa plana e movimenta-se em um movimento transversal gerado por um *shaker* afim de provocar uma maior saída de água (PIOTTO, 2003).

Ao sair da mesa plana o papel passa por rolos cilíndricos de prensagem com superfície de feltro que absorvem grande quantidade de água do papel, que diminui de aproximadamente 80% a 85% para 50% a 65% (PIOTTO, 2003). O papel, então, passa para a etapa de secagem final que reduz substancialmente a quantidade de água no papel para 3% (PIOTTO, 2003) e então é acertada a espessura da folha e enrolada em bobinas para finalizações de acordo com o destinado uso do papel.

2.2. Papel Kraft

O papel *kraft* é destinado à fabricação de embalagens, e, por isso, tem como uma das principais características necessárias a resistência mecânica, sendo caracterizado assim pelo termo alemão *kraft* que significa “forte”. É composto de pasta celulósica de fibras longas produzida através de processo químico (BRACELPA, 2009). O Brasil produziu, aproximadamente, 472 mil toneladas de papeis para fabricação, em julho de 2017. (IBÁ, 2017), representando aproximadamente 53% do total de papel produzido no país neste mesmo mês.

Por suas especificações de utilização, o papel *kraft* pode ser subdividido em, de acordo com Farias (2015):

Kraft natural para sacos multifoliados: Papel fabricado essencialmente a partir de fibra longa. Altamente resistente ao rasgo e com boa resistência ao estouro, é usado essencialmente para sacos e embalagens industriais de grande porte.

Kraft extensível: Fabricado essencialmente a partir de fibra longa. Altamente resistente ao rasgo e à energia absorvida na tração, é usado para embalagem de sacos de papel.

Kraft natural ou em cores para outros fins: Fabricado essencialmente a partir de fibra longa, monolúcido ou alisado, com características de resistência similar ao *Kraft Natural para Sacos Multifoliados*, é usado para a fabricação de sacos de pequeno porte, sacolas e para embalagens em geral.

Kraft branco ou em cores: Fabricado essencialmente a partir de fibra longa, monolúcido ou alisado, é usado como folha externa em sacos multifoliados, sacos de açúcar e farinha, sacolas e, dependendo da gramatura, para embalagens individuais de balas, bombons, etc.

Tipo Kraft de 1ª: Papel de embalagem, semelhante ao *Kraft Natural* ou em *Cores*, porém com menor resistência que este, monolúcido ou não, é usado geralmente para saquinhos, etc.

Tipo Kraft de 2ª: Papel semelhante ao *Tipo Kraft de 1ª*, porém com resistência inferior, é usado para embrulhos e embalagens em geral.

2.2.1. Composição e Produção de Papel Kraft

A pasta celulósica utilizada na produção do papel *kraft* é produzida pelo processo químico chamado *kraft* ou sulfato, devido à utilização do sulfato de sódio. Esse processo foi desenvolvido em 1886 por Benjamin Tilghman nos Estados Unidos (CASEY, 1960) e é o mais utilizado para produção de papel no mundo, totalizando uma porcentagem aproximada de 80% (PIOTTO, 2003). Apresenta como vantagens ciclos mais curtos de cozimento, produção de pastas de alto rendimento e recuperação economicamente viável dos reagentes (CASTRO, 2009). Nessa polpação aproximadamente metade da massa inicial de madeira é aproveitada (SANTOS et al., 2001).

No processo, os cavacos de madeira descascados são pré-aquecidos com vapor para favorecer a atuação dos componentes químicos no cozimento e então adentram no processo recebendo uma mistura de cozimento chamada licor branco que contem sulfeto de sódio, hidróxidos de sódio e outros tipos de sais de sódio em pequenas quantidades (CASTRO, 2009) dentro de estruturas chamadas digestoras, nas quais há controle de temperatura, pressão, tempo de detenção, teor de álcalis e sulfidez. O tempo de detenção médio da madeira dentro desses fornos

é de geralmente 1 a 2 horas (PIOTTO, 2003), variando devido à madeira utilizada e à temperatura mantida no processo. Nesse tempo o licor, de pH alcalino entre 13 e 14, atua na matéria dissolvendo parte da hemicelulose e da lignina que mantem as fibras coladas, gerando assim uma separação das fibras.

O controle do cozimento é dado pelo número de permanganato de potássio K, utilizado como grau de referência para o grau de deslignificação da matéria prima. K representa o número de mililitros da solução de permanganato de potássio (0,1N) consumida por um grama de pasta celulósica absolutamente seca (CASTRO, 2009). Esse consumo é representativo devido ao fato que a lignina reage facilmente com o permanganato, enquanto a celulose é pouco atacada. Maiores números K representam maiores teores de lignina na pasta. Papéis *kraft* possuem, geralmente, K em torno de 35, sendo K variante de 0 a 40 (CASTRO, 2009).

Do processo de cozimento gera-se uma mistura chamada de licor negro, formada por constituintes de madeira não dissolvidos e reagentes não consumidos que se encontra dissolvida junto às fibras de celulose. Torna-se, então, necessária uma limpeza para a retirada apenas das fibras, e esta ocorre na etapa de lavagem e depuração. A polpa de celulose é levada até lavadores que podem ser de diferentes tipos como os tambores, as prensas ou os difusores. Independente das diferenças de processo em cada lavador, o resultado é a retirada do licor negro das fibras de celulose. Esse licor negro é readitivado e reutilizado no processo de fabricação do papel como combustível para geração de energia dos digestores (CASTRO, 2009). Nessa etapa também ocorre a depuração, que é a separação do material não processado na etapa anterior através de peneiras centrífugas.

Entretanto a concentração de lignina na pasta celulósica após passagem por esses processos já citados ainda é bastante elevada, e são necessárias novas soluções para obtenção da maior pureza das fibras. À polpa é adicionado um licor branco oxidado composto de hidróxido e tiosulfato de sódio como meio para ocorrência da deslignificação em oxigênio (PIOTTO, 2003). O oxigênio age na polpa em reatores pressurizados em temperaturas elevadas para aumentar a sua solubilidade. Essa etapa pode ser subdividida em estágios para elevar a sua eficiência: em deslignificações com oxigênio em um estágio o grau de deslignificação obtido varia entre 40% e 50%, e em deslignificações em dois estágios esse valor pode ser elevado até 70% (MJOBORG, 1999).

O papel *kraft* utilizado para a fabricação de embalagens de cimento, foco do estudo deste projeto, não sofre o processo de branqueamento. O produto final obtido mantém a cor da pasta de celulose resultada dos processos anteriores e, portanto, a pasta de celulose obtida nos processos anteriores já é suficiente para dar continuação à produção do papel. Todo o processo de fabricação continua como o já descrito para o papel, em geral.

Na produção do papel *kraft*, algumas matérias primas não fibrosas são adicionadas na continuidade do processo na etapa da receita, como por exemplo o breu, sulfatos de alumínio, cargas e amido (IPT, 1988). O breu é um produto natural e resinoso, extraído de árvores da família das pináceas, formado em quase sua totalidade por uma mistura de ácidos resinosos. Contribui para a colagem interna do papel. O sulfato de alumínio, $Al_2(SO_4)_3$, é o composto não fibroso mais utilizado na fabricação do papel (IPT, 1988), adicionado como uma solução aquosa. Contribui em diversos aspectos como ajuste de acidez, colagem, controle de aparecimento de tintas e outros. As cargas são de origem minerais, de baixas granulometrias como: dióxido de titânio, caulim, carbonato de cálcio e talco. Contribuem para uniformidade da superfície, lisura e opacidade do papel. O amido é um polissacarídeo presente, principalmente em leguminosas e é utilizado para melhorar as propriedades mecânicas e superficiais do papel. Essas adições contribuem para obtenção do papel com resistência requerida para aplicação comercial.

Após todas as etapas descritas, o papel *kraft* pode ser estocado em bobinas para ser posteriormente destinado aos seus usos específicos.

2.2.2. Papel *Kraft* Natural para Sacos Multifoliados

Destina-se uma atenção especial nesta pesquisa ao papel *kraft* natural para sacos multifoliados, por ser esta a matéria prima utilizada na produção de sacos de cimento. Este papel é fabricado com fibras celulósicas longas, geralmente empregada pura, apresentando alta resistência, segundo padrões rígidos exigidos pelos fabricantes e consumidores (BUSON, 2009), sendo submetido o produto final à testes de controle de qualidade (SÉKULA, 2011).

As fibras mais utilizadas para a produção deste papel vêm de florestas plantadas de pinheiros e eucaliptos, mas também existem fabricantes que utilizam o bambu para extrair a matéria celulósica. O bambu também apresenta fibras de celulose longas, o que proporciona mais resistência mecânica para o produto final (ALVES, 2016).

As embalagens para sacos de cimento são chamadas de multifoliadas por serem fabricadas com até seis folhas de papel *kraft* (BAYLLIS, 1997) para proteger o cimento do manuseio no transporte e da umidade externa (ABCP, 2017). A gramatura média destes sacos é de 80 a 90 g/m² (ALVES, 2016). Usualmente, o cimento é comercializado em sacos de 50 kg e, em algumas localidades, em sacos de 42,5 kg. Nestes casos, as embalagens têm massa, aproximadamente, de 150 gramas (BUSON, 2009). Também está em debate, no Brasil, a possibilidade de redução do peso dos sacos de cimento para um limite de 25 kg, devido aos potenciais de danos gerados à saúde do trabalhador no transporte dos insumos (PINIWEB, 2017). A dimensão das embalagens pode variar de acordo com o tipo de cimento ensacado, devido à sua massa específica. Para embalagens de 50 kg, e alguns tipos de cimento comercializados, temos as propriedades das embalagens, segundo a Tabela 1, abaixo:

Tabela 1: Exemplos de propriedades de Sacos de Cimento
 Fonte: CIMENTOITAMBÉ (2017) com modificações.

CPV ARI RS 50 kg

	Especificação	Unidade
Formato	1090x760	Mm
Altura Útil	615	Mm
Nº de folhas	2	un.
Gramatura	80	g/m ²

CP II Z-32 50 kg

	Especificação	Unidade
Formato	1040x740	Mm
Altura Útil	605	Mm
Nº de folhas	2	un.
Gramatura	80	g/m ²

O papel *kraft* multifoliado é uma eficiente alternativa para a produção dos sacos de cimento por ser capaz de resistir às elevadas temperaturas nas quais os cimentos são adicionados às embalagens pois, mesmo após o processo de resfriamento, o cimento é expedido em temperaturas de 60°C, aproximadamente (CIMENTOITAMBÉ, 2017). As embalagens também apresentam satisfatória resistência ao processo de preenchimento nas ensacadeiras de alta produtividade, máquinas geralmente utilizadas nas grandes empresas produtoras de cimento, nas quais os sacos são submetidos a altas velocidades de enchimentos (CIMENTOITAMBÉ, 2017), sendo assim necessária a resistência mecânica para não ser corrompido no processo.

2.3. Papel *Kraft* na Construção Civil

Inicialmente, a utilização das fibras celulósicas *kraft* na engenharia civil se resumia na fabricação de papel para embalagem de materiais de construção utilizados em obras. Mediante o crescimento populacional, o desenvolvimento econômico e o desenvolvimento tecnológico nas técnicas de construções houve um aumento significativo da demanda dos insumos e, conseqüentemente, maior consumo das embalagens fabricadas com fibras *kraft*.

Após a sua utilização como embalagem para os materiais de construção civil, pouca parte das fibras celulósicas são recicladas para uma nova utilização, devido à sua contaminação com os materiais de construção, que dificultam e encarecem o projeto de reciclagem, não o tornando vantajoso economicamente (TAVES et al., 2001). Esses papéis são então levados à depósitos de lixo, se tornando um problema ambiental para a população. Buson, (2009) destaca em sua tese a dimensão do problema da destinação das embalagens utilizadas na construção:

Em 2006 o Brasil foi o décimo maior produtor mundial de cimento com 42,4 milhões de toneladas. [...] Deste total, 77% são de cimento ensacado, o que equivale a 34,8 milhões de toneladas. Ao considerar que cada embalagem dos sacos de 50 kg de cimento tem em média 150 g, no Brasil ensacou-se aproximadamente 696 milhões dessas embalagens somente em 2007 e, como já comentado, quase que a totalidade desses sacos foi descartada e depositada na natureza sem qualquer tratamento.

As fibras celulósicas apresentam características físicas e mecânicas que as classificam como potenciais candidatas à utilização como elementos de aditivos ou substituição de matéria-prima normalmente utilizada para composição de insumos utilizados em obras, isso porque a celulose é composta de moléculas grandes, que resultam em melhor resistência a tensões térmicas e mecânicas (VAN VLACK, 1970). Os papéis *kraft* possuem fibras com elevada resistência mecânica à tração e compressão (FARIAS, 2015), propriedades atrativas no contexto da engenharia civil.

Outro fator favorável à utilização de papel *kraft* como insumo de adição à materiais utilizados na construção é a necessidade de pouca energia a ser utilizada no processo de reaproveitamento do papel *kraft* natural multifoliado (saco de cimento) e poucos materiais no processo,

destacando-se a água, substância de grande disponibilidade e custo relativamente baixo (BUSON, 2009).

A partir desses conhecimentos foram desenvolvidos diversos estudos para reutilização dessas fibras no processo de construção civil. Os primeiros estudos do uso de fibras celulósicas em compósitos reforçados na construção civil ocorreram na década de 70, na Inglaterra, e em 1980 no Brasil, desenvolvida pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED), na Bahia (SILVA, 2002). Os trabalhos apresentados a seguir são exemplos de estudos brasileiros mais recentes sobre a utilização das fibras de papéis na construção civil.

Buson (2009) abordou a utilização das fibras celulósicas vinda da reciclagem do papel *kraft* como material de incorporação na terra para a criação de um compósito, o *Krafterra*, para fabricação de elemento de vedação vertical. Com o estudo, o autor constatou que a adição das fibras do papel *kraft* beneficiou a resistência à compressão simples do solo, atingindo valores maiores do que propriedades do solo-cimento e aumento significativo nos valores de umidade ótima, também em comparação com o solo-cimento. Com a adição do material, foram fabricados blocos com resistência maior à compressão simples do que com, apenas, o solo-cimento.

Os melhores resultados se deram nos experimentos com os blocos com 6% de fibras de celulose dispersas e 6% de cimento no solo. Também foi observado que a adição das fibras aumenta os valores de umidade ótima do solo. O autor concluiu que as fibras de *kraft* poderiam ser uma boa solução para utilização como estabilizante no solo.

No estudo de Buson também foi produzida uma argamassa de assentamento com o *Krafterra* que, submetida à ensaio de compressão simples junto com a parede produzida com os blocos a partir do *Krafterra* resultou em fortes ligações entre os blocos e produziu elementos construtivos homogêneos e com desempenho uniforme.

Alves (2016) estudou a adição de fibras de celulose também vindas da reciclagem do papel *kraft* na fabricação de blocos de concreto não estrutural. Foram produzidos dois traços de concreto, os quais contavam com produção de concreto com teores de adições de fibras *kraft* de 1% ou 0,5% e um concreto sem adição de fibras, para servir de referência. A diferença dos traços se dava quanto ao tipo de agregados utilizados. Os blocos de concreto produzidos foram submetidos à análise através dos ensaios de compressão, de absorção de água e difração de raio x.

Nos resultados obtidos no estudo foi verificado que, para a resistência à compressão, a adição do papel *kraft* diminui a resistência do bloco. Nos ensaios realizados, para o primeiro traço de concreto, os blocos com adição das fibras não alcançaram a resistência à compressão mínima exigida pela norma. Entretanto, as adições com teores de 0,5% de fibra celulósica resultaram em blocos de concreto com valores de resistência à compressão maiores que as adições de 1,0%.

Para o segundo traço produzido, os resultados foram maiores que o mínimo exigido pela ABNT 6136. Porém, a influência da adição das fibras *kraft* também gerou uma perda de resistência a compressão, em proporções menores. Observou-se, também, pelo ensaio de absorção de água, que as fibras tornavam os concretos mais absorvente.

