



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"

Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

BRUNO PAVANELLI ZANELLA

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE
E PAPEL EM ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTO INTERNO**



Bauru
2011

BRUNO PAVANELLI ZANELLA

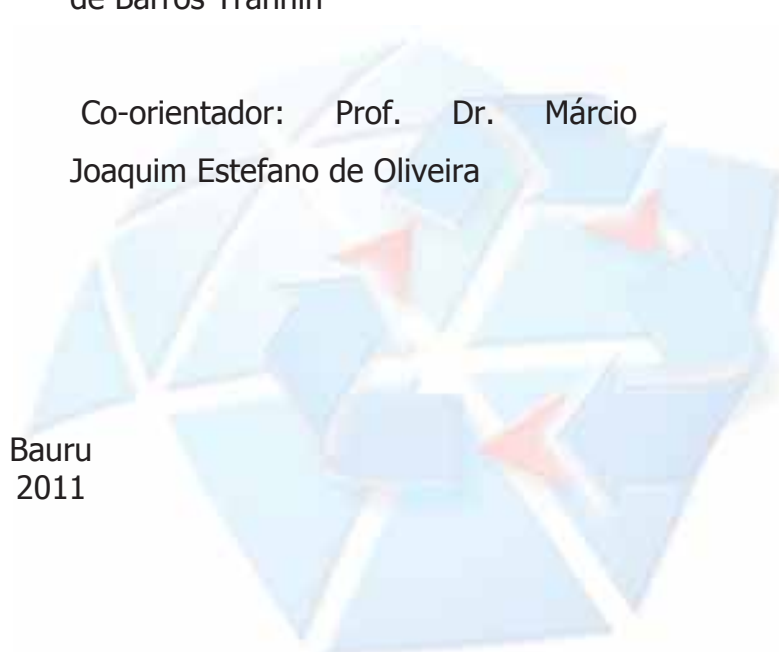
**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE
E PAPEL EM ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTO INTERNO**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Isabel Cristina de Barros Trannin

Co-orientador: Prof. Dr. Márcio Joaquim Estefano de Oliveira

Bauru
2011



Zanella, Bruno Pavanelli.

Aproveitamento de resíduos da indústria de celulose e papel em argamassa mista de revestimento interno / Bruno Pavanelli Zanella, 2011.

66 f. il.

Orientadora: Isabel Cristina de Barros Trannin
Coorientador: Márcio Joaquim Estefano de Oliveira

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2011.

1. Resíduos Industriais 2. Reciclagem 3. Gestão Ambiental 4. Materiais de Revestimento 5. Dregs Grits 6. Produtos Construção Civil. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE BRUNO PAVANELLI ZANELLA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE SAURU.

Aos 16 dias do mês de setembro do ano de 2011, às 08:30 horas, no(a) SALA DE VIDEOCONFERÊNCIA DA UNESP DE GUARATINGUETÁ, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dra. ISABEL CRISTINA DE BARRÓS TRANNIN do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP, Prof. Dr. MELCÍO JOSÉ IZÁRIO FILHO do(a) Departamento de Engenharia Química / Escola de Engenharia de Lorena - USP, Prof. Dr. SANDRO DOMININI MANCINI do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Sorocaba - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de BRUNO PAVANELLI ZANELLA, intitulado "APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL EM ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTO INTERNO". Após a exposição, o conteúdo foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVAÇÃO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dra. ISABEL CRISTINA DE BARRÓS TRANNIN

Prof. Dr. MELCÍO JOSÉ IZÁRIO FILHO

Prof. Dr. SANDRO DOMININI MANCINI

Dedico este trabalho
aos meus pais, Elena e Juarez,
aos meus irmãos Gláucia, Glauco e Maryangela;
e aos meus avós Geny, Célia e José,
pelo amor incondicional e pelo incentivo que sempre me deram,
não me deixando desanimar por maiores que fossem os desafios.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me acompanhar nessa jornada e por me dar saúde para vencer os obstáculos;

Ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil da UNESP;

Ao Departamento de Engenharia Civil da UNESP de Guaratinguetá;

A CAPES pelo apoio financeiro, que me possibilitou dedicação exclusiva para a realização deste trabalho;

À Prof^a. Dr^a. Isabel Cristina de Barros Trannin pela orientação, pelos conhecimentos compartilhados e pelos ensinamentos;

Ao Prof. Dr. Márcio Joaquim Estefano de Oliveira pela co-orientação e por compartilhar seus conhecimentos.

Ao Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho pela amizade;

Ao Técnico em edificações Flávio Augusto Bernardes da Silva, pela ajuda em todos os ensaios realizados neste trabalho;

A todos os Professores que passaram pela minha vida e que de alguma forma me serviram de exemplo e dividiram suas experiências e conhecimentos;

À empresa FIBRIA na pessoa do senhor Cláudio Roberto da Silva, do senhor Danilo Henrique Vergilio e da Lillian Teixeira Carvalho;

À minha mãe Elena e ao meu pai Juarez, pelo exemplo de vida, pela dedicação no meu desenvolvimento pessoal e profissional, por fazerem parte e estarem presentes em todos os momentos da minha vida;

Aos meus irmãos Gláucia, Glauco e Maryangela, pela amizade e por estarem presentes para me ajudar e apoiar em todos os momentos;

A toda minha família, pelo apoio incondicional, pela compreensão e dedicada atenção, em especial aos meus avos Geny, Célia, José e ao meu avô Vicente, que mesmo longe tem iluminado o meu caminho;

Ao meu padrinho Prof. Dr. Carlos Augusto Pavanelli e à minha madrinha Heloísa Helena Carvalho Pavanelli pelos conselhos e carinho.

À Eliane, pelo amor, companheirismo, compreensão e carinho;

Aos amigos que cativei ao longo da vida, pela amizade e compreensão. Agradeço em especial aos amigos Danilo Augusto Faria e Marcelo Godoy Rigobello, pelos conselhos e pelo apoio;

Aos meus amigos de república Kendy, Lost, Glauco, Pedro, João, Jaca, Gump e Obelix.

E a todos os seres que passaram pela minha vida, compartilhando sentimentos, valores, conhecimentos, e que estarão eternamente guardados em minha memória.

“O sábio não é o homem que fornece as verdadeiras respostas; é o que formula as verdadeiras perguntas.”

Claude Lévi-Strauss

RESUMO

ZANELLA, Bruno Pavanelli. **Aproveitamento de resíduos da indústria de celulose e papel em argamassa mista de revestimento interno**. Bauru: UNESP, 2011. 66p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental).

Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de aproveitamento do composto dregs-grits, gerado pela indústria de celulose e papel, que emprega o processo Kraft, em produtos da construção civil. O aproveitamento deste composto em materiais de construção civil pode ser uma solução econômica e ambientalmente viável, mas precisa ser avaliado para que os produtos mantenham a qualidade e atendam as normas e os padrões de mercado. Desta forma, após secagem, moagem, peneiramento e caracterização química, foram realizados ensaios para avaliar o potencial deste composto como substituinte de agregado miúdo em argamassa mista de revestimento interno. As possíveis influências da adição do composto dregs-grits nas propriedades mecânicas da argamassa foram avaliadas por ensaios de resistência à compressão e à tração. Os resultados mostraram que este composto tem potencial para ser aproveitado na produção de argamassa mista de revestimento interno substituindo em até 20% em massa a fração média-fina da areia. Para o aproveitamento de toda a fração média-fina do composto dregs-grits gerada mensalmente pela indústria de celulose e papel será necessária a construção de 952 residências de 90,25 m² sem perdas na aplicação da argamassa mista de revestimento interno. Os benefícios econômicos, sociais e ambientais, pela diminuição da extração de areia do leito dos rios e pela disposição adequada destes resíduos são imensuráveis.

PALAVRAS-CHAVE: *resíduos industriais, reciclagem, gestão ambiental, materiais de revestimento, dregs, grits, produtos construção civil*

ABSTRACT

ZANELLA, Bruno Pavanelli. **Utilization of waste from pulp and paper industry in mixed mortar lining**. Bauru: UNESP, 2011. 66p. (Dissertation – Master in Civil and Environmental Engineering).

This study aimed to evaluate the potential use of the compound dregs-grits, generated by the pulp and paper industry, which employs the Kraft process, in construction products. The use of composite construction materials can be economical and environmentally viable, but must be evaluated to ensure that products maintain quality and meet all regulatory standards and industry standards. Thus, after drying, grinding, screening and chemical characterization, tests were conducted to evaluate the potential of this compound as a substitute for fine aggregate mixed in mortar lining. The possible influence of the addition of the compound dregs-grits on the mechanical properties of the mortar tests were evaluated by compressive strength and tensile strength. The results showed that this compound has the potential to be used in the production of mixed mortar lining of replacing up to 20% mass fraction of medium-fine sand. To use the entire medium-fine fraction of the compound dregs-grits generated monthly by the pulp and paper industry will be necessary to build 952 homes of 90.25 m² without loss in the application of mixed mortar lining. The economic, social and environmental, by reducing the extraction of sand in the river and the proper disposal of these wastes are immeasurable.

KEYWORDS: *industrial waste, recycling, environmental management, coating materials, dregs, grits, construction products*

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DO PROCESSO KRAFT NA PRODUÇÃO DE CELULOSE (SMOOK, 1989).	7
FIGURA 2 - CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO GRITS (MODOLO, 2006)	9
FIGURA 3 - CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO DREGS (MODOLO, 2006)	9
FIGURA 4 - ALTERNATIVAS DE REVESTIMENTO DE PAREDE: (A) CHAPISCO + EMBOÇO + REBOCO + PINTURA; (B) CHAPISCO + CAMADA ÚNICA + PINTURA; (C) REVESTIMENTO DECORATIVO MONOCAMADA (RDM) (CARASEK, 2007).	13
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA EMPREGADA.....	16
FIGURA 6 - DREGS E GRITS ACONDICIONADOS EM TAMBORES DE 200 LITROS.	17
FIGURA 7 - SECAGEM DO COMPOSTO DREGS-GRITS EM ESTUFA A $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ POR 24 HORAS.....	18
FIGURA 8 - MOAGEM DO COMPOSTO DREGS-GRITS EM MOINHO DE BOLAS, CONFORME NBR NM 51/2001.	19
FIGURA 9 - ASPECTO DO COMPOSTO DREGS-GRITS ÚMIDO (A) E APÓS SECAGEM EM ESTUFA E MOAGEM (B).....	19
FIGURA 10 - PREPARAÇÃO DA AMOSTRA SEGUNDO NBR NM 52/2002: PARTÍCULAS FORTEMENTE ADERIDAS ENTRE SI, APÓS 25 GOLPES E REMOÇÃO DO TRONCO-CONE (METÁLICO, DE 4 CM DE DIÂMETRO SUPERIOR, 9 CM DE DIÂMETRO INFERIOR E 7,5 CM DE ALTURA) (A); PARTÍCULAS SATURADAS E SUPERFÍCIE SECA PRONTAS PARA A REALIZAÇÃO DO ENSAIO, APÓS 25 GOLPES E REMOÇÃO DO TRONCO-CONE (B).....	20
FIGURA 11 - TRAÇOS DA ARGAMASSA APÓS O PROCESSO DE ADENSAMENTO NOS MOLDES.....	25
FIGURA 12 - CORPOS DE PROVA (5 CM DE DIÂMETRO POR 10 CM DE ALTURA) ACONDICIONADOS EM CAIXA DE ISOPOR COM SERRAGEM ÚMIDA PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS DE CURA.	25
FIGURA 13 – ENSAIO DE COMPRESSÃO.....	26
FIGURA 14 - CONSTRUÇÃO DO SUBSTRATO PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO.....	27
FIGURA 15 - PAREDES CHAPISCADAS APÓS 26 DIAS DE CURA.....	27
FIGURA 16 - ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTO APLICADA SOBRE AS PAREDES CHAPISCADAS: (A) TRAÇO PADRÃO, SEM ADIÇÃO DO COMPOSTO DREGS-GRITS – 0%, (B) TRAÇO CONTENDO COMPOSTO DREGS-GRITS – 10%, (C) TRAÇO CONTENDO COMPOSTO DREGS-GRITS – 20%, E (D) TRAÇO CONTENDO COMPOSTO DREGS-GRITS – 30%.....	28
FIGURA 17 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO, CONFORME NBR 13528 DE 2010 (A) PERFURAÇÃO DA CAMADA DE ARGAMASSA PARA A OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA, (B) COLOCAÇÃO DE ANTEPARO DE PAPELÃO PARA FACILITAR A COLAGEM DAS PASTILHAS, (C) COLAGEM DAS PASTILHAS, ESPECIFICADAS NA NORMA, COM EPÓXI E (D) NUMERAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E ENSAIO DE ADERÊNCIA DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO.	30
FIGURA 18 - FRAÇÃO GROSSEIRA DO COMPOSTO DREGS-GRITS.....	34
FIGURA 19 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA DA FRAÇÃO GROSSEIRA DO COMPOSTO DREGS-GRITS.....	35
FIGURA 20 - COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA DA FRAÇÃO FINA DO COMPOSTO DREGS-GRITS.	35
FIGURA 21 - ENSAIO PARA A DETERMINAÇÃO DA PRESENÇA DE IMPUREZAS ORGÂNICAS NO COMPOSTO DREGS-GRITS, CONFORME A NORMA NBR NM 49 DE 2001: (A) SOLUÇÃO CONTENDO O COMPOSTO SECO EM ESTUFA À ESQUERDA E SECO AO AR À DIREITA E (B) SOLUÇÃO PADRÃO (SANTOS, 2009).....	36

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - PARTICIPAÇÃO BRASILEIRA NO PANORAMA MUNDIAL DA PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL.....	3
TABELA 2 - CÁLCULO DO TRAÇO PADRÃO PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	23
TABELA 3 - CÁLCULO DO TRAÇO 10 PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	24
TABELA 4 - CÁLCULO DO TRAÇO 20 PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	24
TABELA 5 - CÁLCULO DO TRAÇO 30 PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	24
TABELA 6 - CÁLCULO DO TRAÇO 40 PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	24
TABELA 7 - CLASSIFICAÇÃO DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO QUANTO A SUA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO. ..	26
TABELA 8 - ESPESURAS ADMISSÍVEIS DE REVESTIMENTO INTERNO E EXTERNO PARA PAREDES E TETOS (NBR 13749:1996).....	28
TABELA 9 - CÁLCULO DO TRAÇO PADRÃO PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	29
TABELA 10 - CÁLCULO DO TRAÇO 10 PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	29
TABELA 11 - CÁLCULO DO TRAÇO 20 PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	29
TABELA 12 - CÁLCULO DO TRAÇO 30 PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	29
TABELA 13 - REFERÊNCIA DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO PARA ARGAMASSA INORGÂNICA.....	30
TABELA 14 - MÉDIA MENSAL DE GERAÇÃO DO COMPOSTO DREGS-GRITS (FIBRIA, 2011).	32
TABELA 15 - PARÂMETROS AVALIADOS EM MASSA BRUTA DO COMPOSTO DREGS-GRITS.....	33
TABELA 16 - PARÂMETROS AVALIADOS NO COMPOSTO DREGS-GRITS PELO TESTE DE LIXIVIAÇÃO.....	33
TABELA 17 - PARÂMETROS AVALIADOS NO COMPOSTO PELO TESTE DE SOLUBILIZAÇÃO.....	33
TABELA 18 - PARÂMETROS QUÍMICOS DE AMOSTRAS DO COMPOSTO DREGS-GRITS SECAS EM ESTUFA E AO AR.....	34
TABELA 19 – FRAÇÕES DO COMPOSTO DREGS-GRITS SEPARADAS POR PENEIRAMENTO.	37
TABELA 20 – FRAÇÕES DA AREIA SEPARADAS POR PENEIRAMENTO.....	37
TABELA 21 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTO NOS TRAÇOS 0, 10, 20, 30 E 40% AOS 28 DIAS DE CURA E CLASSIFICAÇÃO, CONFORME NBR 13.281/2005.	39
TABELA 22 - RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTO NOS TRAÇOS 0, 10, 20 E 30% AOS 28 DIAS DE CURA.	40
TABELA 23 – CONSUMO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO INTERNO EM UMA RESIDÊNCIA DE 90,25M ²	41

