



FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL

MARIANA REZENDE HERMETO

**ESTUDO DE SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PELA LIGNINA
EM ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO**

Brasília / DF

2016

MARIANA REZENDE HERMETO

Matrícula: 2116016/9

**ESTUDO DE SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PELA LIGNINA
EM ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) apresentado como um dos
requisitos para a conclusão do curso
de Engenharia Civil do UniCEUB -
Centro Universitário de Brasília

Orientadora: Eng^a Civil Irene de
Azevedo Lima Joffily, M.Sc.

Brasília

2016

MARIANA REZENDE HERMETO

**ESTUDO DE SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO PELA LIGNINA
EM ARGAMASSA PARA REVESTIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
(TCC) apresentado como um dos
requisitos para a conclusão do curso
de Engenharia Civil do UniCEUB -
Centro Universitário de Brasília

Orientadora: Eng^a Civil Irene de
Azevedo Lima Joffily, M.Sc.

Banca Examinadora

Eng^a. Civil: Irene de Azevedo Lima Joffily, M.Sc.
Orientadora

Eng^o. Civil: Jairo Furtado Nogueira, M.Sc.
Examinador Interno

Eng^a. Civil: Maruska Tatiana Nascimento da Silva Bueno, D.Sc.
Examinadora Interna

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades;

A minha professora e orientadora Irene Joffily, pela apoio, ensinamentos, sugestões e disponibilidade ao longo do trabalho e do curso;

A minha mãe e minha irmã, que sempre me apoiaram, ampararam, incentivaram nas horas difíceis e possibilitaram a concretizar esse sonho;

Ao Rodrigo, pelo carinho, paciência e incentivo, sem você essas páginas não existiriam;

A minha família, pela torcida e motivação;

Aos técnicos laboratoristas Regis, Severino e Leo, pelo auxílio, paciência, ensinamentos e bom humor;

Aos professores, por todo apoio durante o curso e conhecimento adquirido;

Ao UniCeub, por fornecer estrutura laboratorial necessária ao desenvolvimento dos ensaios;

Aos colegas de sala, pelo companheirismo;

A todos que de alguma forma contribuíram de forma direta ou indireta com essa conquista, o meu muito obrigada.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo Geral	12
1.2.2 Objetivo Específico.....	12
1.3 HIPÓTESE	13
1.4 JUSTIFICATIVAS	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 ARGAMASSA.....	14
2.2 LIGNINA	16
3. METODOLOGIA.....	22
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	22
3.2 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO	27
3.2.1 Ensaio de índice de consistência	27
3.3 ENSAIO DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO	29
3.3.1 Ensaio de determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	30
3.3.2 Ensaio da determinação da absorção de água por capilaridade.....	32
3.3.3 Ensaio da determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.....	33
3.3.4 Ensaio da determinação da resistência a tração na flexão e a compressão	34
3.3.5 Ensaio de cachimbo	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA	38
4.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECIFICA.....	39
4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE	41
4.4 ENSAIO DE CACHIMBO	44
4.5 ENSAIO DA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO E A COMPRESSÃO.....	46
4.6 RESUMO DOS RESULTADOS	47
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	50
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura celular da lignina em tecidos vegetais	16
Figura 2: Localização da lignina em tecidos vegetais	17
Figura 3: Fragmento de Lignina	18
Figura 4: Cimento Portland CP II Z-32 utilizado nos ensaios	22
Figura 5: Passante na peneira 1.2	23
Figura 6: Lignina.....	25
Figura 7: Ensaio da caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco: Índice de consistência após a moldagem.....	28
Figura 8: Ensaio da caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco: Índice de consistência no final dos 30 golpes	28
Figura 9: Corpos de prova cilíndricos para ensaios no estado endurecido	29
Figura 10: Corpos de prova prismáticos para ensaios no estado endurecido	30
Figura 11: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	31
Figura 12: Determinação da resistência a tração na flexão	35
Figura 13: : Determinação da resistência a compressão	36
Figura 14: Determinação da permeabilidade a baixa pressão	37
Figura 15: Determinação da absorção de água por capilaridade dos corpos de prova prismáticos (NBR 15259/05)	41
Figura 16: Determinação da absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos(NBR 9779/12)	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização física do cimento Portland CP II Z-32.....	23
Tabela 2: Caracterização da composição granulométrica da areia média utilizada nas argamassas.....	24
Tabela 3: Caracterização física da lignina utilizada na presente pesquisa	25
Tabela 4: Traço das argamassas.....	26
Tabela 5: Ensaio realizados no presente trabalho.....	27
Tabela 6: Resultados médios da caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco: Teor de água.....	38
Tabela 7: Resultados médios da caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco: Índice de consistência.....	39
Tabela 8: Resultados médios da caracterização da argamassa de revestimento no estado endurecido: Ensaio de índice de vazios	40
Tabela 9: Ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos – NBR 9779.....	42
Tabela 10: Ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova prismáticos – NBR 15259.....	43
Tabela 11: Ensaio de absorção de água sob baixa pressão ou cachimbo.....	45
Tabela 12: Ensaio mecânico de determinação da resistência na flexão e a compressão.....	46
Tabela 13: Resultados de caracterização das argamassas com e sem lignina	48

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva Granulométrica da Areia.....	24
Gráfico 2 – Resultado ensaio de absorção de água.....	40
Gráfico 3 – Resultado ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos – NBR 9779.....	43
Gráfico 4 – Resultado ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova prismáticos – NBR 15259.....	44
Gráfico 5 – Resultado ensaio de absorção de água sob baixa pressão ou cachimbo	45
Gráfico 6 – Resistência à tração e compressão x relação a/c.....	46

LISTA DE ABREVIações

a/c	Relação água/cimento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AR-0	Argamassa de revestimento com teor de 0% de lignina (sem lignina)
AR-2,5	Argamassa com teor de 2,5% de lignina
AR-5	Argamassa com teor de 5% de lignina
AR-7,5	Argamassa com teor de 7,5% de lignina
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros quadrados
cm ³	Centímetros cúbicos
g	Gramas
Kg	Quilograma
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MPa	Mega-Pascal
N	Newton
NBR	Norma Brasileira
Nº CP	Número de corpos de prova
°C	Graus Célsius

RESUMO

Os novos desafios globais têm demandado, atualmente, formas alternativas e sustentáveis para lidar com as questões ambientais, principalmente àquelas relacionadas à destinação dos resíduos das indústrias, como a lignina proveniente da fabricação de celulose e papel. Nesse cenário, o setor de construção civil, tem papel importante pelo seu grande potencial para o aproveitamento de resíduos em materiais de construção. Assim, o objetivo deste estudo foi verificar o efeito da incorporação de lignina na argamassa de revestimento e avaliar seus impactos. Para tanto, foram realizados ensaios de compressão, absorção de água por capilaridade, consistência, índice de vazios, massa específica e resistência, utilizando a argamassa com porcentagem de lignina nas razões de 0, 2,5; 5; 7,5 em substituição ao cimento. Como resultado, verificou-se que a lignina não deve substituir o cimento. Contudo, a adição de lignina reduziu tanto a massa específica da argamassa como a absorção de água, tanto por imersão como por capilaridade, indicando que a lignina pode trazer benefícios quando adicionada a argamassas, reduzindo o peso e aumentando a impermeabilidade, podendo contribuir para um melhor isolamento térmico e estanqueidade do revestimento argamassado.

Palavras-chave: Argamassa; lignina; resíduo; revestimento.

ABSTRACT

New global challenges have been demanding, nowadays, alternative and sustainable ways to deal with environmental issues, especially those referring to the destination of industrial residues, as the lignin originating from the production of cellulose and paper. The civil construction sector has a paramount role in this scenario, due to its great potential to better use the residues in construction materials. Thus, the objective of this study was to verify the effect of the incorporation of lignin in the cladding mortar and evaluate its impacts. For this purpose, were made tests of compression, water absorption by capillarity, consistence, empty indexes, specific mass and resistance, utilizing the fresh and hard mortar with lignin percentage ratio of 0, 2,5; 5; 7,5. As a result it was verified that the lignin cannot substitute the cement. Otherwise, the addition of lignin reduced both the density of the grout such as water absorption, by immersion and by capillarity, indicating that lignin can be beneficial when added to mortars, reducing its weight and water absorption, therefore contributing to the improved of the thermal insulation and waterproofing of the mortar coating.

Key words: Mortar; lignin; residue; coating.

1. INTRODUÇÃO

O alto consumo, juntamente com o aumento populacional resultam em maiores demandas por recursos naturais, abalando assim, as diversas formas de vida no mundo. O volume de resíduos sólidos gerados pelas atividades industriais também é outro fator considerável, que vem aumentando mundialmente e ambientalmente, resultando em milhões de toneladas por dia no mundo inteiro.

Uma melhor distribuição de resíduos passou a ser essencial na conservação do meio ambiente, sendo assim necessário o desenvolvimento de mecanismos que promovem a compreensão, conscientização e a busca decisões capazes de implantar tecnologia voltadas a minimizar os impactos decorrentes da disposição de tais resíduos presentes no meio ambiente e reduzir também o custo relacionado a esta atividade.

A reutilização de resíduos é primordial para a conservação e diminuição do consumo de recursos naturais não renováveis da Terra, pois contentam as necessidades da população existente sem prejudicar a sobrevivência de futuras gerações.