Os resultados de Alves (2016), que analisaram a adição das fibras *kraft* em concreto não estrutural apontaram que a adição das fibras traz, em geral, influências negativas na resistência à compressão e à absorção de água. Entretanto, mesmo inferior ao concreto produzido sem adição de fibras, foi possível se obter resultados de resistência acima do valor mínimo da Norma NBR 6136:2004, desempenho considerado satisfatório.

Santos e Carvalho (2011) avaliou a adição de fibras celulósicas advindas de reaproveitamento de papéis *kraft* utilizados em embalagens de cimento como adição em argamassas de revestimento. A argamassa obteve resistência inicial capaz de resistir ao peso próprio do conjunto bloco-argamassa. Também foi obtido um resultado satisfatório em relação à resistência oferecida pelo conjunto para a separação dos blocos unidos pela argamassa, que foi percebida em experimento manual, e apresentaram grande resistência à separação.

Os estudos apresentados serviram como motivação para o desenvolvimento desta pesquisa, ao comprovar que as adições das fibras celulósicas nas composições de materiais cimentícios utilizados na construção civil são possíveis de serem feitas e apresentarem desempenho elevado nos requisitos avaliados. Os caminhos propostos para o reaproveitamento dos materiais antes subutilizados em apenas uma etapa – a embalagem e estocagem de materiais – do processo de construção de estruturas abrem novas possibilidades e novos destinos para esse material, que antes seriam destinados como resíduos e eram encarados como um problema da construção civil.

2.4. Microestrutura das Fibras Celulósicas

Segundo Silva (2002), torna-se necessário o estudo da microestrutura das fibras celulósicas para compreender a influência que ela exercerá no composto em que for adicionada. O conhecimento da microestrutura das fibras, e, por conseguinte, as suas propriedades e composição, é determinante para avaliar as possibilidades de utilização e retirar um melhor proveito desse material. As propriedades físicas, químicas e mecânicas dos produtos fabricados a partir da celulose estão relacionadas com constituição destas fibras. (AZEVEDO, 2011)

Um parâmetro que contribui fundamentalmente para as propriedades físico-químicas do material celulósico é o Grau de Polimerização da fibra (AZEVEDO, 2011). A celulose é um polímero linear de glicose de alta massa molecular com ligações β 1-4 (CASTRO, 2009). O Grau de Polimerização é definido como o número de repetições da unidade de glicose na composição, variando, geralmente, entre 1000 a 15000 unidades para as celuloses de madeiras naturais (D' ALMEIDA, 1988). As substâncias com menor grau de polimerização estão mais sujeitas a terem menor resistência mecânica quando utilizadas como reforços em outros compostos. (SILVA, 2002).

A Figura 4 relaciona o grau de polimerização com a resistência mecânica de um papel *Kraft*, representada pelo comprimento de auto ruptura, que é o comprimento limite de resistência de uma tira de papel suspensa ao seu peso próprio (BITTENCOURT, 2004).

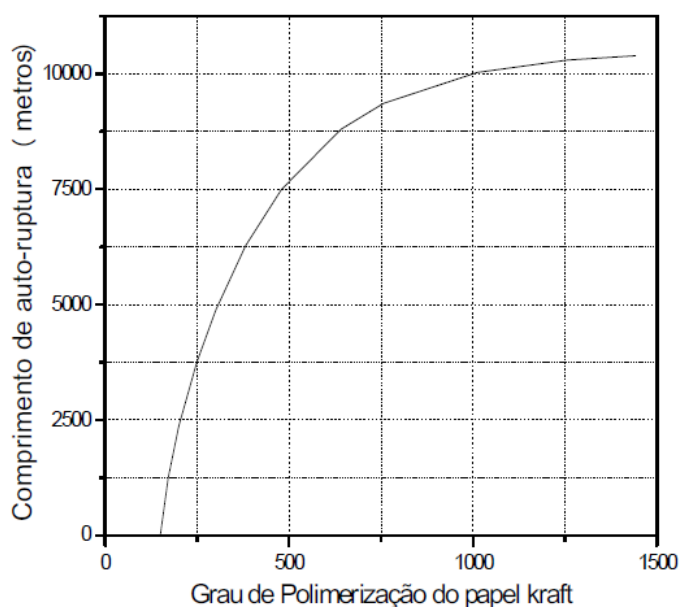


Figura 4: Relação entre o Comprimento de Auto Ruptura e o Grau de Polimerização do papel kraft.

O Grau de Polimerização de uma fibra celulósica pode ser obtido de acordo com ensaio normatizado pela Norma ABNT (equivalente à ASTM D 4243), a qual envolve um procedimento demorado que exige uma grande quantidade de amostra necessária para realizar ensaios repetitivos para atingir resultados confiáveis (SANTOS, 2012). Uma outra opção é pelo método proposto por Santos (2012) utilizando a espectroscopia no infravermelho próximo, NIR, combinada com o método de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) para determinar o grau de polimerização dos papéis.

Pode-se, também, obter, indiretamente o grau médio de polimerização através da viscosidade de uma solução de polpa de celulose, pois esta constitui uma indicação relativa de degradação da molécula (diminuindo o número de repetições de glicose) devido aos processos de polpação e branqueamento. Quanto maior o grau de processamento, maior a degradação da polpa, menor a massa molar média e conseqüentemente, menor a viscosidade da polpa (AZEVEDO, 2011). A viscosidade pode ser conhecida através do método TAPPI T230 om-08, que envolve procedimentos simples, analisando o comportamento da solução da polpa de celulose em contato com uma solução de cuproetilenodiamina (CED, $[\text{Cu}(\text{en})_2](\text{OH})_2$) (AZEVEDO, 2011).

Outros parâmetros da microestrutura influentes nas propriedades físicas das fibras são o ângulo das microfibrilas de celulose, em relação ao lúmen da fibra e a relação comprimento/espessura das fibras. A fibra de celulose é formada por um conjunto de células chamadas microfibrilas aglomeradas por lamelas intracelulares, dispostas em diferentes camadas com diferentes ângulos de orientação em relação ao lúmen da fibra, e com espessuras variadas (SILVA 2002).

A Figura 5 mostra a estrutura física de uma fibra de celulose, representando as camadas de microfibrilas e a referência de angulação das mesmas em relação ao lúmen da fibra, sua parte central.

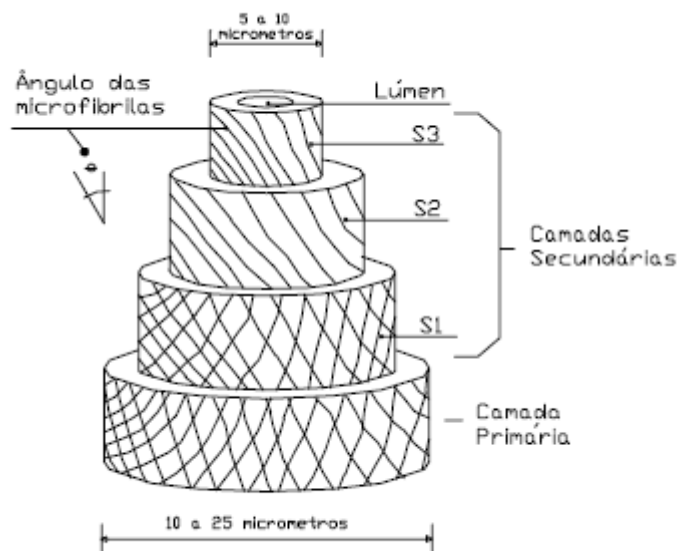


Figura 5: Estrutura de uma fibra de celulose. Fonte: COUTS, (1992)

Segundo Savastano Jr (2000), a resistência à tração e o módulo de elasticidade das fibras de celulose diminuem com o aumento do ângulo das camadas de microfibrilas em relação à parte central.

Os estudos da relação comprimento/espessura das fibras concluíram que a resistência à tração de uma fibra tem valores maiores com elevados valores de comprimento/espessura da mesma. Entretanto, fibras mais compridas têm o arrancamento mais fácil da matriz, podendo absorver uma menor quantidade de energia do compósito (SAVASTANO JR, 2000). A ponderação desses aspectos na análise em relação ao produto final desejado proporciona um melhor direcionamento para composição de sua matriz celulósica.

A análise do comprimento e da espessura das fibras pode ser realizada através de um projetor de perfil, que faz o levantamento de comprimentos e diâmetros médios, em uma quantidade de amostras de fibras testadas (DE PAULA, 2011).

O bom desempenho mecânico de um material reforçado com fibras celulósicas depende da capacidade deste material em absorver os esforços aos quais for submetido enquanto mantém a integridade das características de sua microestrutura (SILVA, 2002). Segundo o estudo de Savastano Jr (2000), o fator preponderante no resultado final do material é o arrancamento das fibras do interior da matriz. Segundo ele, os compósitos reforçados tendem a ser romper

principalmente devido ao deslizamento das fibras, em vez da ruptura das mesmas. Portanto, as propriedades das microestruturas das fibras celulósicas que se relacionam a esse comportamento, como a relação comprimento/espessura e aspectos da superfície das fibras que proporcionem uma maior aderência à matriz são importantes nessa avaliação.

As fibras celulósicas são sensíveis à água e, por isso, apresentam instabilidade dimensional quando submetidas a alterações de umidade relativas na atmosfera. As variações de volume causam perda de adesão na interface fibra/cimento, podendo gerar rachaduras micro e macroscópicas, e, conseqüentemente, comprometendo a resistência do produto final obtido. (SAVASTANO JR; AGOPYAN, 1994).

Conhecer o comportamento de retenção de água das fibras a serem adicionadas nos compósitos cimentícios é possível através do experimento de acordo com o padrão Tappi UM-256 (1981), no qual se calcula a proporção de massa retida em amostras de polpas celulósicas após um período de 30 minutos de centrifugação em relação à massa das fibras iniciais secas no forno (TONOLI et al., 2013).

Exemplos de estudos das superfícies das fibras de celulose foram realizados através de experimentos de microscopia de força atômica (AFM), como realizado por Tonoli et al. (2010 a), ou por microscopia eletrônica de varredura ambiental como feito por Tonoli et. al. (2010 b). Ambos os experimentos permitem a captação de imagens das superfícies das fibras, permitindo assim uma análise mais específica sobre a região.

Todos estes estudos contribuem para um melhor entendimento da micro formação das fibras celulósicas, bem como a influência destas propriedades na adição deste material em uma matriz cimentícia.

3. METODOLOGIA

Este capítulo é referente à metodologia utilizada para produção da argamassa com adição de fibras celulósicas de papel *kraft*, bem como a sua avaliação através de ensaios de desempenho. São tratados os meios de obtenção dos materiais utilizados, as caracterizações destes materiais, a execução da argamassa e os ensaios realizados.

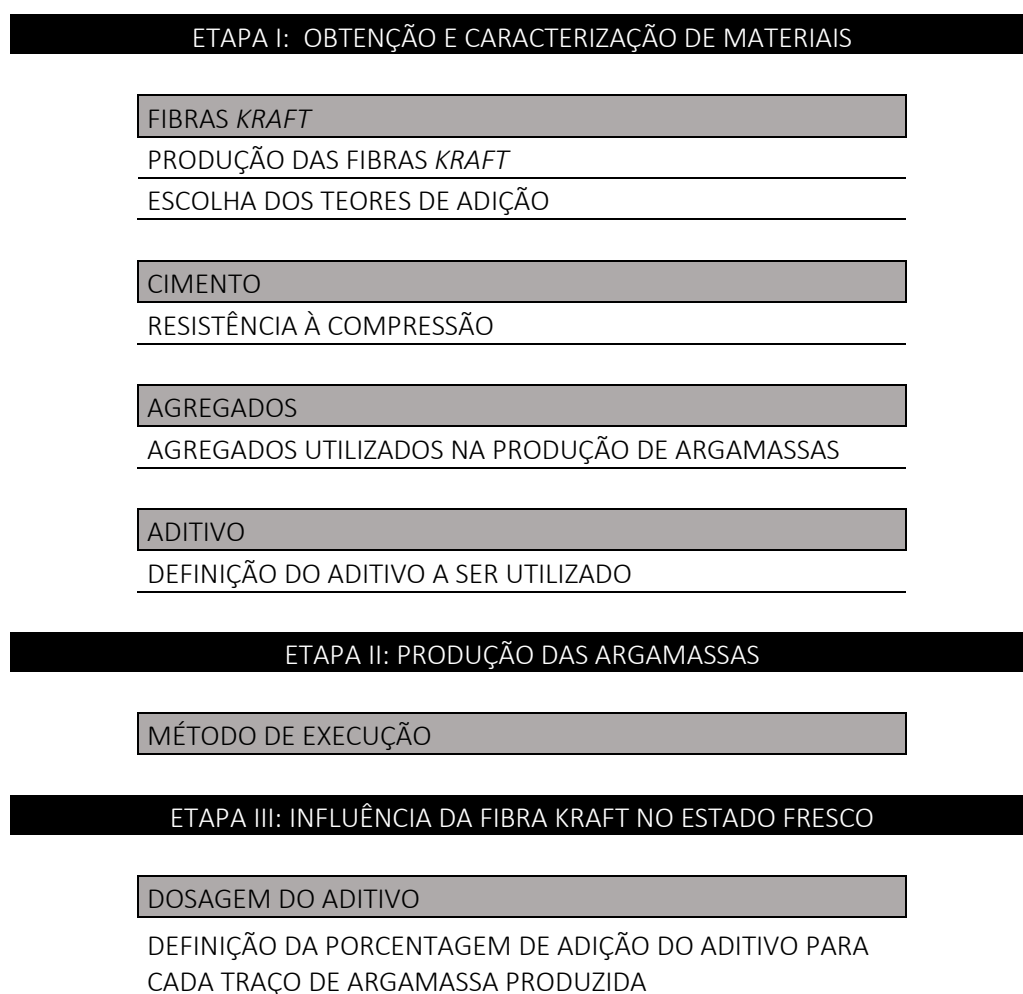
Destaca-se que a metodologia deste estudo foi desenvolvida em Dias (2017), em sua pesquisa sobre adição de fibras celulósicas de sacos de cimento em argamassas. Este projeto pertence a

um conjunto de estudos sobre a reutilização das fibras *kraft* em compósitos de matrizes cimentícias, como foi o estudo de Alves (2016), que analisou a influência da adição destas fibras em blocos de concreto não estrutural. Contudo, a linha metodológica utilizada passou por pontuais mudanças devido às análises de resultados obtidos previamente, nos quais foram verificadas a necessidade de adequação de procedimentos para obtenção de um melhor material final.

Os ajustes propostos nesta metodologia, em relação aos anteriores trabalhos, visam contribuir para o desenvolvimento de uma metodologia consolidada sobre o assunto, a fim de analisar a adição de fibras *kraft* em argamassas.

Etapas do Programa Experimental

A metodologia do programa experimental de ensaios foi dividida em etapas, conforme apresentadas na Figura 6:



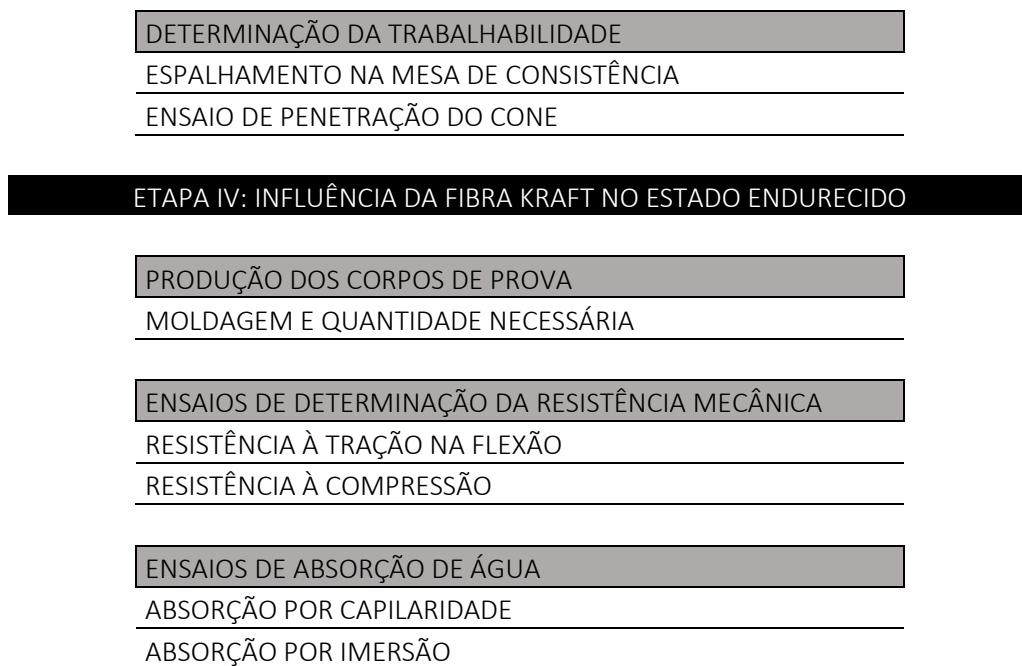


Figura 6: Etapas do Procedimento Experimental. Fonte: O autor

3.1. Etapa I: Obtenção e Caracterização de Materiais

Essa etapa é relativa à descrição da definição e caracterização dos materiais utilizados no desenvolvimento da pesquisa, os quais são: o papel kraft, a ser utilizado para fabricação das fibras *kraft*, o cimento, os agregados e o aditivo.