SUMÁRIO

RESUMO	IX
ABSTRACT	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XII
SUMÁRIO	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	3
3.1. A INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE	3
3.2. O PROCESSO KRAFT E A GERAÇÃO DOS RESÍDUOS DREGS E GRITS	5
3.3. POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DOS DREGS E GRITS	7
3.4. INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AO CONCRETO E À ARGAMASSA	11
3.5. ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTO INTERNO	12
3.6. RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS – RSI	14
4. MATERIAS E MÉTODOS	16
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO DREGS-GRITS	16
4.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO COMPOSTO DREGS-GRITS ESTUDADO	17
4.2.1. <i>Análise granulométrica</i>	19
4.2.2. <i>Determinação de impurezas orgânicas</i>	19
4.2.3. <i>Massa específica e massa específica aparente</i>	20
4.2.4. <i>Determinação da absorção de água</i>	20
4.2.5. <i>Teor de material pulverulento</i>	20
4.3. RESISTÊNCIA MECÂNICA DO COMPOSTO DREGS-GRITS E DA AREIA DE RIO	20
4.4. METODOLOGIA PARA SUBSTITUIÇÃO DA FRAÇÃO MÉDIA-FINA DA AREIA POR COMPOSTO	21
4.5. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	23
4.6. ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO	26
4.7. ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ARGAMASSA EM UMA RESIDÊNCIA	30
4.8. ESTIMATIVA DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DO COMPOSTO DREGS-GRITS EM ARGAMASSA	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1. QUANTIDADE DE COMPOSTO DREGS-GRITS GERADA PELO PROCESSO INDUSTRIAL	32
5.2. GRANULOMETRIA DO COMPOSTO DREGS-GRITS	34
5.3. DETERMINAÇÃO DE IMPUREZAS ORGÂNICAS DO COMPOSTO	36
5.4. RESISTÊNCIA MECÂNICA DO COMPOSTO E DA AREIA DE RIO	37
5.5. MASSA ESPECÍFICA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE DO COMPOSTO	38
5.6. ABSORÇÃO DE ÁGUA PELO COMPOSTO DREGS-GRITS	38
5.7. TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO DO COMPOSTO	38
5.8. RESISTÊNCIA DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO INTERNO À COMPRESSÃO	38
5.9. RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTO INTERNO	39
5.10. CONSUMO DE ARGAMASSA EM UMA RESIDÊNCIA	40
5.11. ESTIMATIVA DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DO USO DO COMPOSTO DREGS-GRITS EM ARGAMASSA	42
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44

7. CONCLUSÕES	45
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
9. ANEXO 1	51

1. INTRODUÇÃO

A crescente degradação ambiental e a escassez dos recursos naturais causadas não só pela exploração indiscriminada, mas principalmente, pela disposição inadequada de resíduos das atividades humanas no ambiente, e a busca por alternativas visando reverter essa situação são os temas dentre os mais discutidos atualmente.

No setor industrial, o gerenciamento de resíduos é hoje um dos principais problemas enfrentados pelas empresas, para as quais o licenciamento ambiental tem papel tão importante quanto à qualidade de seus produtos, pois assegura a produção com o mínimo de impacto ao meio ambiente. Ao atuar sem o licenciamento ambiental, a empresa torna-se alvo dos órgãos regulatórios e de fiscalização, os quais têm plenos poderes para autuar os estabelecimentos, aplicando multas ou sanções mais graves, e para interditar a atividade, caso as irregularidades persistam. Além disso, atividades que não são seguras do ponto de vista ambiental têm seus dirigentes responsabilizados civil e criminalmente. Portanto, o tratamento e a disposição adequada dos resíduos tornaram-se mais que uma necessidade, uma obrigação perante a lei e a sociedade. Para obter a certificação ISO 14.001, de Sistema de Gestão Ambiental, as empresas precisam adotar medidas que priorizem a redução da geração de resíduos e que promovam o tratamento, a reciclagem ou aproveitamento destes de modo seguro.

No Brasil, a indústria de celulose e papel é uma das mais promissoras áreas de negócio, ocupando atualmente a quarta posição no ranking dos maiores produtores mundiais de celulose (BRACELPA, 2011). No entanto, durante o processamento industrial da celulose, empresas que empregam o Processo Kraft geram grandes quantidades dos resíduos conhecidos como dregs e grits, além das cinzas de caldeira. Assim, para atender às exigências legais e minimizar os impactos ambientais e econômicos da disposição inadequada destes resíduos, empresas do setor de celulose e papel têm buscado auxílio junto às universidades e aos órgãos de pesquisa, visando encontrar alternativas técnica e economicamente viáveis para o aproveitamento destes resíduos e que garantam a sustentabilidade desse sistema produtivo.

Neste sentido, várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas visando avaliar o potencial de aplicação destes resíduos na agricultura e na indústria da construção civil, que são as atividades que mais absorvem resíduos industriais. Portanto, para que estes resíduos da indústria de papel e celulose sejam aproveitados na produção de materiais da construção civil, são necessários estudos para que os produtos não percam a qualidade e atendam às normas brasileiras e aos padrões de mercado.

2. OBJETIVO

Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica e os benefícios ambientais do aproveitamento do composto dregs-grits, gerado na produção de celulose, em substituição à areia média-fina na produção de argamassa mista de revestimento interno de paredes e tetos.

3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

3.1. A indústria de papel e celulose

A Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA relatou que o Brasil, em março de 2011, alcançou a quarta posição no ranking dos maiores produtores mundiais de celulose, ultrapassando países como Japão, Suécia e Finlândia, além de ser um dos nove maiores produtores de papel do mundo, conforme dados apresentados na tabela 1 (BRACELPA, 2011).

Tabela 1 - Participação brasileira no panorama mundial da produção de celulose e papel

Maiores produtores mundiais de celulose e papel			
Celulose		Papel	
País	Mil toneladas	País	Mil toneladas
01 Estados Unidos	48.329	01 China	86.391
02 China	20.813	02 Estados Unidos	71.613
03 Canadá	17.079	03 Japão	26.279
04 Brasil*	13.315	04 Alemanha	20.902
05 Suécia	11.463	05 Canadá	12.857
06 Finlândia	9.003	06 Suécia	10.933
07 Japão	8.503	07 Finlândia	10.602
08 Rússia	7.235	08 Coreia do Sul	10.481
09 Indonésia	5.971	09 Brasil*	9.428
10 Chile	5.000	10 Indonésia	9.363
11 Índia	3.803	11 Índia	8.693
12 Alemanha	2.542	12 Itália	8.449
Demais países	24.898	Demais países	84.696
Total mundial	177.957	Total mundial	370.687

*Fonte: Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA; RISI (2009).

Os volumes de papel e celulose produzidos em 2009 merecem destaque. No total, foram 13.315.000 toneladas de celulose e 9.428.000 toneladas de papel com crescimento de 10,98% e 4,66%, respectivamente, em relação ao montante produzido em 2008 (BRACELPA, 2009). Em 2003, a previsão era de um aporte de US\$ 14,4 bilhões no setor até 2012, no entanto, os investimentos das empresas associadas à indústria de base florestal foram maiores. O mercado internacional aquecido tem gerado um aumento no consumo de itens provenientes da indústria com base florestal, tais como, madeira para construção civil e papéis para os mais variados fins, o que tem incentivado a exportação brasileira destes produtos para China, Índia e alguns países do leste europeu.

As espécies de *eucalyptus* e *pinus* são as principais utilizadas como matérias primas para a indústria de celulose e papel no Brasil. Essa indústria empregou em 2010 cerca de 115 mil pessoas diretamente na indústria e nas áreas florestadas, e cerca de 575 mil pessoas indiretamente ao longo de sua cadeia produtiva. A indústria de celulose e papel apresenta 222 unidades industriais, com plantações em 539 municípios de 18 Estados, nas cinco regiões brasileiras (BRACELPA, 2010). O cultivo destas espécies florestais geralmente é realizado em áreas degradadas e não em substituição a florestas nativas, buscando preservar estes biomas (BRACELPA, 2008). Normalmente, as florestas cultivadas pelas indústrias de papel e celulose são consorciadas com reservas nativas, que somam 2,9 milhões de hectares preservados, visando à manutenção da biodiversidade e a proteção da disponibilidade e qualidade da água, para assegurar a manutenção das próprias florestas plantadas, que constituem um recurso natural e renovável (BRACELPA, 2009).

O investimento realizado pelo setor nos últimos 10 anos foi, em média, de US\$12 bilhões, sendo que somente no ano de 2010, o valor das exportações de celulose atingiu o montante de US\$ 4,762 bilhões, representando um aumento de 43,7% em comparação ao mesmo período em 2009, que foi de US\$ 3,315 bilhões (BRACELPA, 2010). Neste mesmo período, as exportações de papel totalizaram US\$ 2,008 bilhões, registrando um aumento de 19,1% em relação ao ano de 2009, de US\$ 1,686 bilhões (BRACELPA, 2009).

O Brasil reciclou 3,9 milhões de toneladas de papel no ano de 2009, o que corresponde a 46% do consumo aparente nacional. Além disso, quase toda a energia elétrica consumida pelo setor é gerada pelo próprio processo de produção de celulose (BRACELPA, 2009).

Em termos de qualidade do ar, os plantios comerciais de eucalipto também oferecem uma importante contribuição, pois, no processo de fotossíntese, as árvores em crescimento absorvem uma maior quantidade de gás carbônico que as adultas (BRACELPA, 2009).

A alta produtividade florestal brasileira é evidente quando comparada com outros países produtores. O Brasil apresenta na extensão territorial e no clima vantagens que o tornam um país altamente competitivo para a produção de papel e celulose a partir de florestas plantadas. Além de não utilizar árvores nativas, o eucalipto e o pinus são espécies de crescimento mais rápido que as cultivadas por países que lideram a produção mundial (BRACELPA, 2007, 2008).

3.2. O processo Kraft e a geração dos resíduos dregs e grits

O processo de polpação Kraft, que significa “força” em alemão, foi comercialmente utilizado pela primeira vez na Suécia em 1885. A grande resistência dos papéis gerados foi reconhecida em relação aos processos anteriormente utilizados. No processo Kraft, a madeira sob forma de cavacos, é tratada em vasos de pressão, denominados digestores, com soda cáustica e sulfeto de sódio. Trata-se de um processo químico que visa dissolver a lignina, preservando a resistência das fibras, obtendo-se dessa maneira uma pasta forte, com rendimento entre 50 a 60 %, sendo muito empregado na produção de papéis, cuja resistência é o principal fator (PIOTTO, 2003).

Esse processo também é conhecido como “processo sulfato”, devido à reposição das perdas serem feitas com o uso de sulfato de sódio. Os compostos químicos utilizados no cozimento são o sulfeto e o hidróxido de sódio em pH alcalino, ajustado entre 13 e 14 no início do cozimento. A produção de celulose pode ser dividida em quatro etapas principais: 1) preparação de matérias primas, 2) deslignificação química em circuito fechado recuperando-se energia, 3) branqueamento com circuito aberto e 4) sistema de tratamento de águas residuárias. Os sistemas auxiliares de geração de energia, preparação de madeira e produção dos produtos químicos do branqueamento estão inclusos nestes quatro sistemas (PIOTTO, 2003).

As etapas de evaporação, combustão e caustificação constituem o processo de recuperação de químicos e de energia. Durante o processo de evaporação, a concentração de sólidos dissolvidos no licor negro, resultante do cozimento da madeira, é aumentada de 13-17% para, aproximadamente, 70% por evaporadores de múltiplo efeito. Desta forma, o licor concentrado pode ser queimado na caldeira de recuperação. O objetivo não é só a combustão completa da matéria orgânica do licor negro, mas também, a recuperação do conteúdo de sódio e enxofre numa forma que possibilite a regeneração dos químicos utilizados para o cozimento (PINTO, 2005).

As reações da combustão total podem ser representadas por:



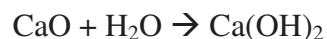
O “SMELT” (NaCO_3 e Na_2S) formado nesta fase de evaporação é dissolvido em licor branco fraco no tanque de dissolução (tanque de “SMELT”), produzindo uma solução denominada licor verde. Este licor contém impurezas sólidas designadas por dregs que são constituídos por carbonatos de cálcio e sódio, carvão da combustão incompleta da caldeira de

recuperação, sílica, sulfuretos de metais e outros sais provenientes da caldeira e sua concentração no licor está normalmente entre 800 a 1200ppm (MODOLO, 2006).

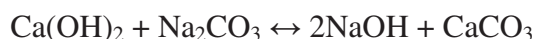
O dregs é um material sólido, de cor escura semelhante às escórias de alto-forno e é separado durante a preparação do licor verde, na fase de clarificação. Sendo que o dregs após a sedimentação é removido, normalmente com uma umidade entre 45 e 60% e depositado em aterros (MODOLO, 2006).

A concentração de nutrientes facilmente solúveis, tais como P, Ca, Na, K, Mg, S, Cu e Zn é abundante no dregs, sendo que o cálcio, o magnésio e o sódio são os macronutrientes em maior quantidade (NURMESNIEMI, 2005). Esta característica tem levado alguns pesquisadores, como Bellote et al. (1998) e Österås et al. (2005), a estudar o uso agrícola dos dregs.

Os grits são impurezas como areias, calcário e outras escórias introduzidas pela recuperação do calcário (MODOLO, 2006). De acordo com Pinto (2005) e adaptado por Modolo (2006), a geração dos grits ocorre após a clarificação do licor verde, quando é adicionada cal viva (CaO) ao licor, proveniente dos fornos de cal, no apagador de cal, ocorrendo a seguinte reação química:



Ao mesmo tempo, ocorre a reação de caustificação do carbonato de sódio, em que é recuperada a soda cáustica necessária ao processo de cozimento Kraft, pela reação:



O licor é bombeado através de permutadores para o apagador de cal, onde é aquecido com vapor. Durante o processo de hidratação da cal ocorre a desidratação do licor, aumentando a superfície sólida disponível para a reação e libertação de inertes para posterior remoção (MODOLO, 2006).

Temperaturas da ordem de 1200 °C são atingidas nos fornos de cal e como as lammas de cal apresentam sódio residual, este material fundindo provoca a granulação da cal, ocorrendo um processo de peletização, que origina o grits (cal peletizada), um material de cor acinzentada. Durante esse processo, o hidróxido de cálcio do forno da cal finaliza o processo de caustificação da lixívia verde, sendo o grits separado, retirado e encaminhado para aterros, com umidade variando de 15 a 25% (MODOLO, 2006).