Um resíduo gerado na produção do papel é a lignina, que do latim, *lignum*, significa madeira. É considerado um dos mais importantes constituintes vegetal, tendo um papel significativo no transporte de água, nutrientes e metabólicos, sendo encarregado por garantir uma resistência mecânica e uma proteção contra a ação de microrganismos nos vegetais (FENGEL & WEGENER, Apud. SALIBA, 2001).

Na busca de resultados que possam reduzir tais agressões ao meio ambiente, ressalta-se o setor da construção civil, que por ser uma seção da atividade tecnológica consumidora com altos índices de recursos naturais, apresentam grande potencial para o aproveitamento de resíduos em materiais de construção, sendo assim, concebível dar um designo ambientalmente correto a estes resíduos.

A lignina é um polímero orgânico ligante, que promove rigidez, possibilitando o seu uso no meio da construção civil.

Com base nestas informações, surgiu-se o processo de realização da seguinte pesquisa que consiste em substituir o cimento pela lignina em argamassa de revestimentos, verificando a partir dos ensaios de resistência a tração e a compressão, absorção de água, índice de vazios, massa específica, índice de consistência e determinação da retenção de água, sua influência.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

É possível incorporar o resíduo de lignina para produção de argamassa de revestimento, substituindo-o pelo cimento? E qual seu efeito?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por finalidade verificar se é possível substituir o cimento pelo resíduo lignina na argamassa de revestimento avaliando os impactos na consistência, resistência a compressão e absorção de água.

1.2.2 Objetivo Específico

- Determinar se a substituição do cimento por lignina influencia a consistência da argamassa fresca;
- Avaliar o impacto da substituição do cimento pela lignina na resistência a compressão da argamassa;
- Verificar se a lignina afeta a porosidade da argamassa endurecida;
- Avaliar o tempo de pega (relação a/c) e a pasta de consistência normal com e sem lignina em diferentes porcentagens;

Para isso, será feita a caracterização da argamassa com adição de lignina por meio de ensaios de absorção, capilaridade, resistência a compressão e a tração, consistência, retração, cachimbo (água sobre pressão), incorporação de ar (vazios), aderência e permeabilidade.

1.3 HIPÓTESE

O presente trabalho baseou-se na hipótese de que haveria uma melhora nas características relacionadas a resistência e impermeabilidade na argamassa com adição de lignina, quando comparada com a argamassa sem o acréscimo da mesma.

1.4 JUSTIFICATIVAS

A lignina é considerada um rejeito da indústria de celulose, tendo assim um baixo custo, dependendo da quantidade e localização. Ao ser incorporada a argamassa de revestimento, resulta-se em um material inovador onde há um reaproveitamento do composto que teoricamente não tem um destino determinado.

Além disso, pelo fato de já ter sido verificado que sua utilização em pavimentos melhora as propriedades, espera-se que a adição de lignina na argamassa tenha um efeito positivo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ARGAMASSA

A argamassa é conceituada por Fiorito (2009) como uma mistura de aglomerantes e aglomerados com água, utilizadas em obras, e que possuem como características principais o endurecimento e a aderência. Segundo o autor, sua destinação final depende do tipo ou da mistura de aglomerantes utilizados. Entretanto, de maneira geral, a areia lavada é usada como aglomerado e o cimento Portland e a cal hidratada como aglomerantes, sendo que nesta mistura, o cimento/cal e a água se combinam de modo a formar uma pasta onde acontecem as reações químicas.

Considerando essas características, as argamassas são usadas na engenharia civil em diversas atividades e etapas da obra, sendo frequentemente utilizadas para união de revestimentos ou blocos de alvenaria ou como revestimento de paredes e pisos, conforme descrito a seguir.

Argamassa de assentamento, segundo Parsekian (2010), tem função ligante entre os blocos de alvenaria estrutural, uniformizando os apoios entre eles e compensando imperfeições e variações dimensionais dos blocos. Além disso, ela tem importante papel na absorção das deformações naturais, ocasionadas por mudanças no gradiente térmico, retração, entre outros. Dada às necessidades de resistência e endurecimento, esse tipo de argamassa é feita com a utilização de cimento.

Já as argamassa de revestimento possuem maior trabalhabilidade, elasticidade e plasticidade e geralmente são feitas a base de cal ou mistas. São utilizadas para emboco, reboco e possuem boa capacidade de acabamento.

Assim, neste cenário, após a definição da finalidade da argamassa é necessário estabelecer a indicação da proporção de seus componentes, ou seja, o traço. Geralmente, a proporção utilizada é 1:3 entre cimento/cal e agregado (FIORITO, 2009).

No Brasil, os traços geralmente são expressos em unidades de volume e sua variação tem influência nas propriedades físicas, químicas, mecânicas, de deformação e durabilidade da argamassa. Além disso, determinam propriedades da mistura seca, argamassa fresca e refletem o potencial de qualidade final do material. Por último, outros fatores que também devem ser considerados buscando uma argamassa de melhor qualidade são:

- Relação água/cimento – influencia na plasticidade;
- Fluidez da pasta no estado fresco;
- Consistência e a trabalhabilidade, influencia as propriedades da argamassa endurecida;
- Relação pasta/agregado - interfere na diluição e distribuição granulométrica do agregado diluente.

Vale destacar que visando a melhoria das propriedades da argamassa podem ser feitas eventualmente adições de outras substâncias além das já citadas, como é o caso da lignina.

Assim, para estudos envolvendo argamassa, é recomendado na literatura científica as normas NBR 13281 (ABNT, 2005) e a NBR 13749 (ABNT, 2013). Elas especificam alguns requisitos a respeito da argamassa utilizada em assentamento e revestimento. A primeira, descreve alguns critérios mínimos para a aceitação da resistência a compressão aos 28 dias, já a NBR 13749 (ABNT, 2013), retrata as condições exigíveis para o recebimento do revestimento de argamassas inorgânicas aplicadas sobre paredes e tetos de edificações.

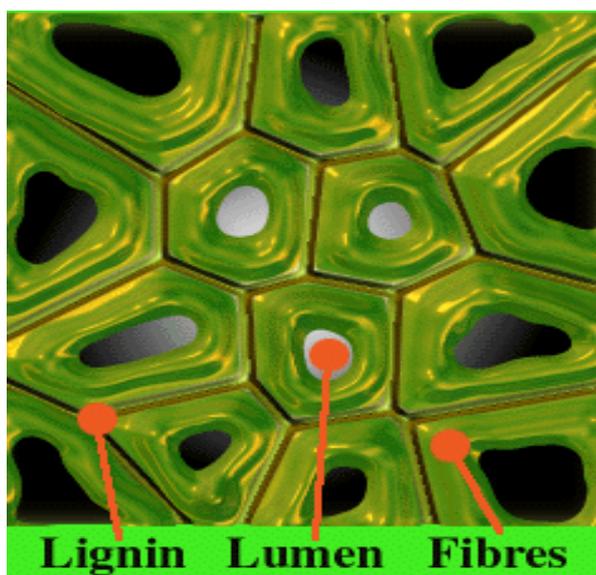
Segundo Carasek (2007), a argamassa pode ser classificada de acordo com a natureza, tipo ou número do aglomerante; a forma de preparo ou fornecimento da argamassa; com o quão consistente, plástica ou o quão denso pode ser sua massa.

2.2 LIGNINA

2.2.1 Definição e Características

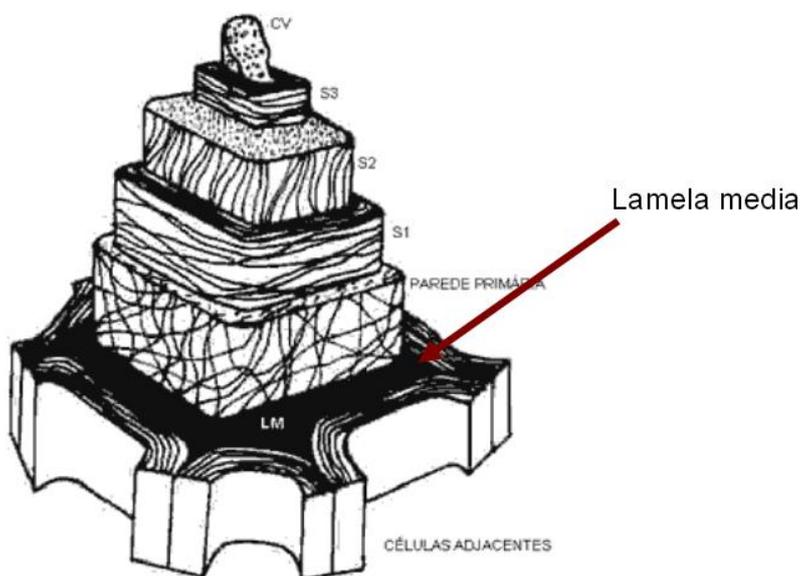
A madeira é um dos recursos mais utilizados na indústria de base biológica e é composta em sua maioria por polímeros de lignina e hidratos de carbono (LI JINGJING, 2011). Dentre estes, a lignina tem um papel importante no transporte de nutrientes e água, na rigidez, na impermeabilidade e na resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais (FENGEL & WEGENER, 1989). Ela é encontrada principalmente em tecidos vasculares de gimnospermas e angiospermas, como mostram as Figuras 01 e 02 (SILVEIRA, 2009).

