

UNESP
Faculdade de Engenharia do Campus de
Guaratinguetá

Guaratinguetá
2012

LAURA MASTEGUIM MÜLLER

DURABILIDADE DA ARGAMASSA MISTA DE
REVESTIMENTO INTERNO CONTENDO DREGS-GRITS EM
SUBSTITUIÇÃO À AREIA

Projeto final apresentado para avaliação de
Graduação em Engenharia de Materiais, da
Universidade Estadual Paulista.

Orientador: Prof. Dra. Isabel Cristina de B Trannin

Guaratinguetá

2012

M95 Muller, Laura Masteguim
8d Durabilidade da argamassa mista de revestimento interno contendo
dregs-grits em substituição à areia / Laura Masteguim Müller –
Guaratinguetá : [s.n], 2012.
70 f. : il.

Bibliografia: f. 63-67

Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.

Orientadora: Profa Dra Isabel Cristina de Barros Trannin

1. Materiais. 2. Construção Civil. 3. Termogravimetria. I. Título

CDU 69

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE

“GRADUADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS”



Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro

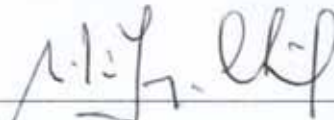
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dra. Isabel Cristina de B Trannin

Orientadora/UNESP-FEG



Prof. Dr. Sílvio Jorge Coelho Simões

UNESP-FEG



Doutorando Bruno Pavanelli Zanella

UNESP-FEG

DADOS CURRICULARES

LAURA MASTEGUIM MÜLLER

<u>NASCIMENTO</u>	<u>29.12.1988 – SÃO PAULO/SP</u>
<u>FILIAÇÃO</u>	<u>José Frederico de Faria Müller</u> <u>Elisabete Masteguim Müller</u>
<u>2004/2006</u>	<u>Ensino Médio</u> <u>Colégio Koelle</u>
<u>2008/2012</u>	<u>Curso de Graduação em Engenharia de Materiais</u> <u>Faculdade de Engenharia do Campus de</u> <u>Guaratinguetá - Universidade Estadual Paulista</u>

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Fred e Bete, a meu irmão Bruno, a toda minha família, e aos meus amigos que tive oportunidade de conhecer aqui na faculdade, pelo apoio incondicional e pela motivação para que eu sempre buscasse conquistar os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A meus pais e meu irmão, que sempre me apoiaram mesmo de longe, tornando esse sonho possível.

A minha orientadora, Prof. Dra. Isabel Cristina de B Trannin, não somente pelo apoio para conclusão deste trabalho, mas também pelo incentivo, dedicação e orientação, desde a iniciação até o trabalho de graduação.

Às minhas veteranas, Dani e Dri, por terem me ensinado o que era morar em uma república. Às minhas irmãs da República Tcheca por sempre terem acreditado em mim e me apoiado quando mais precisei, em especial para Mariane Costa.

Ao meu grupo de estudos, trabalhos, risadas, choro e muitas conquistas: Natalia Zuffo, Sabrina Rossi, Giovana Motta e Francielle Pinto.

Aos meus amigos que ingressaram comigo na faculdade, por terem lutado para que a primeira turma de crédito fosse formada da melhor maneira possível, independente do curso que fazíamos.

Aos meus amigos de Rio Claro, que mesmo a distância, sempre me incentivaram a não desistir do meu sonho e mostraram que não importa a distância, sempre poderei contar com eles.

A vida é cheia de obstáculos e é preciso saber superá-los para seguir adiante. A realização desta monografia foi um deles, que tive que administrar juntamente com as aulas e o estágio. Concluir este trabalho prova que o destino de nossa vida depende de nossas escolhas e que, nossos resultados são fruto de nossa própria dedicação e determinação. Agradeço a todas as pessoas que, de alguma forma, ajudaram para conclusão deste trabalho.

"O único lugar aonde o sucesso vem antes do
trabalho é no dicionário."

Albert Einstein

Muller, L. M. **Durabilidade da argamassa mista de revestimento interno contendo dregs-grits em substituição à areia.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

Este trabalho refere-se sobre a durabilidade de um novo material na construção civil. Ressalta-se o fato de que aumenta cada vez mais a busca por materiais alternativos, que não dependam somente dos recursos naturais e que ao mesmo tempo sejam uma alternativa para reutilização de resíduos industriais. Visto que os materiais de construção civil possuem uma prolongada vida útil e um elevado custo de obras civis e de manutenção, é fundamental a estimativa do comportamento de um novo produto. Desta forma, discute-se neste trabalho a durabilidade da argamassa mista de revestimento interno, composta com resíduos provenientes do processo Kraft de produção de celulose, conhecido com dregs-grits, em substituição parcial da areia. Foram realizados testes que simulassem condições adversas como ambientes de constante calor e um incêndio, com o intuito de analisar se o comportamento da argamassa mista condizia com o comportamento da argamassa padrão.

PALAVRAS-CHAVE: *Materiais, construção civil, termogravimetria.*

Muller, L. M., **Durabilidade da argamassa mista de revestimento interno contendo dregs-grits em substituição à areia.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

This paper concerns about the durability of new material in construction. It is noteworthy the fact that increases increasingly searching for alternative materials that do not depend only of natural resources and at the same time be an alternative for reuse of industrial waste. Since the construction materials have a long life and a high cost of civil works and maintenance, it is crucial to estimate the behavior of a new product. Thus , this work discuss the durability of mixed mortar lining , made with waste from the process Kraft pulp production , known as dregs and grits , in partial replacement of sand. Tests were conducted to simulate conditions as adverse environments of constant heat and fire, with the aim of analyzing the behavior of mortar mixed matched the behavior of standard mortar.

KEYWORDS: *materials, construction, thermogravimetry.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Crescimento médio (em milhões de toneladas) anual brasileiro de papel e celulose (2010).	21
Figura 2 - Taxa de Recuperação de Papéis Recicláveis (2011).....	22
Figura 3 - Produtividade das Florestas de Rápido Crescimento (m ³ ha-1ano-1) (2010).23	
Figura 4 - Diagrama simplificado da recirculação do processo Kraft (Gullichen e Fogelholn, 2000).....	25
Figura 5 - Esquema simplificado do processo Kraft (MODOLO, 2006).	28
Figura 6 - Curvas de distribuição granulométrica do dregs (MODOLO, 2006).	29
Figura 7 - Curvas de distribuição granulométrica do grits (MODOLO, 2006).....	30
Figura 8 - Curvas de distribuição granulométrica das areias do leito fluidizado.	30
Figura 9 - Esquema de classificação de resíduos sólidos (Cabral, 2007).....	33
Figura 10 - Incinerador de forno rotativo.	34
Figura 11 - Padrão de cores de recipientes para descarte de resíduos (CONAMA, 2001)	35
Figura 12 - Alternativas de revestimento de parede: (a) chapisco + emboço + reboco + pintura; (b) chapisco + camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM) (CARASEK, 2007).....	38
Figura 13 - Gráfico função de desempenho versus tempo descrevendo a durabilidade de um produto em determinadas condições ambientais (JOHN et al).	40
Figura 14 - Fluxograma referente à metodologia empregada (ZANELLA, 2011).	44
Figura 15 - Dregs e Grits armazenados em tambores de 200 litros (ZANELLA, 2011).46	
Figura 16 - Secagem do composto dregs-grits em estufa a 105o C ± 5oC por 24 horas. (ZANELLA, 2011).	46

Figura 17 - Moagem do composto dregs-grits em moinho de bolas conforma NBR NM 51/2001 (ZANELLA, 2011).	48
Figura 18 - Aspecto do composto dregs-grits úmido (a) e após secagem em estufa e moagem(b) (ZANELLA, 2011)	48
Figura 19 - Corpos-de-prova adensados dentro do molde.....	49
Figura 20 - Corpos de prova armazenados na caixa de isopor.	49
Figura 21 - Balança Analítica Marte AL500C (e=0,01g).....	53
Figura 22 - EXSTAR600 TG/DTA.	54
Figura 23 - Dados da perda de massa (g).	56
Figura 24 - Dados da perda de massa (%).	57
Figura 25 - Corpos-de-prova após serem retirados da estufa.	57
Figura 26 - Curvas Termogravimétricas da argamassa no traço 0% ,argamassa no traço 10%, argamassa no traço 20%, cal, areia, cimento e composto dregs-grits, nas temperaturas de 0oC a 1000°C.	58
Figura 27 - Curvas Termogravimétricas da argamassa no traço 0% (padrão), argamassa no traço 10%, argamassa no traço 20%, cal, areia, cimento e composto dregs-grits, em temperaturas de 0°C a 500°C.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Participação brasileira no panorama mundial da produção de celulose e papel (2010)	21
Tabela 2 - Área de Florestas Plantas no Mundo (2010)	23
Tabela 3 - Principais componentes químicos do grãos expressa na forma de óxidos.....	27
Tabela 4 - Classificação de Resíduos Sólidos segundo a NBR 10004 (2004).	32
Tabela 5 - Relação das propriedades da argamassa de revestimento.	39
Tabela 6 - Principais mecanismos e agentes que atuam na degradação dos materiais utilizados na Construção Civil.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RDM	- Revestimento decorativo monocapa
RSI	- Resíduos Sólidos Industriais
BRACELPA	- Associação Brasileira de Celulose e Papel

Sumário

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 RECICLAGEM, REUSO/REAPROVEITAMENTO E SUSTENTABILIDADE	19
3.1.1 RECICLAGEM.....	19
3.1.2 REUSO/REAPROVEITAMENTO	19
3.1.3 SUSTENTABILIDADE	20
3.2 A INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE.....	20
3.3 OBTENÇÃO DA CELULOSE.....	24
3.3.1 PROCESSO KRAFT	24
3.3.2 DEFINIÇÃO DOS RESÍDUOS DREGS E GRITS.....	25
3.3.1 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DREGS E GRITS.....	28
3.4 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS- RSI.....	31
3.5 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS A ARGAMASSA.....	36
3.6 ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTOS INTERNOS	36
3.7 DEGRADABILIDADE /DURABILIDADE DA ARGAMASSA MISTA.....	39
4 MATERIAL E MÉTODOS	44
4.1.....	45
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO DREGS E GRITS.....	45
4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO COMPOSTO DREGS-GRITS	45
4.2.2 DETERMINAÇÃO DE IMPUREZAS ORGÂNICAS	48
4.2.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA	49
4.2.4 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DA ÁGUA	50
4.2.5 TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO	50
4.3 DEGRADABILIDADE DA ARGAMASSA MISTA	50
4.4 METODOLOGIA PARA SUBSTITUIÇÃO DA FRAÇÃO MÉDIA-FINA DA AREIA POR COMPOSTO	51
4.5 ENSAIOS.....	52

4.5.1 ENSAIO DE DEGRADABILIDADE TÉRMICA.....	52
4.5.2 ENSAIO TERMOGRAVIMÉTRICO	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
6. CONCLUSÕES.....	557
7. BIBLIOGRAFIA	63
8. ANEXOS.....	68
8.1 ANEXO 1	68

1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento industrial cada vez mais avançado, está crescendo também a necessidade de encontrar um destino adequado para os resíduos provenientes de processos industriais que, juntamente com a crescente degradação ambiental estão fazendo com que os recursos naturais se tornem cada vez mais escassos. Na busca por soluções visando reverter essa situação, dentre alternativas, destacam-se a reciclagem e a utilização de materiais alternativos.

Dentre os resíduos industriais utilizados em materiais alternativos pode-se citar o *grits*, oriundo do processo Kraft de produção da celulose. Conforme Gullichen e Fogelholn (2000) o processo Kraft (ou sulfato) é o mais utilizado mundialmente na produção de celulose. Este processo reutiliza grande parte dos reagentes empregados no cozimento da madeira, através de uma série de operações unitárias. Uma das etapas de recuperação é a caustificação, que tem como finalidade recuperar o principal produto químico utilizado no cozimento da madeira e onde é produzido o resíduo denominado *grits*, que se constitui no principal ponto de purga de elementos não processáveis.

No Brasil, a indústria de celulose e papel vem se destacando nos últimos anos e, atualmente, ocupa a quarta posição no ranking dos maiores produtores mundiais de celulose e uma das que mais tem potencial de continuar crescendo, pois quando se olha o potencial de produtividade das florestas de rápido crescimento de eucalipto, que é uma das matérias-primas da celulose, o Brasil é um dos países com melhores condições ambientais e territoriais, ocupando atualmente 58,5% do seu potencial espaço. Nos últimos 10 anos foram investidos, aproximadamente, 12 bilhões de dólares neste setor (BRACELPA, 2010). Essa crescente produção de celulose faz com que as empresas brasileiras deste setor busquem, cada vez mais, ajuda junto às universidades e aos órgãos de pesquisa, soluções para a correta disposição dos resíduos gerados, visando à minimização dos impactos tanto ambientais quanto econômicos. Falando em valores, segundo a CENIBRA (2010) a produção de 1 tonelada de celulose produz 0,268 tonelada de resíduos sólidos, ou seja, mais de um quarto de sua produção torna-se resíduo que não pode ser reaproveitado no processo.