A figura 1 apresenta um esquema simplificado do processo Kraft na produção de celulose, no qual pode-se observar o ponto de geração dos dregs e grits.

biológicas do solo (BELLOTE et al., 1998). Por outro lado, também foi observado nesse estudo de Bellote et al. (1998) aumento na concentração de sódio em solos, após a aplicação destes resíduos, indicando a necessidade de monitoramento para evitar concentrações tóxicas deste elemento no solo. Carvalho et al. (2002), observaram que a compostagem melhorou as qualidades destes resíduos da indústria de papel e celulose visando sua aplicação agrícola, porque a compostagem acelerou a queda e estabilizou a relação C:N, promovendo a homogeneização do material. Almeida et al. (2007) constataram pela análise química do lote de dregs alcalino que este produto poderia ser utilizado como corretivo da acidez de solos agrícolas e como fonte de cálcio e de alguns nutrientes de plantas, sem risco de contaminar o solo a curto e médio prazo com elementos tóxicos como metais pesados. Por outro lado, Österås et al. (2005) verificaram que a aplicação de dregs e cinzas de caldeiras por um longo período de tempo em solos cultivados com espécies florestais não acumulou metais pesados, como cobre (Cu), cádmio (Cd) e zinco (Zn), no caule das árvores. Houve também uma diminuição da concentração de Cd, um fator positivo para espécies vegetais sensíveis a este metal. Estes autores relatam ainda que, no caso das cinzas de madeira peletizadas, a aplicação em curto período de tempo deve ser realizada em quantidades menores ou em mistura com restos de licor verde, buscando diminuir ou eliminar o acúmulo de metais pesados encontrados nos troncos das árvores. Cabral et al. (2008) também afirmam que as cinzas de caldeira, o dregs e o grits, podem colaborar para a melhoria da fertilidade do solo, além de atuarem como corretivos de acidez e, consideraram ainda, que os metais presentes não parecem limitar a aplicação desses resíduos ao solo.

Assim como na agricultura, vários estudos relatam sobre o aproveitamento dos resíduos da indústria de celulose e papel no setor da construção civil. Neste sentido, Machado et al. (2003) observaram que após o tratamento térmico pré-estabelecido, o grits mostrou aplicabilidade como agente estabilizante de um Latossolo na pavimentação de estradas de áreas de reflorestamento. Estes autores verificaram que o grits obteve maior resistência mecânica quando passou por tratamento térmico a 600 °C.

Pinto (2005) concluiu que a melhor utilização para o grits na produção de agregados leves foi como cobertura dos aglomerados e não na matriz argilosa. Por este autor também foi avaliado as propriedades dos dregs e grits como cobertura dos agregados leves e verificou-se que a cobertura com grits por polvilhamento diminuiu a absorção de água destes agregados. Este resultado indicou que o material ficou menos poroso e que o grits pode simular o efeito de cobertura da calcita ou dolomita no processo industrial. Em ensaios de caracterização, este

autor observou que o dregs apresentou elevado teor de cálcio e baixa porcentagem de sólidos voláteis, e o grits elevado teor de cálcio, pouca umidade e ausência de sólidos voláteis.

A adição de sulfato de magnésio no dregs também removeu o alumínio e o silício por precipitação, sendo que o silício teve seu valor reduzido para 100 ppm e o alumínio para menos de 100 ppm, podendo chegar até 10 ppm, conforme sua composição no dregs (WANNENMACHER, 2005).

De acordo com as curvas granulométricas elaboradas por Modolo (2006), o dregs e o grits apresentam granulometrias que atendem à especificação exigida para aplicações em pavimentos rodoviários em Portugal (FIGURA 2 e FIGURA 3).

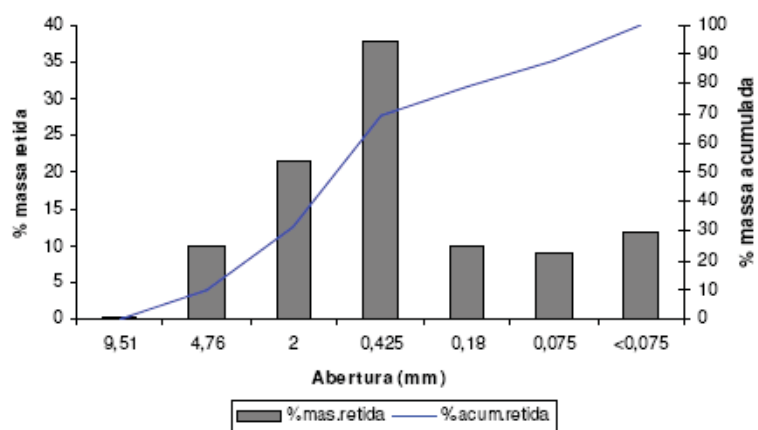


Figura 2 - Curvas de distribuição granulométrica do grits (MODOLO, 2006)

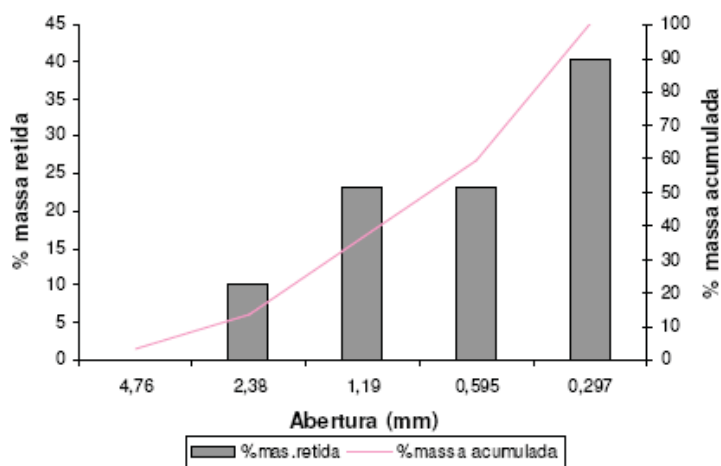


Figura 3 - Curvas de distribuição granulométrica do dregs (MODOLO, 2006)

Neste estudo, Modolo (2006) observou que em condições laboratoriais a crivagem e a moagem prévia do grits permitiram a sua incorporação em até 5% como aditivo na produção

de cimento, sem alterar significativamente os valores de resistência mecânica à compressão do cimento ensaiado. Além disso, a concentração de certos constituintes como os sulfatos e o óxido de sódio (Na_2O) mantiveram-se abaixo dos valores admissíveis à composição do cimento, indicando que este resíduo pode ser incorporado ao cimento em baixas percentagens.

Modolo (2006) verificou ainda que o dregs, quando lavado e modificado, não se adequou à incorporação em argamassas, pois alterou significativamente as propriedades deste produto. Este autor observou que a incorporação do grits em misturas betuminosas foi, geralmente, mais adequada que a do dregs, devido à granulometria adequada e trabalhabilidade deste resíduo.

De acordo com a caracterização química e mineralógica de resíduos sólidos industriais proposta por Martins (2006), o dregs, o lodo de cal e o grits podem ser utilizados em substituição ao hidróxido de cálcio, neutralizante geralmente utilizado para o tratamento do efluente gerado no branqueamento ácido do processo Kraft. Este autor relata também que, além desse uso, o dregs e o lodo de cal podem substituir os calcários naturais em suas diversas aplicações.

Amorim (2007) verificou que o co-processamento de dregs em argilas para a produção de cerâmica vermelha, à exceção de alguns casos particulares de porcentagem de dregs, temperatura e patamar de queima, melhorou as propriedades físico-mecânicas dos corpos de prova em praticamente todos os ensaios. Nos ensaios realizados por Amorim (2007), este autor observou que a aplicação de dregs em até 20% na argila da cerâmica vermelha diminuiu a porosidade e aumentou a massa específica aparente e a formação de camada vítrea, diminuindo, conseqüentemente, a absorção de água e aumentando a resistência mecânica dos corpos de prova das cerâmicas vermelhas.

Machado et al. (2009) avaliaram o comportamento geotécnico de misturas de solo e grits e verificaram que a fração fina do grits foi a que mais contribuiu para o aumento da resistência mecânica, evidenciando sua importância na reatividade das misturas e no aumento da capacidade suporte dos solos.

A análise destes estudos mostrou que existe uma gama enorme de alternativas de aproveitamento e reciclagem dos resíduos dregs, grits e cinzas de caldeira, gerados pelo processo Kraft na produção de celulose. A aplicação desses resíduos como corretivos de solo é, sem dúvida, uma das alternativas mais promissoras, mas como normalmente são necessárias aplicações em grandes quantidades para que o pH do solo seja corrigido, é preciso ter cuidado, considerando que os diferentes tipos de solo podem gerar diversas reações químicas e a formação de inúmeros subprodutos químicos. Neste sentido, o aproveitamento

destes resíduos pela incorporação em produtos da construção civil apresenta vantagens, principalmente porque neste processo, a geração de passivos ambientais é reduzida, oferecendo pequenos riscos ambientais.

3.4. Incorporação de resíduos ao concreto e à argamassa

O concreto é amplamente empregado em projetos de engenharia civil e a maioria dos cimentos utilizados no concreto é Portland, cuja fabricação consome grande quantidade de energia e gera emissões elevadas de gases de efeito estufa, principalmente de CO₂, liberado pelo calcário e combustível durante o piro-processamento de clínquer. Além disso, a indústria de concreto é uma das principais consumidoras dos recursos naturais e, para reduzir o consumo de energia e das emissões de CO₂ e aumentar a produção, as fábricas têm produzido cimento misturado, composto de materiais cimentícios suplementares tais como escórias, pozolanas naturais, cinzas e calcário (RAMEZANIANPOUR et al., 2009).

Numerosos materiais têm sido propostos como substitutos dos ingredientes convencionais do concreto, entre estes, as cinzas de diferentes origens são as mais indicadas (MEYER, 2008). Thomas et al. (1987) relataram que compósitos de cimento Portland, fibras e lamas de uma usina de reciclagem de lixo, apresentaram potencial de uso na produção de blocos aplicados em construções econômicas, de telhas e de isolantes térmicos.

O uso de diferentes tipos de resíduos industriais em materiais à base de cimento tornou-se uma prática comum na indústria de concreto. Resíduos de fibras, dependendo de sua composição, podem melhorar as propriedades da força de compressão do concreto e modificar outras propriedades (MEDDAH, 2009). Neste aspecto, Koukouzas (2005) verificou que o aproveitamento de cinzas na produção de concreto não alterou sua resistência mecânica, porém a adição de cinzas preencheu as fissuras na massa de concreto.

De acordo com Evangelista (2009), o agregado fino reciclado adicionado ao concreto tem efeitos não desprezíveis sobre o desempenho do concreto, em relação à absorção de água, absorção capilar e difusão de cloretos. Este autor afirma que, embora ocorra variação no desempenho do concreto com agregados finos recicláveis, é viável a adição de materiais de cimentação complementares, tais como sílica ativa, cinzas de caldeira e escória de alto forno, pois estes materiais podem compensar a presença de agregados finos recicláveis e talvez elevar a taxa aceitável de substituição.

Cachim (2009) comparou o concreto produzido a partir de tijolos esmagados a um concreto de referência e verificou que os resíduos cerâmicos podem ser utilizados como

substitutos parciais de agregados naturais em concreto, sem alterar suas propriedades, sendo possível seu aproveitamento em concretos pré-moldados. No entanto, o tipo de tijolo e o processo de fabricação, podem influenciar a qualidade do concreto final.

Naik (2004) verificou que a adição, em diferentes proporções, de resíduos fibrosos gerados no processo de fabricação de celulose e papel em concreto, gerou maior resistência à compressão e à tração e menor resistência à abrasão que o concreto produzido sem resíduos.

Bandeira (1996) adicionou cinzas de caldeira, dregs e grits no traço básico de argamassa 1:3:0,48, em doses crescentes, seguindo a indicação de Silva et al. (1994). As cinzas de caldeira foram adicionadas na proporção de 30% e o dregs e o grits na proporção de 5%, 15% e 30% da massa total de cimento na argamassa. Neste estudo, as argamassas que continham 30% de cinzas e 30% de dregs apresentaram maior resistência à compressão axial, enquanto as que continham 30% de cinzas e 5% de dregs apresentaram maior resistência à tração por compressão diametral. As argamassas que continham 30% de cinzas e de 5 a 15% de grits apresentaram a mesma resistência à tração por compressão diametral.

A utilização de diversos tipos de resíduos industriais de diferentes granulometrias pode ser viável tecnicamente desde que a fração adequada do composto seja avaliada e respeitada mediante sua aplicação.

3.5. Argamassa mista de revestimento interno

De acordo com a norma NBR 13.281 de 2001 – *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos*, a argamassa é definida como uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

Segundo Carasek (2007) as argamassas são classificadas de acordo com vários critérios, como sua função e aplicação na construção civil (ANEXO 1). Sendo que para o presente trabalho será estudada a argamassa mista de revestimento interno de paredes e tetos.

Carasek (2007) faz a descrição de diferentes revestimentos, conforme descrito a seguir e na figura 4.

- Chapisco: camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento.

- Emboço: camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, como por exemplo, cerâmica.

- Reboco: camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber um revestimento decorativo, como a pintura, ou que se constitua no acabamento final.

- Camada única: revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre o qual é aplicada uma camada decorativa, como por exemplo, a pintura; é também conhecida popularmente como “massa única” ou “reboco paulista”, sendo, atualmente, a alternativa mais empregada no Brasil.

- Revestimento decorativo monocamada (ou monocapa) – RDM: trata-se de um revestimento aplicado em uma única camada, que faz, simultaneamente, a função de regularização e decoração, sendo muito utilizado na Europa. A argamassa de RDM é um produto industrializado, ainda não normalizado no Brasil, com composição variável de acordo com o fabricante, contendo geralmente: cimento branco, cal hidratada, agregados de várias naturezas, pigmentos inorgânicos, fungicidas, além de vários aditivos (plastificante, retentor de água, incorporador de ar, dentre outros).

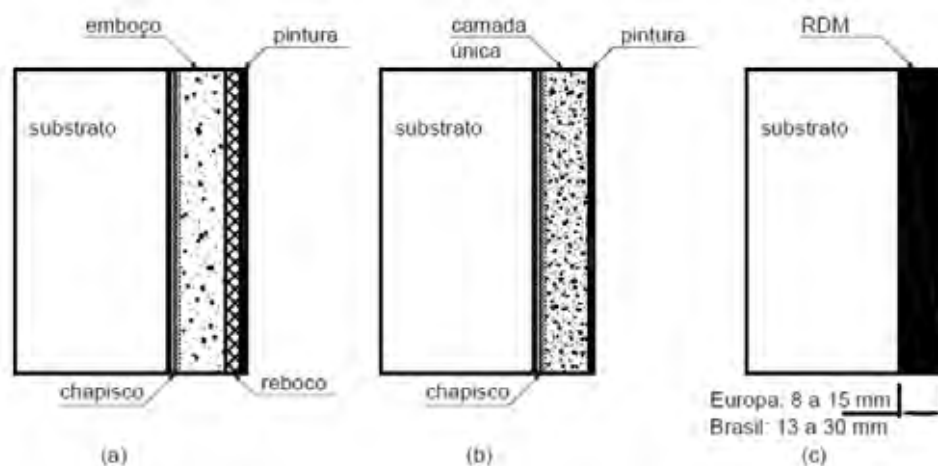


Figura 4 - Alternativas de revestimento de parede: (a) chapisco + emboço + reboco + pintura; (b) chapisco + camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM) (CARASEK, 2007).