Figura 1: Estrutura celular da lignina em tecidos vegetais



Fonte: <http://www.ili-lignin.com/aboutlignin.php>.

Figura 2: Localização da lignina em tecidos vegetais

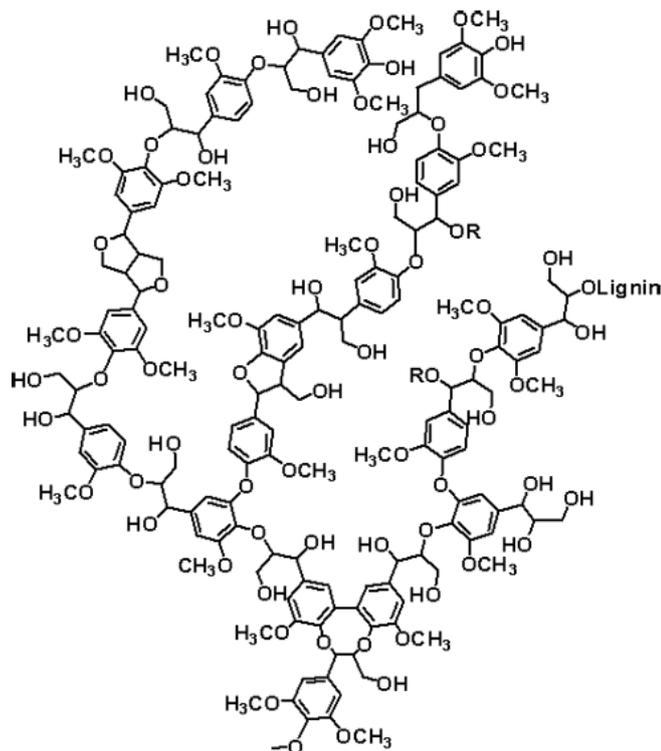


Fonte: Klock, U. Química da madeira (2013)

De acordo com Wagner & Wolf (1999), seu teor nas plantas é bastante variável dependendo da espécie e idade, sendo geralmente encontrado menos de 5% em plantas jovens, e 15% em maduras. Comparada aos demais componentes residuais encontrados em vegetais (celulose e hemicelulose), é mais resistente à decomposição biológica.

Do ponto de vista molecular, não é possível definir sua estrutura de maneira precisa, uma vez que são encontradas na natureza grandes variações em sua composição química (Figura 03). No entanto, ressalta-se que todas suas variações são caracterizadas como uma macromolécula tridimensional amorfa ou um polímero derivado de unidades fenilpropanóides, repetidas de forma irregular (SILVEIRA, 2009).

Figura 3: Fragmento de Lignina



Fonte: www.lignoworks.ca.

Além disso, segundo Lapiere (1993) a lignina ainda pode ser classificada quanto sua suscetibilidade à hidrólise, em core e não core. A lignina não core é composta por ácidos p-hidroxicinâmico éster-ligados e é formada por compostos fenólicos de baixa massa molecular, obtidos por meio da hidrólise da parede celular. Já lignina core é formada por polímeros fenilpropanóides condensados muito resistentes à degradação e encontrados da parede celular (SILVEIRA, 2009).

2.2.2 Extração e resíduo vegetal

Estima-se que depois de celulose, a lignina seja a fonte de carbono renovável mais abundante em todo planeta, sendo produzidos anualmente em torno de 20 bilhões de toneladas como resíduo de processos industriais. Segundo Smolarsky (2012), a maior parte desta lignina é oriunda das indústrias de celulose, papel e etanol, sendo que atualmente a disponibilidade de lignina excede 300 bilhões de toneladas.

Ressalta-se, entretanto, que na maioria dos processos industriais envolvendo madeira, esse processo de separação dos componentes não é necessário.

Em relação aos métodos para a separação da lignina na indústria de papel, diversas técnicas mecânicas e químicas podem ser empregadas buscando a preparação de pasta celulósica (ABTCP, 2016), sendo as principais listadas abaixo:

Processo Mecânico - a madeira é prensada a uma superfície contendo material abrasivo objetivando transformá-la em uma pasta fibrosa. Neste processo não é possível uma separação completa das fibras vegetais, resultando em uma pasta barata utilizada comumente na fabricação de jornais, revistas, embrulhos, etc. Além disso, o papel produzido tende a escurecer com facilidade, em função da oxidação da lignina residual (CEMPRE, 2016).

Processos Termomecânicos - resulta em celulose de melhor qualidade para a produção de papéis (NAVARRO, 2007). Nele ocorre inicialmente o aquecimento do material vegetal em altas temperaturas transformando a madeira e lignina em um material de estado plástico, para somente após ocorrer o desfibramento (CLARIANT, 2001).

Processo Semi-químico – são utilizados produtos químicos em baixas porcentagens para facilitar a separação da lignina (IPT, 1988).

Processo Químico Kraft - a madeira é tratada com soda cáustica e sulfeto de sódio visando dissolver a lignina. A pasta, resultado deste processo, é utilizada geralmente na produção de papéis com alta resistência, como sacolas de supermercados, sacos para cimento, etc. (PPIC, 2016).

Processo Químico com Sulfito – nele a madeira é tratada com compostos de enxofre e hidróxido e cálcio em digestores, sendo a pasta obtida de branqueamento fácil sem a necessidade de um processo adicional para melhorar a coloração do papel (NAVARRO, 2007). Esse processo era muito utilizado para a confecção de papéis para imprimir e escrever, entretanto atualmente tem sido substituído por processos à base de sulfato (SENAI – CETCEP, 2001).

Processo Químico com Sulfato - é a técnica de separação mais comum no Brasil sendo utilizados os mesmos produtos químicos do processo kraft, porém em condições mais rígidas (NAVARRO, 2007). Nele são preservadas as características de resistência das fibras ao mesmo tempo em que a lignina é bem dissolvida (BRACELPA, 2001).

Atualmente, nestes processos, duas categorias principais de lignina são geradas: uma com presença de enxofre e outra sem. Devido à falta de processos industriais adequadas, somente a lignina com enxofre é comercializada.

2.2.3 Utilização do resíduo Lignina

Segundo Smolarsky (2012), a indústria de celulose e papel extraiu aproximadamente 50 milhões de toneladas de lignina em 2010, sendo que deste total a maior parte foi utilizada para produção de energia (SOUSA-AGUIAR et al., 2014) e apenas 1 milhão para a confecção de produtos como adesivos, dispersantes, surfactantes, antioxidantes, entre outros (BES, 2015).

Diante desses altos valores, cresce o interesse científico e econômico nessa substância, além do desafio, de se buscar novas formas de utilização dos subprodutos da indústria vegetal e elementos de RCD¹ (BES, 2015), tornando a valorização desses produtos uma questão essencial para garantir a viabilidade, sustentabilidade e expansão dessas indústrias.

Carasek (2007), por exemplo, relata em seu trabalho a utilização de aditivos orgânicos para a melhora de algumas propriedades, como a trabalhabilidade. Tais aditivos são, por exemplo, os incorporadores de ar que modificam a reologia da massa fresca pela introdução de pequenas bolhas de ar, ou mesmo os aditivos retentores de água (à base de ésteres de celulose, os quais regulam a perda da água de amassamento).

¹Resíduo de construção e demolição

Contudo vale mencionar que embora existam diversos estudos a respeito da lignina, ainda existem muitas dúvidas sobre sua utilização. Entretanto, recentemente, pesquisadores observaram uma possível utilização da substância na construção civil. Inicialmente, a lignina foi utilizada como aditivo para o melhoramento de pavimentos, contudo observa-se a expansão de seu uso e estudo em outras áreas, como é caso desta pesquisa, que busca analisar seu efeito em argamassas de revestimento.

3. METODOLOGIA

Buscando atingir os objetivos propostos foram elaboradas quatro argamassas de revestimento de cimento e areia, sendo uma de referência AR-0 (sem a substituição do composto lignina), e as outras três com substituição em diferentes teores (AR-2,5; AR-5 e AR-7,5). A seguir, serão descritos os materiais utilizados e sua caracterização.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a produção das amostras de argamassa foi utilizado o cimento Portland CP II Z-32 (Figura 04), produzido pela indústria Tocantins, sendo que durante todos os ensaios, o mesmo lote foi mantido a fim de uniformizar os materiais utilizados.

Figura 4: Cimento Portland CP II Z-32 utilizado nos ensaios



Fonte: Autor

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização realizados com o cimento descrito acima.

Tabela 1: Caracterização física do cimento Portland CP II Z-32

Ensaio característico		Normatização	Resultado obtido
Finura	Resíduo na peneira 75µm (nº200)	NBR 11579/ 2013	2,70%
Tempo de pega	Início de pega (h)	NM 65/2003	1h40
	Fim de pega (h)		3h05

Já o agregado utilizado foi a areia média (Figura 05), passante na peneira 1.2 com massa específica e unitária de 2,65 e 0,78 g/cm³ respectivamente, conforme ensaios de caracterização e tendo como base as normas NBR 9776/1987 e NBR NM 45/2006. Resultados referentes a análise granulométrica são apresentados na Tabela 2 e Gráfico 1.