Valores como esses fazem com que cada vez mais pesquisas sejam realizadas com o intuito de avaliar as possíveis utilizações destes resíduos na agricultura e no setor

de construção civil, que são os setores que mais absorvem os resíduos industriais. Para que esses resíduos de papel e celulose possam ser aproveitados em materiais da construção civil da melhor maneira, sem interferir na qualidade, resistência e durabilidade dos mesmos, são necessários estudos que garantam a continuidade dessas propriedades, sempre atendendo o mercado e as normas brasileiras.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a durabilidade da argamassa mista de revestimento interno de paredes e tetos com substituição da areia em 0% (padrão), 10% e 20%, em massa, pelo composto dregs-grits.

2.2. Objetivo específico

Avaliar a durabilidade da argamassa mista de revestimento contendo o composto dregs-grits em substituição à areia, por meio de ensaios que simulem os efeitos naturais de condições adversas, como o ensaio de degradabilidade térmica e o ensaio termogravimétrico, em observância às normas nacionais e/ou internacionais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RECICLAGEM, REUSO/REAPROVEITAMENTO E SUSTENTABILIDADE

3.1.1 RECICLAGEM

Existem diversos conceitos de reciclagem. Segundo CETESB (2005) apud Cabral (2007) a reciclagem refere-se a qualquer técnica que permita o aproveitamento de um resíduo, após um tratamento que altere as características físico-químicas do mesmo, podendo essa ser dividida em:

- ✓ **Reciclagem fora do Processo:** quando o resíduo é aproveitado como insumo em um processo diferente daquele que o gerou;
- ✓ **Reciclagem dentro do Processo:** quando o resíduo é aproveitado como insumo no próprio processo que o gerou.

A reciclagem também pode ser definida, segundo PNUD (1998), como o processo de reaproveitamento dos resíduos sólidos, em que os seus componentes são separados, transformados e recuperados, envolvendo economia de matérias-primas e energia, combate ao desperdício, redução da poluição ambiental e valorização dos resíduos, com mudança de concepção em relação aos mesmos.

3.1.2 REUSO/REAPROVEITAMENTO

Para CETESB (2005) apud Cabral (2007) reuso, ou reaproveitamento, diferencia-se da reciclagem, pois é definido como qualquer técnica de reutilização do resíduo sem que o mesmo seja submetido a tratamento que altere suas características físico-químicas, independente do fato de serem utilizados para mesma função ou não.

Para Nunez (2005) a alternativa de reaproveitamento de resíduos é válida, por exemplo, quando o processo de reciclagem é ineficiente, como muitas vezes é o caso do PET, no qual ocorre perda de aproximadamente 20% da produção durante as etapas de transformação do pós-consumo. Tampas, rótulos e lacres (anéis) têm aproveitamento comercial, porém não é feito seu processamento na empresa. As perdas também são atribuídas já na compra do material enfardado, pois os depósitos e / ou Centros de

Triagem misturam outros tipos de produtos, como metais, madeiras, e outros tipos de plástico, visando agregar peso aos fardos e aumentar o preço de venda, sendo o restante do material encaminhado aos aterros. O PET pode ser reaproveitado na produção de diferentes tipos de produtos, desde fibra de poliéster para o fabrico de roupas até novas embalagens para produtos não alimentícios.

3.1.3 SUSTENTABILIDADE

O conceito de sustentabilidade que foi estabelecido pela ONU descreve como “... o desenvolvimento que vai de encontro com as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades” (AGENDA 21 GLOBAL, 1992).

De acordo com Cabral (2007) a introdução deste conceito em setores tradicionais, como é o caso da construção civil, exige a quebra de alguns paradigmas de desenvolvimento e o uma atenção extra para questões ambientais.

3.2 A INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

Em outubro de 2012 a Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA relatou que o Brasil ainda se mantém na quarta posição no ranking dos maiores produtores mundiais de celulose, atrás apenas de EUA, China e Canadá, além de estar entre os dez maiores produtores de papel do mundo, conforme dados apresentados na Tabela 1 (BRACELPA, 2010).

Altos investimentos da indústria e o desenvolvimento econômico do Brasil tiveram impactos expressivos na produção de celulose na última década (Figura 1). O segmento praticamente dobrou o volume de celulose produzido nesse período, com um crescimento médio de 6,5% ao ano, números singulares quando comparados aos mercados mais tradicionais dessa indústria. Em 2008, o setor teve uma grande conquista: alcançou o posto de quarto produtor mundial de celulose – atrás apenas de Estados Unidos, Canadá e China. O recorde foi obtido em um período adverso, durante a crise financeira internacional. A posição foi mantida em 2011, quando o setor produziu 14 milhões de toneladas de celulose, apresentando um crescimento médio anual de 7,2% (BRACELPA, 2012).

Tabela 1 - Participação brasileira no panorama mundial da produção de celulose e papel (2010)

CELULOSE		PAPEL	
País	mil toneladas	País	mil toneladas
1. EUA	49.243	1. China	92.599
2. China	22.042	2. EUA	75.849
3. Canadá	18.536	3. Japão	27.288
4. Brasil *	14.164	4. Alemanha	23.122
5. Suécia	11.877	5. Canadá	12.787
6. Finlândia	10.508	6. Finlândia	11.789
7. Japão	9.393	7. Suécia	11.410
8. Rússia	7.421	8. Coreia do Sul	11.120
9. Indonésia	6.278	9. Indonésia	9.951
10. Chile	4.114	10. Brasil *	9.844
11. Índia	3.931	11. Índia	9.223
12. Alemanha	2.762	12. Itália	9.146
Demais	25.313	Demais	89.771
TOTAL MUNDO	185.582	TOTAL MUNDO	393.899

Fonte: RISI

* Fonte Bracelpa

A produção de papel, em 2011 chegou a 9,9 milhões de toneladas do produto. O país aumentou sua produção de papel em 27,0%, com crescimento médio de 5,5% ao ano, acompanhando as mudanças economia brasileira e em 2010, o posicionou-se como 10º produtor mundial de papel (BRACELPA, 2012).

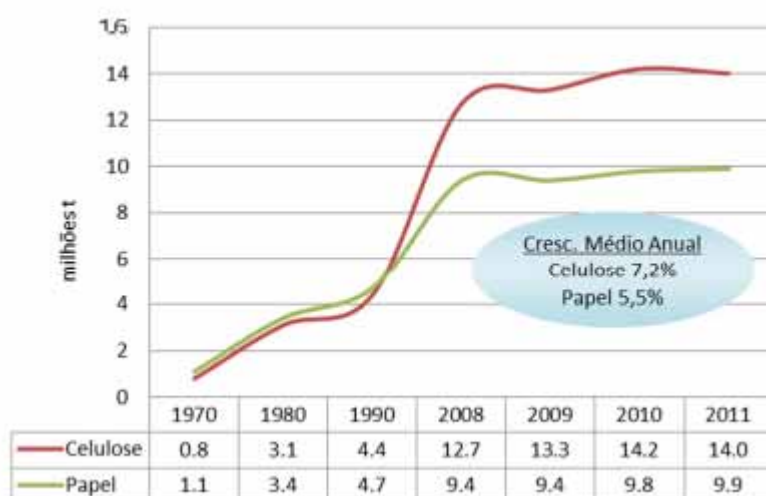


Figura 1- Crescimento médio (em milhões de toneladas) anual brasileiro de papel e celulose (2010).

No setor industrial brasileiro, as duas principais fontes de madeira utilizadas para a produção de celulose são as florestas plantadas de *pinus* e de *eucalipto*, responsáveis por mais de 98% do volume produzido. A celulose também pode ser obtida de outros tipos de plantas, não madeiras, como bambu, babaçu, sisal e resíduos agrícolas (bagaço de cana-de-açúcar).

A indústria de papel e celulose 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). Espécies florestais como estas são geralmente cultivadas em áreas já degradadas e não em substituição de florestas nativas. Normalmente, as florestas cultivadas pelas indústrias de papel e celulose são consorciadas com reservas nativas, que somam 2,2 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, 2010).

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. Entretanto apesar do consumo aparente de papel estar aumentando cada vez mais, como pode ser visto na Figura 2, a taxa de recuperação não está mais conseguindo acompanhar esse crescimento, pois desde 2005 apresentou uma pequena estabilização (BRACELPA, 2012).

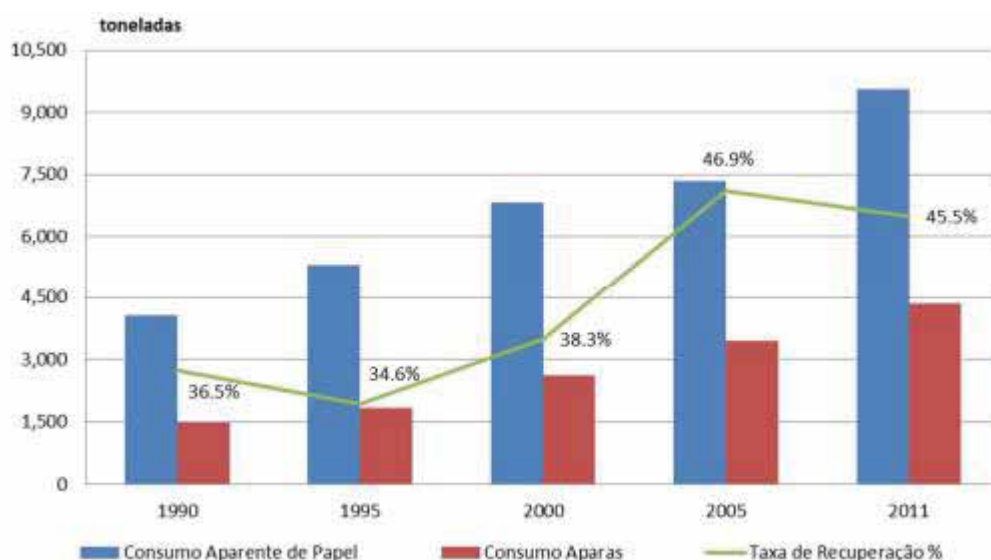


Figura 2 - Taxa de Recuperação de Papéis Recicláveis (2011).

A alta produtividade florestal brasileira é evidente quando comparada com outros países produtores. O Brasil apresenta na extensão territorial, como pode ser visto na Tabela 2, 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 são cultivadas por países que lideram a produção mundial.

Tabela 2 - Área de Florestas Plantas no Mundo (2010)

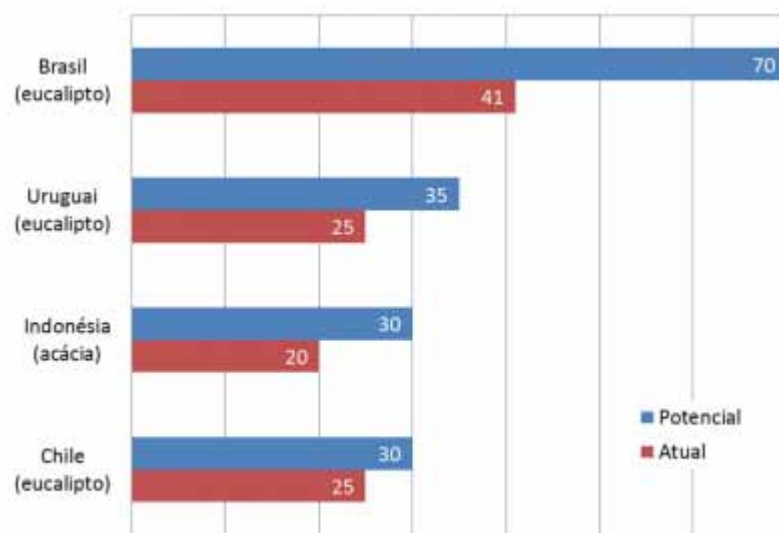
Países	Área Total do País	Área de Florestas Plantadas (¹)	%
Japão	36.450	10.326	28,3
Finlândia	30.409	5.904	19,4
Alemanha	34.887	5.283	15,1
Suécia	41.033	3.613	8,8
China	942.530	77.157	8,2
Índia	297.319	10.211	3,4
Chile	74.880	2.384	3,2
Estados Unidos	916.193	25.363	2,8
Indonésia	181.157	3.549	2,0
Brasil (²)	851.196	6.973	0,8
Celulose e Papel (³)		2.196	0,3

(¹) Fonte: FAO/STCP/SAE

(²) Fonte: ABRAF

(³) Fonte: Bracelpa 2010

De acordo com a Figura 3 é possível verificar que o Brasil atualmente utiliza 58,5% da sua capacidade produtiva, podendo ainda expandir ainda mais suas plantações (BRACELPA, 2010).



Fonte: Pöyry
* Fonte: Bracelpa

Figura 3 - Produtividade das Florestas de Rápido Crescimento (m³ha-1ano-1) (2010).

3.3 OBTENÇÃO DA CELULOSE

Atualmente um dos principais processos de obtenção de celulose é o processo Kraft (que em alemão significa “força”). Segundo Gullichen e Fogelholn (2000) este processo é a evolução do processo Soda, patenteado em 1867 e teve a primeira planta industrial em 1885 na Suécia. Esse processo também é conhecido como “sulfato”, pois é utilizado o sulfato de sódio (Na_2SO_4) para reposição das perdas dos compostos químicos inorgânicos, durante a recuperação química do licor negro no processo.