Desta forma, os tipos de revestimentos que poderão ser adotados com o presente estudo serão o de emboço como base para reboco e pintura, ou como camada única como base para pintura.

3.6. Resíduos sólidos industriais – RSI

Em 23 de dezembro de 2010 o Decreto nº 7.404 regulamentou a Lei nº 12.305, sancionada em 2 de agosto de 2010, *que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e criou o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa*. A Política Nacional de Resíduos Sólidos faz a distinção entre resíduo (material que pode ser reaproveitado ou reciclado) e rejeito (material que não pode ser reaproveitado). A Política também se refere aos resíduos como o doméstico, industrial, da construção civil, eletrônicos, lâmpadas de vapores mercuriais, agropastoril, da área da saúde, perigosos, entre outros.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT pela Norma Brasileira – NBR 10.004 de 2004 dispõe sobre o conceito de resíduos sólidos industriais sólidos ou semi-sólidos, resultado de atividades industriais. Entre os resíduos sólidos industriais (RSI) também estão incluídos os lodos provenientes das instalações de tratamento de águas residuárias, aqueles gerados em equipamentos de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam, para isto, soluções economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível.

Os resíduos são analisados por um grupo de normas técnicas nacionalmente padronizadas pela ABNT conforme descrito:

- NBR 10.007/2004 – Amostragem de resíduos – procedimento utilizado para a amostragem representativa dos resíduos que serão analisados.
- NBR 10.005/2004 – Lixiviação de resíduos – procedimento utilizado para obtenção de extrato lixiviado do resíduo em análise.
- NBR 10.006/2004 – Solubilização de resíduos – procedimento utilizado para a obtenção de extrato solubilizado do resíduo em análise.
- NBR 10.004/2004 – Resíduos sólidos – classificação proposta em listagens de resíduos por tipo de indústria e padrões de concentração de agentes poluidores.

A NBR 10.004/2004 classifica os resíduos em dois grandes grupos, sendo os resíduos CLASSE I os resíduos perigosos e CLASSE II os resíduos não perigosos. Os resíduos CLASSE II são subdivididos em CLASSE II A que são os não perigosos e não inertes e em CLASSE II B que são os não perigosos e inertes.

O procedimento de lixiviação proposto na norma NBR 10.005/2004 determina a capacidade de transferência de substâncias orgânicas ou inorgânicas por meio de dissolução

em um meio extrator. O teste de lixiviação adequado depende do tipo de resíduo em análise e seu lixiviado é comparado com o padrão estabelecido pela NBR 10.004/2004.

A solubilização proposta na norma NBR 10.006/2004 utiliza como meio extrator a água destilada e deionizada. A proposta da norma é a de subagrupar os resíduos de CLASSE II em II A e II B, utilizando para isso, os padrões pré-estabelecidos na norma NBR 10.004/2004.

4. MATERIAS E MÉTODOS

Na figura 5 é apresentado o fluxograma da metodologia empregada para a substituição em massa da fração média-fina da areia de rio pelo composto dregs-grits. O fluxograma envolve desde a coleta do composto na unidade industrial de Jacareí, até o estudo de viabilidade econômica e ambiental do aproveitamento do composto em argamassa mista de revestimento interno de paredes e tetos.

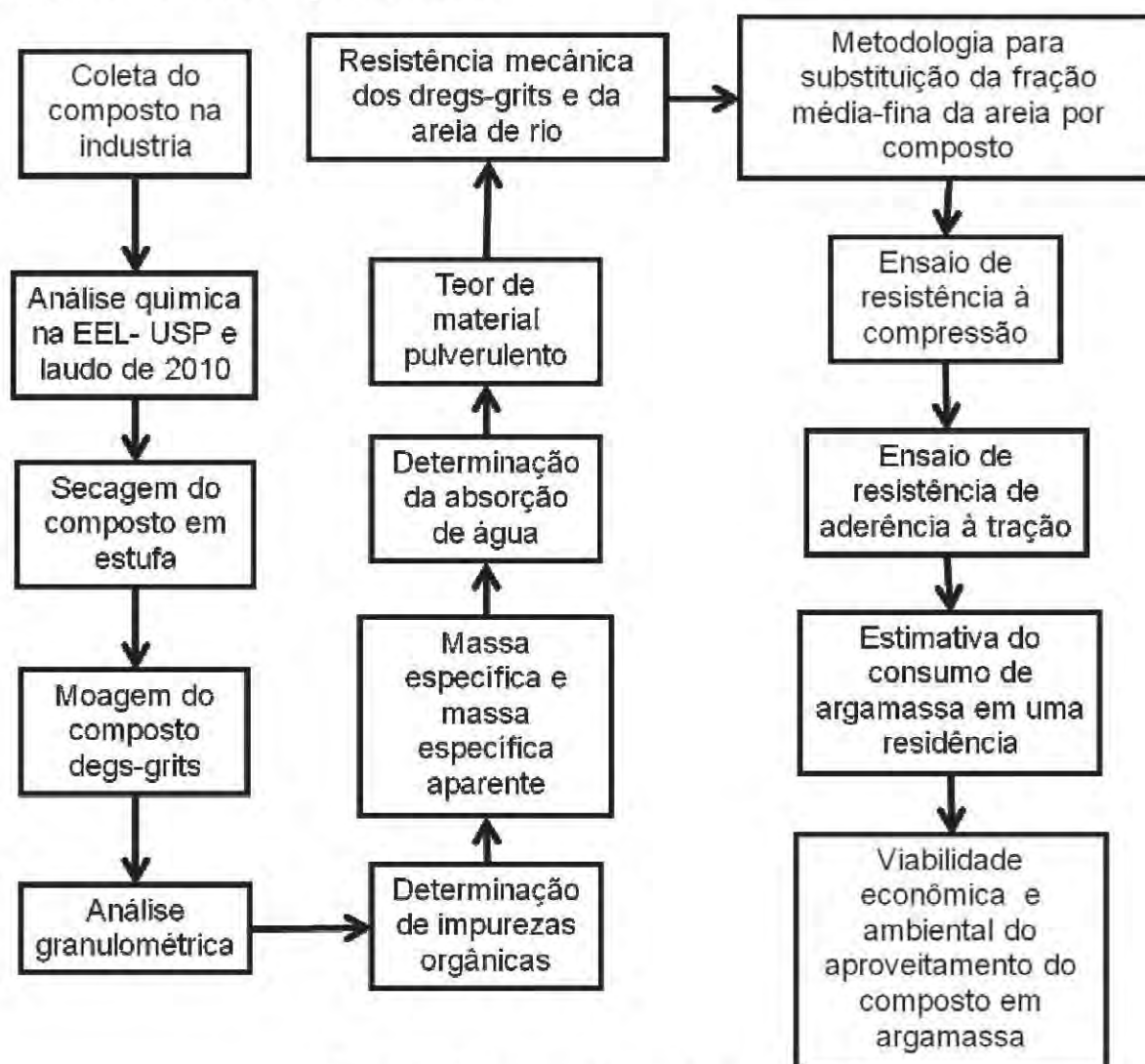


Figura 5 – Fluxograma da metodologia empregada

4.1. Caracterização do composto dregs-grits

Os resíduos dregs são gerados separadamente dos grits durante o processo de fabricação da celulose, porém no final do processo estes resíduos são misturados, formando um composto denominado dregs-grits. A empresa geradora do composto dregs-grits forneceu um relatório de caracterização química do material realizado em 2006 e outro em 2010.

Na caracterização química de 2006, o composto dregs-grits apresentou: 43% de água, pH de 10,7, Ca = 213,68 g kg⁻¹, Na = 374,65 g kg⁻¹, Mg = 15,16 g kg⁻¹ e K = 3,42 g kg⁻¹. Considerando a classificação de resíduos estabelecida pela NBR 10.004 de 2004, este composto pertence à Classe IIA - resíduos não perigosos e não inertes, porquê não apresenta característica de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Porém, este composto possui constituintes solubilizados em concentrações superiores aos encontrados no anexo G desta norma técnica.

4.2. Caracterização física e química do composto dregs-grits estudado

O composto dregs-grits é, normalmente, depositado na forma de pilha até a remoção e destinação para o aterro sanitário licenciado. No processo de amostragem, a pilha do composto foi homogeneizada e as amostras foram acondicionadas em tambores de 200 litros (FIGURA 6), enviados ao Departamento de Engenharia Civil da UNESP, Campus de Guaratinguetá, após a devida autorização da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).



Figura 6 - Dregs e Grits acondicionados em tambores de 200 litros.

O composto dregs-grits foi analisado quimicamente nos laboratórios da Escola de Engenharia de Lorena (EEL – USP), utilizando o equipamento Minipal 4 da PAN analytical. A fração inorgânica foi analisada por meio de espectrometria de fluorescência de raios-X. As amostras secas em estufa e ao ar foram comparadas para verificar se no processo de secagem

em estufa ocorriam perdas. Além destas análises, o laudo de 2010, fornecido pela empresa geradora, foi utilizado para fins de comparação e avaliação do potencial de aproveitamento do composto em argamassa mista de revestimento. Na análise química laboratorial de 2010 foram utilizados os métodos: SMEWW/SMWW: "Standart Methods for the Examination of Water and Waste Water", 21^a edição da American Public Health Association (APHA), da American Water Works Association (AWWA) e da Water Pollution Control Federation (WPCF).; USEPA:SW 846-3050/3051 (USEPA 1986, Teste Method for Evaluating Solid Waste Report Number SQ 846, Washington DC).

O composto úmido foi seco em estufa por 24 horas a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ e resfriado em temperatura ambiente (FIGURA 7). A moagem do composto dregs-grits foi realizada no moinho de bolas, por 30 rotações por minuto do tambor com carga moedora de 12 bolas de aço (aproximadamente 48mm de diâmetro e massa compreendida entre 390g e 445g) que é normalmente usado para atender à NBR NM 51 de 2001 – *Agregado Graúdo – Ensaio de Abrasão “Los Angeles”* (FIGURA 8). Na figura 9, pode ser observado o composto antes e após a secagem e moagem.



Figura 7 - Secagem do composto dregs-grits em estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.



Figura 8 - Moagem do composto dregs-grits em moinho de bolas, conforme NBR NM 51/2001.

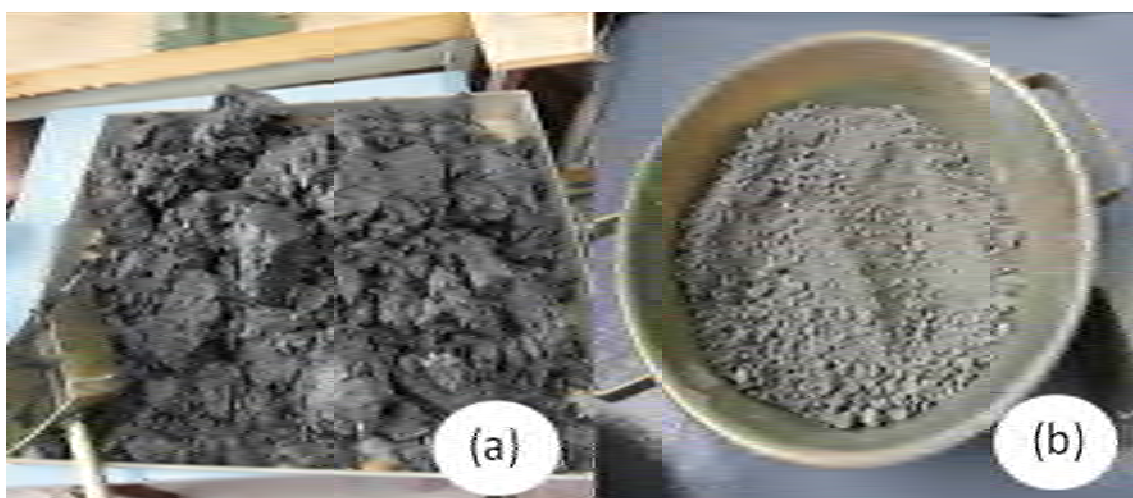


Figura 9 - Aspecto do composto dregs-grits úmido (a) e após secagem em estufa e moagem (b).

4.2.1. Análise granulométrica

A análise granulométrica do composto dregs-grits foi realizada conforme a NBR NM 248 de 2003. Para a separação da fração grosseira foram utilizadas as peneiras de 38,1; 25,4; 19,1; 15,9 e 12,7 mm e para a separação da fração fina as peneiras de 9,5; 4,75; 2,36; 1,18; 0,6; 0,3; 0,15 e 0,075 mm.

4.2.2. Determinação de impurezas orgânicas

A determinação das impurezas orgânicas atendeu à NBR NM 49 de 2001, sendo a avaliação da cor realizada pela comparação da fração média-fina do composto e a solução padrão, verificando se as amostras, contendo composto seco em estufa e seco ao ar, apresentaram diferenças em relação à amostra padrão.

4.2.3. Massa específica e massa específica aparente

A NBR NM 52 de 2002 foi empregada para a determinação da massa específica e da massa específica aparente e retratar as características da fração correspondente ao agregado miúdo do composto dregs-grits. A figura 10 mostra a preparação da amostra, com o intuito de obter partícula saturada com superfície seca, para o ensaio proposto pela NBR NM 52/2002



Figura 10 - Preparação da amostra segundo NBR NM 52/2002: Partículas fortemente aderidas entre si, após 25 golpes e remoção do tronco-cone (metálico, de 4 cm de diâmetro superior, 9 cm de diâmetro inferior e 7,5 cm de altura) (a); Partículas saturadas e superfície seca prontas para a realização do ensaio, após 25 golpes e remoção do tronco-cone (b).

4.2.4. Determinação da absorção de água

A determinação da absorção de água pelo agregado miúdo do composto dregs-grits foi realizada com base na NBR NM 30 de 2001.

4.2.5. Teor de material pulverulento

De acordo com a norma NBR NM 46 de 2003 separou-se o material fino (peneira 75 μm) e, por lavagem, o composto dregs-grits foi ensaiado, sendo a quantidade de material pulverulento determinada.

4.3. Resistência mecânica do composto dregs-grits e da areia de rio

Por meio de avaliação manual de textura, foi possível verificar que o composto dregs-grits não é friável e que poderia apresentar resistência à compressão diferente da areia de rio. Desta forma, foi desenvolvido um ensaio para comparar a resistência da areia de rio com a do composto dregs-grits. Neste ensaio, foi considerada como referência a resistência de 40 MPa, equivalente a 400 kg cm^{-2} , que é comumente usada na construção civil e que, dentro dos

conceitos da construção civil e das premissas de uma curva gaussiana, é passível de um limite de segurança para mais ou menos de 5% dos valores a serem comparados.

No ensaio definido pela NBR NM 248 de 2003 – *Agregados – Determinação da composição granulométrica* – foi utilizada areia de rio de granulometria média fina conhecida e o composto dregs-grits seco em estufa e moído, sendo separadas as frações retidas nas peneiras a fim de construir uma composição granulométrica média fina do composto e da areia de rio. Em seguida, a areia média-fina e a fração média-fina do composto passaram pelo moinho de bolas, com carga de 12 bolas e rotação de 5 minutos, sendo novamente avaliadas quanto à granulometria. Esse procedimento foi repetido até que as granulometrias da fração média-fina do composto e da areia de rio tornaram-se semelhantes ou quando, após 3 ensaios de 5 minutos, a variação da granulometria foi inferior a 5% em massa. Assim, quando as frações da areia e do composto dregs-grits apresentaram menos de 5% de diferença em todas as frações granulométricas, pode-se afirmar que o composto apresentou a mesma resistência que a areia, podendo substituí-la em argamassa mista.