Figura 5: Passante na peneira 1.2

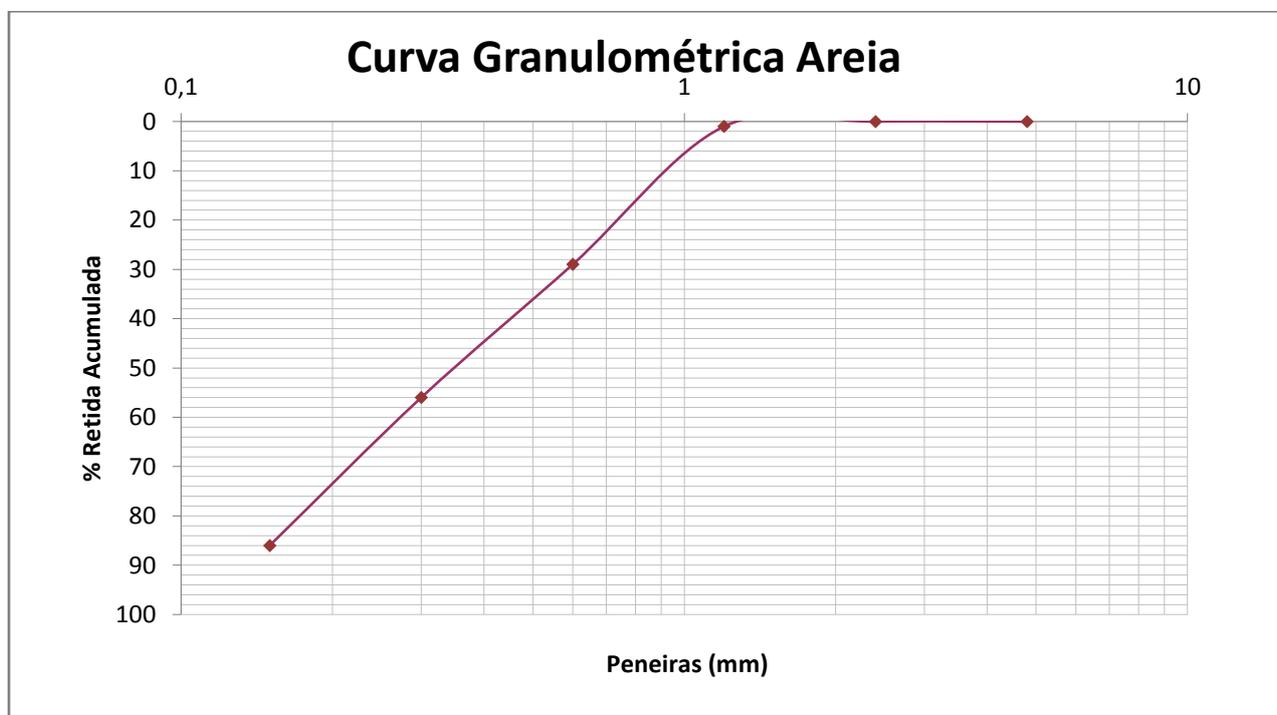


Fonte: Autor

Tabela 2: Caracterização da composição granulométrica da areia média utilizada nas argamassas

Ensaio de Composição Granulométrica						
Peneiras (mm)	Massa Peneira Vazia (g)	Massa Amostra + Peneira (g)	Massa amostra (g)	% Retida	% Retida Corrigida	% Retida Acumulada
4,8	428,38	428,38	0	0	0	0
2,4	372,75	373,1	0,4	0,03	0	0
1,2	345,42	352,1	6,7	0,67	1	1
0,6	319,49	604,2	284,7	28,45	28	29
0,3	314,78	587	272,2	27,2	27	56
0,15	298,78	596,6	297,8	29,76	30	86
Fundo	367,23	506,1	138,9	13,88	14	100
Total	2446,8	3447,5	1000,7	100	100	272
Caracterização						
Módulo de Finura (%) :			1,72			
Dimensão Máxima Característica (mm) :			1,2			

Gráfico 1 – Curva Granulométrica da Areia



Por último, a lignina (Figura 06), fornecida pela indústria de papel e celulose, foi ensaiada de acordo com as normas NBR 11579/1991, NBR NM 65/2003 e NBR NM43/2002 (Tabela 3). Apesar de não ser previsto em norma, foi realizado o ensaio de tempo de pega do cimento quando da substituição por lignina.

Figura 6: Lignina



Fonte: Autor

Tabela 3: Caracterização física da lignina utilizada na presente pesquisa

Característica determinada		Normatização	Resultado
Finura	Resíduo na peneira 75µm (nº200)	NBR11579/2013	12% (insatisfatório)
Tempo de pega	Início de pega (h)	AR-2,5	3h45
	Fim de pega (h)	AR-2,5	5h45
	Início de pega (h)	AR-5	5h15
	Fim de pega (h)	AR-5	7h10
	Início de pega (h)	AR-7,5	4h50
	Fim de pega (h)	AR-7,5	7

Observa-se que a lignina é um material fino, porém tem tendência a aglutinar, formando grumos. Neste trabalho, a lignina foi utilizada no seu estado natural, sem nenhum tipo de tratamento como peneiramento ou trituração, por esse motivo, observou-se que em relação ao ensaio de determinação do índice de finura (NBR 11579/2013), obteve-se resultado insatisfatório.

Quando realizado o ensaio de pega do cimento, quando misturado com a lignina, observa-se um retardo significativo no tempo de início e fim de pega.

3.2 ARGAMASSA ESTUDADAS

Os traços das argamassas (Tabela 4) foram determinados com base na literatura científica com o objetivo de verificar a influência do composto lignina na argamassa de revestimento, tais como suas propriedades e características. Utilizou-se como padrão o traço 1:3 em massa.

Tabela 4: Traço das argamassas

Traço	Cimento	Areia	Água	Lignina	a/c
AR-0	1	3	0,75	0	0,750
AR-2,5	0,975	3	0,75	0,025	0,769
AR-5	0,95	3	0,75	0,05	0,789
AR-7,5	0,925	3	0,75	0,075	0,811

A produção das argamassas se deu pelo método de substituição de cimento pela lignina nas proporções de 2,5%, 5% e 7,5% com a adição de areia e água para a fabricação da mesma. Utilizou-se diferentes traços com o objetivo de verificar a influência do resíduo em distintas proporções em argamassas de revestimento (AR-0; AR-2,5; AR-5 e AR-7,5).

A descrição dos ensaios, e caracterização dos corpos de prova estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Ensaio realizados no presente trabalho

Estado	Descrição	Norma	Corpos de prova		Nº CP	Idade
Fresco	Preparo da mistura e determinação do índice de consistência	NBR 13276	-	-	-	-
Endurecido	Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	NBR 9778	5x10 cm	cilíndricos	2	28
	Determinação da absorção de água por capilaridade	NBR 9779	5x10 cm	cilíndricos	3	28
	Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade	NBR 15259	4x4x16 cm	prismáticos	3	28
	Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão	NBR 13279	4x4x16 cm	prismáticos	3	28
	Determinação de absorção de água sob baixa pressão (Cachimbo)	---	5x10 cm	cilíndricos	2	28

3.2 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

3.2.1 Ensaio de índice de consistência

O ensaio foi realizado conforme a norma NBR 13276/2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência) que prescreve o método para a determinação do índice de consistência da argamassa.

Após o preparo da argamassa, encheu-se, de modo centralizado, o molde tronco-cônico e aplicou-se, respectivamente, os 15, 10 e 5 golpes a cada camada inserida. Depois de ser feito o arrasamento da argamassa, com a régua metálica, acionou-se a manivela da mesa para índice de consistência, de modo que foram efetuados 30 golpes. Posteriormente, foi medido com a régua o espalhamento do molde tronco-cônico original da argamassa. Tais medidas foram realizadas em três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos. O índice de consistência refletiu a média das três medidas de diâmetro. (Figuras 07 e 08).

Ressalta-se que a quantidade de água foi ajustada nas argamassas com presença de lignina a fim de alcançar a média de diâmetros desejados recomendados pela norma.

Figura 7: Ensaio da caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco: Índice de consistência, após a moldagem



Figura 8: Ensaio da caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco: Índice de consistência, no final dos 30 golpes



Fonte: Autor

3.3 ENSAIO DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

Os corpos de prova cilíndricos e prismáticos foram produzidos com o auxílio de uma argamassadeira a partir dos traços de cimento, areia e lignina especificados anteriormente. Para a fabricação da argamassa, primeiramente, colocou-se o cimento, a água e a lignina (nos casos das argamassas com adição do resíduo) no misturador e, logo após, adicionou-se a areia gradativamente.

Na moldagem dos corpos de prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, utilizou-se o método manual, onde são dispostas 4 camadas aproximadamente iguais de argamassa, sendo que cada camada foi adensada com 30 golpes com soquete metálico. Em seguida, realizou-se o arrasamento com o auxílio de uma régua metálica, para obtenção dos corpos de prova cilíndricos (Figura 9).

Figura 9: Corpos de prova cilíndricos para ensaios no estado endurecido



Fonte: Autor

Já na moldagem dos corpos de prova prismáticos de dimensões de 4 cm de largura por 4 cm de altura e 16 cm de comprimento, utilizou-se o método mecânico, na mesa de adensamento com disposição de 2 camadas de argamassa aproximadamente iguais, sendo que cada camada foi adensada com 30 golpes. Após feito o arrasamento, os corpos de prova eram dispostos na câmara úmida onde permaneciam por 48 horas até a desmoldagem dos mesmos (Figura 10).