3.3.1 PROCESSO KRAFT

Segundo Gullichen e Fogelholn (2000) o processo Kraft consiste na separação da celulose da lignina através do cozimento dos cavacos à temperaturas entre 160°C e 170°C na presença do licor branco. O licor branco é uma solução fortemente alcalina (pH 14), sendo seus componentes ativos o NaOH (hidróxido de sódio) e o Na_2S (sulfeto de sódio). O licor branco também contém pequenas quantidades de carbonato de sódio (Na_2CO_3), sulfato de sódio (Na_2SO_4), tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), cloreto de sódio (NaCl) e carbonato de cálcio (CaCO_3). Estes outros materiais são considerados inertes do ponto de vista do cozimento da madeira e são adicionados ao licor branco em função dos contaminantes que acompanham as matérias primas (ou insumos) ou em consequência da ineficiência do ciclo de recuperação química. Durante o cozimento, as fibras são separadas por meio da dissolução da lignina e de parte das hemiceluloses no licor de cozimento, transformando-o em licor negro, denominado também de licor preto. A Figura 4 apresenta o diagrama simplificado da recirculação química no processo Kraft.

As reações da combustão total podem ser representadas pela Equação 1:



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).

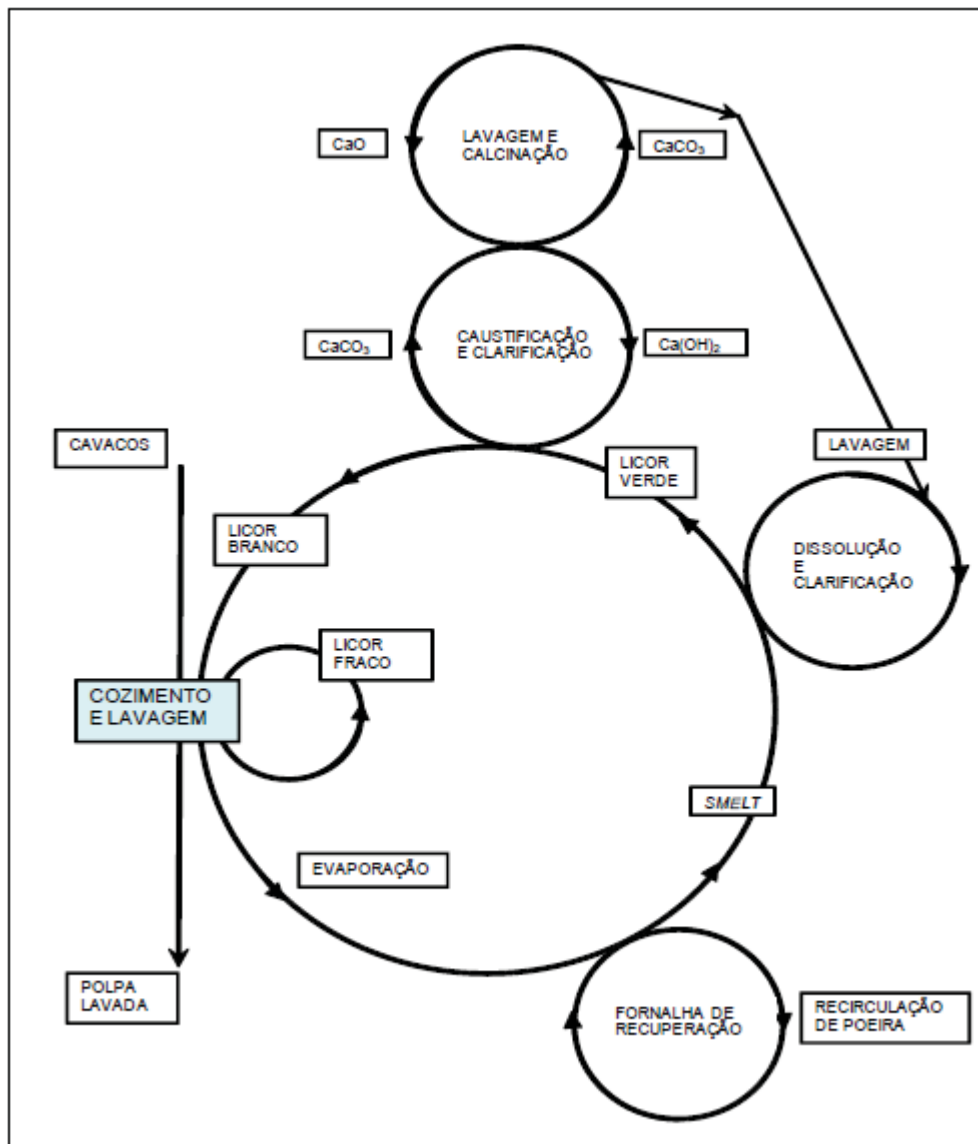


Figura 4 - Diagrama simplificado da recirculação do processo Kraft (Gullichen e Fogelholn, 2000).

3.3.2 DEFINIÇÃO DOS RESÍDUOS DREGS E GRITS

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

Os grits são impurezas como areias, calcárias 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 (Equação 2):



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 liberação de inertes para posterior remoção (MODOLO, 2006).

O grits tem origem da seguinte maneira: 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 a cal peletizada, um material de cor acinzentada, também conhecido como grits. Durante esse processo, o hidróxido de cálcio do forno da cal finaliza o processo de caustificação da lixívia verde, separando o grits, retirando-o e encaminhando-o para aterros (MODOLO, 2006).

Outros pesquisadores como Machado et al. (2003), Pereira et al. (2006b) e Souza e Cardoso (2008), ao caracterizar o grits, também destacam o alto teor de cálcio presente no resíduo. A perda ao fogo elevada e o alto teor de CaO (óxido de cálcio) confirma a constituição carbonática do resíduo (SOUZA e CARDOSO, 2008). Também foi detectada a fase calcita (CaCO₃) do resíduo. Através da análise dos extratos lixiviados e solubilizados, o grits foi classificado como classe IIA, isto é, resíduo não perigoso e não inerte (SOUZA e CARDOSO, 2008; MACHADO et al., 2009). Conforme Machado et al. (2007) o grits constitui-se de areia, pedregulho, calcário (CaCO₃) e outras impurezas, podendo possuir, também, quantidades de CaO, Ca(OH)₂ e Na₂CO₃. A Tabela 3 apresenta a composição química dos constituintes expressa na forma de óxidos.

Tabela 3 - Principais componentes químicos do grits expressa na forma de óxidos.

Referência	Composição química (%)							
	Ca	Mg	SiO ₂	P	K	Na	S	Al
1	20,00	ND	79,00	----	----	----	----	ND
2	53,50*	0,60*	----	0,26	0,12	0,70	0,18	0,09
3	35,38*	0,43*	----	0,37	0,04	0,22	0,13	0,13
4	95,40*	----	0,78	----	0,08*	0,76*	----	< 0,1*

1 – Machado et al. (2003); 2 e 3 – Pereira et al. (2006b); 4 – Souza e Cardoso (2008).

ND - abaixo do limite de detecção.

* em forma de óxido.

Fonte: Machado et al. (2003), Pereira et al. (2006b); e Souza e Cardoso (2008), adaptado pelo autor

De acordo com Souza e Cardoso (2008), resultados obtidos a partir de análises granulométricas apresentam faixas granulométricas semelhantes às areias e britas naturais, o que reafirmando a possibilidade de utilizar este resíduo em substituição ao agregado natural utilizados de argamassas.

Em função da origem do grits, este apresenta soda cáustica residual proveniente do ciclo de recuperação. A soda cáustica residual deve ser eliminada do grits por duas razões principais: (METHA e MONTEIRO, 1994)

- evitar acidentes (queimaduras químicas) durante o manuseio
- evitar o excesso de álcalis, que deve ser mantido abaixo de 0,6% para evitarem-se as reações álcali-agregado (RAA).

O processo de lavagem do grits requer cuidados tanto no caso de dispor adequadamente a água utilizada ou no caso de reutilização desta água, que constitui basicamente em uma solução aquosa de soda cáustica. Pera apud Leite (2001) ainda avaliou os impactos resultantes do beneficiamento dos resíduos, destacando a contaminação da água e do solo, como um incentivo a mais para a aceitação de um novo material no mercado.

A Figura 5 apresenta outro esquema simplificado do processo Kraft na produção de celulose no qual se pode observar o ponto de degradação dos dregs e grits:

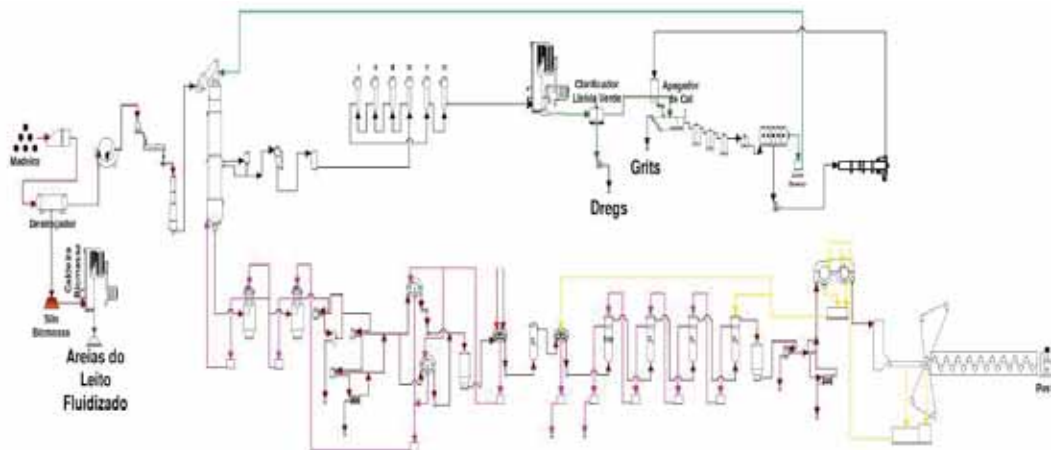


Figura 5 - Esquema simplificado do processo Kraft (MODOLO, 2006).

3.3.1 APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DREGS E GRITS

A crescente busca por novos materiais que apresentem fontes alternativas e que atendam as necessidades do mercado têm aberto um leque de diferentes opções de estudo, tendo destaque a reutilização de resíduos, antes jogados fora. Dentre esses resíduos o dregs, o grits e as cinzas de caldeira produzidos pelo processo Kraft, durante a industrialização da celulose, recebem destaque.

As áreas que mais vêm se destacando na pesquisa por esses novos materiais são as áreas de agricultura e construção civil. Na agricultura, o uso das cinzas de caldeira e de resíduos de celulose adicionados aos adubos minerais em plantios florestais, proporcionou ganhos expressivos em volume de madeira, praticamente dobrando a produtividade do eucalipto, devido à melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BELLOTE et al., 1998). Por outro lado, também foi observado nesse estudo de Balote 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 devido a compostagem, a qualidade destes resíduos da indústria de papel e celulose melhorou, visando sua aplicação agrícola, uma vez que a compostagem acelerou a queda e estabilizou a relação C: N, promovendo a homogeneização do material. Ainda no setor agrícola Almeida et al. (2007) constataram pela análise química do lote de dregs alcalino que o 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. Entretanto, Österås et al. (2005) verificaram que a aplicação de dregs e cinzas de caldeiras por um período mais extenso em solos cultivados com espécies florestais não acumulou metais pesados, como cobre (Cu), cádmio (Cd) e zinco (Zn), no caule das árvores, havendo também uma diminuição da concentração de Cd, o que é um fator positivo para espécies vegetais sensíveis a este metal. No mesmo estudo ainda é relatado que, as cinzas de madeira peletizadas usadas na aplicação em curto período de tempo deve ser realizada em quantidades menores ou em mistura com restos de licor verde, a fim de diminuir ou eliminar o acúmulo de metais pesados encontrados nos troncos das árvores. No estudo de Cabral et al. (2008), os autores também confirmam que os resíduos podem colaborar para a melhoria da fertilidade do solo, além de atuarem como corretivos de acidez.

Pinto (2005) verificou que o material composto com resíduos industriais ficou menos poroso e que o grits pôde simular o efeito de cobertura da calcita ou dolomita no processo industrial. Em ensaios de caracterização, o autor destacou 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.

Buscando analisar a viabilidade de substituir a areia por resíduos, Modolo (2006) extrapolou as curvas granulométricas para mostrar que o dregs e o grits apresentam granulometrias que atendem a especificação exigida para aplicação desejada, neste caso, pavimentos rodoviários.

As figuras 6 a 8 apresentam, respectivamente, as curvas de distribuição granulométricas do dregs, grits e das areias do leito fluidizado.