Para avaliar o comportamento do material durante o período do ensaio foi determinada a umidade da areia e do composto antes e após o ensaio de moagem, bem como o teor de material pulverulento após a moagem. Nesta avaliação, a areia e o composto foram ensaiados logo após a secagem em estufa e, portanto, sem umidade. Após a realização do ensaio, 100 gramas de amostra de areia e de composto foram pesadas, secas em estufa por 24 horas e novamente pesadas.

4.4. Metodologia para substituição da fração média-fina da areia por composto

A metodologia proposta por Lara et al. (1995) foi empregada para calcular o traço utilizado na fabricação de argamassa mista de revestimento interno incorporando o composto dregs-grits em substituição à massa de areia de rio média-fina. Este traço foi analisado quanto à resistência à compressão e de aderência à tração. Neste estudo adotou-se uma aderência média, ou seja, uma quantidade de 500 kg de finos por metro cúbico de argamassa e uma proporção 1:8 cimento:agregado. Considerou-se nos cálculos a densidade da água à 25°C ($d_{\text{água}} = 1,0 \text{ g cm}^{-3}$), os valores das massas específicas reais estabelecidos nas embalagens da cal ($d_{\text{cal}} = 2,8 \text{ g cm}^{-3}$) e do cimento ($d_{\text{cimento}} = 3,15 \text{ g cm}^{-3}$). A proporção de substituição em massa da areia média fina pelo composto dregs-grits foi de 0%, 10%, 20%, 30% e 40%. Logo após à realização dessas misturas foi determinada a porcentagem de material pulverulento e a densidade real da mistura.

Seguindo a metodologia de Lara et al. (1995) foi calculado o traço da argamassa mista considerando o fator água/cimento por meio da fórmula:

$$A/C = C_{\text{água}} ((\text{Cimento} / d_{\text{cimento}}) + (\text{Areia} / d_{\text{composto}})) / (1000 - C_{\text{água}}). \quad (1)$$

Onde: A/C = fator água cimento; $C_{\text{água}}$ = consumo de água (346 litros); Cimento = proporção de cimento (1); d_{cimento} = densidade do cimento (g cm^{-3}); Areia = proporção do composto ou da areia pura (8); e d_{composto} = densidade da areia ou da mistura de areia e composto (g cm^{-3}).

O cálculo do consumo de cimento foi expresso pela fórmula:

$$C_{\text{cimento}} = C_{\text{água}} / (A/C). \quad (2)$$

Onde: C_{cimento} = consumo de cimento

Para o cálculo do consumo de areia/composto foi empregada a fórmula:

$$C_{\text{areia/composto}} = C_{\text{cimento}} \times \text{proporção em peso de areia/composto} \quad (3)$$

Onde: $C_{\text{areia/composto}}$ = consumo de areia/composto.

O cálculo do teor de finos faltantes para a média aderência, avaliada neste estudo, considerou-se 500 kg de finos por metro cúbico de argamassa aplicando-se a fórmula:

$$\text{Finos faltantes} = (\text{Teor de finos em função da aderência} - \text{finos do cimento} + \text{finos da mistura areia/composto}) \quad (4)$$

Onde: Finos da areia/composto = consumo de areia/composto x % material pulverulento.

A correção dos finos em relação à massa específica real da cal foi calculada por:

$$\text{Correção dos finos} = \text{finos faltantes} \times (d_{\text{cal}} / d_{\text{areia/composto}}) \quad (5)$$

Na incorporação do composto à areia média-fina foi corrigida a quantidade de água absorvida por meio da fórmula:

$$\text{Consumo de água} = \text{Quantidade de água} + \text{Quantidade de composto incorporado em massa} \times \% \text{ de absorção de água pelo resíduo} \quad (6)$$

4.5. Ensaio de resistência à compressão

A resistência à compressão da argamassa mista de revestimento foi avaliada empregando-se a norma NBR 13.279 de 1995 – *Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão*. O composto dregs-grits foi substituído em massa na areia de rio, seca em estufa nas proporções de 0, 10, 20, 30 e 40%, que correspondem aos traços das argamassas mistas. Para cada fração foram determinados a densidade e o teor de material pulverulento. Os traços (cimento:cal:areia/composto:água) avaliados foram: traço padrão (1:1,26:6,74:1,78) (TABELA 2), traço 10% (1:1,03:6,97:1,91) (TABELA 3), traço 20% (1:0,74:7,26:2,11) (TABELA 4), traço 30% (1:0,40:7,60:2,27) (TABELA 5) e traço 40% (1:0,08:7,92:2,48) (TABELA 6). No cálculo do traço padrão não ocorreu correção de água. O ensaio foi realizado somente para os traços contendo 0, 10, 20, 30 e 40% do composto, porque o traço contendo 50% de substituição gerou excesso de finos no material, mesmo para uma alta aderência na argamassa. Foram utilizados no ensaio o cimento CP-III-40-RS e a cal hidratada CH-III. A execução dos corpos de prova seguiu as recomendações da NBR 7215 de 1996 (FIGURA 11). Os corpos de prova foram removidos dos moldes após 72 horas da moldagem e o processo de cura ocorreu dentro de uma caixa de isopor lacrada, contendo serragem umedecida para manter a umidade (FIGURA 12) até o ensaio de compressão dos corpos de prova aos 28 dias (FIGURA 13). Os traços ensaiados foram classificados com o auxílio da norma NBR 13.281 de 2005 – *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Requisitos* (TABELA 7).

Tabela 2 - Cálculo do traço padrão para ensaio de resistência à compressão.

Cálculo do traço padrão (0%)				
Cálculos		Consumo de material		TRAÇO 0
Fator A/C	1,78	Cimento (g)	194,68	1
Consumo de cimento (g)	194,68	Cal (g)	245,46	1,26
Consumo de areia (g)	1557,47	Areia (g)	1312,01	6,74
Finos Faltantes (g)	230,56	Água (mL)	346	1,78
Correção de finos (g)	245,46			

Tabela 3 - Cálculo do traço 10 para ensaio de resistência à compressão.

Cálculo do traço 10 (10%)				
Cálculos		Consumo		TRAÇO 10
Fator A/C	1,76	Cimento (g)	196,69	1
Consumo de cimento (g)	196,69	Cal (g)	201,83	1,03
Consumo de areia (g)	1573,54	Areia/Composto 10 (g)	1371,71	6,97
Finos Faltantes (g)	191,74	Água (mL)	376,59	1,91
Correção de finos (g)	201,83			
Correção de água (mL)	376,59			

Tabela 4 - Cálculo do traço 20 para ensaio de resistência à compressão.

Cálculo do traço 20 (20%)				
Cálculos		Consumo		TRAÇO 20
Fator A/C	1,78	Cimento (g)	194,01	1
Consumo de cimento (g)	194,01	Cal (g)	143,39	0,74
Consumo de areia (g)	1552,11	Areia/Composto 20 (g)	1408,72	7,26
Finos Faltantes (g)	134,17	Água (mL)	408,83	2,11
Correção de finos (g)	143,39			
Correção de água (mL)	408,83			

Tabela 5 - Cálculo do traço 30 para ensaio de resistência à compressão.

Cálculo do traço 30 (30%)				
Cálculos		Consumo		TRAÇO 30
Fator A/C	1,77	Cimento (g)	196,02	1
Consumo de cimento (g)	196,02	Cal (g)	77,44	0,40
Consumo de areia (g)	1568,19	Areia/Composto 30 (g)	1490,75	7,60
Finos Faltantes (g)	73,30	Água (mL)	445,73	2,27
Correção de finos (g)	77,44			
Correção de água (mL)	445,73			

Tabela 6 - Cálculo do traço 40 para ensaio de resistência à compressão.

Cálculo do traço 40 (40%)				
Cálculos		Consumo		TRAÇO 40
Fator A/C	1,78	Cimento (g)	194,68	1
Consumo de cimento (g)	194,68	Cal (g)	16,30	0,08
Consumo de areia (g)	1557,47	Areia/Composto 40 (g)	1541,17	7,92
Finos Faltantes (g)	15,31	Água (mL)	483,47	2,48
Correção de finos (g)	16,30			
Correção de água (mL)	483,47			



Figura 11 - Traços da argamassa após o processo de adensamento nos moldes.



Figura 12 - Corpos de prova (5 cm de diâmetro por 10 cm de altura) acondicionados em caixa de isopor com serragem úmida para ensaio de resistência à compressão aos 28 dias de cura.



Figura 13 – Ensaio de compressão.

Tabela 7 - Classificação da argamassa de revestimento quanto a sua resistência à compressão.

Classe	Resistência à Compressão (MPa)
P1	$\leq 2,0$
P2	1,5 a 3,0
P3	2,5 a 4,5
P4	4,0 a 6,5
P5	5,5 a 9,0
P6	$> 8,0$

4.6. Ensaio de resistência de aderência à tração

Fundamentado na NBR 13528 de 2010 – *Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração* e na NBR 15258 de 2005 – *Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração* foi realizado o ensaio de resistência de aderência à tração para os traços contendo 0, 10, 20 e 30% de substituição de areia média-fina pelo composto dregs-grits. O cálculo do traço da argamassa foi realizado novamente, pois uma maior quantidade de material foi necessária.

Para este ensaio foram construídas 2 paredes de 61 cm x 61cm (FIGURA 14), contendo cada uma 9 tijolos cerâmicos de 8 furos. Após 24 horas estas paredes foram chapiscadas com traço convencionalmente usado. O chapisco permaneceu em processo de cura por 26 dias antes da aplicação das argamassas mistas de revestimento nos diferentes traços estudados (FIGURA 15).



Figura 14 - Construção do substrato para realização do ensaio.



Figura 15 - Paredes chapiscadas após 26 dias de cura.

Cada uma das fachadas das 2 paredes foram revestidas com a argamassa mista contendo traços nas proporções de 0,10, 20 e 30% do composto dregs-grits (FIGURA 16). A

argamassa mista foi aplicada na espessura de 1,5cm conforme a NBR 13749 de 1996 – *Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação* (TABELA 8). A argamassa contendo o traço com 40% de substituição de areia média-fina por composto não foi considerada nesta avaliação por apresentar baixos valores de resistência à compressão. Como foi necessária uma maior quantidade de materiais para a confecção dos corpos de prova, os traços (cimento:cal:areia/composto:água) foram novamente calculados, sendo avaliados: traço padrão (1:1,61:6,39:1,79) (TABELA 9), traço 10% (1:1,23:6,77:1,93) (TABELA 10), traço 20% (1:0,90:7,10:2,10) (TABELA 11) e traço 30% (1:0,51:7,49:2,28) (TABELA 12). Após os cálculos dos traços as argamassas foram aplicadas às paredes e ensaiadas aos 28 dias.



Figura 16 - Argamassa mista de revestimento aplicada sobre as paredes chapiscadas: (a) traço padrão, sem adição do composto dregs-grits – 0%, (b) traço contendo composto dregs-grits – 10%, (c) traço contendo composto dregs-grits – 20%, e (d) traço contendo composto dregs-grits – 30%.

Tabela 8 - Espessuras admissíveis de revestimento interno e externo para paredes e tetos (NBR 13749:1996).

Camada de revestimento	Espessura (mm)	
	Interna	Externa
Emboço	5 a 20	15 a 25
Emboço e reboco	10 a 30	20 a 30
Camada Única	5 a 30	15 a 30

Tabela 9 - Cálculo do traço padrão para ensaio de resistência de aderência à tração.

Cálculo do traço padrão (0%)				
Cálculos		Consumo de material		TRAÇO 0
Fator A/C	1,79	Cimento (g)	192,95	1
Consumo de cimento (g)	192,95	Cal (g)	311,57	1,61
Consumo de areia (g)	1543,61	Areia (g)	1232,04	6,39
Finos Faltantes (g)	289,78	Água (mL)	346	1,79
Correção de finos (g)	311,57			

Tabela 10 - Cálculo do traço 10 para ensaio de resistência de aderência à tração.

Cálculo do traço 10 (10%)				
Cálculos		Consumo		TRAÇO 10
Fator A/C	1,78	Cimento (g)	194,79	1
Consumo de cimento (g)	194,79	Cal (g)	238,97	1,23
Consumo de areia (g)	1558,32	Areia/Composto 10 (g)	1319,35	6,77
Finos Faltantes (g)	224,60	Água (mL)	375,42	1,93
Correção de finos (g)	238,97			
Correção de água (mL)	375,42			

Tabela 11 - Cálculo do traço 20 para ensaio de resistência de aderência à tração.

Cálculo do traço 20 (20%)				
Cálculos		Consumo		TRAÇO 20
Fator A/C	1,78	Cimento (g)	193,87	1
Consumo de cimento (g)	193,87	Cal (g)	174,36	0,90
Consumo de areia (g)	1550,93	Areia/Composto 20 (g)	1376,57	7,10
Finos Faltantes (g)	163,02	Água (mL)	407,39	2,10
Correção de finos (g)	174,36			
Correção de água (mL)	407,39			

Tabela 12 - Cálculo do traço 30 para ensaio de resistência de aderência à tração.

Cálculo do traço 30 (30%)				
Cálculos		Consumo		TRAÇO 30
Fator A/C	1,78	Cimento (g)	194,79	1
Consumo de cimento (g)	194,79	Cal (g)	99,58	0,51
Consumo de areia (g)	1558,32	Areia/Composto 30 (g)	1458,74	7,49
Finos Faltantes (g)	93,59	Água (mL)	443,59	2,28
Correção de finos (g)	99,58			
Correção de água (mL)	443,59			

Após o período de cura de 28 dias, foi realizado o ensaio de resistência à tração, conforme a NBR 13528 de 2010 - *Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Determinação da Resistência de Aderência à Tração* (FIGURA 17).

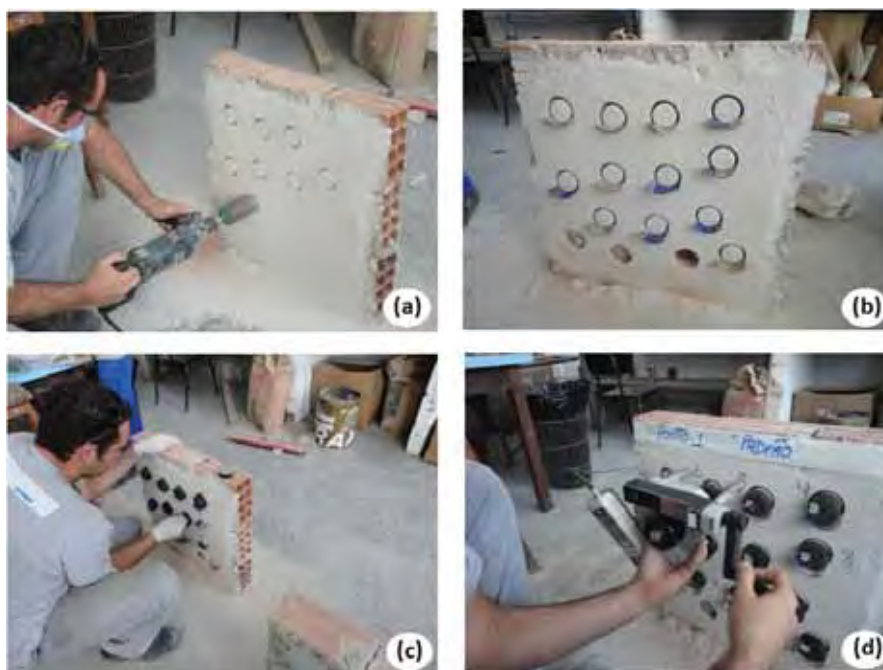


Figura 17 - Ensaio de resistência de aderência à tração, conforme NBR 13528 de 2010 (a) Perfuração da camada de argamassa para a obtenção dos corpos de prova, (b) colocação de anteparo de papelão para facilitar a colagem das pastilhas, (c) colagem das pastilhas, especificadas na norma, com epóxi e (d) numeração dos corpos de prova e ensaio de aderência da argamassa de revestimento.