Posteriormente, os corpos de prova foram curados submersos em água, por um período de 28 dias, até o prazo para a realização dos ensaios. Todas as bateladas foram executadas seguindo a mesma metodologia.

Figura 10: Corpos de prova prismáticos para ensaios no estado endurecido



Fonte: Autor

Após a confecção dos corpos de prova e, pôde-se observar que as amostras analisadas apresentaram uma mudança na coloração à medida que se aumentou a proporção de lignina na argamassa. Verificou-se também que, de modo geral, a lignina teve impacto na homogeneidade do material uma vez que após sua adição, algumas partículas escuras ficaram evidentes. De acordo com Silva (2015), esse resultado já era esperado uma vez que, segundo o autor, quanto maior a proporção de lignina, maior a quantidade dessas partículas nos corpos de prova.

3.3.1 Ensaio de determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica

O ensaio de determinação da absorção de água, massa específica, índice de vazios por imersão e fervura ocorreu conforme a norma NBR 9778/2005 (Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica) utilizando 2 corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) de cada teor de lignina.

Definido por norma, a absorção de água por imersão é o processo no qual a água é conduzida tendendo a ocupar os poros permeáveis de um corpo poroso. Já o índice de vazios consiste na relação entre o volume de poros permeável e o volume total da amostra. A massa específica da amostra seca é a relação entre a massa do material seco e o volume total, incluindo poros permeáveis e impermeáveis. E a massa específica real é representada pela relação entre a massa do material seco e o volume do mesmo, excluindo os poros permeáveis.

A execução do ensaio se deu primeiramente na determinação da massa dos corpos de prova na condição seca, onde colocou-se os corpos de prova em estufa, a uma temperatura aproximada de 105°C, durante um período de 72h, registrando no final sua massa. Para a determinação das amostras na condição saturada foi feito a imersão das amostras em água com temperatura de 23°C e mantidas nessa condição durante 72h. Completada a etapa de saturação, passou-se as amostras para um recipiente com água, que foi levado a ebulição progressivamente. A ebulição manteve-se por 5h (Figura 11), e terminada essa etapa, determinou-se as massas com o auxílio de uma balança hidrostática. Posteriormente, retirou-se as amostras da água, determinou-se suas massas novamente.

Figura 11: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica



Fonte: Autor

O cálculo da absorção (A), em porcentagem, é dado pela seguinte expressão:

$$A = \frac{msat - ms}{ms} \times 100$$

Onde:

$msat$ massa da amostra saturada em água após imersão e fervura (em g);
 ms massa da amostra seca em estufa (em g);

O cálculo do índice de vazios (Iv), em porcentagem, é dado por:

$$Iv = \frac{msat - ms}{msat - mi} \times 100$$

Onde:

mi massa da amostra saturada imersa em água após fervura (em g);

O cálculo da massa específica da amostra seca (ρ_s), é dado por:

$$\rho_s = \frac{ms}{msat - mi}$$

O cálculo da massa específica da amostra saturada (ρ_{sat}), é dado por:

$$\rho_{sat} = \frac{msat}{msat - mi}$$

O cálculo da massa específica real da amostra (ρ_r), é dado por:

$$\rho_r = \frac{ms}{ms - mi}$$

3.3.2 Ensaio da determinação da absorção de água por capilaridade

O ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade teve como base a norma NBR 9779/2012 (Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade) que prescreve o método através da ascensão capilar de argamassa e concreto endurecidos.

Foram determinadas as massas de 3 corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm para cada teor de lignina, em temperatura ambiente e secados em estufa, a uma temperatura de 105°C, durante 24h. Após a resfriada das amostras a temperatura aproximada de 23°C, em dessecador, foi determinado sua massa seca. Para a imersão parcial dos corpos de prova, foram dispostos suportes dentro de um recipiente com água. Posicionou-se as amostras e preencheu-se o recipiente com água de modo que o nível da mesma permaneceu constante a 5 mm acima de sua face inferior em contato com o líquido. Durante o ensaio foi determinada a massa saturada das amostras com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h.

A absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos (C) foi calculada com a seguinte equação:

$$C = \frac{msat - ms}{S}$$

Onde:

S área da seção transversal (em cm^2); neste caso, $19,6 \text{ cm}^2$.

3.3.3 Ensaio da determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade

O ensaio foi feito baseado na norma NBR 15259/2005 (Argamassa para assentamento e revestimento – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade), que estabelece o método para a determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade de argamassa para assentamento e revestimento, com utilização de 3 copos de prova prismáticos de dimensão de 4x4x16 cm para cada teor de lignina.

Após os 28 dias de idade, determinou-se a massa inicial de cada uma das amostras. Adicionou-se água a um nível de 5 mm acima de sua face inferior e a partir daí, determinou-se a massa de cada amostra, aos 10 min e aos 90 min. A pesagem se deu com a retirada do excesso de água dos corpos de prova, seguido da medição de suas massas.

A absorção de água por capilaridade (At) para cada tempo é, por definição, expressa pela equação:

$$At = \frac{mt - m0}{16}$$

Sendo:

mt massa do corpo de prova em cada período de tempo (em g);

$m0$ massa inicial do corpo de prova (em g);

t período de tempo de 10 minutos e 90 minutos;

16 área do corpo de prova (em cm^2);

O coeficiente de capilaridade (C) é igual ao coeficiente angular da reta que passa pelos pontos de 10 minutos e aos 90 minutos, obtido pela seguinte expressão:

$$C = (m90 - m10)$$

Onde:

C coeficiente de capilaridade (em $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$);

3.3.4 Ensaio da determinação da resistência a tração na flexão e a compressão

O ensaio foi feito baseado na norma NBR 13279/2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência a tração na flexão e a compressão) que retrata o método para a determinação da resistência a tração na flexão e da resistência a compressão de argamassa.

A execução consiste na utilização de 3 corpos de prova prismáticos, moldados de acordo com a norma. O procedimento de ruptura foi realizado na idade de 28 dias. A resistência a tração na flexão se deu com a colocação das amostras nos dispositivos de apoio, posteriormente aplicou-se uma carga até a ruptura do corpo de prova (Figuras 12).

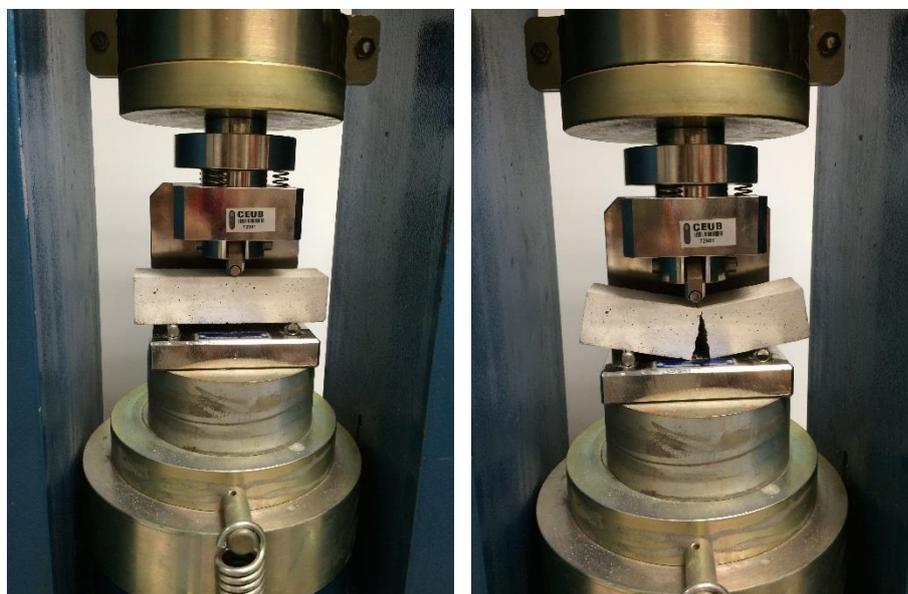
A resistência a tração na flexão é determinada através da equação:

$$R_t = \frac{1,5 F L}{40^3}$$

Sendo:

R_t a resistência a tração na flexão (em MPa);
 F a carga aplicada verticalmente no centro do prisma (em N);
 L a distância entre os suportes (em mm);
 40^3 (a) altura x (a)² largura²

Figura 12: Determinação da resistência a tração na flexão



No ensaio de resistência a compressão axial, foram utilizadas as metades das três amostras de cada porcentagem de argamassa do ensaio de tração. As amostras foram posicionadas no dispositivo de carga típico para ensaios de resistência a compressão onde aplicou-se uma carga até a ruptura do corpo de prova (Figura 13).

A resistência a compressão é calculada pela equação:

$$R_c = \frac{F}{1600}$$

Sendo:

R_c a resistência a compressão (em MPa);

F a carga máxima aplicada (em N);

A a área da seção (em mm).

Figura 13: : Determinação da resistência a compressão



Fonte: Autor

3.3.5 Ensaio de cachimbo

O ensaio de cachimbo baseou-se na ficha de ensaio - Revestimento de paredes – Ensaio de absorção de água sob baixa pressão (MOPTH– Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Portugal Departamento de Edifícios – Núcleo de Comportamento de Construções) de junho de 2002, que destina-se a determinar a permeabilidade da água em argamassa.

O método do cachimbo é um ensaio que mede a permeabilidade da água por meio da baixa pressão exercida pela coluna d'água do equipamento de ensaio.