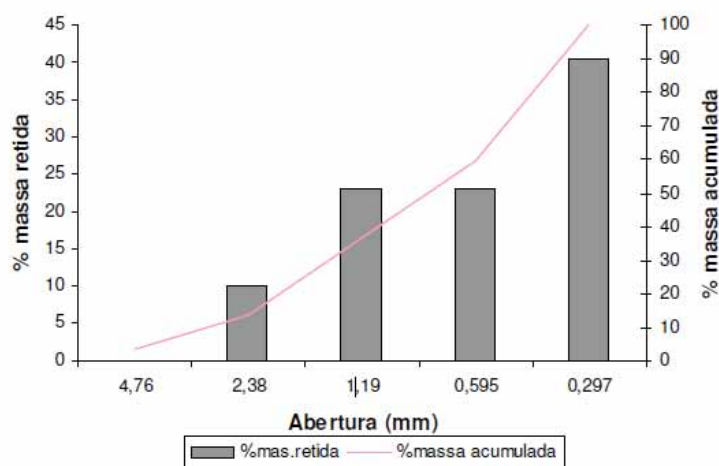


Figura 6 - Curvas de distribuição granulométrica do dregs (MODOLO, 2006).

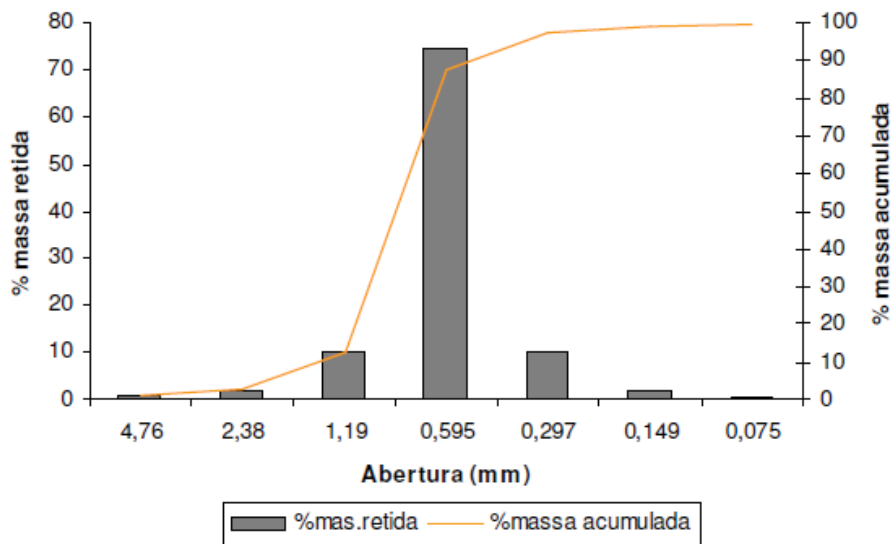


Figura 7 - Curvas de distribuição granulométrica do grits (MODOLO, 2006).

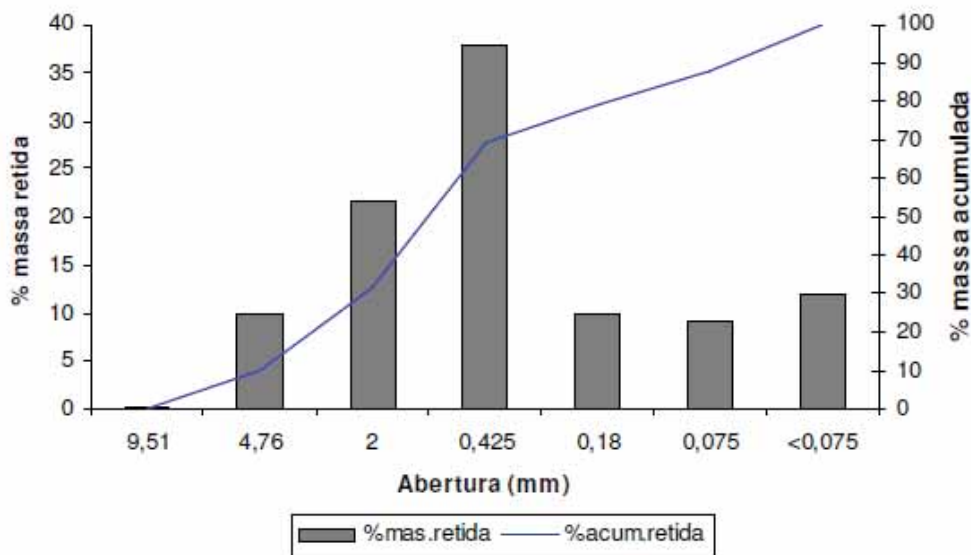


Figura 8 - Curvas de distribuição granulométrica das areias do leito fluidizado.

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 que geralmente são

utilizados para o tratamento efluente gerado no branqueamento ácido do processo Kraft. O autor ainda relata que o dregs e o lodo de cal também podem substituir os calcários naturais em suas diversas aplicações.

Ao ponderar estes estudos é possível ver a enorme sucessão de alternativas para reutilização e reciclagem dos resíduos: dregs, grits e cinzas de caldeira, provenientes do processo Kraft na produção de celulose. Analisando as propriedades químicas destes resíduos, utilizá-los como corretivos de solo, é uma das alternativas que, aparentemente, seria a mais propícia, entretanto essa não é uma alternativa tão trivial, pois para a correção do pH do solo não é necessário aplicações em grandes quantidades, além do elevado cuidado que é preciso ter para que não ocorram reações adversas ou formação de subprodutos químicos.

Preocupando-se com esse e outros fatores, o reaproveitamento de resíduos em produtos da construção civil apresenta vantagens como a quantidade de materiais para construção civil em que esses resíduos podem ser utilizados, sobretudo porque o intuito deste estudo é, através de uma solução de reutilização dos resíduos, analisar a durabilidade e a degradabilidade de novos materiais compostos com resíduos industriais.

3.4 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS- RSI

Neste estudo avaliou-se a durabilidade da argamassa mista de revestimento interno contendo os resíduos dregs e grits, resíduos sólidos industriais, classificado na Classe II A. De acordo com a NBR 10004 (2004) a Classe II A engloba resíduos de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial agrícola, de serviços e de varrição. Ficam ainda incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água residuais, e os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, assim como líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou ainda, que exijam soluções inviáveis técnica e economicamente em face à melhor tecnologia disponível.

Segundo as normas da ABNT, resíduos sólidos industriais são todos os resíduos no estado sólido ou semissólido resultantes das atividades industriais, incluindo lodos e determinados líquidos, cujas características tornem inviável seu lançamento na rede

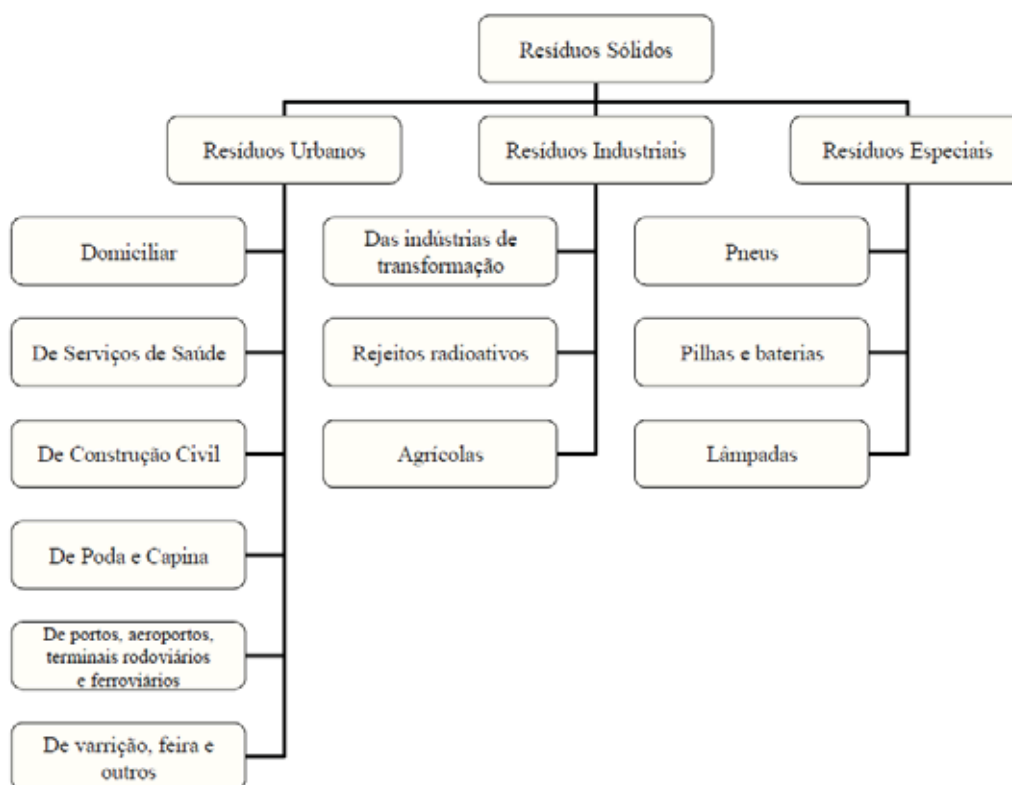
pública de esgotos ou corpos d'água ou que exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis. De acordo com a NBR 10004 (2004) os resíduos sólidos podem ser classificados em: Classe I – resíduos perigosos e Classe II – resíduos não perigosos, sendo esta subdividida em Classe II A – resíduos não perigosos e não inerentes e Classe II B – resíduos não perigosos e inerentes. Na Tabela 4 é apresentado o detalhamento desta classificação dos resíduos sólidos:

Tabela 4 - Classificação de Resíduos Sólidos segundo a NBR 10004 (2004).

CLASSE	CARACTERISTICAS
Classe I - Perigosos	São aqueles que apresentam inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, ou seja, são aqueles que apresentam risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices ou riscos ao meio-ambiente, quando gerenciados de forma inadequada.
Classe II - Não Perigosos	Estes resíduos se dividem em resíduos classe II A – Não inertes e resíduos classe II B – Inertes.
<i>Classe II A</i> <i>Não Perigosos</i> <i>Não Inertes</i>	São aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou de resíduos classe II B. Estes resíduos podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
<i>Classe II B</i> <i>Não Perigosos</i> <i>Inertes</i>	São os resíduos que quando submetidos a um contato dinâmico ou estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Além da classificação quanto à reatividade dos resíduos sólidos, os mesmos podem ser classificados quanto a sua origem. Na Figura 9 é apresentado um esquema de classificação dos resíduos sólidos conforme sua origem.

Figura 9 - Esquema de classificação de resíduos sólidos (Cabral, 2007).



3.4.1 TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

É comum proceder ao tratamento de resíduos industriais com vistas à sua reutilização ou pelo menos com o objetivo de torna-lo inerte. Devido à enorme diversidade destes resíduos, não há um processo de tratamento pré-estabelecido, havendo sempre a necessidade de realizar pesquisas e desenvolvimento de processos economicamente viáveis.

Dentre os tipos de tratamentos possíveis, destacam-se quatro:

- **Incineração:** Processo de queima controlada na presença de oxigênio, no qual os materiais à base de carbono são reduzidos a gases e materiais inertes (cinzas e escórias de metal) com geração de calor. Esse processo permite a redução em volume e peso dos resíduos sólidos em cerca de 60 a 90%. Normalmente, o excesso de oxigênio empregado na incineração é de 10 a 25% acima das necessidades de queima dos resíduos. Como a temperatura de queima dos resíduos não é suficiente para volatilizar os metais, estes se misturam às cinzas, podendo ser posteriormente separados destas e recuperados para comercialização. Existem diversos tipos de fornos de incineração. Os

mais comuns são os de grelha fixa, de leito móvel e o rotativo, apresentado na Figura 10.

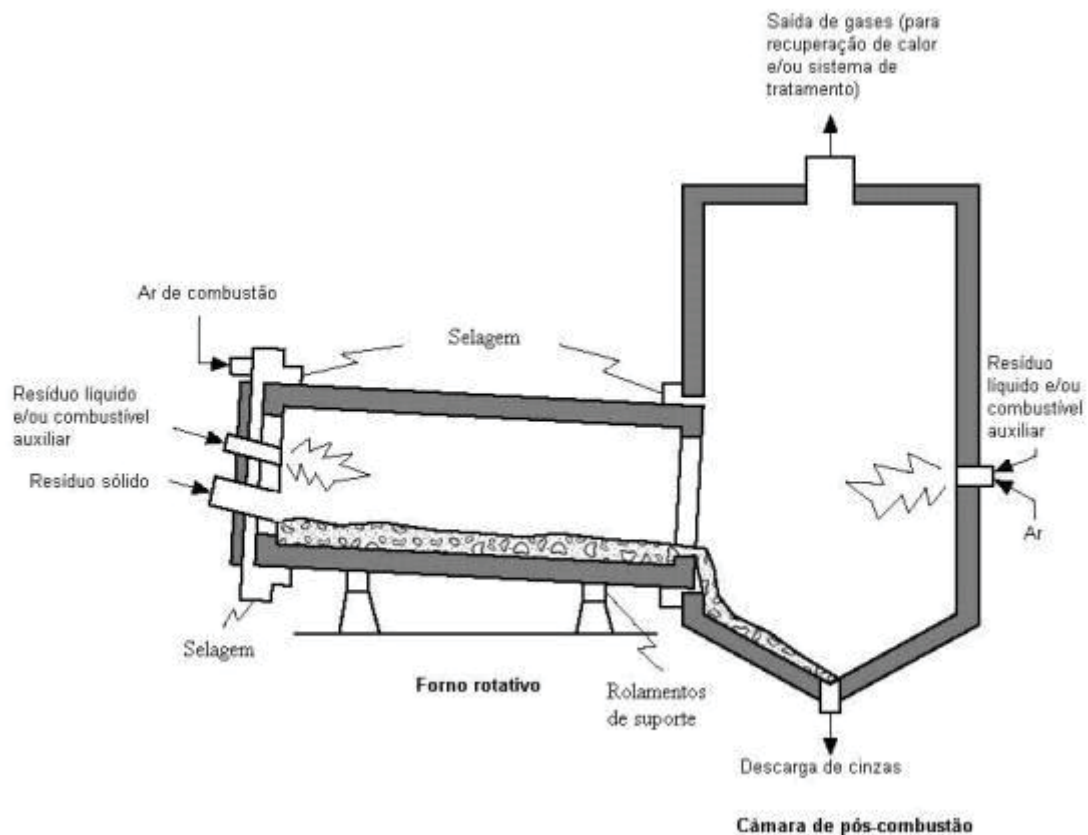


Figura 10 - Incinerador de forno rotativo.