A NBR 13.749 de 1996 foi empregada na avaliação dos resultados de resistência de aderência (R_a) à tração de argamassa mista inorgânica de parede interna e teto, com acabamento para pintura ou base para reboco (TABELA 13).

Tabela 13 - Referência de resistência de aderência à tração para argamassa inorgânica.

Local de Aplicação		Acabamento	R_a (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
Teto		-	$\geq 0,20$

4.7. Estimativa do consumo de argamassa em uma residência

O consumo de argamassa contendo o composto dregs-grits foi estimado considerando uma residência de $90,25 \text{ m}^2$ (determinado aleatoriamente) composta de dois quartos, uma sala, uma cozinha, um banheiro e uma lavanderia, com portas de mesmo tamanho para todos os cômodos de 80 cm de largura x 210 cm de altura. No cálculo de área (m^2) foi considerada a aplicação da argamassa no teto e foram desconsideradas as áreas dos pisos e azulejos e o espaçamento entre as vigas. As janelas da sala e dos quartos foram dimensionadas

considerando que estas correspondem a um quinto da área do piso dos cômodos, conforme determinado pelo Decreto Estadual 12.342 de 1978. Souza (2005) relatou que as perdas durante a aplicação da argamassa de revestimento interno de paredes são de, no mínimo 8% e no máximo 234%, com mediana de 102%.

4.8. Estimativa da viabilidade econômica do aproveitamento do composto dregs-grits em argamassa

Para a estimativa da viabilidade econômica foi realizado um comparativo entre o aproveitamento do composto dregs-grits na argamassa mista de revestimento em substituição à areia média fina e sua disposição em aterro sanitário licenciado, procedimento adotado pela maioria das indústrias de celulose e papel. De acordo com os dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - SINAPI/IBGE, o custo do m³ da areia média no estado de São Paulo em maio de 2011 foi de R\$102,30.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Quantidade de composto dregs-grits gerada pelo processo industrial

A quantidade de composto dregs-grits gerada pela indústria de celulose, que forneceu o material estudado, reduziu nos últimos 5 anos, conforme verificado na tabela 14, em função de ajustes operacionais no processo industrial sem, contudo, modificar a tecnologia de produção.

Tabela 14 - Média mensal de geração do composto dregs-grits (FIBRIA, 2011).

Ano	Quantidade gerada por mês (t)
2005	3228
2006	3575
2007	2583
2008	2648
2009	1629
2010	1923

A portaria nº518/2004 - padrões de potabilidade da água, do Ministério da Saúde, foi empregada juntamente com a NBR 15.900 - Parte 1, porque esta norma estabelece que, se a qualidade da água usada para amassamento atender à Portaria nº518/2004, pode ser usada sem causar danos patológicos futuros ao material de construção civil.

A partir da análise de parâmetros físico-químicos do composto realizada em 2010 verificou-se que os elementos presentes na massa bruta (TABELA 15) como o cianeto, os lixiviados (TABELA 16) como o bário e os elementos solubilizados (TABELA 17) como o bário, cloreto, ferro, sódio, sulfato, zinco apresentam valores abaixo do permitido pela Portaria nº518 de 2004 do Ministério da Saúde. A concentração de óleos e graxas na massa bruta do composto dregs-grits foi de 0,089%, sendo considerada baixa, pois, de acordo com PETRUCCI (2005), somente concentrações superiores a 4% podem reduzir em até 20% a resistência mecânica da argamassa. A presença e o tipo de sulfetos também precisam ser avaliados na massa bruta porque, conforme PETRUCCI (2005), concentrações acima de 0,01% de sulfetos de sódio podem ser prejudiciais à resistência mecânica da argamassa. No entanto, na análise da massa bruta (TABELA 15), a concentração de sulfeto foi de 0,000367%, que também é considerada baixa, visto que este é usado em pequenas quantidades como agente precipitante no processo de fabricação de celulose.

Tabela 15 - Parâmetros avaliados em massa bruta do composto dregs-grits.

Parâmetro	Unidade	Limite de Detecção	Padrão estabelecido pela Portaria nº 518 de 2004	Resultado
pH	Unidade de	0,1	6 a 9,5	12,1
Sulfeto	mg Kg ⁻¹	0,0013	-	3,67
Cianeto	mg L ⁻¹	0,0007	0,07	0,0084
Óleos e Graxas	mg Kg ⁻¹	0,33	-	890
Líquidos Livres	mL g ⁻¹	1mL 100g ⁻¹	-	Ausente

O ensaio de lixiviação mostrou que o fluoreto está acima do valor máximo permitido pela Portaria nº518 de 2004, porém no ensaio de solubilização este atendeu os valores estabelecidos por esta portaria (Tabela 16 e

Tabela 17, respectivamente). Os fenóis não apresentaram limitações de concentração; já os surfactantes apresentaram valores mais de 3 vezes superiores aos máximos permitidos pela portaria que é de 0,5 mg L⁻¹. Um pH ≥5 é ideal para a água de amassamento do concreto, de acordo com a NBR 15.900-1 de 2009. A concentração de sódio no ensaio de solubilização está acima do limite estabelecido pela portaria, porém de acordo com a NBR 15.900-1 de 2009 as águas salobras podem ser usadas para o amassamento da argamassa desde que esta argamassa não tenha função estrutural.

Tabela 16 - Parâmetros avaliados no composto dregs-grits pelo teste de lixiviação.

Parâmetro	Unidade	Limite de Detecção	Padrão estabelecido pela Portaria nº 518 de 2004	Resultado
Bário	mg L ⁻¹	0,0004	0,7	0,052
Fluoreto	mg L ⁻¹	0,0063	1,5	23,66
pH final 8,5				
Tempo de lixiviação: 18 horas				
Teor de sólidos secos: 53%				

Tabela 17 - Parâmetros avaliados no composto pelo teste de solubilização.

Parâmetro	Unidade	Limite de Detecção	Padrão estabelecido pela Portaria nº 518 de 2004	Resultado
Fenóis	mg L ⁻¹	0,0003	-	0,0185
Bário	mg L ⁻¹	0,0004	0,7	0,028
Cloreto	mg L ⁻¹	0,4	250	291,73
Ferro	mg L ⁻¹	0,0005	0,3	0,054
Fluoreto	mg L ⁻¹	0,0063	1,5	0,55
Sódio	mg L ⁻¹	0,02	200	280,000
Sulfato	mg L ⁻¹	0,0180	250	246,96
Surfactantes	mg L ⁻¹	0,069	0,5	1,64
Zinco	mg L ⁻¹	0,0007	5	0,020
pH final 12,1				
Volume de água deionizada: 2 litros				

Tempo de solubilização: 7 dias

Pela análise química verificou-se que não houve alteração dos parâmetros avaliados no composto seco em estufa e seco ao ar (TABELA 18).

Tabela 18 - Parâmetros químicos de amostras do composto dregs-grits secas em estufa e ao ar.

Parâmetros	Concentração no composto (%)
Mg	0,191
Si	0,376
S	0,673
Cl	0,252
K	0,769
Ca	39,596
Mn	0,61
Fe	0,696

O composto dregs-grits apresentou 84% de fração inorgânica e 16 % de fração orgânica com perda a 600 °C. O sódio não foi detectado na análise com fluorescência de raios-X, cujos resultados são apresentados na tabela 18, porque esta análise não é indicada para detectar elementos químicos leves.

5.2. Granulometria do composto dregs-grits

No peneiramento do composto verificou-se que sua fração grosseira (FIGURA 18) não apresentou características favoráveis ao aproveitamento em argamassa de revestimento, mas que este pode ser aproveitado em outros materiais da construção civil, como na substituição de pedrisco e seixo rolado, o que precisa ser estudado.



Figura 18 - Fração grosseira do composto dregs-grits.

As granulometrias médias das frações grosseira e fina do composto dregs-grits podem ser observadas, respectivamente, nas figuras 19 e 20.

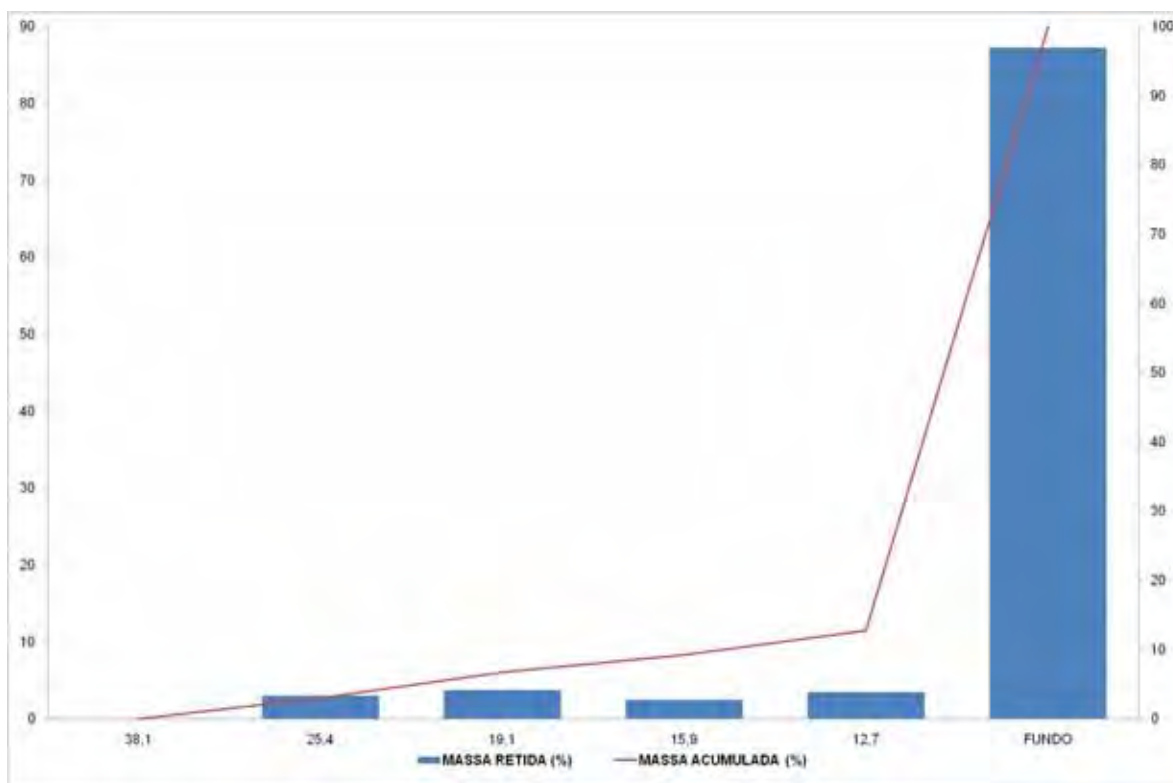


Figura 19 - Composição granulométrica média da fração grosseira do composto dregs-grits.

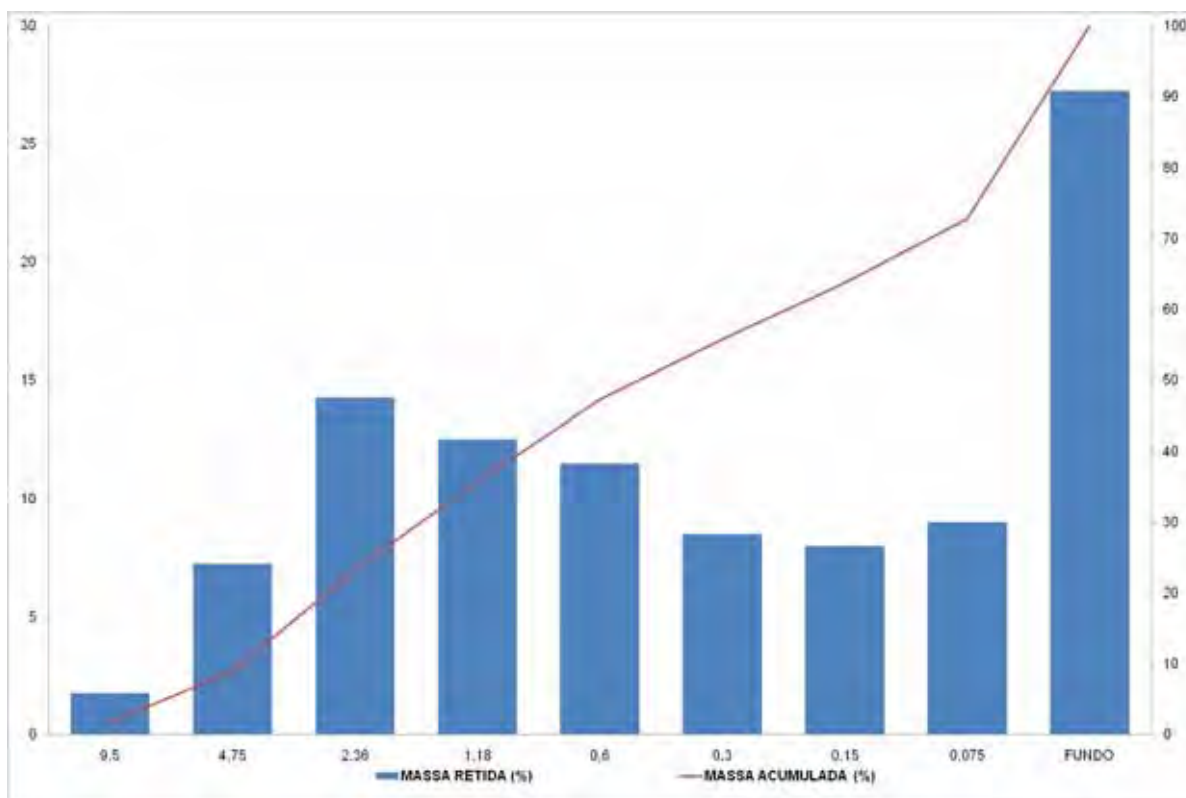


Figura 20 - Composição granulométrica média da fração fina do composto dregs-grits.

Os resultados de granulometria média das frações grosseira e fina do composto dregs-grits apresentados nas figuras 19 e 20 foram comparados com os resultados encontrados por Modolo (2006) para os resíduos dregs e grits. Modolo (2006) não faz referência à fração grosseira de dregs e grits em seu estudo. A granulometria da fração fina do composto dregs-grits demonstrada na figura 20 foi semelhante à encontrada por Modolo (2006), variando de 4,75mm a 0,3mm. O teor de finos encontrado por Modolo (2006) aparece em pequena quantidade e apenas no resíduo grits, diferentemente do que mostra a figura 20, na qual o material fino passante pela peneira 0,075 mm apresentou uma grande quantidade.