Para a realização do ensaio, foram utilizados 2 amostras de argamassa com os teores (AR-0, AR-2,5, AR-5 e AR-7,5). Os corpos de prova foram secos em estufa até constância de massa e posteriormente, instalou-se o cachimbo com silicone nos

corpos de prova cilíndricos de argamassa. Após 24 horas, encheram-se os tubos com água até a graduação de 0 ml e realizou-se as leituras 5, 10, 15, 30 e 60 minutos com o objetivo de verificar os valores de água absorvida para cada argamassa estudada (Figura 14).

Figura 14: Determinação da permeabilidade a baixa pressão



Fonte: Autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados os resultados obtidos por meio dos ensaios propostos para esta pesquisa de forma a atingir os objetivos. Serão apresentados os valores médios obtidos de acordo com as normas apresentadas descritos nas tabelas gráficos e imagens.

4.1 ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

No ensaio do índice de consistência, foram realizadas três tentativas com a argamassa padrão, de forma a atingir o valor recomendado da norma que é de 260 mm de diâmetro. Os resultados encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados médios da caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco: Teor de água

Tentativas	cimento (g)	areia (g)	água (g)	Resultados diâmetro médio(cm)
65% água	416	1248	270,4	24,2
75% água	416	1248	312	25,5
80% água	416	1248	332,8	27,4

Observou-se que a argamassa com teor de água em 75% foi a que chegou mais próximo ao valor da norma, visto que obteve como média dos diâmetros 25,5 cm.

Os resultados do índice de consistência das argamassas com diferentes teores de lignina encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados médios da caracterização da argamassa de revestimento no estado fresco: Índice de consistência.

	AR-0	AR-2,5	AR-5	AR-7,5
cimento (g)	416	405	395,2	384,8
areia (g)	1248	1248	1248	1248
água (g)	332,8	332,8	332,8	332,8
lignina (g)	-	10,4	20,8	31,2
média: índices de consistência (cm)	25,5	27,7	27,6	25,9

Assim, para os ensaios de consistência no estado fresco nas argamassas com diferentes proporções de lignina, fixou-se o teor de água em 75%, obtendo-se os valores indicados na Tabela 7. Quanto ao comportamento das argamassas, as análises revelaram que as amostras com maiores percentuais de lignina obtiveram uma consistência menor, o que também foi observado por Silva (2015) nos teores de 2,5 e 5%, enquanto que no teor de 7,5% a consistência foi praticamente igual a da argamassa sem lignina.

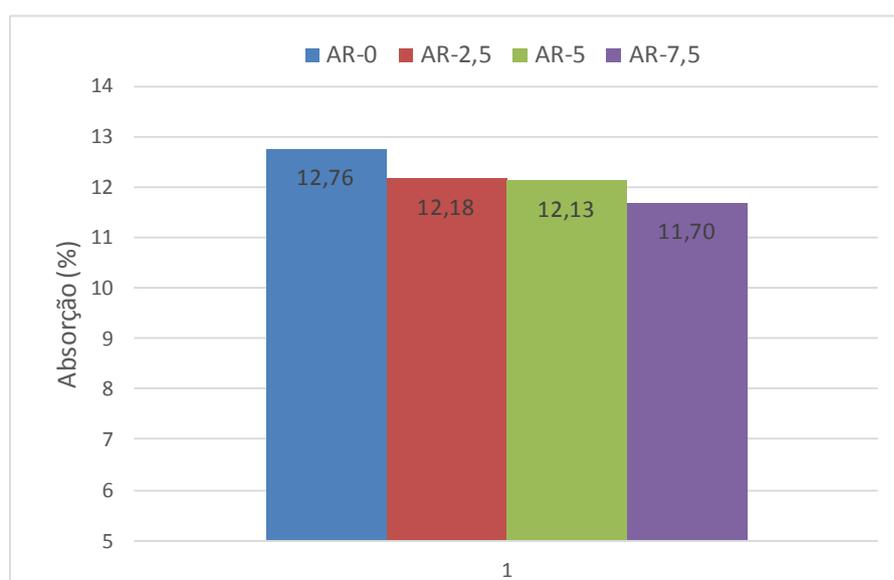
4.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA

Os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por imersão estão apresentados na Tabela 8, bem como o índice de vazios e massa específica. O Gráfico 2 apresenta os resultados para a absorção de água por imersão.

Tabela 8: Resultados médios da caracterização da argamassa de revestimento no estado endurecido: Ensaio de índice de vazios

Argamassa	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Massa Específica Seca (g/cm ³)	Massa Específica Saturada (g/cm ³)	Massa Específica Real (g/cm ³)
AR-0	12,76	24,05	1,89	2,13	2,48
AR-2,5	12,18	22,03	1,81	2,03	2,32
AR-5	12,13	21,73	1,79	2,01	2,29
AR-7,5	11,70	20,95	1,79	2,00	2,26

Gráfico 1 – Resultado ensaio de absorção de água

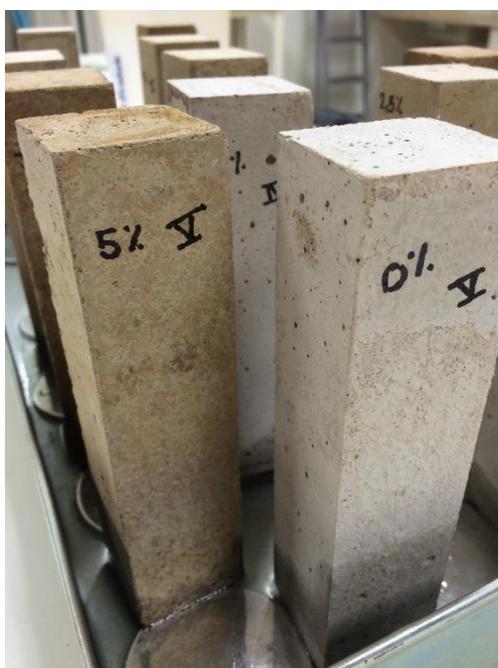


Verificou-se que, ao aumentar o teor de lignina, a absorção de água diminui, bem como o índice de vazios e massa específica. Embora todas as argamassas tenham apresentado comportamento semelhante, aquela com 7,5% de lignina destacou-se por apresentar menor porcentagem de absorção .

4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE

Para a absorção por capilaridade foram realizados os dois ensaios previsto em norma, um com corpo de prova prismático – NBR 15259 (ABNT, 2005), e o outro ensaio com corpos de prova cilíndricos – NBR 9779 (ABNT, 2012). A Figura 15 apresenta o ensaio com os corpos de prova prismáticos e a Figura 16 com os cilíndricos.

Figura 15: Determinação da absorção de água por capilaridade dos corpos de prova prismáticos (NBR 15259/05)



Fonte: Autor

Figura 16: Determinação da absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos (NBR 9779/12)



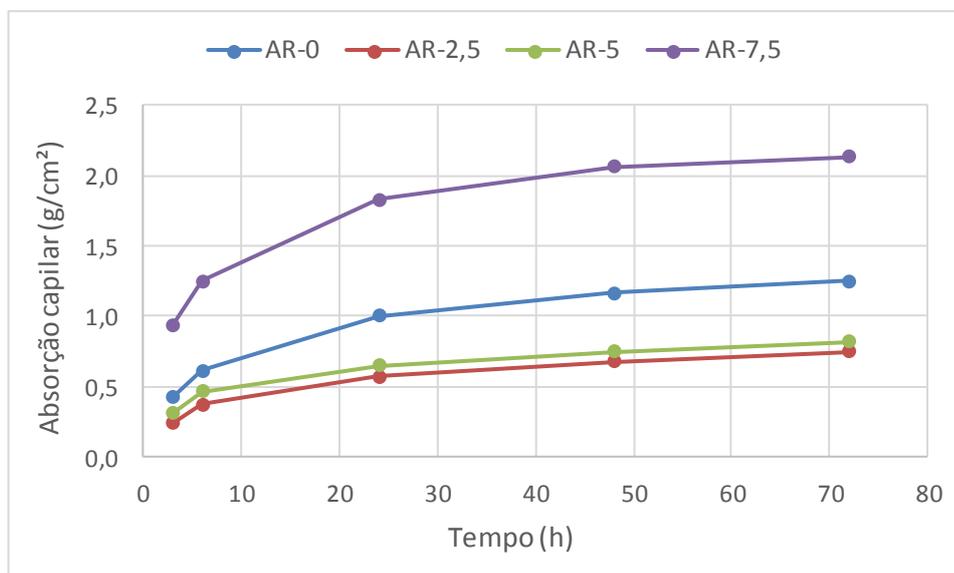
Fonte: Autor

De acordo com a Tabela 9 e Gráfico 3, foram verificados e considerados os resultados dos valores médios do ensaio de absorção de água dos corpos de prova cilíndricos por capilaridade.