- Aterro Industrial: É uma alternativa de destinação de resíduos industriais, que se utiliza de técnicas que permitem a disposição controlada destes resíduos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública, e minimizando os impactos ambientais. Essa técnica consiste em confinar os resíduos industriais na menor área e volume possíveis, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho ou intervalos menores, caso necessário. Os aterros industriais são classificados nas classes I, II ou III, conforme a periculosidade dos resíduos a serem dispostos:

- ✓ Classe I: podem receber resíduos industriais perigosos;
- ✓ Classe II: resíduos não inertes;
- ✓ Classe III: somente resíduos inertes.

- Reciclagem de Resíduos Sólidos: A reciclagem em geral trata de transformar os resíduos em matéria-prima, gerando economias no processo industrial. Isto exige grandes investimentos com retorno imprevisível, já que é limitado o repasse dessas aplicações no preço do produto, mas esse risco reduz-se na medida em que o desenvolvimento tecnológico abre caminhos mais seguros e econômicos para o aproveitamento desses materiais. Para incentivar a reciclagem e a recuperação dos resíduos, alguns estados possuem bolsas de resíduos, que são publicações periódicas, gratuitas, onde a indústria coloca os seus resíduos à venda ou para doação. O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA publicou no dia 19 de junho de 2001, no Diário Oficial, a Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001, que define as cores que serão utilizadas nos recipientes de materiais recicláveis. O objetivo da decisão é estabelecer um padrão nacional de cores e adequá-lo aos padrões internacionais. A Figura 11 apresenta as cores estabelecidas pelo CONAMA:



Figura 11 - Padrão de cores de recipientes para descarte de resíduos (CONAMA, 2001)

Reutilização: Utilizar o resíduo para outra finalidade. Fazer com que o material que não serve mais para um determinado processo seja útil para outro, como no caso de reaproveitamento do resíduo gerado na fabricação de papel e celulose, conhecido como dregs, grits e cinza de caldeira, em materiais de construção civil como o concreto e a argamassa.

Dos tipos de tratamento de resíduos sólidos citados acima, a reutilização aparece como a alternativa mais viável, pois além de reduzir custos (pois toda indústria tem um custo para descartar resíduos sólidos que não utilizam mais), apresenta também uma oportunidade de descoberta de novos tipos de materiais sustentáveis, que contribuem com a diminuição de descarte destes resíduos e mostram fontes alternativas.

3.5 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS A ARGAMASSA

A incorporação de resíduos em processos produtivos atinge aspectos ambientais, sociais e econômicos, como: diminui a criação de novos espaços para disposição de lixo; prolonga a vida útil dos aterros sanitários; reduz o desperdício; reduz os custos da deposição, com o aproveitamento de resíduos pelas indústrias; contribui para mudança de valores e atitudes em relação ao ambiente, incluindo a revisão de hábitos de consumo; mobiliza a sociedade e estimula o espírito da cidadania.

Com o intuito de disponibilizar dados para a reutilização de resíduos este trabalho busca a incorporação do mesmo na confecção de argamassa. Tendo em vista a intenção em utilizá-la na construção civil sem fins estruturais para construção revestimento interno como fachadas, pisos, tetos, etc.

Tornou-se uma prática muito comum o uso de diferentes tipos de resíduos industriais em materiais à base de cimento na indústria de concreto. Resíduos de fibras, dependendo de sua composição, melhoram as propriedades da força de compressão do concreto e modificam outras propriedades (MEDDAH, 2009).

Evangelista (2009) afirmou que o agregado fino reciclado adicionado ao concreto tem efeitos não desprezíveis sobre o desempenho do concreto, em relação à alguns aspectos como: absorção de água, absorção capilar e difusão de cloretos. Apesar de ocorrer uma variação no desempenho do concreto com agregados finos recicláveis, o autor afirma ser viável a adição de materiais de cimentação complementares, como por exemplo, a sílica ativa, cinzas de caldeira e escória de alto forno, uma vez que estes materiais podem compensar a presença de agregados finos recicláveis, aumentando as chances de aceitação da substituição.

O uso de diferentes tipos de resíduos industriais com granulometrias diversas pode ser viável tecnicamente quando a fração do composto é adequada, respeitando sua aplicação.

3.6 ARGAMASSA MISTA DE REVESTIMENTOS INTERNOS

Segundo 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).

De acordo com Carasek (2007), as argamassas são classificadas baseadas em diversos critérios, sendo um deles, 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) descreveu diferentes tipos de revestimento conforme citado abaixo e representado na Figura 12.

- **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).

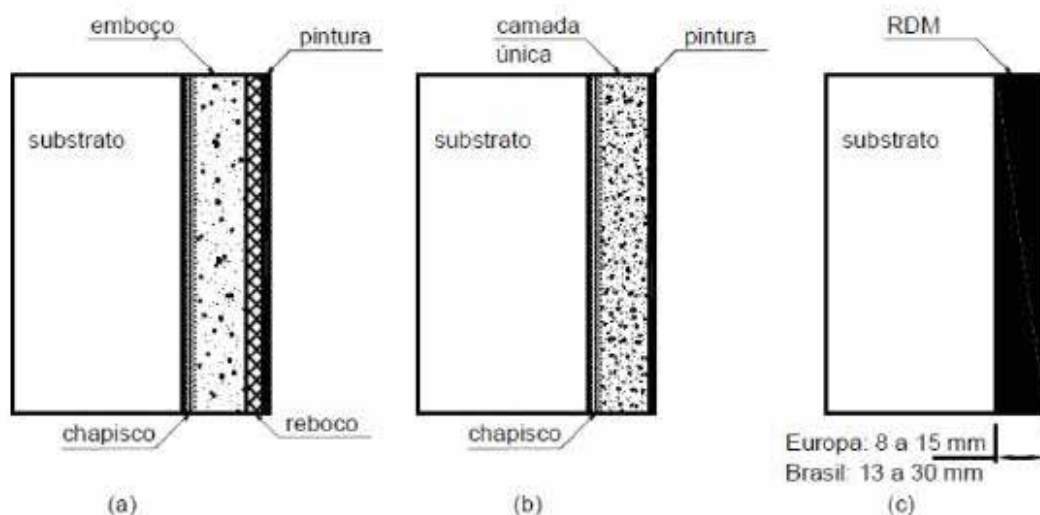


Figura 12 - Alternativas de revestimento de parede: (a) chapisco + emboço + reboco + pintura; (b) chapisco + camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM) (CARASEK, 2007).

De acordo com a classificação acima de revestimentos, os tipos de argamassa que podiam ser adotados para o presente estudo é o emboço como base para reboco e pintura, ou como camada única como base para pintura.

De acordo com Sabbatini, 2001, a principal função de revestimentos, na construção civil, é proteger os elementos da vedação e da estrutura contra a deterioração, função essa associada às exigências de durabilidade dos elementos estruturais e das vedações (lajes, vigas, paredes, etc.) evitando assim, a ação direta de agentes agressivos sobre os mesmos. A argamassa de revestimento tem como função cobrir as alvenarias, proporcionando um acabamento adequado, protegendo as superfícies de ações externas como intempéries. Devem também ser livres de bolhas ou fissuras, as quais podem acarretar em uma degradação acelerada devido aos fatores externos. A Tabela 5 mostra a relação das propriedades de argamassa de revestimento separada em requisitos:

Tabela 5 - Relação das propriedades da argamassa de revestimento.

Requisitos	Propriedades da argamassa
Segurança	Resistência mecânica (resistência a tração e compressão, resistência ao desgaste superficial, resistência ao impacto, resistência ao fogo);
Habitabilidade	Estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico;
Compatibilidade entre os materiais	Durabilidade;

Neste estudo foram realizados ensaios que simulam situações adversas, com a finalidade de analisar a durabilidade da argamassa mista de acordo com os requisitos e as propriedades representadas na Tabela 5. Para o requisito “Habitabilidade” e “Segurança” foi realizado o teste de degradabilidade térmica, que visa analisar o isolamento térmico e acústico, bem como a resistência ao desgaste superficial. Também no requisito “Segurança” foi realizado o ensaio termogravimétrico nas amostras com a finalidade de simular um incêndio.

3.7 DEGRADABILIDADE /DURABILIDADE DA ARGAMASSA MISTA

Para se obter um material confiável e de qualidade, não basta assegurar suas características técnicas iniciais, mas é necessário assegurar também que se comportem de maneira satisfatória ao longo de sua vida útil, ou seja, que se tenha durabilidade adequada à sua finalidade.

A agressividade ambiental pode ser classificada como a capacidade de deteriorar as estruturas, separadas em: fraca, moderada, forte e muito forte, onde o risco de deterioração pode ser de insignificante a elevado dependendo do meio ambiente onde esteja inserida a estrutura.

Para John e Sato, a durabilidade é a capacidade de um material de manter, ao longo do tempo, o desempenho quando expostos a condições normais de uso. Durabilidade não é uma propriedade inerente de um material ou componente. A

durabilidade de um produto pode ser descrita pela variação do seu desempenho ao longo do tempo, ou seja, como a capacidade do produto em atender às demais necessidades dos usuários ao longo do tempo (Figura 13). A variação de desempenho pode ser descrita de forma mais conveniente por meio de um indicador de degradação, característica mensurável que permite o acompanhamento do(s) efeito(s) dos processos de degradação no desempenho. Por exemplo, quando a cor é uma característica relevante no desempenho, a variação da cor pode ser utilizada como um indicador de degradação.

Diferentemente do senso comum, a durabilidade não é uma propriedade do material, mas o resultado da interação entre o material e o ambiente que o cerca, incluindo aspectos de microclima. Assim, um mesmo material apresenta funções de desempenho versus tempo diferentes para diferentes condições de exposição. Como a durabilidade é uma função do desempenho, um mesmo material pode apresentar funções de desempenho versus tempo diferentes se forem mantidas as condições de exposição, mas alterada a função do material.

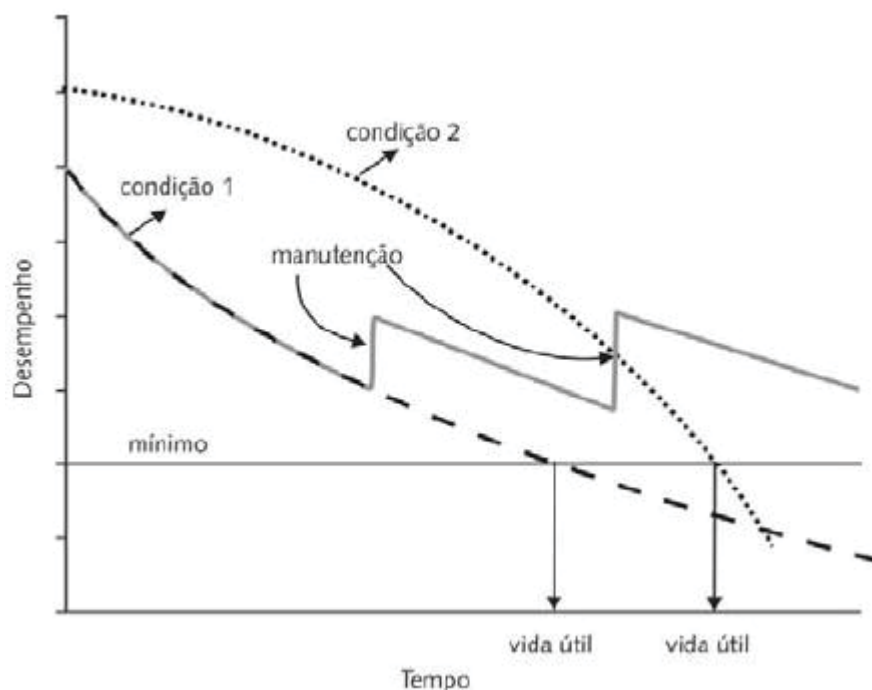


Figura 13 - Gráfico função de desempenho versus tempo descrevendo a durabilidade de um produto em determinadas condições ambientais (JOHN et al).