Estes resultados mostraram que de 87,25% da fração média e fina do composto, 90,5% apresentou potencial de aproveitamento em argamassa mista de revestimento interno, com uma granulometria passante pela peneira 4,75mm, que correspondeu a cerca de 79% do composto em base seca (789,61 g kg⁻¹).

5.3. Determinação de impurezas orgânicas do composto

Na figura 21 pode-se observar que o material seco em estufa, ao contrário do material seco ao ar, apresentou coloração mais clara comparada à da solução padrão e atendeu aos padrões de impurezas orgânicas aceitáveis pela NBR NM 49 de 2001 para a utilização do composto na argamassa.

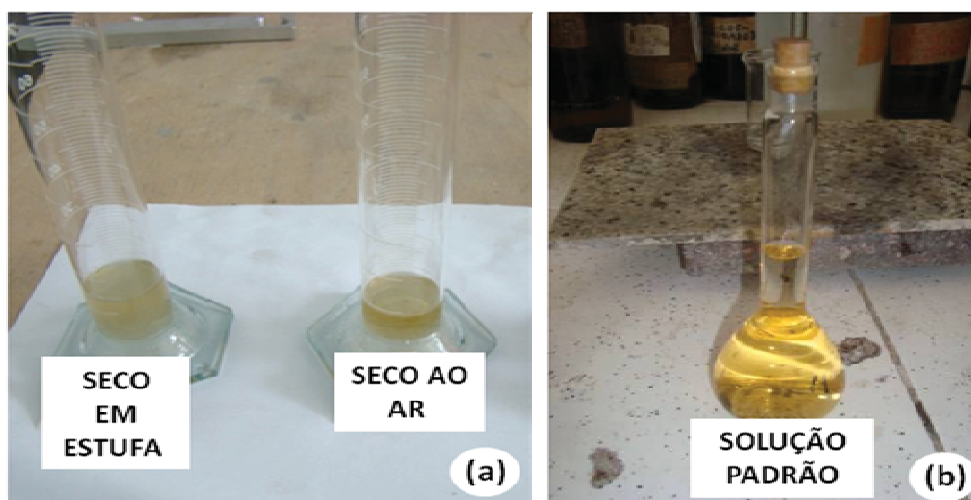


Figura 21 - Ensaio para a determinação da presença de impurezas orgânicas no composto dregs-grits, conforme a Norma NBR NM 49 de 2001: (a) solução contendo o composto seco em estufa à esquerda e seco ao ar à direita e (b) solução padrão (SANTOS, 2009).

5.4. Resistência mecânica do composto e da areia de rio

Nas tabelas 19 e 20 são apresentadas as frações do composto dregs-grits e da areia de rio separadas por peneiramento, após moagem de 5 minutos em cada um dos três ensaios.

Tabela 19 – Frações do composto dregs-grits separadas por peneiramento.

Peneira (mm)	1º ensaio (g)	2º ensaio (g)	3º ensaio (g)
2,36	5	5	5
1,18	5	0	0
0,6	125	60	30
0,3	385	555	660
0,15	400	335	280
Fundo	80	35	15

Tabela 20 – Frações da areia separadas por peneiramento.

Peneira (mm)	1º ensaio (g)	2º ensaio (g)	3º ensaio (g)
2,36	5	5	5
1,18	45	35	30
0,6	265	250	260
0,3	425	435	410
0,15	210	230	235
Fundo	35	50	60

Ao contrário do que se esperava, após o processo de moagem, ao invés dos materiais tornarem-se mais finos e passarem pelas peneiras de menor malha, a maior parte da areia de rio e, principalmente, do composto dregs-grits, ficou retida nas peneiras de 0,6mm a 0,15mm. Esse comportamento foi mais evidente para o composto dregs-grits, havendo acúmulo de material na peneira 0,3mm, enquanto as frações retidas nas peneiras inferiores diminuíram.

Pela determinação do teor de umidade foi possível verificar que a areia apresentou 0,35% e o composto 1,30% de umidade, após o ensaio de moagem. Além disso, também foi observado que o teor de material pulverulento da areia foi de 3,05%, enquanto o do composto foi de 60,45% após a realização do ensaio.

Estes resultados indicam que a comparação entre a areia de rio e o composto dregs-grits por meio de peneiramento foi comprometida, devido à grande quantidade de material pulverulento somada à maior absorção de umidade pelo composto após o ensaio, que promovem a agregação de suas partículas e dificulta o processo de separação de suas frações por peneiramento.

5.5. Massa específica e massa específica aparente do composto

O composto dregs-grits apresentou massa específica aparente de $1,498 \text{ g cm}^{-3}$ e a massa específica de $2,67 \text{ g cm}^{-3}$. De acordo com PETRUCCI (2005), as areias comumente usadas como agregado miúdo apresentam, em média, massa específica de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$, semelhante à apresentada pelo composto dregs-grits que, de acordo com este parâmetro, pode substituir a areia média-fina na produção da argamassa de revestimento.

5.6. Absorção de água pelo composto dregs-grits

A absorção de água pela fração média-fina do composto dregs-grits foi de 22,3%, sendo este valor utilizado no cálculo da quantidade de água necessária para a produção da argamassa. No cálculo dos traços estudados foi considerada a quantidade de composto em substituição à areia média-fina, de tal forma que a água necessária à hidratação do cimento não fosse absorvida, em parte, pelo composto.

5.7. Teor de material pulverulento do composto

Na fração média-fina do composto verificou-se que 44% corresponde ao material pulverulento. Para cada traço 0, 10, 20, 30 e 40% de composto substituído na areia foi calculado o teor de material pulverulento, utilizado no cálculo da quantidade de finos faltantes no traço da argamassa.

5.8. Resistência da argamassa de revestimento interno à compressão

A tabela 21 mostra a média do resultado do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias de cura dos corpos de prova de argamassa mista de revestimento nos traços 0, 10, 20, 30 e 40%.

Tabela 21 - Resistência à compressão da argamassa mista de revestimento nos traços 0, 10, 20, 30 e 40% aos 28 dias de cura e classificação, conforme NBR 13.281/2005.

Traços	Classificação NBR 13281/2005	Força média (kgf)	Diâmetro 1 médio (cm)	Diâmetro 2 médio (cm)	Área média (cm ²)	Resistência à Compressão (MPa)
0	P4	1046,67	5,002	5,007	19,67	5,22
10	P3	706,67	5,007	5,022	19,75	3,51
20	P3	553,33	4,985	4,993	19,55	2,78
30	P2	453,33	4,958	4,96	19,32	2,30
40	P1	313,33	4,962	4,978	19,40	1,58

De acordo com a NBR 13.281/2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos – foram avaliados os valores médios de resistência à compressão apresentados pelos diferentes traços da argamassa de revestimento interno aos 28 dias de cura. Nesta avaliação, a argamassa no traço padrão foi classificada como P4; a argamassa nos traços com 10 e 20% de substituição pelo composto foi classificada como P3; a argamassa de traço com 30% de substituição pelo composto foi classificada como P2 e a argamassa de traço com 40% de substituição pelo composto foi classificada como P1, sendo que a argamassa classificada como P4 apresenta maior resistência do que a argamassa classificada como P1. Não existe limite para a argamassa mista de revestimento interno em relação à compressão simples, porém a classificação da argamassa, de acordo com a NBR 13.281/2005, é importante para registro na embalagem do produto, na documentação que acompanha o produto entregue a granel ou ainda quando a argamassa é preparada na obra.

5.9. Resistência de aderência à tração da argamassa mista de revestimento interno

Os resultados do ensaio de resistência à tração para os traços 0, 10, 20 e 30% de substituição da areia média-fina pelo composto dregs-grits, estão apresentados na tabela 22.

Tabela 22 - Resistência de aderência à tração da argamassa mista de revestimento nos traços 0, 10, 20 e 30% aos 28 dias de cura.

Pontos avaliados	Resistência de aderência à tração (MPa) ¹¹			
	Argamassa padrão	Argamassa (10%)	Argamassa (20%)	Argamassa (30%)
1	>0,09	0,04	0,04	>0,00
2	>0,08	0,14	>0,13	0,01
3	0,10	>0,19	>0,09	0,03
4	0,08	0,03	0,03	0,07
5	0,06	0,06	>0,05	>0,02
6	0,07	0,16	>0,16	>0,12
7	0,11	0,19	0,18	>0,19
8	0,21	0,10	0,09	0,00
9	>0,04	0,13	>0,11	0,12
10	>0,04	0,14	0,06	>0,03
11	0,18	0,15	0,11	>0,11
12	>0,15	0,04	0,04	>0,01
Média	0,085	0,135	0,09	0,03

¹¹ O sinal de maior (>) diante dos valores de resistência de aderência à tração indica que o ponto de ruptura da argamassa é superior ao obtido no ensaio. Essa ocorrência foi devido ao ponto de ruptura do ensaio ocorrer na argamassa de revestimento.

As médias de resistência à tração obtidas para as argamassas de todos os traços avaliados foram comparadas com a resistência à tração $\geq 0,20\text{MPa}$, especificada pela norma NBR 13.749/1996, como referência para parede interna e teto, com base para reboco ou pintura. Nesta comparação verificou-se que as argamassas contendo 10 e 20% de substituição de areia média-fina por composto apresentou resistência média à tração mais próxima à especificada pela norma do que a argamassa padrão. A baixa resistência à tração obtida em todos os traços, inclusive para a argamassa padrão, pode ser explicada pela pequena espessura do chapisco, sendo observado durante a realização do ensaio que nos locais onde a espessura de aplicação do chapisco foi maior, os valores de aderência foram superiores. Estes resultados foram importantes para comprovar o potencial de aproveitamento do composto dregs-grits na produção de argamassa mista de revestimento interno. No entanto, recomenda-se a realização de mais ensaios para avaliar o desempenho desta argamassa contendo diferentes proporções de composto, quando aplicada sobre substratos variados, como sobre parede construída com blocos de concreto e sobre chapisco aplicado em maior espessura.

5.10. Consumo de argamassa em uma residência

A tabela 23 apresenta a área total da residência estudada a ser coberta por argamassa mista de revestimento interno, considerando a espessura da argamassa de 1,5 centímetros.

Tabela 23 – Consumo de argamassa de revestimento interno em uma residência de 90,25m².

Áreas de revestimento e dos cômodos	Área (m ²)
Área dos quartos	24,5
Área da parede dos quartos	84
Teto dos quartos	24,5
Janela dos quartos	2,45
Porta dos quartos	1,68
Área do banheiro	6,25
Teto do banheiro	6,25
Área do corredor	2,5
Área da parede do corredor	13,5
Teto do corredor	2,5
Portas no corredor	3,36
Área da sala	36
Área da parede da sala	72
Teto da sala	36
Janela da sala	7,20
Portas da sala	10,86
Área da cozinha	14
Teto da cozinha	14
Área da lavanderia	7
Teto da lavanderia	7
Área total da casa	90,25 m ²
Área total de aplicação da argamassa	232,52 m ²
Espessura da argamassa	0,015 m
Volume de argamassa	3,49 m ³

O consumo sem perdas de argamassa de revestimento interno em uma residência de 90,25 m² é de 3,49 m³. De acordo com Souza (2005), as perdas na aplicação da argamassa de revestimento podem ser da ordem de até 234%, porém essas perdas devem ser evitadas, visto que a geração de entulho durante a obra é considerada como um novo passivo ambiental e também indica ineficiência no processo de construção. Neste estudo, caso seja adotada a mediana de 102% de perdas, o consumo de argamassa por residência é de 7,05 m³. Adotando-se o traço da argamassa padrão como (1:1,61:6,39:1,79), o total de areia média-fina consumido por essa residência foi estimado em 8.771 kg, com um custo de R\$102,30 o m³ (ou 2630kg de areia média fina úmida para uma densidade da areia de 2,63 g cm⁻³). Considerando os dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - SINAPI/IBGE, para o mês de maio de 2011, o custo total de areia média-fina necessária para a produção de argamassa padrão aplicada à área da residência estudada foi estimada em R\$341,17.

5.11. Estimativa da viabilidade econômica e ambiental do uso do composto dregs-grits em argamassa

Em 2010 foram gerados mensalmente 1.923 toneladas do composto dregs-grits, atingindo em torno de 23.076 toneladas naquele ano. Segundo a indústria geradora, situada na cidade de Jacareí-SP, o custo de envio de uma tonelada de resíduo para aterro sanitário, situado na cidade de Santa Isabel-SP, é de R\$130,00, portanto, o custo de disposição de 1923 toneladas geradas por mês (no ano de 2010) foi da ordem de R\$249.990,00 por mês, incluindo neste cálculo o transporte do composto, por aproximadamente 21 km, da indústria até o aterro sanitário.

O aproveitamento do composto dregs-grits, substituindo em 20% a massa de areia (densidade de $2,63 \text{ g cm}^{-3}$), na produção da argamassa mista de revestimento representou uma redução de 526 kg na extração de 1 m^3 de areia de leito de rios. Em termos financeiros, o metro cúbico ou 2.630 kg de areia média custa em média R\$ 102,30 reais, de acordo com os dados de maio de 2011 do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - SINAPI/IBGE.

O aproveitamento do composto dregs-grits substituindo em 20% a areia média-fina em argamassa mista de revestimento representou uma redução de 526 kg de areia para cada metro cúbico de argamassa. Portanto, para cada 5 m^3 de areia que seriam consumidos na produção de argamassa padrão será preservado 1 m^3 de areia de rio com o início do aproveitamento do composto substituindo em 20% a massa de areia de rio média-fina.

De acordo com Ribeiro (2010), a extração de areia sempre gera modificações ambientais de caráter irreversível ou temporário e, independente da tecnologia utilizada, sempre acarretará danos ao meio ambiente. Segundo este autor, entre os impactos negativos causados pela extração de areia estão as alterações da paisagem, a supressão da vegetação, as modificações na estrutura do solo, alterações na funcionalidade das matas ciliares, interferências sobre a fauna, alterações nas calhas dos cursos d'água, modificações e contaminação do lençol freático, além de outros danos ambientais. Portanto, do ponto de vista ambiental, o aproveitamento do composto dregs-grits na produção de argamassa poderá reduzir a pressão sobre os recursos naturais, principalmente por diminuir a extração de areia no leito e na várzea dos rios, preservando estes ecossistemas.

Durante os ensaios para avaliar o potencial de aproveitamento do composto dregs-grits em produtos da construção civil, verificou-se que sua fração média fina poderia ser aproveitada na produção de argamassa mista de revestimento, mas o potencial de aplicação da

fração grosseira deste composto precisa ser estudado. Considerando que aproximadamente 79% do composto em base seca podem ser aproveitados para a produção de argamassa mista de revestimento interno das 1.096,11 t mês⁻¹ de composto em base seca geradas na indústria, cerca de 865,5 t podem ser aproveitadas para este fim.

Para cada 1m³ de argamassa mista de revestimento contendo 20% de substituição de areia média fina pela fração fina do composto dregs-grits, no traço de 20% (1:0,9:7,1:2,1), são necessários: 183,5 kg de cimento; 165,1 kg de cal; 260,5 kg de composto em base seca; 1042 kg de areia média fina e 385,2 litros de água. Portanto, para serem aproveitadas as 865,49 t mês⁻¹ de composto em base seca será necessária a produção de 3.322,42 m³ de argamassa mista de revestimento interno.