Tabela 9: Ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos – NBR 9779/12

	Argamassa	Tempo (horas)				
		3	6	24	48	72
Absorção (g/cm ²)	AR-0	0,42	0,61	1,00	1,16	1,25
	AR-2,5	0,24	0,37	0,57	0,68	0,75
	AR-5	0,31	0,47	0,65	0,75	0,82
	AR-7,5	0,93	1,25	1,83	2,06	2,13

Gráfico 2 – Resultado ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova cilíndricos – NBR 9779/12



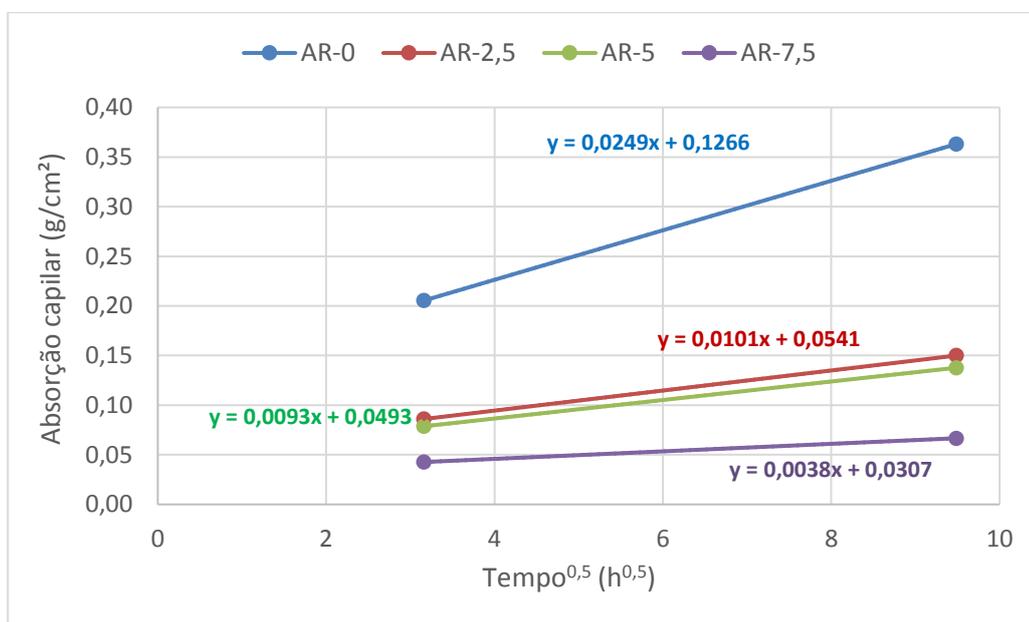
Considerando as análises de absorção de água por capilaridade nos corpos cilíndricos (Tabela 9), observou-se que as argamassas com 2,5% e 5% apresentaram uma menor absorção que a argamassa sem lignina. Porém, com o teor de 7,5% a absorção aumentou (Gráfico 3).

De modo complementar, foram feitos também análises relativas a absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade nos corpos prismáticos.

Tabela 10: Ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova prismáticos – NBR 15259/05

Argamassa	Absorção de água por capilaridade (g/cm²)		Coeficiente de capilaridade (g/dm².min ^{1/2})
	m10	m90	
AR-0	0,21	0,36	2,49
AR-2,5	0,09	0,15	1,01
AR-5	0,08	0,14	0,93
AR-7,5	0,04	0,07	0,38

Gráfico 3 – Resultado ensaio de absorção de água por capilaridade dos corpos de prova prismáticos – NBR 15259/05



Verificou-se que a argamassa AR-7,5 foi a que mais se destacou devido a menor absorção de umidade nas leituras de 10 e 90 minutos, além de ter apresentado um menor coeficiente de capilaridade quando comparada com as demais argamassas presentes no ensaio (Tabela 10) (Figura 15) (Gráfico 4).

Todavia, é oportuno citar que os ensaios de determinação de absorção de água por capilaridade em corpos de prova prismáticos e cilíndricos apresentaram resultados diferentes, o que pode ter ocorrido em função da diferente forma de compactação nas moldagens dos corpos, temperatura do laboratório, entre outros.

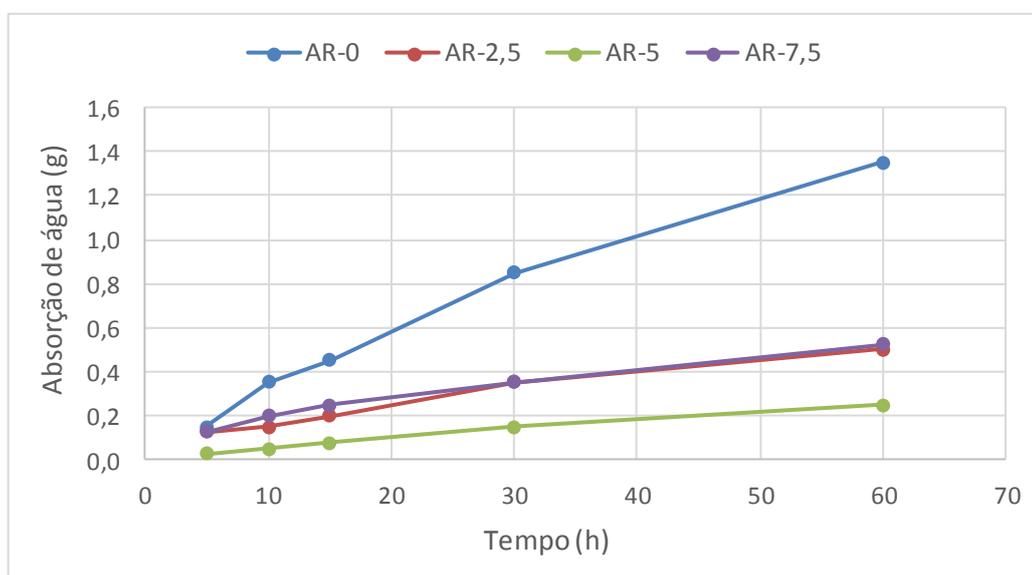
4.4 ENSAIO DE CACHIMBO

Ainda, analisando os ensaios no estado endurecido, particularmente a absorção de água sob baixa pressão ou cachimbo foi possível verificar que a argamassa com teor de 5% de lignina obteve um melhor resultado em relação as demais em todos os períodos analisados conforme mostrado na Tabela 11 e Gráfico 5.

Tabela 11: Ensaio de absorção de água sob baixa pressão ou cachimbo

Argamassa		Tempo (min)				
		5	10	15	30	60
Absorção (ml)	AR-0	0,15	0,35	0,45	0,85	1,35
	AR-2,5	0,125	0,15	0,2	0,35	0,5
	AR-5	0,025	0,05	0,075	0,15	0,25
	AR-7,5	0,125	0,2	0,25	0,35	0,525

Gráfico 4 – Resultado ensaio de absorção de água sob baixa pressão ou cachimbo



Vale ressaltar que os ensaios de absorção de água e do índice de vazios estão mais associados a porosidade total da argamassa endurecida, enquanto que os ensaios de capilaridade e do método do cachimbo estão relacionados com as características dos poros superficiais (ARAÚJO JR., 2004).

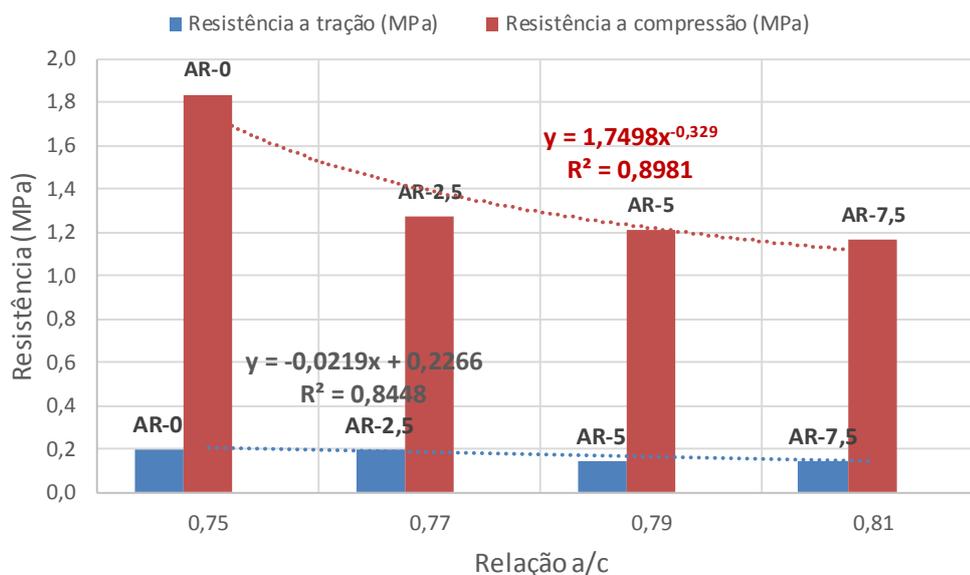
4.5 ENSAIO DA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO E A COMPRESSÃO

Por fim, nos ensaios de determinação da resistência a tração na flexão e a compressão (realizados apenas nos corpos de prova prismáticos), as argamassas ao terem o cimento substituído pela lignina, apresentaram uma redução na resistência, como já esperado, devido ao menor consumo de cimento e maior relação a/c. Os resultados encontram-se na Tabela 12 e Gráfico 6.

Tabela 12: Ensaio mecânico de determinação da resistência na flexão e a compressão

Argamassa	Resistência a tração (MPa)	Resistência a compressão (MPa)
AR-0	0,20	1,83
AR-2,5	0,20	1,27
AR-5	0,15	1,21
AR-7,5	0,14	1,17

Gráfico 5 – Resistência à tração e compressão x relação a/c



De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005) , que possui alguns critérios mínimos para a aceitação da resistência a tração na flexão e a compressão aos 28 dias, a argamassa ensaiada possui classificação P1 com limite de resistência a compressão de $\leq 2,0$ MPa e classificação R1 com limite de resistência a tração na flexão de $\leq 1,5$ MPa.