A durabilidade é um dos fatores mais importantes para o conhecimento dos novos materiais em desenvolvimento. Para que se haja confiabilidade nas características tecnológicas de um novo material e indicação deste como uma possibilidade técnica, a ser disponibilizada no mercado, é fundamental o conhecimento de suas condições de uso em situações adversas (FARIAS FILHO, et al.,2011). Considera-se durabilidade a capacidade da argamassa em manter sua estabilidade química e física ao longo do tempo em condições normais de exposição a um determinado ambiente, sem deixar de cumprir as funções para as quais foi designada. A durabilidade ainda está condicionada por suas características intrínsecas, pelas condições de agressividade do meio ao qual está exposta e pelo tipo de solicitações de natureza física e mecânica a que estará submetida.

Deve-se destacar que não existe um modelo ou metodologia padrão para realização de estudo da durabilidade. Os resultados dos trabalhos desenvolvidos até o momento vêm buscando desenvolver procedimentos de forma a apontar diretrizes para os estudos de análise de durabilidade. (FARIAS FILHO, J. et al.,2011)

Segundo Oliveira (2006) *apud* Lima (2010), considerando a complexidade dos mecanismos de degradação, a prolongada vida útil dos produtos da construção civil e os elevados custos das obras civis, torna-se fundamental a estimativa do comportamento do novo produto dentro dos princípios de avaliação de desempenho. Assim, a avaliação da durabilidade certamente é o aspecto mais importante do desenvolvimento de um novo material.

Ainda nesse estudo foi realizado um mapeamento dos agentes de degradação dos materiais no qual disseram que para se avaliar a agressividade ambiental de cada material e de seus componentes da construção civil é necessário antes buscar caracterizar os agentes de degradação, bem como seus parâmetros. A Tabela 6 abaixo mostra os principais mecanismos e agentes que atuam na degradação dos materiais utilizados na construção civil.

Tabela 6 - Principais mecanismos e agentes que atuam na degradação dos materiais utilizados na Construção Civil.

Material	Principais Mecanismos	Principais Agentes
Madeiras	Ataque biológico (acentuado pela umidade e temperatura)	Fungos apodrecedores, bacteriais, insetos xilófagos
	Deterioração química superficial	umidade, Radiação UV, temperatura
Materiais Orgânicos (polímeros, plásticos, resinas, tintas, vernizes e borrachas)	Fotodegradação (acentuada pela umidade e temperatura), oxidação, quebra de duplas ligações em borrachas	Radiação UV, temperatura, oxigênio, ozônio
Materiais Cerâmicos	Eflorescências (acentuadas pela umidade e temperatura)	Presença de sais, umidade
	Fissuração	Choques térmicos (gradientes de temperatura)
Materiais Betuminosos	Perdas de constituintes leves, oxidação, enrijecimento	Temperatura (evaporação), oxigênio, CO(carbonização), umidade
Materiais Cimentados	Fissuras, corrosão de armadura, ataques químicos, lixiviação, abrasão	Agentes químicos (gás carbônico, oxigênio, ácidos, bases), íons agressivos (cloretos, sulfatos, amônia, etc), umidade, sais, temperatura, chuva ácida, agentes biológicos (biodegradação), choques térmicos (gradientes de temperatura), águas (puras com materiais orgânicos, etc), água em movimento
Metais	Corrosão	Umidade, íons agressivos (cloretos, sulfatos, etc), chuva ácida
Vidros	Fissuras	Choques térmicos (gradientes de temperatura)

Os materiais utilizados na construção civil são um dos que mais sofrem com a agressividade ambiental, devido ao fato de serem expostos às condições climáticas, estes sofrem ação de inúmeros agentes que provocam o envelhecimento. O envelhecimento pode ser genericamente definido como qualquer processo de degradação produzido pela interação entre o material e o ambiente, alterando sua

estrutura e suas propriedades dimensionais, mecânicas, elétricas, químicas ou térmicas. Esse processo de constantes mudanças nas condições a que os materiais são submetidos (umidade, temperatura, etc.) faz com que se desconheça a sua velocidade de deterioração, favorecendo o surgimento de patologias prematuras e a necessidade de recuperações antecipadas (LEVY, S. M., 2001) (OLIVEIRA, D. F. 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

De acordo com Zanella (2011), a metodologia utilizada para a substituição em massa da fração média-fina de areia de rio pelo composto dregs-grits segue o fluxograma demonstrado pela Figura 14. 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.

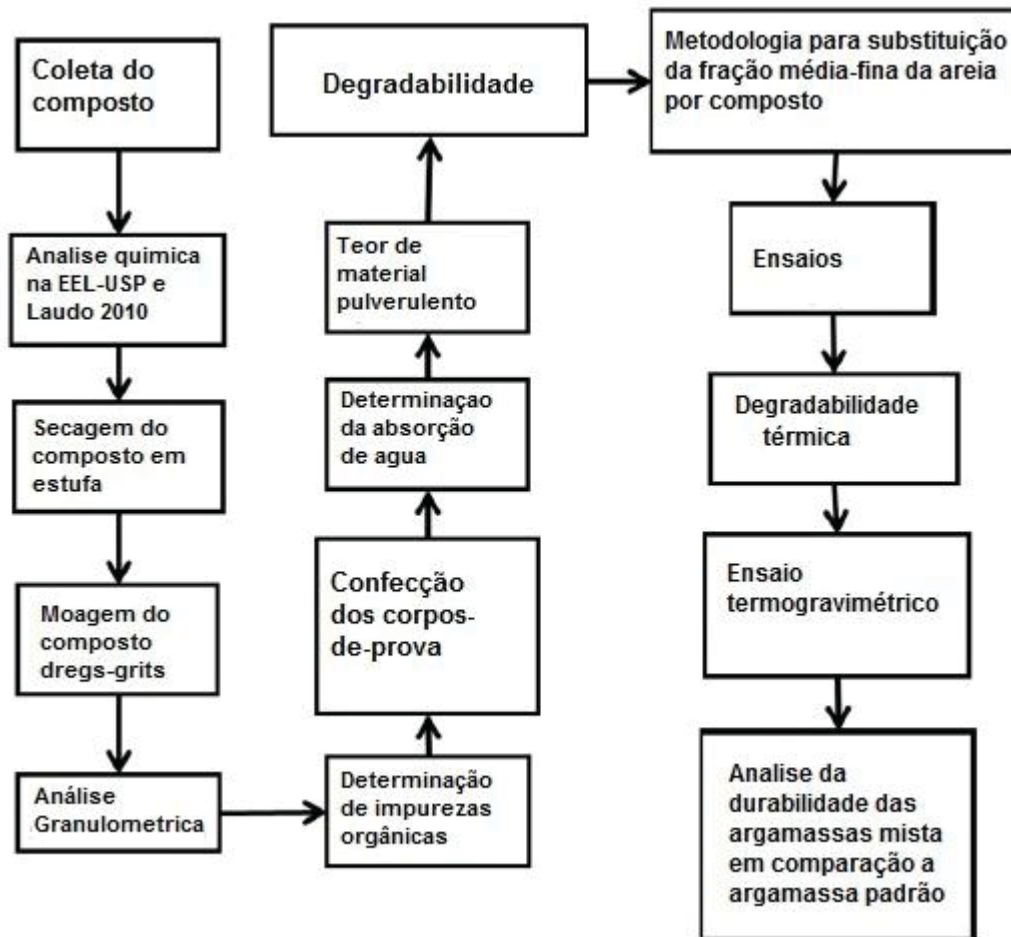


Figura 14 - Fluxograma referente à metodologia empregado.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO DREGS E GRITS

Durante o processo de fabricação da celulose os resíduos industriais dregs e grits são originados separadamente, entretanto ao final do processo estes resíduos se misturam, dando origem a um composto denominado dregs-grits. Foram fornecidos relatórios de caracterização química do material pela empresa geradora do composto dregs-grits, um relatório 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. De acordo com a classificação de resíduos estabelecida pela NBR 10.004 de 2004, apresentada na Tabela 4, este composto pertence à Classe IIA - resíduos não perigosos e não inertes, por que não apresenta característica de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Entretanto, este composto apresenta constituintes solubilizados em concentrações superiores aos encontrados no anexo G desta norma técnica.

4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO COMPOSTO DREGS-GRITS

O composto dregs-grits é, normalmente, depositado na forma de pilha até a remoção e destinação para o aterro sanitário licenciado. Durante o processo de amostragem, a pilha deste composto foi homogeneizada e as amostras foram armazenadas em tambores de 200 litros (Figura 15) e enviada ao Departamento de Engenharia Civil da UNESP, Campus de Guaratinguetá, após a devida autorização da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).



Figura 15 - Dregs e Grits armazenados em tambores de 200 litros (ZANELLA, 2011).

O composto dregs-grits foi analisado quimicamente nos laboratórios da Escola de Engenharia de Lorena (EEL – USP), fazendo-se uso do equipamento Minipal 4 da PAN analytical. A fração inorgânica foi analisada através da espectrometria de fluorescência de raios-X. As amostras secas em estufa foram comparadas com as amostras secas ao ar com a finalidade de verificar se durante o processo de secagem em estufa ocorriam perdas. Além destas análises, no 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 (ZANELLA, 2011).

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 16). 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 17). Na figura 18, pode ser observado o composto antes e após a secagem e moagem (ZANELLA, 2011).



Figura 16 - Secagem do composto dregs-grits em estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. (ZANELLA, 2011).



Figura 17 - Moagem do composto dregs-grits em moinho de bolas conforma NBR NM 51/2001 (ZANELLA, 2011).

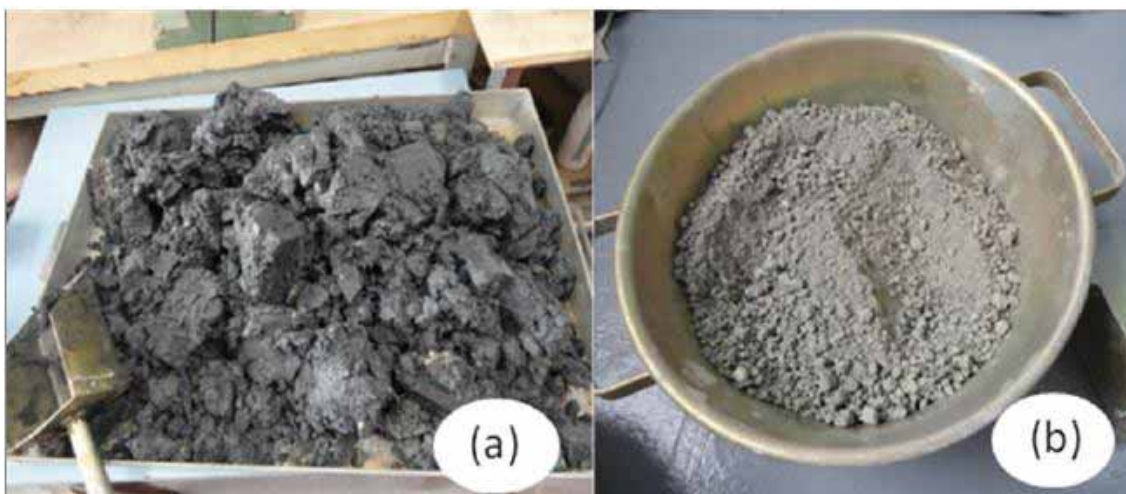


Figura 18 - Aspecto do composto dregs-grits úmido (a) e após secagem em estufa e moagem(b) (ZANELLA, 2011) .

4.2.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

De acordo com Zanella, 2011, a análise granulométrica do composto dregs-grits foi realizada de acordo com a NBR NM 248 de 2003. A separação da fração grosseira foi realizada utilizando-se 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

Ainda de acordo Zanella, 2011, que seguiu a NBR NM 49 de 2001, foi feita a determinação das impurezas orgânicas, sendo a avaliação da cor realizada pela comparação da fração média-fina do composto e a solução padrão, podem verificar que

as amostras, contendo composto seco em estufa e seco ao ar, apresentaram diferenças em relação à amostra padrão.

4.2.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Na avaliação do material serão realizados testes em laboratórios com corpos-de-prova de cinco cm de diâmetro e 10 cm de altura, conforme a norma ABNT NBR 7215, sendo três corpos-de-prova de cada traço (0%, 10% e 20%) serão utilizados para cada ensaio.

A confecção dos corpos-de-prova foi feita da seguinte maneira: após 25 golpes, as partículas foram fortemente aderidas dentro do molde, que foi untado com óleo para facilitar na remoção dos mesmos, como é mostrado na figura 19. Os corpos-de-prova foram removidos após 72 horas dos moldes e o processo de cura se deu dentro de uma caixa de isopor selada, como mostrado na figura 20, contando serragem umedecida para que a umidade dos corpos-de-prova fosse mantida. (ZANELLA,2011)



Figura 19 - Corpos-de-prova adensados dentro do molde.



Figura 20 - Corpos de prova armazenados na caixa de isopor.