3.1.1. Fibras *Kraft*

As fibras utilizadas advêm da reciclagem de papel *kraft* natural multifoliado de sacos de cimento. A Figura 7 apresenta o fluxograma dos procedimentos para obtenção das fibras *kraft*, desenvolvido por Alves (2016) que foram seguidos nesta pesquisa:

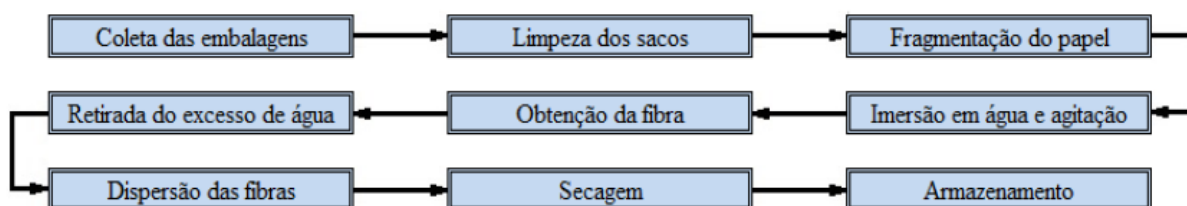


Figura 7: Fluxograma dos processos de obtenção e reciclagem das fibras *kraft*. Fonte: ALVES, (2016)

As embalagens de cimento foram lavadas para a retirada da quantidade de cimento que restou no saco, a fim de evitar possível formação de produtos hidratados que possam danificar os equipamentos utilizados (ALVES, 2016).

Após a limpeza, os sacos foram picados em pedaços menores, e, em seguida, dispersos em água e agitados com utilização de um misturador elétrico, como representado na Figura 8.



Figura 8: Misturador usado para a dispersão das fibras. Fonte: o autor

Nesta pesquisa, foram utilizados 5 sacos de cimento para a produção das fibras. Não se fez necessário o aquecimento da água e nem adição de nenhuma outra substância para facilitar a dispersão das fibras (ALVES, 2016).

A transformação do papel em polpa celulósica foi um pouco mais demorada do que a observada em Alves, (2016). Foram necessários, aproximadamente, 45 minutos para dispersão total do papel e formação da polpa. Um provável motivo seria o fato das embalagens utilizadas serem mais velhas e, portanto, mais difíceis de dispersar.

Posteriormente foi retirada a água da polpa de celulose em excesso, manualmente, com a utilização de uma peneira e, posteriormente, pressionando com as mãos para a saída de água. Mais seca, a polpa foi passada em um triturador de resíduos sólidos. Após um período de secagem ao ar livre, as fibras a serem obtidas são apresentadas na Figura 9:



Figura 9: Resultado final da fibra kraft. Fonte: Alves (2016)

Com esse resultado, a fibra *kraft* está apta a ser utilizada na argamassa.

Teores de Adição

A adição das fibras *kraft* escolhida para a pesquisa foi por substituição em volume. A opção se justifica pela diferença proporcional entre a massa específica das fibras e a massa específica dos agregados, o que poderia gerar uma concentração muito grande de fibras adicionadas ao compósito.

Conforme a pesquisa de Dias (2017), verificou-se que os melhores desempenhos das argamassas testadas ocorreram para os traços com menores teores de adição das fibras. Portanto, nesta pesquisa, foram produzidas argamassas com porcentagens menores de adições, buscando obter resultados mais satisfatórios. Para as argamassas com agregados areia rosa, areia mix e pó de brita serão realizados os teores 0,1%; 0,25%; 0,5% e 1,0%.

A Tabela 2 apresenta os resultados das massas de fibras a serem utilizadas em cada teor de adição, resultante dos cálculos de substituição em volume de agregados.

Tabela 2: Quantidade, em massa, de fibras *kraft* usada nas argamassas produzidas. Fonte: o autor

	Fibra Kraft (g)
Traço Referência	0,0
Traço 0,1%	1,0
Traço 0,25%	2,6
Traço 0,5%	5,2

3.1.2. Cimento

O cimento utilizado na produção das argamassas foi o CPV-ARI. Tornou-se necessária a caracterização do cimento através da NBR 7215:1997 Cimento Portland – Determinação da Resistência à compressão para verificação do desempenho do cimento a ser utilizado, e garantir que este não interferiria negativamente na argamassa final produzida.

Os procedimentos de execução do ensaio foram seguidos de acordo com o especificado pela norma, conforme a Figura 10:



Figura 10: Moldagem dos corpos de prova. Fonte: o autor

Foi utilizada a Areia de Corumbá, fracionada de acordo com o especificado pela norma. Estas são mostradas na Figura 11, na qual são, da esquerda para a direita, as frações: grossa, média grossa, média fina e fina.



Figura 11: Frações de areia utilizada na caracterização do cimento. Fonte: o autor

Os ensaios de resistência à compressão foram executados com a máquina da marca DINATESTE apresentada na Figura 12, a seguir.



Figura 12: Máquina de compressão utilizada e corpos de prova para ensaio. Fonte: o autor

3.1.3. Agregados

Os agregados escolhidos para a produção das argamassas foram a areia rosa, areia mix e pó de brita, conforme definido na metodologia já existente na pesquisa de Dias, (2017). A razão da escolha se dá por serem materiais de utilização recorrente comercialmente, no Distrito Federal. Eles estão apresentados na Figura 13.



Figura 13: Agregados - areia rosa, areia mix e pó de brita. Fonte: o autor

Os agregados usados foram caracterizados pelos ensaios de Granulometria – NBR NM 248:2003, Massa Específica – NBR NM 52:2009 e Massa Unitária – NBR NM 45:2006, em Dias, (2017).

Segundo os resultados obtidos por Dias, 2017, apresentados na Tabela 3, os agregados utilizados na produção da argamassa apresentam as seguintes características:

Tabela 3: Características dos Agregados. Fonte: DIAS (2017)

Agregado	Módulo de Finura (%)	Dimensão Máxima Característica (mm)	Materiais Pulverulentos (%)	Massa Específica (g/cm ³)	Massa Unitária (kg/m ³)
Areia Rosa	1,16	2,36	2,82	2,646	810
Areia Mix	3,24	4,75	7,11	2,714	1110
Pó de Brita	3,04	2,40	4,72	2,710	1070

Portanto, todos os agregados são miúdos. Também, segundo os coeficientes de continuidade obtidos em Dias, 2017, pôde-se classificar os agregados com granulometria uniforme e sem continuidade. Segundo essa classificação, espera-se uma argamassa produzida com maior índice de vazios, menor trabalhabilidade e maior consumo de água.

Para melhorar as propriedades da argamassa, sugere-se a utilização de agregados com maior descontinuidade, o que proporcionaria maior preenchimento de vazios e possivelmente melhores ganhos em propriedades mecânicas e absorção de água.

Entretanto, nesta pesquisa continuou-se a utilização destes agregados a fim de padronizar a metodologia da linha de pesquisa, e poder, conseqüentemente, analisar os resultados obtidos a fim de avaliar melhorias ou perdas obtidas.

3.1.4. Aditivo

O aditivo utilizado foi o superplastificante TEC-FLOW 50N. Segundo especificações do fabricante, é indicado para concretos em geral. Seu aspecto é líquido, de cor alaranjada, com massa específica na faixa de 1,09 – 1,13 g/cm³, de acordo com a definição da NBR 10908:2008. A indicação de dosagem é de 0,3% a 1,2% em massa, em relação à quantidade de cimento adicionada.

O aditivo foi escolhido para adequar a trabalhabilidade sem necessitar de correção do traço com adição de água para compensar a adição das fibras *kraft*. A adição de água, e, portanto, o aumento da relação água/cimento dos diferentes traços de argamassa produzidos interfere diretamente no desempenho do material final produzido, diminuindo a resistência.

Buscou-se utilizar o aditivo, portanto, a fim de evitar a necessidade de adição da água e, conseqüentemente, evitar perdas das propriedades no estado endurecido do material produzido.

3.2. Etapa II: Produção de Argamassas

As argamassas a serem avaliadas nesta pesquisa foram produzidas segundo a metodologia da NBR 7215:1997, dadas as devidas alterações, pois a norma referente não consta das adições das fibras celulósicas e do aditivo superplastificante em sua produção.

Os agregados utilizados: a areia rosa, areia mix e o pó de brita, foram adicionados em massa segundo as proporções da Tabela A2 da Norma, conforme a Figura 14. A areia rosa correspondeu à fração fina, o pó de brita correspondeu à fração grossa e a areia mix correspondeu às frações média fina e média grossa, sendo, portanto, adicionada em quantidade dobrada, em massa, na produção das argamassas.

Material	Massa para mistura g
Cimento Portland	624 ± 0,4
Água	300 ± 0,2
Areia normal	
- fração grossa	468 ± 0,3
- fração média grossa	468 ± 0,3
- fração média fina	468 ± 0,3
- fração fina	468 ± 0,3
NOTAS	
1 Para moldar os quatro corpos-de-prova necessários à determinação da resistência à compressão média para três idades, devem ser realizados dois amassamentos ou misturas.	
2 Nos cimentos nos quais se controlam mais de três idades, efetuar amassamento extra, obedecendo à mesma quantidade de materiais.	

Figura 14: Tabela A.2. Fonte: NBR 7215

A Tabela 4 apresenta as quantidades totais de agregados, de fibras e de cimento para cada traço de argamassa a ser produzido, considerando as alterações das frações previstas na norma e da substituição, em volume, de fibras *kraft*.

Tabela 4: Definição dos traços a serem produzidos, em massa, com adição de fibras *kraft*. Fonte: o autor

	Cimento (g)	Areia Rosa (g)	Pó de Brita (g)	Areia Mix (g)	Fibra Kraft (g)
Traço Referência	624	468	468	936	0,0
Traço 0,1%	624	467,53	467,53	935,06	1,0
Traço 0,25%	624	466,83	466,83	933,66	2,6
Traço 0,5%	624	465,66	465,66	931,32	5,2
Traço 1,0%	624	463,32	463,32	926,64	10,4

A quantidade de água adicionada em todos os traços foi a mesma, prevista na norma NBR 7215, de 300 gramas.

A ABNT NBR 7215 define tempos para as etapas de mistura na produção padrão das argamassas. Nela, primeiramente, são adicionadas a água e o cimento e misturados em velocidade baixa por 30 segundos. Em seguida, são adicionadas as frações de agregados previamente misturadas em um tempo de 30 segundos, sem interromper a mistura da argamassa.

Aumenta-se, então, a velocidade de mistura e a argamassa é batida por mais 30 segundos. Segue-se um tempo de repouso de um minuto e meio, no qual os 15 primeiros segundos são destinados à espatulação da bacia de mistura, para retirar material aderido nas paredes da cuba de mistura. Por fim, a argamassa é misturada por mais um minuto em velocidade alta, e está pronta para a execução dos ensaios.

A argamassa produzida nesta pesquisa possui duas particularidades: a adição das fibras *kraft* e do aditivo superplastificante. Portanto, o método padrão de produção das argamassas da Norma foi modificado afim de abranger essas peculiaridades.

Definiu-se a padronização de adição das fibras *kraft* e do aditivo superplastificante nos trinta segundos reservados à adição das frações dos agregados, logo após os agregados serem inseridos na mistura. Primeiro, as fibras foram adicionadas de maneira a evitar sua aglomeração na argamassa, tentando dispersá-las da melhor maneira possível, em sua adição.

Em seguida, foi adicionado o aditivo superplastificante. Pequena parte da quantidade inicial de água, antes do início da mistura, foi reservada para ser adicionada junto ao aditivo, para diluí-lo. Ademais, a produção das argamassas prosseguiu conforme previsto na NBR 7215.

A Figura 15, a seguir, mostra a argamassadeira utilizada para a produção das argamassas.



Figura 15: Mistura das argamassas na argamassadeira. Fonte: Dias (2017)

3.3. Etapa III: Influência da Fibra *Kraft* no Estado Fresco

A principal análise realizada sobre a influência da adição das fibras celulósicas nas argamassas a serem produzidas foi na propriedade da trabalhabilidade.

A trabalhabilidade, segundo Casarek (1996), é a habilidade de fluir ou espalhar-se de um material. Bauer e Sousa (2003) classificaram essa propriedade como uma das mais importantes para as argamassas, por ser fator obrigatório para garantir um fácil manuseio do material, no seu estado fresco, e assim apresentar todo o seu potencial durante o processo de execução.

Uma argamassa é trabalhável quando não segrega ao ser transportada nos equipamentos utilizados em sua aplicação, distribui-se facilmente ao ser assentada, não endurece em contato com superfícies absorptivas e permanece plástica por tempo suficiente para que seja aplicada (KRUGER et al., 2003).

Além da importância no estado fresco da argamassa, a trabalhabilidade também influencia no estado endurecido, já que propriedades necessárias neste estado, como a resistência e a aderência, estão relacionadas a uma execução correta na aplicação do material e a sua capacidade de retenção de água, fatores ligados à trabalhabilidade (UFRGS, 2017).

As alternativas mais comuns para garantir uma melhor trabalhabilidade de um material são a adição de uma maior quantidade de água no traço e a adição de aditivos. Apesar de ser uma alternativa mais barata, adicionar água à argamassa altera a sua relação água/cimento, o que pode gerar perda de qualidade do material, na resistência no estado endurecido e em sua durabilidade. A adição de aditivos na produção de argamassas proporciona uma melhor trabalhabilidade do produto sem a necessidade de alteração na sua relação água/cimento.

3.3.1. Dosagem do aditivo

O aditivo foi dosado, em massa, em porcentagem relativa à massa de cimento utilizada nos traços (624 gramas, segundo traço da norma NBR 7215:1997).

Para a dosagem do aditivo, em todos os traços, foi fixada como referência o resultado do ensaio da mesa de consistência da argamassa produzida em Dias (2017) com a areia de Corumbá, após o ajuste de traço com água. Portanto, o valor fixado para a dosagem de aditivo é 220 milímetros de espalhamento no ensaio da Mesa de Consistência.

Para obter a dosagem correta de aditivo para cada traço produzido, o procedimento realizado foi: estimar uma porcentagem a ser adicionada, produzir a argamassa com esta porcentagem, realizar o ensaio da Mesa de Consistência e avaliar o resultado obtido. Caso não fosse satisfatória, uma nova argamassa era produzida com um novo teor de aditivo estimado, até obter o resultado esperado.

Foi permitida uma margem de variação de 10 milímetros para a trabalhabilidade, considerando que alguns fatores poderiam influir na variedade dos resultados a serem obtidos, como o fato de não termos paquímetro para medir com precisão os diâmetros necessários. O valor da variação foi fixado em 10 milímetros por ter sido a faixa de variação dos resultados obtidos em

Dias (2017), segundo o ajuste do traço com água realizado, seguindo-se assim, a consistência na linha de metodologia da pesquisa já desenvolvida.