Além disso, neste ensaio o efeito das amostras semi-prismáticas AR-0 foram superiores aos demais corpos de prova com a presença do resíduo, sendo as amostras com maior teor de lignina (AR-7,5) as que apresentaram a menor resistência tanto na tração a flexão quanto na compressão dentre os corpos de prova analisados, o que evidencia que as argamassas sofreram redução de resistência ao adicionar a lignina, sendo de até 36% na compressão e 30% na tração.

Assim, é importante notar que os resultados encontrados neste estudo corroboraram o trabalho de Silva (2015), que observou reduções nos valores da resistência à compressão relacionadas a adição de lignina.

4.6 RESUMO DOS RESULTADOS

A Tabela 13 apresenta o resumo de todos os resultados obtidos para as argamassas ensaiadas na presente pesquisa.

Tabela 13: Resultados de caracterização das argamassas com e sem lignina

Ensaio de determinação	Resultados					
	Argamassas	AR-0	AR-2,5	AR-5	AR-7,5	
Índice de consistência.	cimento (g)	416	405	395,2	384,8	
	areia (g)	1248	1248	1248	1248	
	água (g)	332,8	332,8	332,8	332,8	
	lignina (g)	-	10,4	20,8	31,2	
	média: índices de consistência (cm)	25,5	27,7	27,6	25,9	
Ensaio de índice de vazios	Absorção (%)	12,76	12,18	12,13	11,7	
	Índice de Vazios (%)	24,05	22,03	21,73	20,95	
	Massa Específica Seca (g/cm ³)	1,89	1,81	1,79	1,79	
	Massa Específica Saturada (g/cm ³)	2,13	2,03	2,01	2	
	Massa Específica Real (g/cm ³)	2,48	2,32	2,29	2,26	
Capilaridade dos corpos de prova cilíndricos	Absorção (g/cm ²)	3 horas	0,42	0,24	0,31	0,93
		6 horas	0,61	0,37	0,47	1,25
		24 horas	1,00	0,57	0,65	1,83
		48 horas	1,16	0,68	0,75	2,06
		72 horas	1,25	0,75	0,82	2,13
Capilaridade dos corpos de prova prismáticos	Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)	m10	0,21	0,09	0,08	0,04
		m90	0,36	0,15	0,14	0,07
	Coeficiente de capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})		2,49	1,01	0,93	0,38
Cachimbo	Absorção (ml)	5 min	0,15	0,125	0,025	0,125
		10 min	0,35	0,15	0,05	0,2
		15 min	0,45	0,2	0,075	0,25
		30 min	0,85	0,35	0,15	0,35
		60 min	1,35	0,5	0,25	0,525
Resistência na flexão e a compressão.	Resistência a tração (MPa)		0,2	0,2	0,15	0,14
	Resistência a compressão (MPa)		1,83	1,27	1,21	1,17

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho buscou-se como contribuição teórica e prática verificar o resultado da substituição do cimento pela lignina na argamassa de revestimento avaliando seus impactos na consistência, resistência a compressão e absorção de água. Compreender melhor se a utilização conjunta desses materiais pode contribuir para a obtenção de argamassas de melhor qualidade, além de identificar novos usos para a lignina que geralmente é descartada pela indústria de papel e celulose.

Constatou-se que lignina não apresenta características aglomerante, portanto não deve substituir o cimento. Porém, o seu acréscimo trouxe outros ganhos que serão apresentados a seguir.

Verificou-se que a substituição do cimento pelo resíduo reduziu em torno de 30% as resistências mecânicas, porém as argamassas ficaram dentro da faixa mínima prevista na norma.

Identificou-se, que com o acréscimo de lignina, houve uma queda na porosidade e absorção de água das amostras, além de resultar em menor peso específico.

Entretanto, algumas limitações devem ser observadas no estudo, como ausência de ensaio de retenção de água, determinação da aderência e retração, que seriam indicados para uma caracterização mais precisa, permitindo avaliar a sua aplicação.

Por fim, concluiu-se com este estudo, que a utilização da lignina na argamassa pode trazer ganhos, como redução de peso e maior impermeabilidade das argamassas. Porém, recomenda-se que seja feita a substituição da areia em diferentes teores e novas avaliações para viabilizar a sua utilização em argamassas para revestimento.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Sugere-se replicar a pesquisa, porém substituindo a areia por lignina ao invés do cimento e analisar a influência de diferentes teores;
- Avaliar a influência da lignina na aderência à tração, retração e retenção de água quando incorporadas às argamassas de revestimento;
- Mensurar o desempenho térmico e acústico de argamassas com adição de lignina em relação à argamassa convencional;
- Determinar o módulo de deformação das argamassas com lignina.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 780. Standard test method for preconstruction and construction evaluation of mortar for plain and reinforced unit masonry. Philadelphia, 1996.

ARAÚJO JR., JOSÉ MENDES DE Contribuição ao Estudo das Propriedades Físico-Mecânicas das Argamassas de Revestimento [Distrito Federal] 2004. xxiii, 175p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2004). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA: disponível em www.bracelpa.org.br. Acesso em 22 maio 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7200. Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR 7215; Ensaio de Cimento Portland – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 9776; Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 9778. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 9779. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 11579. Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75µm (no 200). Rio de Janeiro, 2013.

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

_____. NBR 13279. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13279. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13281. Argamassa industrializada para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Especificação. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR 13749. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR NM248. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2002.

_____. NBR NM43. Cimento portland - Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR NM65. Cimento portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP: disponível em www.abtcp.org.br. Acesso em 19 maio 2016.

BES, K; LEMONS E SILVA, CLAUDIA FERNANDA; Manetti, A. G.S.; Corrêa, L. B.. Extração e caracterização da lignina proveniente do processo de etanol de 2ª geração a partir de Arundo e Arroz. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Pelotas.

CARASEK, H. Argamassas. In: Geraldo C. Isaia (Org./ Ed.). Livro Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 1ed. São Paulo: IBRACON, 2007. v. 2. Cap. 26.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para a Reciclagem – Cempre: disponível em www.cempre.org.br Acesso em 29 março de 2016.

Conjuntura BRACELPA. Publicação mensal da Associação Brasileira de Papel e Celulose. São Paulo, 2014. Disponível em: <http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/180>. Acesso em: 14 abr. 2016.

CORINALDESI V.; MORICONI, G., Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. Construction and Building Materials, (23), p. 289–294 (2009).

FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions, Walter De Gruyter. Berlim, 1989.

FIORITO, A. J. S. I. Manual de argamassa e revestimento: estudos e procedimento de execução. 2ª edição. São Paulo: PINI, 2009.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo IPT; Escola Teobaldo De Nigris. São Paulo, SP, 1988.

LAPIERRE C, 1993. Application of new methods for the investigation of lignin structure. In: JUNG HG, BUXTON DR, HATFIELD RD, et al. Forage cell wall structure and digestibility. Madison: American Society for Agronomy, P.113-163.

LI JINGJING. Isolation of Lignin from Wood, Saimaa University of Applied Sciences, Imatra; Unit of Technology, Degree Programme in Paper Technology; Bachelor's Thesis, 2011.

LIMA, F. S. N. S., Aproveitamento de resíduos de construção na fabricação de argamassas. 93 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba/Centro de Tecnologia, João Pessoa (2005).

NAVARRO, R. M. S.; NAVARRO, F. M.S.; TAMBOURGI, E. B. Estudo de diferentes processos de obtenção da pasta celulósica para fabricação de papel. Revista

Ciência&Tecnologia. Campinas, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2007. Disponível em: http://www.unicamp.br/revistas/revista_e/artigo4.pdf. Acesso em: 29 maio. 2016

PARSEKIAN, G. A.; MELO, M. M. . Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos : projeto, execução e controle. São Paulo: O Nome da Rosa, 2010. v. 1. 240p

Pulp and Paper Institute Center – PPIC: disponível em www.ppic.org.uk. Acesso em 20 mar 2016.

SENAI – CETCEP – Centro de Tecnologia em Celulose e Papel. Telemaco Borba, PR 2001.

SILVA D. ; CASANATTO A. ; OSSUNA M. ; FLEMING, R.; Influência da lignina em argamassa típica de revestimento. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 2015, Bonito-MS. IBRACON, 2015.

SILVEIRA, M. A.L.; MILAGRES, A.M.F.(2009) Obtenção e Caracterização de Lignina de Madeiras, Iniciação Científica FAPESP, disponível em <www.cobeqic2009.feq.ufu.br>, acesso em 29 maio 2016.

SMOLARSKY, N. High-Value Opportunities For Lignin: Unlocking Its Potential. Paris, Frost&Sullivan, 2012. 15 p.

SOUSA-AGUIAR, E.; APPEL, L.; ZONETTI, P. ET AL. Some important catalytic challenges in the bioethanol integrated biorefinery. *Catalysis Today*, v. 234, p. 13-23, 2014.

WAGNER, G.H.; WOLF, D.C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D.M.; FUHRMANN, J.J.; HARTEL, P.G.; ZUBERER, D.A. Principles and applications of soil microbiology. New Jersey: Prentice Hall, 1999. p.218-256.