4.2.4 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DA ÁGUA

A determinação da absorção de água pelo agregado miúdo do composto dregs-grits foi realizada com base na NBR NM 30 de 2001. (ZANELLA, 2011)

4.2.5 TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO

De acordo com a norma NBR NM 46 de 2003 separaram-se o material fino (peneira 75 μm) e, por lavagem, o composto dregs-grits foi ensaiado, sendo a quantidade de material pulverulento determinada. (ZANELLA, 2011)

4.3 DEGRADABILIDADE DA ARGAMASSA MISTA

Como citado no anteriormente no item 3.7, diversos fatores ambientais dificultam o conhecimento ou dominar o comportamento de envelhecimento e durabilidade dos materiais de construção civil, particularmente os mais recentes, com adição de resíduos. Considerando-se que a função principal da argamassa de revestimento interno é auxiliar as vedações a cumprirem suas funções: isolamento térmico e acústico, estanqueidade de água e gases, segurança ao fogo, proteção contra agentes agressivos, aumentando assim sua durabilidade e reduzindo custos com manutenção, além do fator estético de acabamento, foram feitos ensaios que simulassem essas condições ambientais.

No ensaio de degradabilidade térmica foram utilizados três cilindros de cada tipo de argamassa, com traços de 0%, 10% e 20% de composto, e estes colocados em estufa a 40° C por um período de 7 dias. Os cilindros foram pesados antes de serem colocados na estufa e no quarto dia de degradabilidade térmica. Ao retirá-los da estufa os corpos-de-prova foram fotografados, como mostra a figura 22 e novamente pesados (7° dia).

Os corpos de prova foram divididos da seguinte maneira:

- Corpos-de-prova 1, 2 e 3 = 0% de resíduos;
- Corpos-de-prova 4, 5 e 6 = 10% de resíduos;
- Corpos-de-prova 7, 8 e 9 = 20% de resíduos.

Para o ensaio de termogravimetria (TG), foram coletadas amostras em pó dos materiais utilizados na confecção argamassas em estudo (cimento, cal, areia, resíduo) e

amostras das próprias argamassas mistas contendo a substituição em 0%, 10% e 20% do resíduo.

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:

$$A/C = C_{\text{água}} ((\text{Cimento} / d_{\text{cimento}}) + (\text{Areia} / d_{\text{composto}})) / (1000 - C_{\text{água}}) \quad (4)$$

Onde: A/C = fator água cimento; $C_{\text{água}}$ = consumo de água (346 litros); C_{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:

$$C_{\text{cimento}} = C_{\text{água}} / (A/C). \text{ Onde: } C_{\text{cimento}} = \text{consumo de cimento} \quad (5)$$

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

$$C_{\text{areia/composto}} = C_{\text{cimento}} \times \text{proporção em peso de areia/composto} \quad (6)$$

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:

Finos faltantes = (Teor de finos em função da aderência – finos do cimento + finos da mistura areia/composto)

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:

$$\text{Correção dos finos} = \text{finos faltantes} \times (d_{\text{cal}} / d_{\text{areia/composto}}) \quad (7)$$

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

Consumo de água = Quantidade de água + Quantidade de composto incorporado em massa x % de absorção de água pelo resíduo

4.5 ENSAIOS

Com a finalidade de analisar a durabilidade e degradabilidade da argamassa mista de revestimento interno contendo dregs-grits, foram realizados alguns ensaios com condições adversas, para analisar se o comportamento dessa argamassa mista se aproximava do comportamento da argamassa comum.

4.5.1 ENSAIO DE DEGRADABILIDADE TÉRMICA

O ensaio de degradabilidade térmica foi realizado com a finalidade de avaliar a durabilidade da argamassa mista na exposição diária à temperaturas ambientais elevadas nas condições brasileiras. Este ensaio foi realizado em uma estufa QUIMIS Q819V2, do Laboratório de Materiais Cerâmicos do DMT da FEG-UNESP, campus Guaratinguetá, programada para permanecer em um intervalo de temperatura de 40 a 45° C. Para

avaliar a degradabilidade térmica, os corpos de prova foram pesados em um balança analítica (Figura 21) antes e depois do ensaio para comparação.



Figura 21 - Balança Analítica Marte AL500C (e=0,01g).

4.5.2 ENSAIO TERMOGRAVIMÉTRICO

O ensaio de termogravimetria foi realizado no equipamento SII Nanotechnology - Seiko Modelo EXSTAR6000 TG/DTA, como mostra a figura 22, disponível no Laboratório de Análise Térmica no DMT da FEG-UNESP, campus Guaratinguetá. Este instrumento é utilizado para as reações de degradação acelerada, bem como a análise da água e o teor de cinzas em amostras e a estimativa da oxidação, decomposição e de resistência ao calor de amostras.

O equipamento foi previamente calibrado com alumina e regulamentado segundo a norma ASTM E2402-11, com razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$ até 1000°C , em uma célula de platina em atmosfera inerte de nitrogênio.

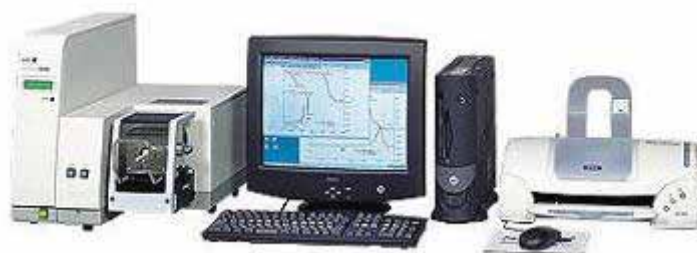


Figura 22 - EXSTAR600 TG/DTA.

Esta análise consiste em depositar uma quantidade de amostra sobre uma balança analítica e submetê-la a um aquecimento controlado, obtendo assim um gráfico de variação de massa restante (ou perda) versus a variação da temperatura.

Com o auxílio da termogravimetria é possível verificar os pontos de desidratação e o ponto de degradação do resíduo. No caso do concreto armado, a redução do fator água/cimento confere maior compactidade ao concreto e reduz a permeabilidade das suas estruturas. Essas características melhoram a durabilidade e a resistência em temperatura ambiente. Por outro lado, antecipam a degradação ao fogo. Peças de menor massa e volume se aquecem rapidamente. A perda de rigidez torna-se severa no colapso por instabilidade das peças. A reação da macroestrutura do material por meio de “pop outs” (pipocamentos) e “spalling” (lascamentos) passam ser mais frequentes, expondo às armaduras a ação direta do fogo (PEREIRA, 2012).

Este ensaio foi realizado para auxiliar na simulação em caso de um incêndio. De acordo com Pereira, 2012 o incêndio apresenta três estágios básicos:

- 1º Ignição: região que representa o início da inflamação, com crescimento gradual de temperatura, quase sem influência das características do compartimento aberturas, material da compartimentação e sem risco à vida humana ou ao patrimônio por colapso estrutural. Esse estágio termina no instante conhecido por “flashover” (inflamação generalizada).
- 2º Aquecimento: região caracterizada por uma mudança súbita de crescimento da temperatura. Nesse estágio, todo o material combustível no compartimento entra em combustão e a temperatura dos gases quentes são superiores a 300° C e de crescimento veloz.

- 3° Resfriamento: região que representa a redução gradual de temperatura após a extinção de todo o material combustível durante a fase de aquecimento.

No caso do concreto armado, a densidade do concreto também é afetada pela temperatura. Quando aquecidos, os agregados sofrem expansões que, dependendo da taxa de aquecimento e tamanho desses agregados, podem ser destrutivas para o concreto. Os concretos compostos por agregados ricos em sílica (granitos, arenitos, gnaisses e alguns xistos) sofrem “pop outs” (pipocamentos), que são “spalling” de pequenas proporções. Esses estalos com pequenos estilhaçamentos de material são consequentes de expansão térmica súbita que os agregados silicosos sofrem, próximos a 573° C. Nos concretos compostos por agregados calcáreos, o dióxido de carbono é liberado dos agregados, por meio de uma reação endotérmica, próximo dos 650° C. O calor é absorvido, retardando a elevação da temperatura e o material calcinado apresenta menor massa específica, prestando uma forma de isolamento térmica da superfície sendo favorável em peças robustas . Mas a calcinação também causa expansão e fragmentação dos agregados, “sloughing” e durante o resfriamento com água de bombeiro, a reidratação do óxido de cálcio é caracterizada por uma grande expansão e elevada temperatura, aumentando substancialmente as fissuras. (PEREIRA, 2012).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras 23 e 24 são apresentados os resultados obtidos para a perda de massa no ensaio de degradabilidade térmica.

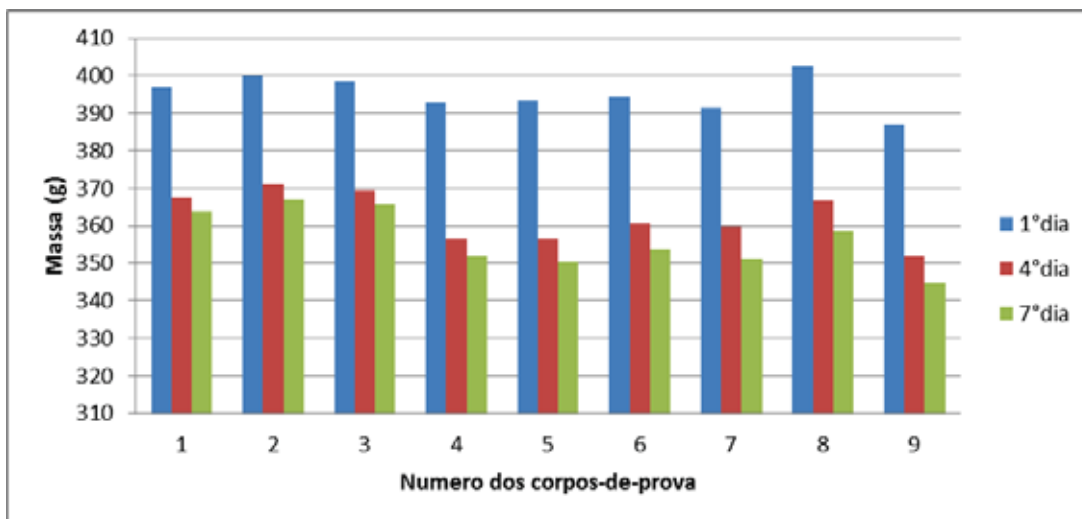


Figura 23 - Dados da perda de massa (g).

Com base no gráfico apresentado na figura 23, foi possível observar que a argamassa mista no traço contendo 20% de composto dregs-grits apresentou uma perda de massa mais elevada do que as outras argamassas. Por outro lado, como pode ser observada na figura 24, a perda de massa desta argamassa em porcentagem da massa inicial não foi significativamente diferente em relação às demais, incluindo a argamassa padrão, sendo estas perdas de (8,67%, 10,55% e 10,7%) respectivamente para os traços 0%, 10% e 20%. Para uma maior precisão nos resultados os corpos-de-prova deveriam apresentar a mesma massa específica inicial, para poder analisar a perda de maneira homogênea. Entretanto, levando-se em consideração o método utilizado na confecção dos corpos-de-prova, não foi possível garantir 100% de homogeneidade das amostras, e a análise da perda foi feita comparando-se a porcentagem de massa perdida em comparação a massa inicial.

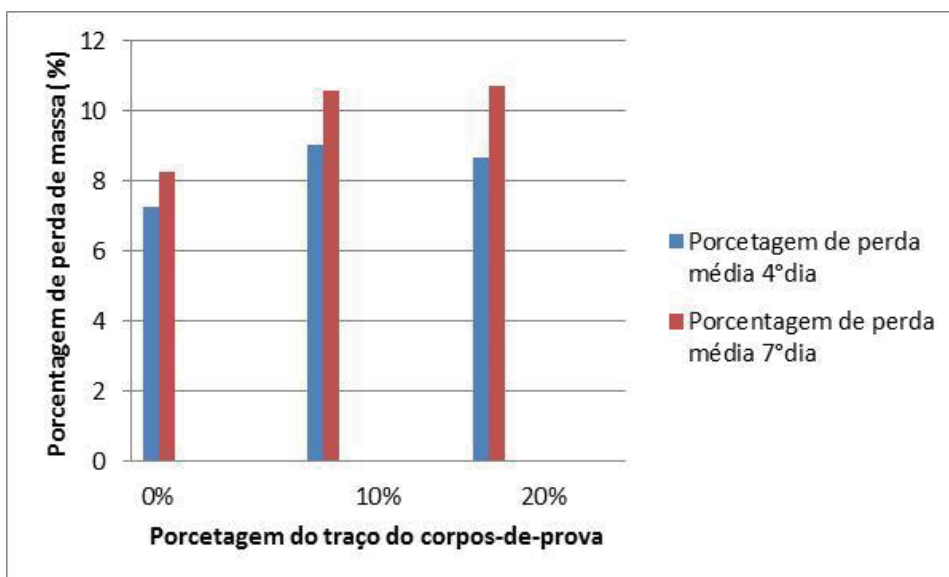


Figura 24 - Dados da perda de massa (%).