3.3.2. Determinação da Trabalhabilidade

Dois ensaios foram adotados para a avaliação da trabalhabilidade das amostras produzidas: Determinação do Índice de Consistência – ABNT NBR 13276:2016 e Ensaio de Penetração de Cone - ASTM C780-01.

O resultado do ensaio é expresso pela média de três diâmetros aferidos na argamassa após os golpes de abatimento da mesa. A Figura 16 ilustra a execução do ensaio, conforme os procedimentos descritos na norma:



Figura 16: Execução da Mesa de Consistência. Fonte: Dias (2017)

No ensaio de penetração do cone, o resultado é indicado pela diferença entre a leitura inicial e a final no instrumento, dada em milímetros. A Figura 17 retrata a execução do Ensaio do Cone de Penetração.



Figura 17: Ensaio de Penetração do Cone. Fonte: o autor

3.4. Etapa IV: Influência da Fibra *Kraft* no Estado Endurecido

Por se tratar de uma pesquisa para propor a obtenção de um material novo, ainda não foram desenvolvidos parâmetros para a avaliação das suas características mecânicas. Foi, então, utilizada a norma ABNT NBR 13279:2005, referente à resistência à tração na flexão e à compressão para argamassas.

Apesar de não se tratar de uma argamassa de revestimento, e da produção da argamassa ser dado conforme a NBR 7215, na qual os corpos de prova são moldados cilíndricos, a norma NBR 13279 foi adotada para a moldagem dos corpos de prova a fim de tornar possível a execução dos ensaios de tração na flexão e de absorção de água, por estes serem importantes parâmetros a serem avaliados na adição das fibras *kraft*.

3.4.1. Produção dos Corpos de Prova

Para os ensaios foram moldados corpos de prova prismáticos de dimensões de 4x4x16cm, conforme a Norma NBR 13279, preenchidos em duas camadas com alturas aproximadamente iguais. Foram aplicadas 30 quedas nos moldes, após cada camada, para garantir o adensamento. A Figura 18 retrata partes do processo de moldagem dos corpos de prova.



Figura 18: Produção dos corpos de prova. Fonte: Dias (2017)
Preparação dos moldes (à esquerda); nivelamento das camadas (centro) e moldes preenchidos (à direita)

Os corpos de prova foram mantidos nos moldes por um período de 48 horas, conservados em ambiente com temperatura ambiente do Laboratório de Materiais, segundo ABNT NBR 13279:2005, vedados com sacos plásticos, como demonstrado na Figura 19.



Figura 19: Conservação dos corpos de prova até 48hrs após moldados. Fonte: o autor.

A adição das fibras não ocasionou em nenhuma peculiaridade para a moldagem dos corpos de prova prismáticos. Devido à utilização do aditivo, as argamassas produzidas eram fluidas, e permitiram um bom adensamento na execução da moldagem, sem nenhuma dificuldade.

Para realização de todos os ensaios propostos foi necessária a produção de 45 corpos de prova, destinados à utilização conforme especificado na Figura 20. Os ensaios de Compressão foram realizados com as frações dos corpos de prova já rompidos no ensaio de Tração.

7 DIAS	3 CP'S TRAÇO 0,1% FIBRAS <i>KRAFT</i> - TRAÇÃO E COMPRESSÃO
	3 CP'S TRAÇO 0,25% FIBRAS <i>KRAFT</i> - TRAÇÃO E COMPRESSÃO
	3 CP'S TRAÇO 0,5% FIBRAS <i>KRAFT</i> - TRAÇÃO E COMPRESSÃO
	3 CP'S TRAÇO 1,0% FIBRAS <i>KRAFT</i> - TRAÇÃO E COMPRESSÃO
28 DIAS	6 CP'S TRAÇO DE REFERÊNCIA - TRAÇÃO, COMPRESSÃO, ABSORÇÃO
	6 CP'S TRAÇO 0,1% FIBRAS <i>KRAFT</i> - TRAÇÃO, COMPRESSÃO, ABSORÇÃO
	6 CP'S TRAÇO 0,25% FIBRAS <i>KRAFT</i> - TRAÇÃO, COMPRESSÃO, ABSORÇÃO
	6 CP'S TRAÇO 0,5% FIBRAS <i>KRAFT</i> - TRAÇÃO, COMPRESSÃO, ABSORÇÃO
	6 CP'S TRAÇO 1,0% FIBRAS <i>KRAFT</i> - TRAÇÃO, COMPRESSÃO, ABSORÇÃO

Figura 20: Corpos de prova para ensaios. Fonte: o autor

3.4.2. Ensaios de Determinação da Resistência Mecânica

Para o ensaio de tração à flexão, os corpos de prova foram posicionados na prensa conforme a Figura 21.



Figura 21: Ensaio de Resistência à Flexão. Fonte: o autor

O ensaio de resistência à tração foi realizado com uma prensa hidráulica com capacidade para 5000 KN. A resistência à tração na flexão foi obtida pela equação (3.8):

$$R_T = \frac{1,5 \times F_1 \times L}{40^3} \quad (3.8)$$

Na qual R_T é a resistência à tração na flexão, em megapascals; F_T é a a força aplicada verticalmente no corpo de prova, em Newtons e L é a distância entre os suportes da prensa, em milímetros.

O ensaio de compressão, conforme a ABNT NBR 13279:2005, foi realizado com os corpos de prova utilizados no Ensaio de Tração na Flexão, após ruptura. Na execução do ensaio foi utilizada uma prensa com maior capacidade de carga. A Figura 22 mostra os corpos de prova (à esquerda) e a prensa (à direita) utilizados no ensaio experimental.



Figura 22: Ensaio de Resistência à Compressão. Fonte: o autor

A partir deste ensaio, a resistência à compressão axial pôde ser obtida pela equação (3.9).

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (3.9)$$

Na qual R_c é a resistência à compressão, dada em megapascals e F_c é a carga no momento da ruptura, em Newtons.

3.4.3. Ensaio de Absorção de Água

Dois ensaios de Absorção de Água foram executados: a Absorção de Água por Capilaridade – ABNT NBR 15259:2005 e Absorção de Água por Imersão – ABNT NBR 9778:2009.

Para o ensaio de capilaridade, segundo a norma, as leituras de massa devem ser realizadas aos 10 minutos e 90 minutos após o contato com a água. Foram realizadas também leituras nos

tempos de 30 e 60 minutos, para obter mais precisão nos resultados obtidos. A Figura 23 ilustra o ensaio realizado.

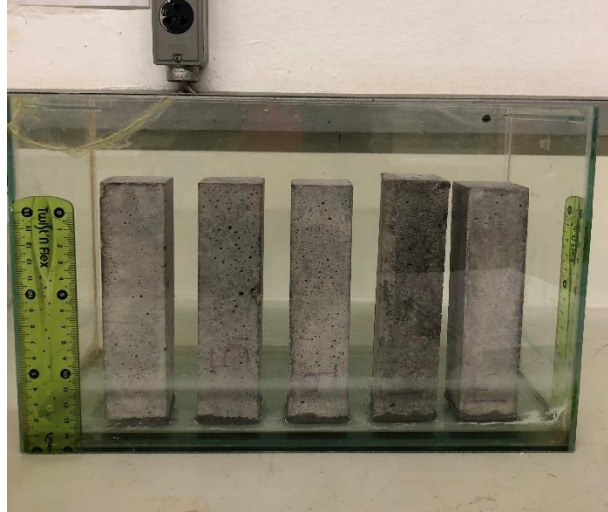


Figura 23: Ensaio de Absorção de água por Capilaridade. Fonte: o autor

O coeficiente de capilaridade (C) corresponde ao coeficiente angular da curva do gráfico Massa do Corpo de Prova x Tempo. O coeficiente C pôde ser estimado pela equação (3.10):

$$C = m_{90} - m_{10} \quad (3.10)$$

Na qual m_{90} é a massa medida no tempo de 90 minutos, em gramas e m_{10} é a massa medida no tempo 10 minutos, também em gramas. A absorção de água por capilaridade é dada pela equação (3.11):

$$A_t = \frac{M_t - M_o}{16} \quad (3.11)$$

Na qual A_t é a absorção de água por capilaridade, em gramas; M_t é a massa do corpo de prova em um tempo t , em gramas e M_o é a massa inicial do corpo de prova, em gramas.

Para a absorção de água por imersão, a absorção de água é dada pela equação (3.12), abaixo:

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3.12)$$

Onde A é a absorção de água, em porcentagem; M_{sat} é a massa do corpo de prova, quando saturado, em gramas e M_s é a massa do corpo de prova seco, também em gramas.

Também pôde ser obtido o índice de vazios (I_v) pela equação (3.13), a seguir:

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \quad (3.13)$$

Na qual M_i é a massa saturada com o corpo de prova imerso em água. A partir do ensaio também foi possível a determinação da massa específica da amostra seca (ρ_s), saturada (ρ_{sat}), e real (ρ_r). A massa específica da amostra seca é calculada pela equação (3.14), considerando os poros permeáveis e impermeáveis (DIAS, 2017):

$$\rho_s = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad (3.14)$$

A massa específica saturada foi obtida segundo a expressão (3.15) abaixo, e se diferencia de ρ_s por considerar nos cálculos apenas os poros impermeáveis:

$$\rho_{sat} = \frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i} \quad (3.15)$$

E, por fim, a massa específica real:

$$\rho_r = \frac{M_s}{M_s - M_i} \quad (3.16)$$

4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios executados descritos no capítulo anterior. Os resultados estão apresentados conforme a ordem definida das etapas da metodologia.

4.1. Etapa I: Obtenção e Caracterização dos Materiais

Segue-se os resultados obtidos do ensaio de caracterização do cimento e análise feita do resultado obtido.

4.1.1. Cimento

O resultado para o Ensaio de Resistência à Compressão do Cimento Portland CP V – ARI está indicado na Tabela 5, para as idades de 1, 3 e 7 dias, juntamente com os valores mínimos de resistência exigidos pela NBR 5733:1991 que é referente à caracterização do Cimento Portland CP V – ARI.

O cálculo da resistência para cada uma das idades foi obtido segundo instruções da ABNT NBR 7215:1997, dividindo a carga de ruptura verificada pela área da seção do corpo de prova.

Tabela 5: Resistência à Compressão do Cimento. Fonte: o autor

	Resistência (MPa)	Desvio Relativo Máximo (%)	Resistência Mínima (MPa)
Dia 01	26,0	5,8%	14,0
Dia 03	31,6	0,2%	24,0
Dia 07	34,1	3,1%	34,0

Observa-se a validade do ensaio, que estabelece valor máximo de desvio relativo de 6%. A relação com todos os resultados individuais, bem como os detalhes dos cálculos das resistências finais obtidas estão descritos no Anexo A.

Portanto, o cimento utilizado obteve resultados acima dos mínimos requeridos. O bom desempenho mecânico do cimento, conforme especificado pela Norma, proporciona uma argamassa final com melhor desempenho mecânico.

A Figura 24 mostra os corpos de prova após a realização do ensaio.



Figura 24: Corpos de Prova após ruptura. Fonte: o autor

4.2. Influência da Fibra *Kraft* no Estado Fresco

Seguem-se, nestes próximos tópicos, os resultados obtidos dos ensaios e análises feitas no estado fresco das argamassas produzidas nessa pesquisa.

4.2.1. Dosagem do Aditivo

Na Tabela 6 estão apresentados os percentuais de aditivo superplastificante utilizados nos traços de argamassas produzidos, a partir do método descrito no item 3.3.1. deste projeto.

Tabela 6: Dosagem de Aditivo. Fonte: o autor

Traço	% Aditivo adotada	Em gramas
Referência	0,33%	2,06
0,10%	0,35%	2,18
0,25%	0,40%	2,50
0,50%	0,55%	3,43
1,00%	1,20%	7,49

Para o traço de argamassa com adição de 1,0% de Fibras *Kraft* foi dosada a porcentagem de 1,20% de aditivo superplastificante por ser o máximo recomendado pelo fabricante.

Ao produzir esse traço e realizar o Ensaio da Mesa de Consistência constatou-se que não foi possível atingir a trabalhabilidade fixada, obtendo resultado bem abaixo do referenciado. Entretanto, optou-se por respeitar o limite máximo estabelecido pelo fabricante.

Fixada a variável da trabalhabilidade, é possível a análise da influência da adição das fibras *kraft* na trabalhabilidade da argamassa pelo consumo necessário de aditivo para obter o valor de referência. O diagrama na Figura 25, que relaciona a massa de fibras do traço com a massa de aditivo utilizada para correção da trabalhabilidade, permite essa observação:

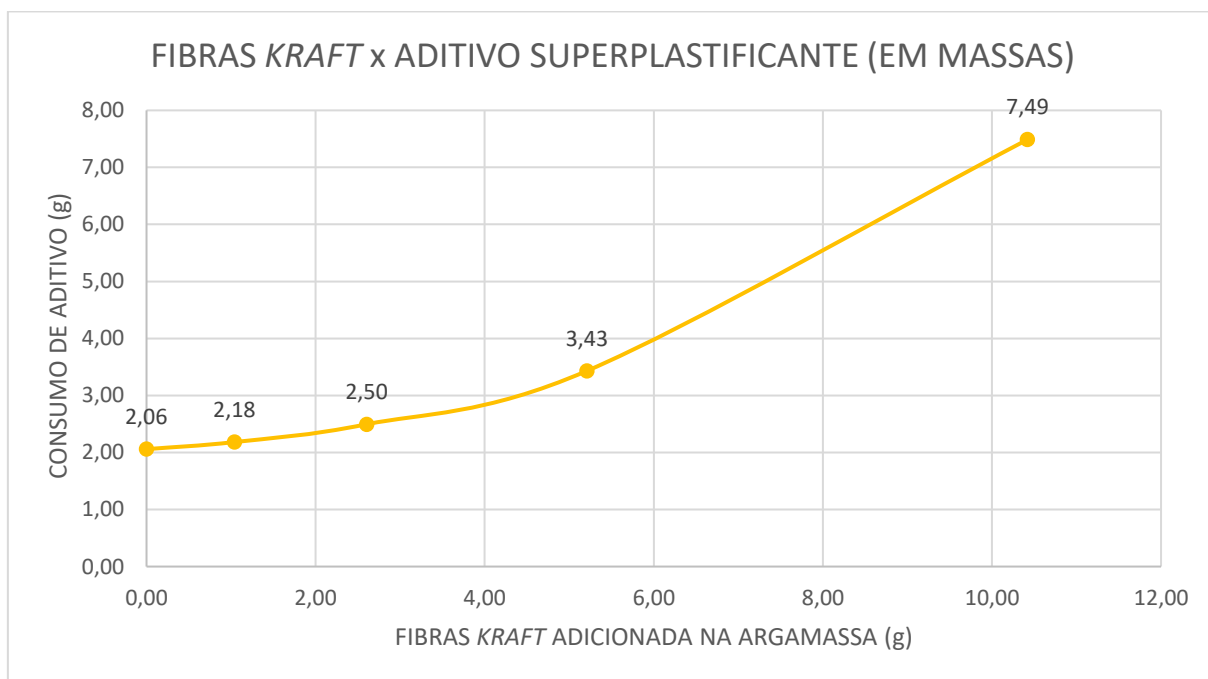


Figura 25: Diagrama Massa de Fibras Kraft versus Massa de Aditivo. Fonte: o autor

A adição das fibras *kraft* na argamassa diminui a fluidez da argamassa. Portanto, a quantidade de superplastificante a ser adicionada para obter a trabalhabilidade requerida aumenta conforme o aumento do teor de fibras colocado.

A Tabela 7 apresenta, o consumo exclusivo de aditivo pelas fibras *kraft*, considerando que essas são o fator determinante para o aumento de consumo do superplastificante. A coluna “Consumo de Aditivo pela Fibra (g)” foi obtida subtraindo do consumo de aditivo total, para cada traço com fibras, o consumo de aditivo total para dosagem do traço de referência. Com essa análise, obtém-se a quantidade, em gramas, consumida diretamente para compensar a adição das fibras celulósicas.