Neste estudo verificou-se que para revestir internamente uma residência de 90,25 m², consumindo 3.322,45 m³ de argamassa mista, com 102% de perdas na aplicação, serão necessários 7,05 m³ de argamassa para a construção de 472 residências por mês. Por outro lado, se não houver perdas durante a aplicação serão necessários apenas 3,49 m³ de argamassa e maior será o número de famílias favorecidas neste processo, com a construção mensal de 952 residências, além de minimizar a geração de novos passivos ambientais.

A aplicação de argamassa convencional teria um custo total de areia média-fina de R\$341,17 e com a incorporação de 20% do composto dregs-grits esse custo da areia seria de R\$285,74, o que representa uma economia de R\$55,43 para cada residência com revestimento de argamassa mista com 20% de composto incorporado.

Estes resultados foram importantes para comprovar o potencial de aproveitamento do composto dregs-grits na produção de argamassa mista de revestimento interno. No entanto, recomenda-se a realização de mais ensaios para avaliar o desempenho desta argamassa contendo diferentes proporções de composto, quando aplicada sobre substratos variados, como sobre parede construída com blocos de concreto e sobre chapisco aplicado em maior espessura. Ainda, recomendam-se estudos mais aprofundados relativos à viabilidade econômica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O custo da empresa para a disposição mensal de 1923 toneladas do composto dregs-grits em aterro sanitário é da ordem de R\$249.990,00, que seriam economizados com o aproveitamento desse composto substituindo em 20% a areia média-fina na produção de argamassa mista de revestimento interno; além disso, esse aproveitamento do composto poderia reduzir a extração de 1 m³ de areia.

Para o aproveitamento de toda a fração média-fina do composto dregs-grits gerada mensalmente pela indústria de celulose e papel em questão, substituindo em 20% a areia média fina na produção de argamassa mista de revestimento interno será necessária a construção de 952 residências de 90,25 m², sem perdas na aplicação.

As perdas devem ser evitadas visto que a geração de entulho é considerada um novo passivo ambiental, portanto o processo de aplicação da argamassa mista de revestimento interno de paredes e tetos deverá ser mais bem estudado para que estas perdas sejam eliminadas.

Devido ao grande volume de composto dregs-grits gerado pela indústria de papel e celulose, a viabilidade de seu aproveitamento em argamassa mista de revestimento, substituindo a areia de rio, depende de produção em grande escala. Isso poderia ser realizado se a indústria associasse o processamento destes resíduos à produção de argamassa em seu processo fabril. Se essa alternativa fosse adotada pela indústria, os custos de transporte de resíduos a uma empresa terceirizada especializada na produção de argamassa seriam reduzidos. A terceirização da produção de argamassa no aproveitamento deste composto deve ser realizada sob um rigoroso controle de qualidade a fim de atender as normas brasileiras de argamassa mista de revestimento.

Os benefícios econômicos, sociais e ambientais, pela diminuição da extração de areia de rio e pela disposição adequada destes resíduos, são imensuráveis.

7. CONCLUSÕES

O composto dregs-grits apresenta características favoráveis ao aproveitamento em argamassa mista de revestimento, mas estudos posteriores são necessários para avaliar a presença de surfactantes, cuja concentração é três vezes superior ao limite estabelecido pela Portaria nº518 de 2004.

Cerca de 79% do composto em base seca, gerado na fabricação de celulose, pode ser aproveitado na produção de argamassa mista de revestimento interno.

O teor de material pulverulento e a absorção de água do composto, após moagem, foram da ordem de 44 e 22,3% respectivamente. O teor de impurezas orgânicas atendeu aos padrões e a massa específica de $2,67 \text{ g cm}^{-3}$ é próxima ao valor da massa específica das areias comumente usadas como agregado miúdo, que é de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$.

Este estudo comprovou o potencial de aproveitamento do composto dregs-grits na produção de argamassa mista de revestimento interno de paredes e tetos, substituindo em até 20% a areia média-fina no traço (1:0,90:7,10:2,10), sem prejuízo das propriedades de resistência à tração, o que corresponde à preservação de 1 m^3 de areia a cada 5 m^3 extraídos para a produção de argamassa.

O consumo de todo o composto gerado pela indústria de celulose e papel necessita da construção mensal de 952 residências de $90,25 \text{ m}^2$, sem considerar as perdas durante a aplicação da argamassa.

Recomenda-se a realização de mais ensaios de resistência de aderência à tração para avaliar o desempenho desta argamassa, contendo diferentes proporções de composto, quando aplicada sobre substratos variados como, por exemplo, sobre parede construída com blocos de concreto e sobre chapisco aplicado em maior espessura. E ainda recomendam-se estudos mais aprofundados relativos à viabilidade econômica da produção da argamassa em grande escala e ao atendimento das demais normas brasileiras.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro, 1996.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação, Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 10007: Resíduos Sólidos – Amostragem, Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 13279: Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro, 1995.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 13281: Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Requisitos, Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração, Rio de Janeiro, 2010.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação, Rio de Janeiro, 1996.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 15258: Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração, Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos, Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica”, Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR NM 30: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água”, Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR NM 46: Agregado – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem, Rio de Janeiro, 2003.

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR NM 49: Agregado Miúdo – Determinação de impurezas orgânicas, Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR NM 51: Agregado Graúdo – Ensaio de Abrasão “Los Angeles”, Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR NM 52: Agregado Miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente, Rio de Janeiro, 2002.
- ALMEIDA, H.C. et al. *Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs)*. Química Nova, São Paulo, 2007.
- AMORIM, F. R. *Co-processamento de dregs em argila para produção de cerâmica vermelha*. 2007. 108p. (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Área de concentração em Meio Ambiente) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Celulose e Papel [base de dados na Internet]. *Relatório Estatístico 2007/2008*. São Paulo: BRACELPA; [atualizada em 2009; acesso em 03 Setembro 2009]. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/rel2007.pdf>>.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Celulose e Papel [base de dados na Internet]. *Relatório Estatístico 2009/2010*. São Paulo: BRACELPA; [atualizada em 2011; acesso em 11 abril 2011]. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2009.pdf>>.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Celulose e Papel [base de dados na Internet]. *Relatório Estatístico Mensal – Março 2011*. São Paulo: BRACELPA; [atualizada em 2011; acesso em 11 abril 2011]. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf>>.
- BANDEIRA, Z. R. *Utilização Racional de Resíduos da Indústria de Celulose como Matéria-Prima para a Construção Civil – Considerações Ambientais*. 1996. 128p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D.; FERREIRA, C.A.; ANDRADE, G.C. *Resíduos da Indústria de Celulose em Plantios Florestais*. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 37, p. 99-106, Jul./Dez, 1998.
- BRASIL – Decreto Estadual, n. 12.342, de 27 de setembro de 1978 – Aprova o Regulamento a que se refere o Art. 22 do Decreto-Lei 211, de 30 de março de 1970 que dispõe sobre normas de promoção, preservação e recuperação da saúde no campo de competência da Secretaria de Estado da Saúde.
- BRASIL - Lei Federal, n. 12.305, de 02 de agosto de 2010 – institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, alterando a Lei nº 9.605 de 1998 e dando outras providências.

- BRASIL - Portaria do Ministério da Saúde, n. 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.
- CABRAL, F. et al., *Use of pulp mill inorganic wastes as alternative liming materials*. Bioresource Technology. p.8294-8298, 2008.
- CACHIM, P. B., *Mechanical properties of brick aggregate concrete*. Construction and Building Materials. v.23, p.1292-1297, 2009.
- CARASEK, H. *Materiais de construção civil e Princípios de ciência e engenharia de materiais*. Ed. G. C. Isaia. IBRACON. Volume 2, Cap 26, 1712p, São Paulo, 2007.
- CARVALHO, A.G.M., GUERRINI, A.I., VALLE, C.F.do., CORRADINI, L. *A compostagem como processo catalisador para a reutilização dos resíduos de fábrica de celulose e papel*. In: 35º CONGRESSO E EXPOSIÇÃO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 9, São Paulo, 2002.
- EVANGELISTA, L., BRITO, J. de, *Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates*. Cement & Concrete Composites, v.32, p.9-14, 2009.
- FIBRIA. Dados do processo de fabricação de celulose e papel . São Paulo. Fev. 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE [homepage na Internet], *Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI*, Brasília, DF; [acesso em 01 Julho 2011] *Tabela 2062 - Preços medianos, por materiais e serviços* [aproximadamente 1 tela]. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=2062&z=t&o=14&i=P>>.
- KOUKOUZAS, K. N., VACILATOS, C., GLARAKIS, I. *Mixture of lignite fly ash in concrete: physical and mineralogical characterization – Case study from ptolemais, Nothern Greece* . 2005. Greece, p.9.
- LARA, D. NASCIMENTO; MACEDO, A; GALLO, G.; PEREIRA, L.; POTY. *Dosagem de Argamassas*. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. Goiânia. P.63-72. Ago.1995.
- MACHADO, C. C.; SANTANNA, G. L.; LIMA, D. C.; CARVALHO, C. A. B; PEREIRA, R. S.; FERNANDES, D. C. M *Comportamento geotécnico de misturas granulométrica de solo-grits*. Revista Árvore, Viçosa, vol.33, n.3, p.555-562, junho 2009.
- MACHADO, C. C., PEREIRA, R. S., PIRES, J. M. M., *Influência do tratamento térmico do resíduo sólido industrial (Grits) na resistência mecânica de um latossolo para pavimentos de estradas florestais*. Revista Árvore, Viçosa, v. 27, n. 4, agosto 2003.
- MARTINS, F. M. *Caracterização Química e Mineralógica de Resíduos Sólidos Industriais Minerais do Estado do Paraná*. 2006. 126p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- MEDDAH, M. S., BENCHEIKH, M. *Properties of concrete reinforced with different kinds of industrial waste fibre materials*. 2009. Japan. University of Hiroshima, Hiroshima. *Construction and Building Materials*, v.23, p. 3196-3205.
- MEYER, C. *The greening of the concrete industry*. *Cement & Concrete Composites*, v.31, p.601-605, 2009.
- MODOLO, R. C. E. *Valorização de resíduos do sector de pasta e papel em produtos da construção civil*. 2006. 119p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de Aveiro, Portugal. [acesso em 21 Setembro 2009]. Disponível em <<http://biblioteca.sinbad.ua.pt/teses/2007001047>>.
- NAIKI, T. R., FRIBERG, T. S., CHUN, Y. *Use of pulp and paper mill residual solids in production of cellucrete*. 2004. USA. *Cement and Concrete Research*, v.34, p.1229-1234.
- NAIKI, T. R., CHUN, Y., KRAUS, R. N. *Use of residual solids from pulp and paper mills for enhancing strength and durability of ready-mixed concrete*. 2003. USA. University of Wisconsin, Milwaukee, p.280.
- NURMESNIEMI, H. et. al. *The use of a sequential leaching procedure for heavy metal fractionation in green liquor dregs from a causticizing process at a pulp mill*. 2005. Finland. *Chemosphere*, p.1475-1484.
- ÖSTERÅS, A. H., SUNNERDAHL, I., GREGER, M. *The impact of wood ash and green liquor dregs application on Ca, Cu, Zn and Cd contents in bark and wood of Norway spruce*. 2005. Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution*, 17-29p.
- PETRUCCI, E. G. R. *Concreto de cimento Portland – 14. ed. rev. por Vladimir Antonio Paulon - São Paulo: Globo, 2005*
- PIOTTO, Z. C. *Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel - Estudo de Caso*. 2003. 379p. (Doutorado em Engenharia, Área de concentração em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. [acesso em 21 Setembro 2009]. Disponível em <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/teses/tese_zeila_c_piotto.pdf>.
- PINTO, S. DE J. F. *Valorização de resíduos da indústria da celulose na produção de agregados leves*. 2005. 118p. (Dissertação de Mestrado) – Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro – Universidade de Aveiro, Portugal. [acesso em 21 Setembro 2009]. Disponível em <<http://biblioteca.sinbad.ua.pt/teses/2007000206>>.
- RAMEZANIANPOUR, Ali A. et al. *Influence of various amounts of limestone powder on performance of Portland limestone cement concretes*. 2009. *Cement & Concrete Composites*, v. 31, p. 715-720.
- RIBEIRO, R. M. *A exploração em cavas de areia no Vale do Paraíba: Atores e conflitos – Estudo de caso de Jacareí e São José dos Campos*. 2010. 185p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Vale do Paraíba, Brasil. [acesso em 03 Julho 2011]. Disponível em <<http://biblioteca.univap.br/dados/000003/00000318.pdf>>.

SANTOS JR., J. O. *Estudo Comparativo do Comportamento entre Argamassas Produzidas com Areia Vermelha e Arisco*, 48p, 2009.

SILVA, M. G.; BRINGUETE, A.P.O.; CASTELLO G.M. e NUNES, F.L. *Avaliação Técnica de Resíduos Industriais da Grande Vitória*; In: Seminário IPT/UFES “Resíduos Industriais para Redução de Custos na construção Habitacional”, Espírito Santo, 1994.

SMOOK, G.A., *Handbook for pulp and paper technologists*. Joint Textbook. Committee of the Paper Industry. TAPPI, Atlanta, 1989

SOUZA, U. E. L. de. *Como reduzir perdas nos canteiros: manual de gestão do consumo de materiais de construção*. São Paulo: Pini, 128 p, 2005.

THOMAS, C. O., THOMAS, R. C., HOVER, K. C. *Wastepaper Fibers in Cementitious Composites*. Journal of Environmental Engineering, v. 113, n.1, New York, p.16-31. 1987.

WANNENMACHER, N., KIMURA, S., FREDERICK W. J. *Solubility of Aluminosilicates in Kraft Green and White Liquors*. 2005. Oregon. Ind. Eng. Chem. Res. v.44, 9316-9322p.

9. ANEXO 1

Segundo Carasek (2007) as argamassas são classificadas de acordo com vários critérios e com sua função na construção civil, conforme descrito a seguir.

- Quanto à natureza do aglomerante:
 - Argamassa aérea;
 - Argamassa hidráulica.
- Quanto ao tipo de aglomerante:
 - Argamassa de cal;
 - Argamassa de cimento;
 - Argamassa de cimento e cal;
 - Argamassa de gesso;
 - Argamassa de cal e gesso.
- Quanto ao número de aglomerantes:
 - Argamassa simples;
 - Argamassa mista.
- Quanto à consistência da argamassa:
 - Argamassa seca;
 - Argamassa plástica;
 - Argamassa fluida.
- Quanto à plasticidade da argamassa:
 - Argamassa pobre ou magra;
 - Argamassa média ou cheia;
 - Argamassa rica ou gorda.
- Quanto à densidade de massa da argamassa:
 - Argamassa leve;
 - Argamassa normal;
 - Argamassa pesada.
- Quanto à forma de preparo ou fornecimento:
 - Argamassa preparada em obra;
 - Mistura semipronta para argamassa;
 - Argamassa industrializada;
 - Argamassa dosada em central.

As argamassas também podem ser classificadas em relação a sua função na construção, como:

- Para construção de alvenarias:
 - Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria);
 - Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alvenaria de vedação.
- Para revestimento de paredes e tetos:
 - Argamassa de chapisco;
 - Argamassa de emboço;
 - Argamassa de reboco;
 - Argamassa de camada única;
 - Argamassa para revestimento decorativo monocamada.
- Para revestimento de pisos:
 - Argamassa de contrapiso;
 - Argamassa de alta resistência para piso.
- Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos):
 - Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante;
 - Argamassa de rejuntamento.
- Para recuperação de estruturas:
 - Argamassa de reparo.