A coluna “Consumo de Aditivo pela Fibra (%)” da Tabela 8 contem a porcentagem, em cada traço com fibra, que é relativa apenas ao consumo de fibra, segundo a relação abaixo:

$$\text{Consumo de aditivo pela fibra (\%)} = \frac{\text{Consumo de aditivo pela fibra (g)}}{624} \times 100$$

Tabela 7: Consumo de Aditivo Total e pela Fibra. Fonte: o autor

Traço	Fibras Kraft (g)	Consumo de Aditivo Total (g)	Consumo de Aditivo pela Fibra (g)	Consumo de Aditivo pela Fibra (%)
Referência	0,00	2,06	-	-
0,10%	1,04	2,18	0,12	0,02%
0,25%	2,61	2,50	0,44	0,07%
0,50%	5,21	3,43	1,37	0,22%
1,00%	10,42	7,49	5,43	0,87%

E a Figura 26 apresenta a relação entre a porcentagem de fibras no traço e a porcentagem de aditivo consumido pela fibra.

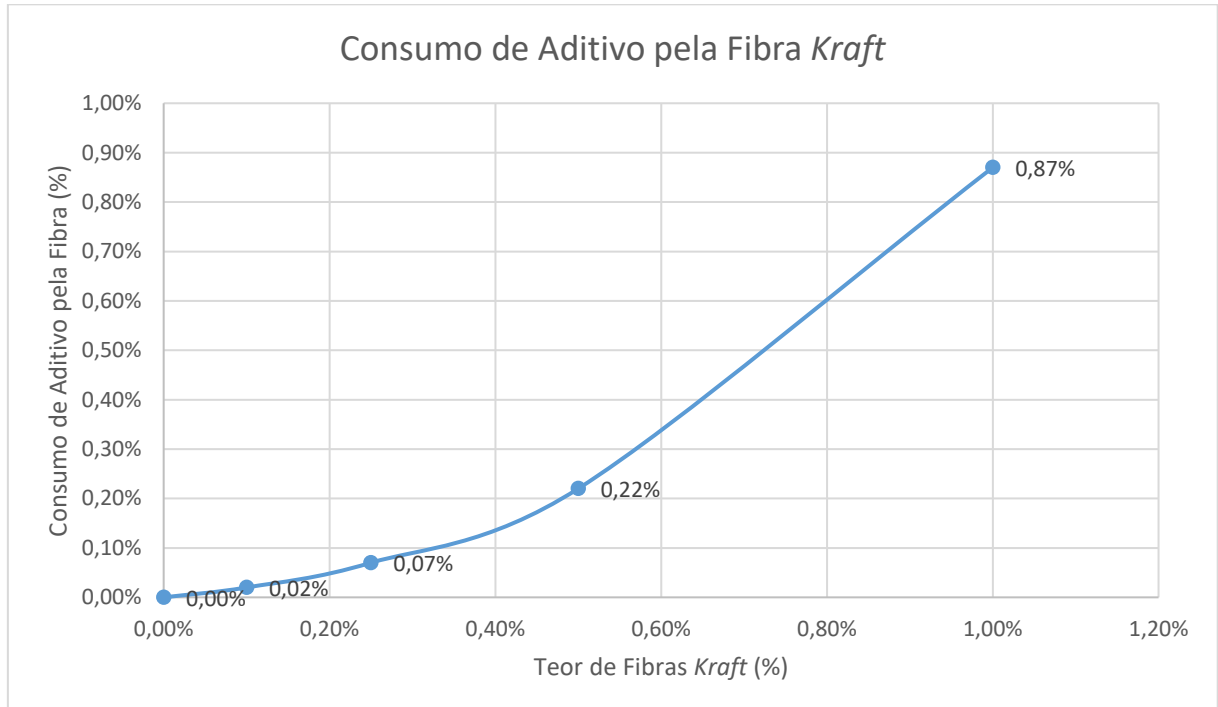


Figura 26: Diagrama do Consumo de aditivo pela Fibra Kraft. Fonte: o autor

Ressalta-se que, tanto nos dados e no diagrama retratado, há uma distorção quanto ao consumo necessário de aditivo para o teor de 1,00% de fibras, pois esse foi dosado segundo o limite de utilização.

Observa-se que a relação entre os fatores analisados não é linear, e que, nos teores de adição de fibras mais altos, o consumo de aditivo foi substancialmente maior, não seguindo um padrão de aumento regulado. A fibra *kraft* consome água da mistura, conforme é adicionada. O aditivo superplastificante compensou esse consumo, garantindo a fluidez da argamassa.

4.2.2. Determinação da Trabalhabilidade

Para os ensaios da Mesa de Consistência e da Penetração de Cone realizados, os resultados estão expressos na Tabela 8:

Tabela 8: Resultados dos Ensaios de Trabalhabilidade. Fonte: o autor

Traço	Mesa de Consistência	Penetração de Cone
Referência	210,67 mm	18,00
0,10%	211 mm	19,00
0,25%	212,67 mm	19,00
0,50%	221 mm	24,00
1,00%	175,00 mm	14,00

Os valores obtidos para o ensaio da Mesa de Consistência correspondem à média dos 3 diâmetros aferidos na argamassa espalhada na mesa. A leitura do cone de penetração corresponde à realizada após 30 segundos da descida do cone.

Observa-se que os resultados da Mesa de Consistência, à exceção da argamassa produzida com 1,0% de adição de fibras, estão dentro dos limites estabelecidos como referência, 210 ± 10 milímetros. Apenas este traço não atingiu o valor objetivado por respeito ao limite de utilização conforme justificado em 4.2.1.

Segundo analisado em Dias (2017) a adição das fibras *kraft* resulta numa diminuição da trabalhabilidade das argamassas produzidas. A perda da trabalhabilidade influencia diretamente capacidade de fluidez da argamassa, dificultado sua utilização por diminuir sua capacidade de espalhamento, transporte e adensamento, características necessárias a esse tipo de material.

A utilização do aditivo permitiu que as fibras fossem adicionadas sem haver a perda desta propriedade no estado fresco da argamassa.

A Tabela 9 compara os resultados obtidos em Dias (2017), com os obtidos nesta pesquisa, para mesmos teores de adição de fibras *kraft*.

Tabela 9: Comparação de Resultados obtidos com a pesquisa de Dias (2017). Fonte: o autor

	Resultados (DIAS, 2017)		Resultados desta pesquisa	
	Mesa de Consistência	Penetração de Cone	Mesa de Consistência	Penetração de Cone
Traço Referência	220 mm	21 mm	210,67 mm	18 mm
0,5% Fibras <i>Kraft</i>	177 mm	10 mm	221 mm	24 mm
1,0% Fibras <i>Kraft</i>	146 mm	3 mm	175 mm	14 mm

Ressalta-se que os resultados obtidos da pesquisa em Dias (2017) foram após a correção de água adotada no traço, na qual foram adicionadas 40 gramas a mais, totalizando 340 gramas. Nesta pesquisa, a quantidade de água, para todos os traços, é de 300 gramas.

Portanto, com a utilização de aditivos superplastificantes, nesta pesquisa, foi possível a adição de fibras *kraft* nas argamassas e ainda assim, garantir uma trabalhabilidade maior em comparação com Dias (2017), mantendo uma relação água / cimento menor, por não necessitar de mais adição de água para compensar as fibras. Esse resultado representa um ganho no desempenho da argamassa no estado fresco, pois a trabalhabilidade é uma propriedade crucial para a argamassa.

Observa-se que a utilização do aditivo, efetivamente, aumentou a trabalhabilidade das argamassas, excluindo a necessidade da utilização da água para ajustes dos traços. Com o uso do aditivo e a padronização das trabalhabilidades atingidas, se tornou possível uma análise mais objetiva sobre a influência das fibras no material produzido, como realizado em 4.2.1 e no capítulo 4.3, por diminuir as variáveis que interferiam nessa análise.

4.3. Influência da Fibra *Kraft* no Estado Endurecido

Nestes próximos tópicos estão apresentados os resultados e as discussões sobre os ensaios realizados no estado endurecido das argamassas produzidas.

A aparência dos corpos de prova moldados para os ensaios no estado endurecido está apresentada na Figura 27.



Figura 27: Corpos de prova: 0,50%; 0,25%; 1,0%; Traço de Referência e 0,10%. Fonte: o autor

Da esquerda para a direita, na imagem estão os corpos de prova do traço 0,50%; 0,25%; 1,0%; Traço de Referência e 0,1% de adição. Pela imagem, percebe-se que os corpos de prova, em geral, apresentaram aparência uniforme, com alguns pequenos vazios, porosos.

Ademais, não foram notadas grandes irregularidades, indicando que o adensamento na moldagem dos corpos de prova foi satisfatório. Também não foi verificado nenhum tipo de eflorescência, nem aos 7 dias, nem aos 28 dias.

4.3.1. Ensaio de Determinação da Resistência Mecânica

Seguem-se os resultados e análises dos ensaios de resistência a tração na flexão e resistência à compressão, realizados conforme descrito na metodologia.

Resistência à Tração na Flexão

Os resultados dos ensaios de Tração na Flexão estão apresentados na Tabela 10. A resistência à tração para cada traço é dada pela média das resistências individuais dos blocos rompidos.

Os resultados individuais, bem como os cálculos da Resistência à Tração na Flexão e do Desvio Máximo Absoluto estão descritos no Anexo B.

Tabela 10: Resistências à Tração na Flexão. Fonte: o autor

	Idade: 07 dias		Idade: 28 dias	
	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Desvio Absoluto Máximo (MPa)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Desvio Absoluto Máximo (MPa)
Referência	8,8	0,0	9,1	0,2
0,10% Fibras Kraft	8,8	0,2	9,1	0,1
0,25% Fibras Kraft	8,8	0,0	9,7	0,1
0,50% Fibras Kraft	9,2	0,2	9,6	0,1
1,00% Fibras Kraft	9,6	0,0	10,7	0,1

A Figura 28 permite uma comparação visual melhor dos resultados obtidos.

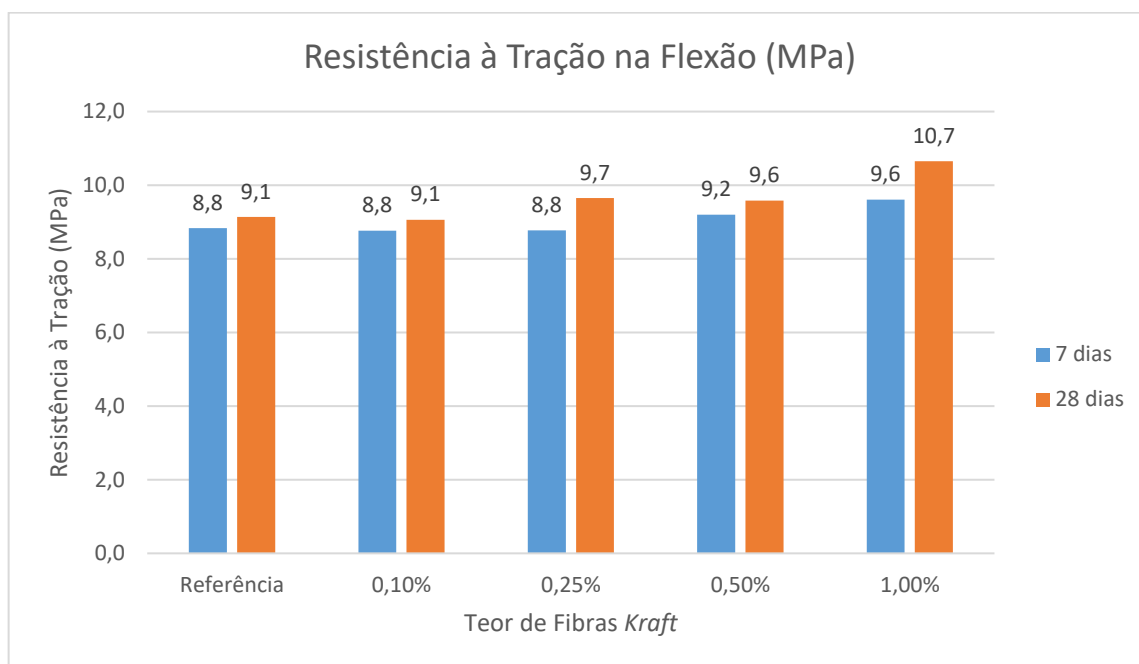


Figura 28: Resistência à Tração na Flexão. Fonte: o autor

Em todos os resultados obtidos houve ganho na resistência à tração na flexão para a argamassa. Por estes resultados, observa-se que a adição das fibras agrega em ganhos para a resistência à tração da argamassa, conforme esta é adicionada. Os traços com teores mais altos de fibras foram os que obtiveram maiores valores de resistência. Esse resultado é condizente com Tonoli et al. (2013), que afirmou que o ganho nessa resistência é um dos principais atrativos ao uso das fibras celulósicas em compostos cimentícios.

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos nessa pesquisa e a realizada em Dias (2017), a fim de que sejam analisadas as comparações.

Tabela 11: Comparação de Resultados. Fonte: o autor

	Resultados (DIAS, 2017)		Resultados desta pesquisa	
	Resistência à Tração na Flexão (MPa)		Resistência à Tração na Flexão (MPa)	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Referência	6,6	8,3	8,8	9,1
0,50% Fibras <i>Kraft</i>	8,2	8,4	9,2	9,6
1,00% Fibras <i>Kraft</i>	6,4	7,0	9,6	10,7

Todas as argamassas desta pesquisa obtiveram valores mais elevados de resistência a tração na flexão, em comparação com os resultados observados em Dias (2017). Para ambas as pesquisas, em relação aos resultados de 0,50% fibras, as resistências observadas foram maiores que os traços de referência. Entretanto, para os traços com adição 1,0%, as pesquisas apresentaram tendências diferentes: enquanto em Dias (2017) a resistência decaiu em relação ao traço de referência, nesta pesquisa, os resultados apresentaram elevações.

Em análise, os contrastes obtidos entre os resultados se dão por dois fatores principais: a relação água/cimento, que nesta pesquisa foi inferior à de Dias (2017) e à fluidez obtida nas argamassas. Em Dias (2017), a relação água / cimento foi mais elevada devido ao ajuste dos traços com a utilização da água, que foi substituída por aditivo, nesta pesquisa. Também, nesta pesquisa as argamassas obtiveram valores mais elevados de trabalhabilidade, o que possibilitou melhor adensamento dos corpos de prova, fator que também influi no resultado à resistência à tração.

Ademais, ressalta-se que as variantes entre cada traço produzido nesta pesquisa foram as quantidades de fibras *kraft* e de aditivo superplastificante adicionadas. Conhece-se que o aditivo pode exercer influência na resistência à tração em compostos cimentícios, como apresentado em Teixeira (2009), que estudou a adição deste em concreto. Em seu estudo, o resultado obtido foi um ganho de resistência no concreto advindo da utilização do aditivo. Portanto, podem ser necessárias outras avaliações comparativas a fim de obter a influência específica da adição das fibras.

A Figura 29 apresenta a aparência dos corpos de prova, em suas seções de ruptura após o ensaio realizado. Observa-se a presença das fibras *kraft*, e sua dispersão nas argamassas produzidas.



Figura 29: Alguns corpos de prova após a ruptura. Concentração das fibras. Fonte: o autor

Resistência à Compressão

Estão apresentados, na Tabela 12, os valores obtidos como resultados para o ensaio de resistência à compressão, para as idades de 7 e 28 dias.

Tabela 12: Ensaio de Resistência à Compressão. Fonte: o autor

	Idade: 07 dias		Idade: 28 dias	
	Resistência à Compressão (MPa)	Desvio Absoluto Máximo (MPa)	Resistência à Compressão (MPa)	Desvio Absoluto Máximo (MPa)
Referência	57,8	0,4	65,4	1,7
0,10% Fibras Kraft	58,3	1,1	60,2	0,5
0,25% Fibras Kraft	56,4	1,3	63,6	0,7
0,50% Fibras Kraft	60,5	1,1	66,0	2,0
1,00% Fibras Kraft	60,8	1,8	62,9	0,9

E a Figura 30, apresenta os dados obtidos em gráfico de colunas, a fim de facilitar a observação dos resultados.

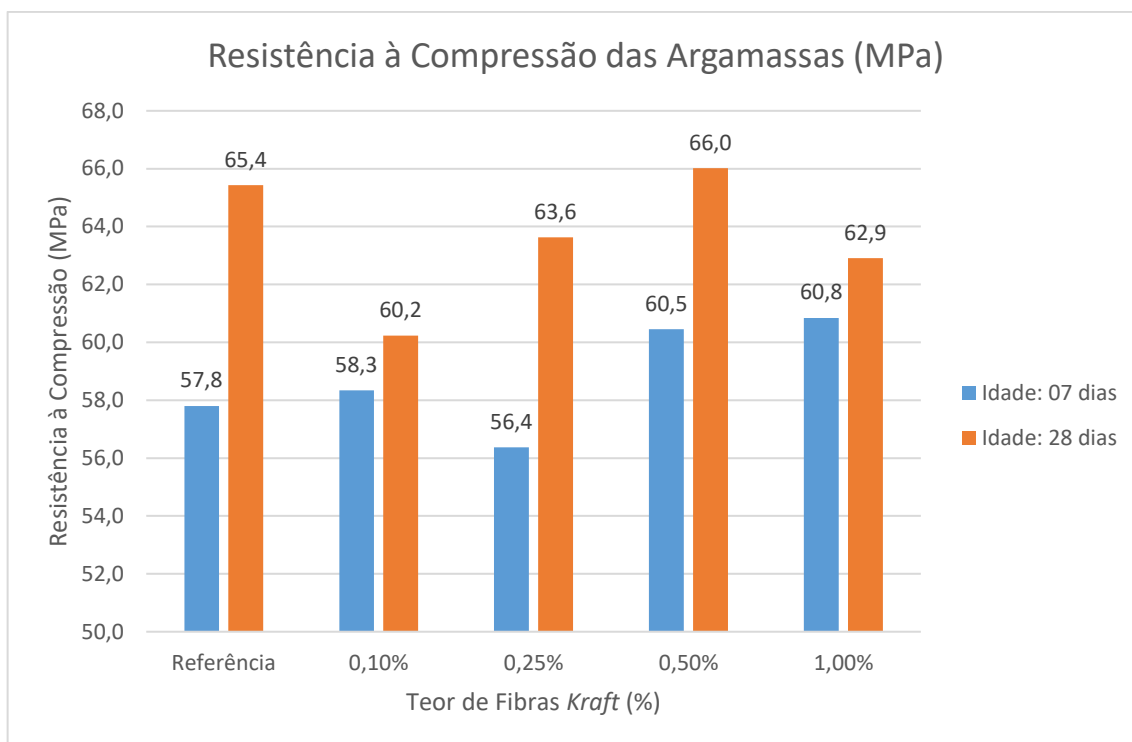


Figura 30: Resistência à Compressão das Argamassas. Fonte: o autor

Esses valores apresentados são as médias das resistências individuais obtidas. Os resultados individuais estão apresentados no ANEXO C.

É necessária a observação de que a NBR 13279:2005 estabelece como limite máximo para o desvio absoluto na realização do ensaio 0,5 MPa. Alguns resultados obtiveram limite acima do máximo. Uma justificativa provável para a variação dos resultados, em um mesmo traço, é fato de o equipamento utilizado para a ruptura dos blocos ser de controle manual. Conseqüentemente, com maior dificuldade em padronizar a velocidade de aplicação de carga, o que influencia no resultado obtido.

Por demais, percebe-se que, para os resultados de 7 dias, a adição das fibras *kraft* acarretou em mais ganho do que perdas, em relação à resistência a compressão das argamassas. Para a maioria dos traços, a resistência obtida foi maior que a argamassa de referência, chegando a um incremento máximo de 5,2%, para o teor de 1,0% de fibras. Apenas a argamassa com 0,25% apresentou resistência abaixo à de referência.

Contudo, para as argamassas testadas em 28 dias, os resultados demonstraram uma resistência à compressão menor para os traços com adição das fibras em relação ao traço de referência, com exceção da argamassa 0,50%.

Comparativamente, a argamassa sem adição de fibras *kraft* apresentou um ganho de resistência nos 28 dias maior que as argamassas com fibras. Para esta, o ganho percentual foi de 13,2%; enquanto os outros traços apresentaram ganho médio de 7%. A Figura 31 apresenta o padrão de ganho de resistência, nos 28 dias, das argamassas produzidas.

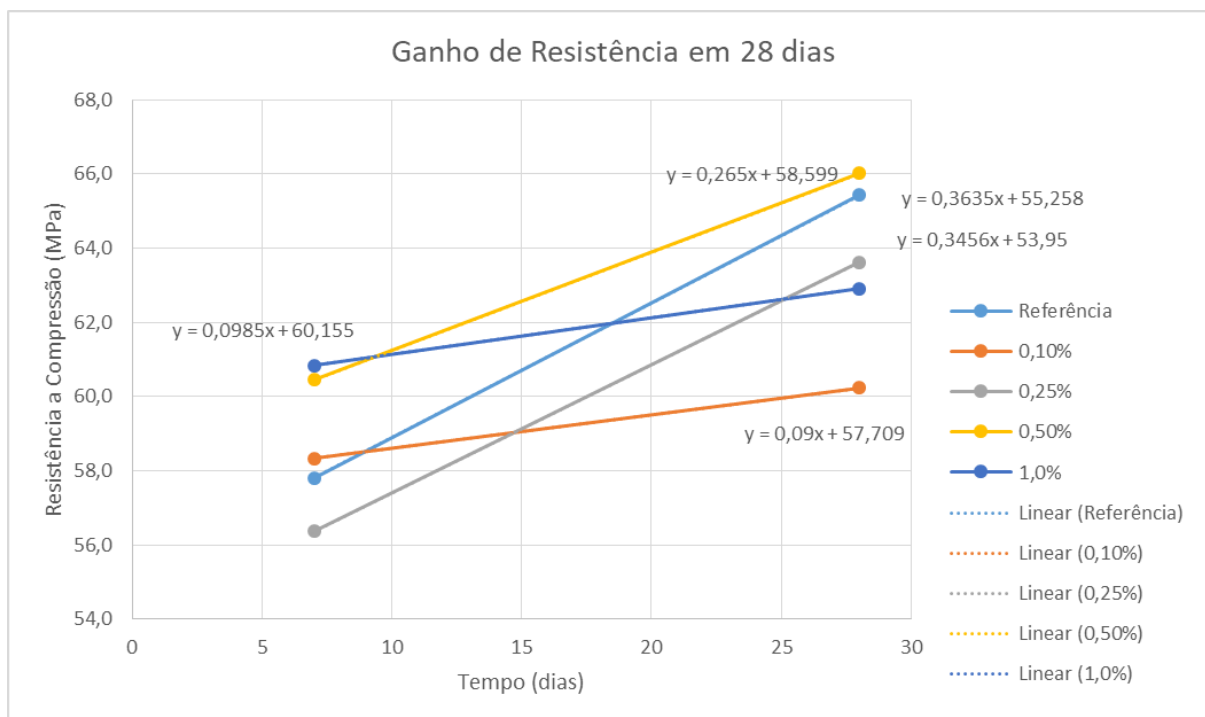


Figura 31: Ganho de resistência das argamassas. Fonte: o autor

É possível notar que a inclinação da reta azul clara, representante do ganho de resistência do traço de referência, tem inclinação maior que todas as outras retas, demonstrando a sua taxa de crescimento. Também, é possível notar segundo a comparação dos coeficientes angulares de todas as retas, das quais o do traço de referência é o mais elevado.

A utilização do aditivo superplastificante permitiu que as fibras fossem adicionadas sem que houvesse perda de trabalhabilidade da argamassa. Esse fator é determinante nos resultados a serem obtidos de resistência, pois possibilitou que os corpos de prova fossem fabricados com melhor adensamento, e, portanto, com menor porosidade, o que influi na diminuição da resistência.

Comparando os resultados obtidos nesta pesquisa e na realizada em Dias (2017), em que houveram perdas mais significativas no desempenho das argamassas com adições das fibras *kraft*, pode-se concluir que o fator preponderante para a diminuição das resistências tenha sido

a adição de água para ajuste de trabalhabilidade dos traços, o que diminuiu a relação água cimento e o fato de obter, para os teores de fibras adicionados, argamassas cada vez menos adensáveis, e não a interferência da fibra em si.

Entretanto, também é importante ressaltar que estudos como os de ROSA, 2011 e MEIRELLES, 2010, observaram o aumento de resistência à compressão com a utilização de aditivos superplastificantes em compostos cimentícios, principalmente na idade de 28 dias. Portanto, o aditivo pode ter compensado a possível perda de resistência à compressão advinda da adição das fibras *kraft*.

4.3.2. Ensaio de Absorção de Água

Dos ensaios de absorção de água realizados, por capilaridade e por imersão, seguem-se os resultados obtidos e as análises possíveis.

Absorção de Água por Capilaridade

Segundo a ABNT NBR 15259, o coeficiente de absorção de água por capilaridade é dado pelo coeficiente angular da curva de absorção de água versus a raiz do tempo de medição. A Tabela 13 apresenta os valores obtidos para a absorção da água para os tempos de 10 e 90 minutos, bem como o desvio relativo para os resultados verificados.

Tabela 13: Absorção de Água por Capilaridade. Fonte: o autor

Absorção de Água por Capilaridade (g/cm ²)				
Traço	10 minutos	Desvio	90 minutos	Desvio
Referência	0,02	4,5%	0,04	6,5%
0,10% Fibras <i>Kraft</i>	0,02	12,5%	0,04	8,0%
0,25% Fibras <i>Kraft</i>	0,02	6,9%	0,03	5,4%
0,50% Fibras <i>Kraft</i>	0,02	12,9%	0,03	9,3%
1,00% Fibras <i>Kraft</i>	0,03	4,9%	0,05	4,3%

Os valores de absorção foram obtidos segundo as equações expressas em 3.4.3. O desvio relativo máximo permitido pela norma é de 20%. Portanto, os resultados estão dentro da conformidade.

Pela análise dos resultados obtidos, observa-se que a adição das fibras *kraft*, nos pequenos teores em que foi adicionada, pouco alterou a absorção de água por capilaridade da argamassa.

Destaca-se que o maior teor de adição de fibras apresentou o maior resultado para a absorção, conforme os resultados obtidos em Dias (2017).

A Figura 32 apresenta o diagrama de absorção de água pela raiz tempo do ensaio, conforme orientado pela Norma. O diagrama já está apresentado com as regressões lineares realizadas para os traços, a fim de obter os coeficientes angulares. A análise de dados foi realizada pelo software Excel.

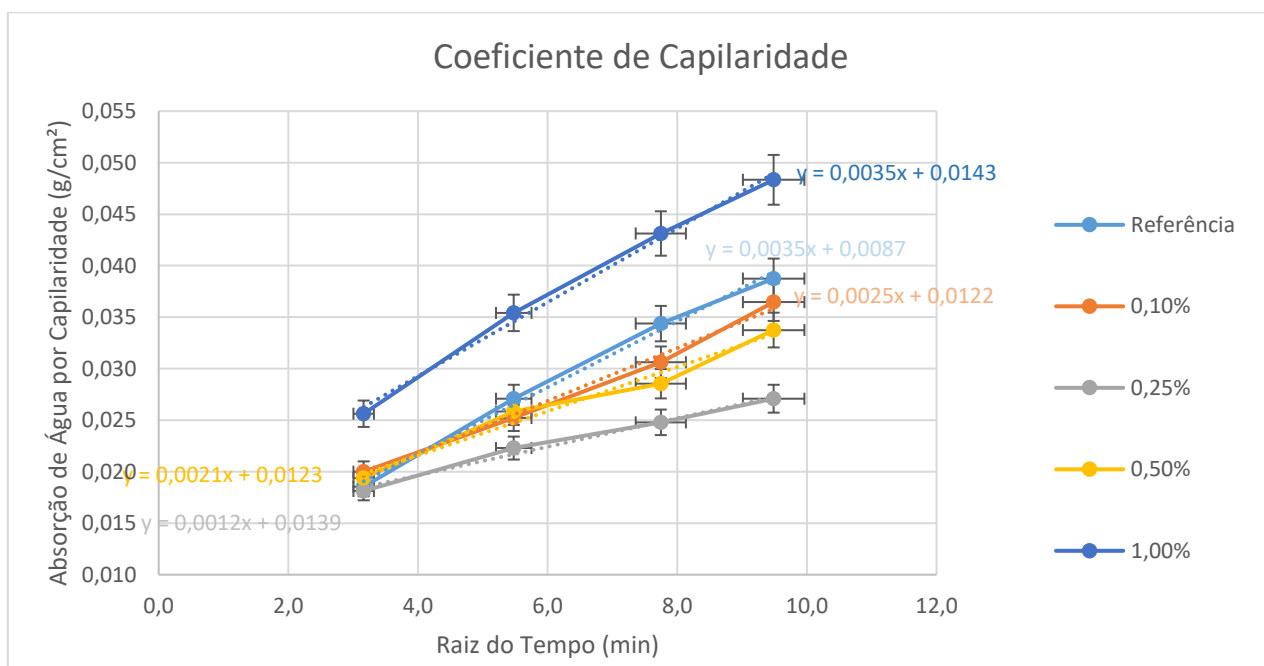


Figura 32: Diagrama de Coeficiente de Capilaridade. Fonte: o autor

Portanto, os resultados para os coeficientes de capilaridade obtidos, bem como os desvios relativos máximos estão apresentados na Tabela 14. À nível de comparação e avaliação dos resultados, a norma apresenta um outro meio de aproximação para a obtenção, dado segundo as equações dadas em 3.43. Estes resultados também são apresentados na tabela.

Tabela 14: Coeficiente de Capilaridade. Fonte: o autor

Traço	Coeficiente de Capilaridade (g/cm ² min)			
	Coeficiente Angular (g/cm ² min)	Desvio	Equação (g/cm ² min)	Desvio
Referência	0,02	9,4%	0,02	5,2%
0,10% Fibras Kraft	0,02	8,8%	0,02	5,1%
0,25% Fibras Kraft	0,01	22,3%	0,01	11,6%
0,50% Fibras Kraft	0,02	7,2%	0,01	4,3%
1,00% Fibras Kraft	0,02	16,9%	0,02	4,6%

Os resultados obtidos pelos dois métodos se assemelham, confirmando a validade do ensaio realizado.

As taxas de absorções por capilaridade são de pequena grandeza. Os baixos valores podem ser justificados pela pequena porcentagem de fibras que foram adicionadas nos traços, não suficiente para produzirem alterações substanciais quanto a essa propriedade.

Também, observa-se que a fixação da trabalhabilidade no estado fresco, permitindo a produção de argamassas mais fluidas tem importante influência nos resultados obtidos. A argamassa produzida, ainda que com as fibras, não apresentou alta porosidade, o que pôde já ser observado pela aparência dos corpos de prova moldados, com pouca quantidade de espaços vazios, segundo a Figura 27.

Assim, a água tem menor facilidade de ascender na argamassa, por essa apresentar menor capilares para sua passagem, resultando, então, nos baixos coeficientes obtidos.

Absorção de Água por Imersão

Com o ensaio de absorção de água por imersão foi possível obter, além da absorção de água pelas argamassas produzidas, o índice de vazios das amostras, por procedimentos indicados em 3.4.3. A Tabela 15 agrupa todos os resultados obtidos.

Tabela 15: Absorção de Água por Imersão e Índice de Vazios. Fonte: o autor

Traço	Absorção de Água (%)	Índice de Vazios (%)
Referência	7,60%	15,30%
0,10% Fibras Kraft	7,74%	15,50%
0,25% Fibras Kraft	7,87%	15,77%
0,50% Fibras Kraft	8,00%	15,94%
1,00% Fibras Kraft	8,81%	17,21%

As argamassas com adições das fibras celulósicas apresentaram níveis maiores absorções de água, e índices de vazios maiores. Contudo, é necessário destacar os valores obtidos para o traço de 1,00% de adição de fibras, por serem os mais elevados.

Apesar de ser esperado o crescimento da absorção de água e do índice de vazios com o aumento proporcional da adição de fibras, o último teor apresentou uma elevação desproporcional em relação aos outros produzidos. Uma possível causa é o fato de que a trabalhabilidade deste traço

não se igualou às demais, sendo menor, e, portanto, na moldagem do corpo de prova o adensamento não foi tão efetivo, proporcionando maior porcentagem de vazio na amostra.

O comportamento das argamassas produzidas apresentou a mesma tendência de pesquisas semelhantes, como a de Dias (2017). Entretanto, nessa pesquisa obtiveram-se valores menores para a absorção de água e vazios, o que é um ganho para o material produzido.

As Figuras 33 e 34 permitem uma melhor visualização dos resultados da absorção e do índice de vazios conforme o teor de fibras adicionado.

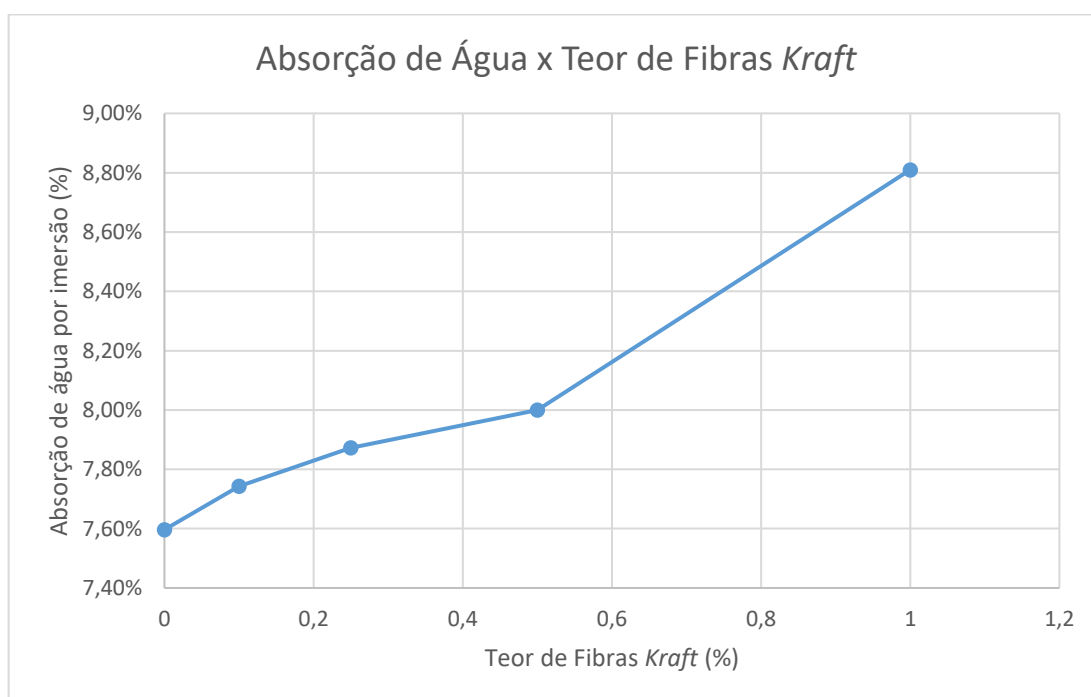


Figura 33: Absorção de Água x Teor de Fibra. Fonte: o autor

Na Figura 33 é possível perceber o aumento da absorção de água conforme o aumento do teor de fibras é adicionado. Também é perceptível uma maior inclinação no gráfico entre o intervalo de teores de fibras 0,5% e 1,0%, apontando o aumento mais elevado da absorção de água entre esses dois teores.

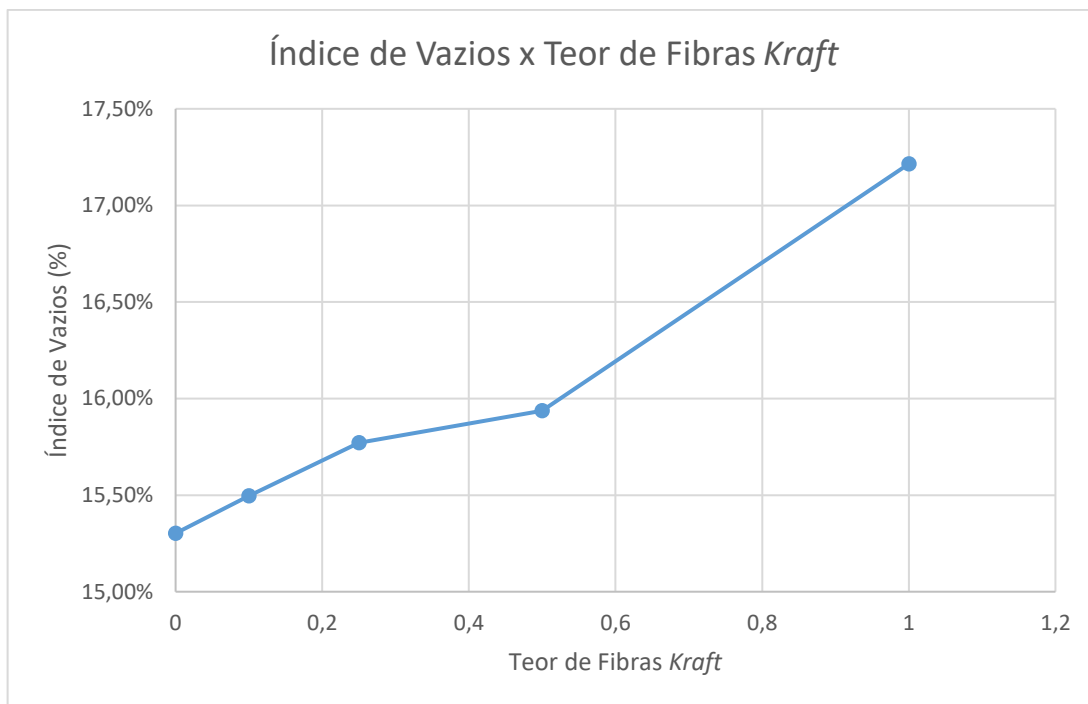


Figura 34: Índice de Vazios x Teor de Fibras Kraft. Fonte: o autor

O índice de vazios é mais elevado nas argamassas com maiores adições de fibras, justificando o aumento da absorção de água nesses casos.

5. CONCLUSÃO

Desenvolvido essa pesquisa, conclui-se que os objetivos almejados foram desempenhados. A metodologia experimental foi realizada, e esta possibilitou que análises fossem feitas sobre o material desenvolvido. Os ensaios propostos foram realizados, segundo o necessário para entender melhor a argamassa estudada.

Destaca-se o avanço quanto ao conhecimento da influência da adição de fibras *kraft* em argamassas, que, nesta pesquisa, pode ser melhor avaliada. Fixando a propriedade da trabalhabilidade no estado fresco, para todos os traços, com a utilização de aditivo superplastificante, foi possível delimitar uma variante e isolar a análise à específica influência da adição das fibras celulósicas, nos estados fresco e endurecido.

Dos resultados obtidos, conclui-se que as fibras diminuem a trabalhabilidade da argamassa, conforme são adicionadas, o que pôde ser garantido pelo consumo de aditivo superplastificante dos traços.

No estado endurecido, as argamassas produzidas com as fibras apresentaram desempenho satisfatório na resistência à tração na flexão. Os traços com fibras *kraft* obtiveram maiores resistências, em comparação ao traço de referência, em ambas as idades de 7 e 28 dias avaliadas.

Entretanto, a resistência à compressão foi, em parte, afetada negativamente pela adição das fibras *kraft*. Nos ensaios realizados na idade de 7 dias, as resistências obtidas foram próximas à da argamassa de referência, com alguns traços apresentando resultados mais elevados que a argamassa sem fibras. Porém, para os ensaios na idade de 28 dias o desempenho das argamassas com o *kraft* ficaram, na maioria, abaixo do valor de referência. O ganho de resistência no decorrer dos 28 dias foi afetado pela adição das fibras.

Por fim, avaliou-se a adição das fibras quanto à absorção de água e o índice de vazios resultante no material final. Pôde-se observar que a adição de fibras eleva o índice de vazios das argamassas, o que gera um aumento na absorção de água.

Entretanto, até a porcentagem de adição de 0,50% de fibras *kraft*, o aumento foi de 0,4% na absorção de água, e 0,64% no índice de vazios, segundo resultados do ensaio de absorção por imersão. O aumento não se deu em taxas muito altas. Em particular, o traço de 1,0% obteve uma taxa maior de elevação, o que pode ser justificado, também, pela menor trabalhabilidade

na qual essas amostras foram moldadas, com maior dificuldade de adensamento, devido ao limite de adição do aditivo superplastificante.

Com base nas análises efetuadas e, considerando a motivação de produção deste material, é possível considerar a adição das fibras *kraft* na produção de argamassas, obtendo um material com bom desempenho nos quesitos avaliados. Dos traços de 0,10%; 0,25% e 0,50% de adição das fibras, os resultados obtidos foram positivos, indicando serem potenciais taxas para utilização.

Para o traço 1,0%, é necessário o estudo de uma solução, como por exemplo, a utilização de um diferente aditivo, a fim de favorecer a argamassa no seu estado fresco, obtendo um material mais trabalhável e, conseqüentemente, com melhores desempenhos no estado endurecido.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABTCP ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. (2017). **Panorama Setorial de 2016**. Fornecedores e Fabricantes Celulose e Papel 2016/2017

ALVES, L. S. (2016). **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, Publicação E.DM-03A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 129p.

AMERICAN SOCYETY FOR TESTING END MATERIALS - **ASTM C780**. Standard Test Method Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry. EUA. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. (2017) **Como devo armazenar o cimento**. Disponível em < <http://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/como-devo-armazenar-o-cimento> /> acessado em dezembro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 7211**. Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 7215**. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão: Classificação. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 7219**. Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos: Classificação. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9776**; Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade, 2005.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO – **AMN NBR NM 45**. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios: Classificação. Rio de Janeiro, 2006. 63

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001

AZEVEDO, M. A. B. (2011). **Diferentes processos de branqueamento da Celulose e seus efeitos nas propriedades físicas e cristalinidade**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. MG.

BITTENCOURT, E. (2004). **Parâmetros de otimização no processo de fabricação de celulose e papel**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR.

BRACELPA Associação Brasileira de Celulose e Papel (2011). **Relatório Estatístico 2010/2011**.

BUSON, M. A. (2009) **Krafterra: Desenvolvimento e Análise Preliminar do Desempenho Técnico de Componentes da Terra com a Incorporação de Fibras de Papel Kraft provenientes da Reciclagem de Saco de Cimentos para Vedação Vertical**. Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, Brasília, DF. 135 p.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos; avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1996. 285p. (Tese, Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana).

CASTRO, H. F. (2009) **Papel e Celulose**. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia Lorena – EEL. São Paulo, SP.

CIMENTOITAMBÉ. PORTAL ITAMBÉ. (2017). **Embalagem com Conteúdo**. Disponível em < <http://www.cimentoitambe.com.br/embalagem-com-conteudo/> > acessado em nov. 2017.

DE PAULA P. G. (2011). **Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica**. Tese (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais do Centro de Ciência e Tecnologia. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campo dos Goytacazes, RJ.

DIAS, R. A. (2017) **Avaliação da interferência da adição de fibras de papel kraft em argamassas**. Monografia de Projeto Final, Publicação G.PF-002/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 94 p.

FARIAS, R. L. (2015) **Estudo da correlação entre propriedades ópticas e mecânicas do papel kraft variando o número kappa**. Dissertação (Mestrado). 83 f. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR.

FIBRA. **Construção civil representa 6,2% do PIB Brasil**. Brasília, 14 de fev. 2017. Disponível em <<https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil>> acesso em jun. 2018.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (2017). **Relatório Anual de 2017**.

- IPT (1988). **Celulose e Papel: Volume 01**. São Paulo, SP. Editora SENAI. 1988.
- JOHN, L. (Ed.) Ciência e Meio Ambiente. **O Estadão**, São Paulo, 4 jun. de 2002. Disponível em < <https://www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2002/jun/04/261.html>>. Acesso em dez. 2017
- MARQUES NETO, J. C. (2009). **Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na bacia hidrográfica do Turvo Grande**. Dissertação de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.
- MARTINS, M. A. G. (2007). **Furfuraldeído - um indicador pratico da degradacao termica do papel kraft de transformadores**. Ciência e Tecnologia dos Materiais, Vol.19, nº 1/2, 2007
- MEIRELES, D. D. (2011) **Contribuição aos estudos de uso de aditivos modificadores de viscosidade em concreto auto adensável**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Goiás. Goiania, GO.
- MJOBORG, J. **Environmental Technology in Pulp and Paper Industries** (material apresentado no curso promovido pela SIDA-Swedish International Development Cooperation Agency). Markaryd. Sweden. 1999
- PINIWEB. (2017). **Redução do peso do saco de cimento de 50 kg é apoiada pelo Seconci-SP**. Disponível em < <http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/carreira/reducao-do-peso-do-saco-de-cimento-de-50-kg-379840-1.aspx>>. Acesso em nov. 2017
- PIOTTO, Z. C. (2003) **Eco-eficiência na indústria de celulose e papel – estudo de caso**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2003. 379 p.
- ROSA, D. W. da (2010). **Resistividade Elétrica de Concretos com diferentes Teores de escória de alto forno e ativador químico**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS.
- SANTOS C. P.; REIS, I. N.; MOREIRA, J. E. B.; BRASILEIRO, J. B. (2001) **Papel: Como se Fabrica**. Química Nova. Número 14.
- SANTOS, E. O. (2012) **Determinação do grau de polimerização em papel isolante através da espectroscopia no infravermelho próximo e calibração multivariada**. 80f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE.
- SANTOS, S. F.; TEIXEIRA, R. S.; LAHR, F. A. R.; SAVASTANO JR, H (2010) **Cellulose modified fibres: surface changes at nanosize level**. Artigo. Disponível em < <https://www.researchgate.net/publication/282572796>. > acessado em nov. 2017
- SANTOS, R. L.; CARVALHO, P. E. F. (2011) **Avaliação de argamassas com fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cimento**. Projeto de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Goias. Goiania, GO.

SAVASTANO JR, H. (2000). **Materiais à base de cimento reforçado com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** Tese (Livre docência). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.

SAVASTANO JR, H; AGOPYAN V (1994). **Fibre-Cement Past Transition Zone.** Disponível em < <https://www.researchgate.net/publication/231753517> > acessado em novembro, 2017.

SÉKULA, P. R. (2011) **Uso do Modelo de Referência para Melhoria do Processo de Fabricação de Papel Kraft.** Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, PR.

SILVA, M. A. (2013) **Obtenção e caracterização de compósitos cimentícios reforçados com fibras de papel de embalagens de cimento.** Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Belo Horizonte.

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

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC. **Produção nacional de cimento por regiões e estados (t) 2017.** Disponível em: < <http://snic.org.br/assets/pdf/numeros/1528825391.pdf> >. Acesso em: 3 mai. 2018.

TONOLI, G. H. D.; SANTOS, S. F.; SAVASTANO JR. H. (2010) **Accelerated carbonation in the early ages of cellulose pulps reinforced cement composites.** Disponível em < <https://www.researchgate.net/publication/272090873> >. Acessado em nov. 2017.

TONOLI, G. H. D.; SILVA, M. P.; SAVASTANO JR. H. (2010) **Surface properties of eucalyptus pulp fibres as reinforcement of cement-based composites.** Holzforshung. Agosto, 2010. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/249925404>.

TONOLI, G. H. D.; BELGACEM, M. N.; SIQUEIRA, G.; BRAS, J.; SAVASTANO JR. H; LAHR F. A. R. (2013). **Processing and dimensional changes of cement based composites reinforced with surface-treated cellulose fibres.** *Cement & Concrete Composites* v. 37 p 68–75, 2013.

VAN VLACK, L. H. (1970). **Princípio da Ciência dos Materiais.** Editora Blucher.

Anexo A

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CIMENTO

Tabela 1 – Cargas de Ruptura do Ensaio

Dia 01 (tnf)	Dia 03 (tnf)	Dia 07 (tnf)
5,2	5,9	7,0
4,7	6,3	6,7
5,2	6,3	6,8
5,5	6,3	8,0

Área da seção:

Área da seção do corpo de prova	0,0019635 m ²
---------------------------------	--------------------------

Tabela 2 – Resistências em MPa

	Dia 01 (MPa)	Dia 03 (MPa)	Dia 07 (MPa)
	25,8	29,4*	35,1
	23,3*	31,6	33,3
	26,0	31,6	34,1
	27,5	31,5	39,8*
Média	25,9	31,5	34,6

Tabela 3 – Desvios Relativos dos Resultados

O máximo permitido pela norma é 6%. Portanto, valores acima serão descartados para cálculo de uma nova média. Os valores não considerados no cálculo da nova média estão destacados com (*) na Tabela 2.

Dia 01	Dia 03	Dia 07
-0,5%	-6,7%	1,5%
-10,1%	0,1%	-3,7%
0,5%	0,2%	-1,5%
6,3%	-0,1%	15,1%

Tabela 4 – Novas Médias

	Dia 01 (MPa)	Dia 03 (MPa)	Dia 07 (MPa)
	25,8	31,6	35,1
	26,0	31,6	33,3
	27,5	31,5	34,1
Média	26,0	31,6	34,1

Tabela 5 – Novos Desvios Relativos dos Resultados

Dia 01	Dia 03	Dia 07
-1,0%	0,0%	3,1%
0,0%	0,2%	-2,2%
5,8%	-0,2%	0,0%

Anexo B

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Tabela 1 – Cargas de ruptura, em kgf, para idade de 7 dias

Referência	0,10%	0,25%	0,50%	1,00%
396	388	396	423	433
397	392	422	380	430
374	401	392	408	402

Tabela 2 – Cargas de ruptura, em kgf, para idade de 28 dias

Referência	0,10%	0,25%	0,50%	1,00%
409	411	428	432	475
420	429	439	425	481
402	403	413	434	479

Tabela 3 – Resistências à Tração na Flexão, para 7 dias, média e dispersão absoluta.

Os valores em negrito indicam dispersão absoluta maior do que o permitido pela norma. As resistências a eles equivalentes serão desconsideradas na nova média calculada.

RESISTÊNCIAS EM MPA

Referência	0,10%	0,25%	0,50%	1,00%
9,10	8,92	9,10	9,73	9,96
9,13	9,01	9,70	8,74	9,89
8,60	9,22	9,01	9,38	9,24

Média	8,94	9,05	9,27	9,28	9,70
D. Abs.	0,2	-0,1	-0,2	0,4	0,3
	0,2	0,0	0,4	-0,5	0,2
	-0,3	0,2	-0,3	0,1	-0,5

Tabela 4 – Resistências à Tração na Flexão, para 28 dias, média e dispersão absoluta.

RESISTÊNCIAS EM MPA

Referência	0,10%	0,25%	0,50%	1,00%
9,40	9,45	9,84	9,93	10,92

9,66	9,86	10,09	9,77	11,06
9,24	9,27	9,50	9,98	11,01

Média	9,43	9,53	9,81	9,89	11,00
D. Abs.	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1
	0,2	0,3	0,3	-0,1	0,1
	-0,2	-0,3	-0,3	0,1	0,0

Como o mínimo de corpos de prova permitido pela norma para cálculo da resistência é 2, os resultados das novas médias já são os finais, e estão expressos em 4.3.1. na tabela 11.

Anexo C

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Tabela 1 – Cargas de Ruptura, em kgf, para idade de 7 dias.

Referência	0,10%	0,25%	0,50%	1,00%
9370	9335	9035	9865	9630
9385	4715	9135	9690	9910
9455	9565	9410	9855	10175
9500	9645	9195	10030	9980
9595		9600		
9225		9005		

Tabela 2 – Cargas de Ruptura, em kgf, para idade de 28 dias.

Referência	0,10%	0,25%	0,50%	1,00%
10590	11000	10280	10575	10240
10700	9745	10760	10445	10115
10615	9845	10430	10995	10290
10785	9880	10040	11055	10400

Tabela 3 – Resistências à Compressão, em MPa, para idade de 7 dias.

As resistências apresentadas em negrito serão desconsideradas no próximo cálculo da resistência média por estarem fora do limite máximo permitido. A resistência em vermelho não foi considerada para cálculo, por apresentar um valor muito discrepantes, o que, provavelmente ocorreu por erro na execução do ensaio.

D. Absoluta é a dispersão absoluta em relação à média

Referência	0,10%	0,25%	0,50%	1,00%
57,45	57,24	55,40	60,48	59,04
57,54	28,91	56,01	59,41	60,76
57,97	58,65	57,70	60,42	62,39
58,25	59,14	56,38	61,50	61,19
58,83		58,86		
56,56		55,21		

Média	57,80	58,34	56,37	60,45	60,84
-------	-------	-------	-------	-------	-------

D. Abs.	-0,4	-1,1	-1,0	0,0	-1,8
	-0,3	-29,5	-0,4	-1,0	-0,1
	0,2	0,3	1,3	0,0	1,5
	0,4	0,8	0,0	1,0	0,3
	1,0		2,5		
	-1,2		-1,2		

Tabela 4 – Novas Resistências à Compressão, em MPa, para idade de 7 dias.

Referência	0,10%	0,25%	0,50%	1,00%
57,45	57,24	55,40	60,48	59,04
57,54	28,91	56,01	59,41	60,76
57,97	58,65	57,70	60,42	62,39
58,25	59,14	56,38	61,50	61,19
58,83		58,86		
56,56		55,21		

Média	57,80	58,34	56,37	60,45	60,84
D. Abs.	0,40	1,10	1,30	1,10	1,80

Tabela 5 - Resistências à Compressão, em MPa, para idade de 28 dias

Referência	0,10%	0,25%	0,50%	1,00%
64,93	67,44	63,03	64,84	62,78
65,60	59,75	65,97	64,04	62,02
65,08	60,36	63,95	67,41	63,09
66,13	60,58	61,56	67,78	63,77

Média	65,44	60,23	63,63	66,02	62,91
D. Abs.	-0,51	7,21	-0,60	-1,18	-0,13
	0,17	-0,48	2,35	-1,98	-0,90
	-0,35	0,13	0,32	1,39	0,18
	0,69	0,35	-2,07	1,76	0,85

O valor em negrito também foi desconsiderado no cálculo da resistência final por apresentar grande discrepância em relação aos demais. Uma possível razão ao acontecido foi a aplicação da carga em velocidade mais elevada.

Por fim, os resultados finais estão expressos no capítulo de resultados.

Anexo D

Absorção por Capilaridade

Tabelas 1 a 3 – Medição de massa

		Massa (g)				
CP's 1	Traço	0 minutos	10 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos
	Referência	566,06	566,37	566,52	566,64	566,71
	0,10% Fibras Kraft	576,20	576,53	576,60	576,69	576,78
	0,25% Fibras Kraft	562,85	563,13	563,19	563,22	563,26
	0,50% Fibras Kraft	579,91	580,21	580,30	580,35	580,43
	1,00% Fibras Kraft	576,11	576,50	576,66	576,78	576,85

		Massa (g)				
CP's 2	Traço	0 minutos	10 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos
	Referência	567,25	567,54	567,63	567,75	567,83
	0,10% Fibras Kraft	574,31	574,66	574,75	574,83	574,94
	0,25% Fibras Kraft	563,27	563,58	563,65	563,69	563,72
	0,50% Fibras Kraft	579,58	579,86	579,96	580,00	580,09
	1,00% Fibras Kraft	576,55	576,97	577,12	577,24	577,33

		Massa (g)				
CP's 3	Traço	0 minutos	10 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos
	Referência	566,73	567,02	567,19	567,3	567,36
	0,10% Fibras Kraft	574,92	575,20	575,29	575,38	575,46
	0,25% Fibras Kraft	563,52	563,80	563,87	563,92	563,96
	0,50% Fibras Kraft	578,85	579,20	579,32	579,36	579,44
	1,00% Fibras Kraft	576,19	576,61	576,77	576,90	576,99

Tabelas 4 a 6 – Absorção de água

		Absorção de Água por Capilaridade (g/cm ²)				
CP's 1	Traço	10 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos	

	Referência	0,02	0,03	0,04	0,04
	0,10% Fibras Kraft	0,02	0,02	0,03	0,04
	0,25% Fibras Kraft	0,02	0,02	0,02	0,03
	0,50% Fibras Kraft	0,02	0,02	0,03	0,03
	1,00% Fibras Kraft	0,02	0,03	0,04	0,05

Absorção de Água por Capilaridade (g/cm ²)					
CP's 2	Traço	10 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos
	Referência	0,02	0,02	0,03	0,04
	0,10% Fibras Kraft	0,02	0,03	0,03	0,04
	0,25% Fibras Kraft	0,02	0,02	0,03	0,03
	0,50% Fibras Kraft	0,02	0,02	0,03	0,03
	1,00% Fibras Kraft	0,03	0,04	0,04	0,05

Absorção de Água por Capilaridade (g/cm ²)					
CP's 3	Traço	10 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos
	Referência	0,02	0,03	0,04	0,04
	0,10% Fibras Kraft	0,02	0,02	0,03	0,03
	0,25% Fibras Kraft	0,02	0,02	0,02	0,03
	0,50% Fibras Kraft	0,02	0,03	0,03	0,04
	1,00% Fibras Kraft	0,03	0,04	0,04	0,05

Tabela 7 – Média das Absorções

Absorção de Água por Capilaridade (g/cm ²)					
MÉDIA	Traço	10 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos
	Referência	0,02	0,03	0,03	0,04
	0,10% Fibras Kraft	0,02	0,03	0,03	0,04
	0,25% Fibras Kraft	0,02	0,02	0,02	0,03
	0,50% Fibras Kraft	0,02	0,03	0,03	0,03
	1,00% Fibras Kraft	0,03	0,04	0,04	0,05

Tabela 8 – Dispersões Relativas

Em relação à média

Dispersões relativas				
CP1	4,49%	6,15%	5,45%	4,84%
	3,12%	-0,83%	0,00%	-0,57%
	-3,45%	-4,67%	-6,72%	-5,38%
	-3,23%	-5,65%	-3,65%	-3,70%

	-4,88%	-2,94%	-2,90%	-4,31%
CP2	-2,25%	-12,31%	-9,09%	-6,45%
	9,38%	9,09%	6,12%	8,00%
	6,90%	6,54%	5,88%	3,85%
	-9,68%	-8,06%	-8,03%	-5,56%
	2,44%	0,59%	0,00%	0,86%
CP3	-2,25%	6,15%	3,64%	1,61%
	-12,50%	-8,26%	-6,12%	-7,43%
	-3,45%	-1,87%	0,84%	1,54%
	12,90%	13,71%	11,68%	9,26%
	2,44%	2,35%	2,90%	3,45%

Desta tabela foram obtidos a dispersão máxima para os tempos de 10 e 90 minutos.

Tabela 9 – Coeficientes Angulares (de Capilaridade) das regressões lineares

	Traço	Coeficiente Angular	Disp. Relativa
CP's 1	Referência	0,00337	5,0%
	0,10% Fibras Kraft	0,00245	-4,3%
	0,25% Fibras Kraft	0,00124	-10,9%
	0,50% Fibras Kraft	0,00208	-3,3%
	1,00% Fibras Kraft	0,00346	-3,4%
CP's 2	Referência	0,00291	-9,4%
	0,10% Fibras Kraft	0,00269	4,7%
	0,25% Fibras Kraft	0,00136	-1,8%
	0,50% Fibras Kraft	0,00214	-0,7%
	1,00% Fibras Kraft	0,00354	-1,2%
CP's 3	Referência	0,00335	4,4%
	0,10% Fibras Kraft	0,00255	-0,4%
	0,25% Fibras Kraft	0,00156	12,7%
	0,50% Fibras Kraft	0,00223	3,9%
	1,00% Fibras Kraft	0,00375	4,6%

Anexo E

ABSORÇÃO POR IMERSÃO

Tabela 1 – Aferição das massas

Traço	Massas após Secagem (g)			Massa 24 horas (g)			Massa 48 horas (g)		
Referência	531,43	532,65	534,45	571,6	572,48	573,99	571,9	572,81	574,25
0,10% Fibras Kraft	535,01	534,37	534,82	575,89	575,62	575,15	575,75	575,7	576,14
0,25% Fibras Kraft	526,39	529,15	527,55	566,49	569,43	567	567,82	569,78	567,53
0,50% Fibras Kraft	541,72	541,21	542,14	583,69	583,06	583,44	585,19	584,03	584,65
1,00% Fibras Kraft	547,76	548,13	548,44	593,67	595,33	593,42	587,57	596,31	594,3

Massa 72 horas - Saturada (g)			Massa Imersa (g)		
572,24	573,2	574,52	307,87	308,53	310,02
576,39	575,73	576,29	309,87	309,03	307,92
569,48	570,12	568,11	305,77	305,56	306,23
585,63	584,41	585,04	313,21	312,98	313,15
596,76	597,3	595,13	315,67	316,12	315,98

Tabela 2 – Absorção de Água 24 horas

Traço	Absorção de Água 24h			MÉDIA
Referência	7,56%	7,48%	7,40%	7,48%
0,10% Fibras Kraft	7,64%	7,72%	7,54%	7,63%
0,25% Fibras Kraft	7,62%	7,61%	7,48%	7,57%
0,50% Fibras Kraft	7,75%	7,73%	7,62%	7,70%
1,00% Fibras Kraft	8,38%	8,61%	8,20%	8,40%

Tabela 3 – Absorção de Água 48 horas

Traço	Absorção de Água 48h			MÉDIA
Referência	7,62%	7,54%	7,45%	7,53%
0,10% Fibras Kraft	7,61%	7,73%	7,73%	7,69%
0,25% Fibras Kraft	7,87%	7,68%	7,58%	7,71%
0,50% Fibras Kraft	8,02%	7,91%	7,84%	7,93%
1,00% Fibras Kraft	7,27%	8,79%	8,36%	8,14%

Tabela 4 – Absorção de Água 72 horas

Traço	Absorção de Água 72h			MÉDIA
Referência	7,68%	7,61%	7,50%	7,60%

0,10% Fibras Kraft	7,73%	7,74%	7,75%	7,74%
0,25% Fibras Kraft	8,19%	7,74%	7,69%	7,87%
0,50% Fibras Kraft	8,11%	7,98%	7,91%	8,00%
1,00% Fibras Kraft	8,95%	8,97%	8,51%	8,81%

Tabela 5 – Índice de Vazios

Traço	Índice de Vazios			MÉDIA
Referência	15,44%	15,32%	15,15%	15,30%
0,10% Fibras Kraft	15,53%	15,51%	15,45%	15,50%
0,25% Fibras Kraft	16,34%	15,49%	15,49%	15,77%
0,50% Fibras Kraft	16,12%	15,92%	15,78%	15,94%
1,00% Fibras Kraft	17,43%	17,49%	16,73%	17,21%

Tabela 6 – Massa específica Seca

Traço	Massa Específica da Amostra Seca			Média
Referência	2,01	2,01	2,02	2,01
0,10% Fibras Kraft	2,01	2,00	1,99	2,00
0,25% Fibras Kraft	2,00	2,00	2,01	2,00
0,50% Fibras Kraft	1,99	1,99	1,99	1,99
1,00% Fibras Kraft	1,95	1,95	1,96	1,95

Tabela 7 – Massa Específica Saturada

Traço	Massa Específica da Amostra Saturada			Média
Referência	2,16	2,17	2,17	2,17
0,10% Fibras Kraft	2,16	2,16	2,15	2,16
0,25% Fibras Kraft	2,16	2,15	2,17	2,16
0,50% Fibras Kraft	2,15	2,15	2,15	2,15
1,00% Fibras Kraft	2,12	2,12	2,13	2,13

Tabela 8 – Massa Específica Real

Traço	Massa Específica Real			Média
Referência	2,38	2,38	2,38	2,38
0,10% Fibras Kraft	2,38	2,37	2,36	2,37
0,25% Fibras Kraft	2,39	2,37	2,38	2,38
0,50% Fibras Kraft	2,37	2,37	2,37	2,37
1,00% Fibras Kraft	2,36	2,36	2,36	2,36