Na figura 25 é possível observar a diferença de coloração dos corpos-de-prova, sendo que a argamassa padrão, com traço de 0% (sem adição do composto dregs-grits) apresentou coloração mais clara, enquanto no traço de 20% foi verificada a coloração mais escura, não sendo observada alteração significativa comparada à coloração original. Apesar dos corpos-de-prova da argamassa padrão, com traço de 0% terem perdido menos massa durante o ensaio, foram os que apresentaram maior mudança quanto a coloração, apresentando um desgaste superficial maior quando comparado com as outras argamassas.



Figura 25 - Corpos-de-prova após serem retirados da estufa.

Por meio da análise das curvas de termogravimetria (TG), apresentadas na figura 23, verificou-se que, para temperaturas abaixo de 500° C, o comportamento das argamassas foi muito similar, independentemente dos traços avaliados. A diferenciação entre os diferentes traços de argamassa começou a ocorrer, em temperaturas próximas a 800° C. A partir desta temperatura também foi possível observar que as argamassas passaram a apresentar suas faixas de degradação e, conseqüentemente, o segundo patamar de desidratação.

Analisando o percentual de massa perdida comparado com a massa inicial, nota-se que o comportamento da argamassa, tanto de 0%, 10% quanto a de 20%, apresentam uma perda de massa proporcional, o que afirma que sob condições de temperaturas elevadas, como é o caso das cidades da região nordeste, onde a temperatura média anual é acima de 30°C, os três tipos de argamassa ensaiados apresentarem durabilidade semelhante.

A figura 26 mostra os resultados do ensaio termogravimétrico de 0°C-1000°C.

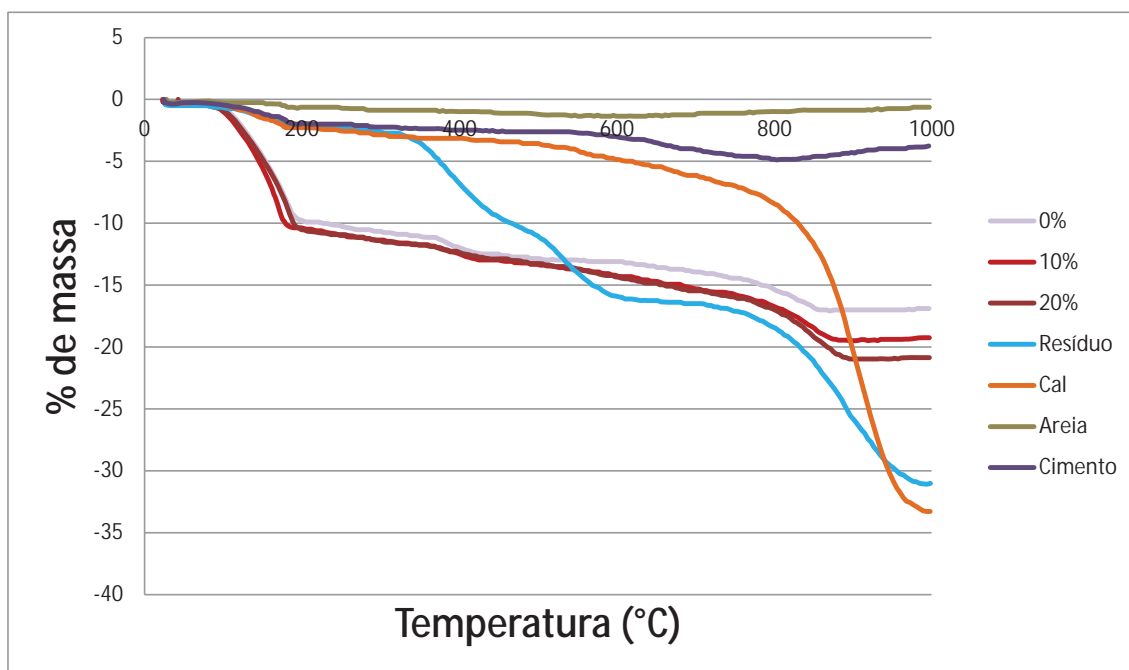


Figura 26 - Curvas Termogravimétricas da argamassa no traço 0%, argamassa no traço 10%, argamassa no traço 20%, cal, areia, cimento e composto dregs-grits, nas temperaturas de 0°C a 1000°C.

Na figura 26 podemos verificar que, devido à elevada resistência do cimento a altas temperaturas, não houve perda significativa de massa. Mesmo em temperaturas próximas a 1.000°C , as argamassas, que são constituídas de :

cimento+cal+areia+composto dregs-grits, tiveram suas curvas estabilizadas em 20% de perda de massa.

Em temperaturas próximas a 300°C a argamassa no traço 10% começou a apresentar aumento significativo de perda de massa, permanecendo assim até temperaturas em torno de 500°C , na qual a argamassa no traço 20% passou a apresentar comportamento semelhante ao do composto dregs-grits e da argamassa padrão. Em temperaturas próximas a 900°C , as curvas dos três traços de argamassa começaram a apresentar estabilização, indicando que restavam somente materiais não voláteis nas amostras, que não serão eliminados, independentemente do aumento da temperatura nesta razão de aquecimento.

Como a finalidade deste estudo foi analisar a durabilidade da argamassa mista em situações adversas como em um incêndio e, considerando que neste caso, a argamassa passará pelos estágios de: ignição, aquecimento e resfriamento, não ultrapassando a temperatura muito além dos 300°C , as amostras foram analisadas na faixa de temperatura de 0°C - 350°C , cuja porcentagem de perda de massa não variou mais do que 4% em massa, mostrando que para os dois traços (10% e 20%) analisados, a durabilidade em temperaturas muito elevadas não irá variar quando comparadas com a argamassa padrão.

Para uma análise mais detalhada, o ensaio foi realizado novamente, com uma razão de aquecimento menor ($5^{\circ}\text{C min}^{-1}$), para possibilitar a avaliação em um intervalo de temperatura menor (0°C a 500°C), comparando o comportamento do composto dregs-grits com o das argamassas com traços de 0%, 10% e 20%, como mostrado na figura 27.

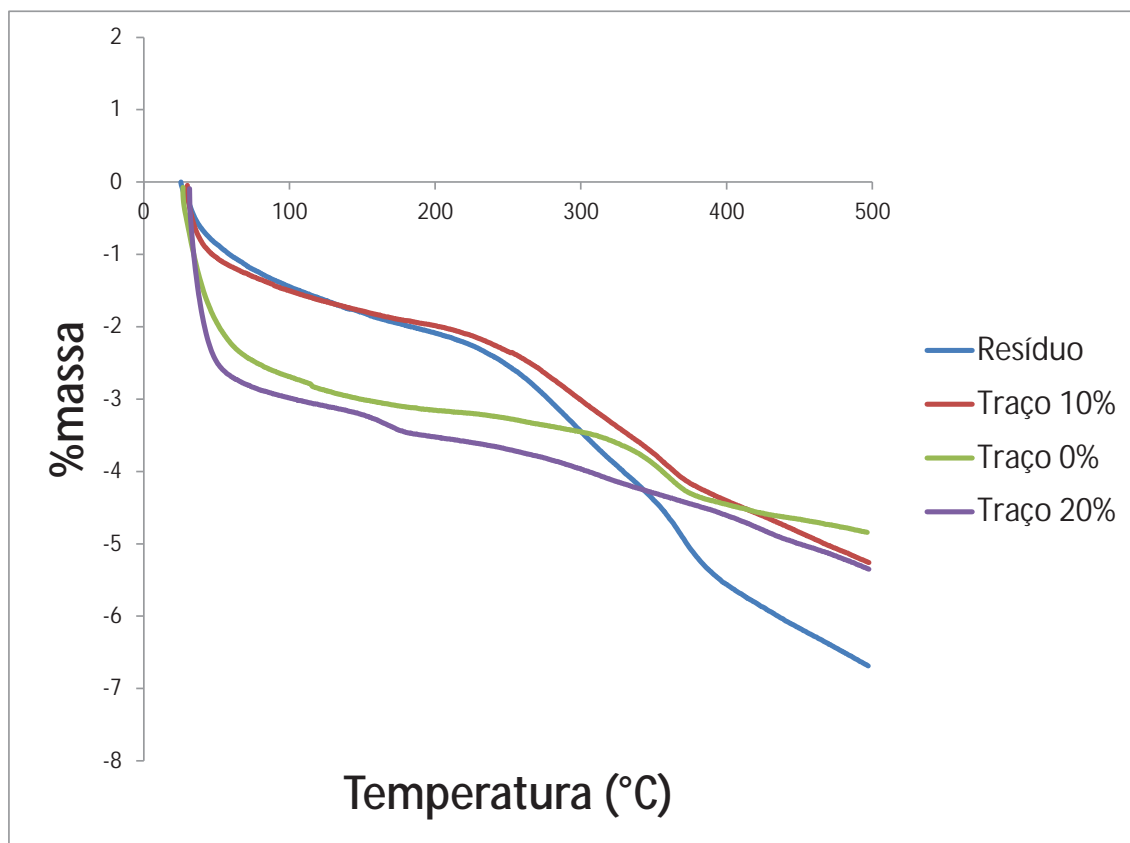


Figura 27 - Curvas Termogravimétricas da argamassa no traço 0% (padrão), argamassa no traço 10%, argamassa no traço 20%, cal, areia, cimento e composto dregs-grits, em temperaturas de 0°C a 500°C.

No segundo ensaio, realizado com uma razão de aquecimento mais baixa que o primeiro ensaio, foi possível notar maior precisão nos resultados e a diferença de comportamento dos diferentes tipos de argamassa foi mais visível, pois verificou-se que, antes mesmo de 100° C, as curvas já começaram a se distanciar, de tal forma que as curvas da argamassa no traço 10% e do composto dregs-grits apresentaram inclinações muito semelhantes as das argamassas padrão (0%) e no traço 20%.

De acordo com as curvas apresentadas na figura 27 foi possível verificar que a primeira queda, que correspondeu à desidratação das argamassas ocorreu próximo à temperatura de 50° C, quando as argamassas começaram a se distanciar do comportamento original e do composto dregs-grits. O primeiro patamar de desidratação ocorreu um pouco antes dos 100° C e, a partir dessa temperatura, a água foi adsorvida e começou a evaporar, desidratando os outros materiais presentes na mistura,

responsáveis pela maior parte da resistência da argamassa perante a elevada temperatura.

Neste ensaio também foi possível verificar que a partir da temperatura de 250° C, as argamassas nos traços, 10% e o composto dregs-grits, que até então apresentavam curvas semelhantes, começaram a apresentar diferentes comportamentos. A argamassa no traço 10%, a partir da temperatura de 300° C, passou a apresentar comportamento semelhante ao da argamassa padrão e da argamassa de 20%, enquanto o composto dregs-grits, passou a apresentar uma perda de massa mais brusca que as argamassas.

6. CONCLUSÕES

A maior alteração de cor da argamassa padrão (mais clara que as demais), indicou que a argamassa padrão, no traço de 0% foi a que apresentou o maior desgaste superficial, comparada as argamassas contendo o composto dregs-grits.

A argamassa no traço 20% apresentou maior porosidade e, conseqüentemente, menor eficiência quanto ao isolamento térmico e acústico que a argamassa padrão, além da maior probabilidade do aparecimento de fissuras que acarretaram em uma degradação acelerada.

As argamassas, nos diferentes traços, apresentaram comportamento similar quando submetidas a temperaturas de 0° C a 1.000° C, estabilizando em temperaturas próximas a 800° C e a degradação total do composto dregs-grits ocorreu em temperatura próxima a 900° C.

Por tanto, através dos ensaios realizados com as argamassas de diferentes traços (10% e 20%), é possível concluir que no quesito durabilidade, as argamassas mistas, em abos os traços, apresentaram durabilidade similiar a argamassa padrão (0%), podendo substituí-la para a mesma finalidade.

7. BIBLIOGRAFIA

- 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 10004: Resíduos Sólidos – Classificação, Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR NM 51: Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles" – Classificação, Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR NM 248: [Agregados - Determinação da composição granulométrica](#) – Classificação, 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 30: [Agregado miúdo - Determinação da absorção de água](#) – Classificação, Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR NM 46: Agregado – Determinação do material fino que passa através da peneira 75um, por lavagem – Classificação, Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 7215: [Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão](#) – Classificação, Rio de Janeiro, 1996.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação, Rio de Janeiro, 2004.
- ASTM - Standard Test Method for Mass Loss and Residue Measurement Validation of Thermo gravimetric Analyzers – Classificação, Inglaterra, 2011.
- AGENDA 21 GLOBAL. In: Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano Eco-92. Rio de Janeiro; 1992.
- ALMEIDA, H.C. et al. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). Química Nova, São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Celulose e Papel [homepage na Internet]. São Paulo: BRACELPA; [atualizada em 2012; acesso em 15 de outubro 2012].

Dados do Setor - Outubro 2012. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf>>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL [homepage na Internet]. São Paulo: BRACELPA; [atualizada em 2010; acesso em 23 de outubro de 2012].

Relatório Anual 2009/2010. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2009.pdf>>

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Celulose e Papel [homepage na Internet]. São Paulo: BRACELPA; [atualizada em 2012; acesso em 10 de agosto de 2012].

Reciclagem de papel. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/172>>

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Celulose e Papel [homepage na Internet]. São Paulo: BRACELPA; [atualizada em 2012; acesso em 10 de agosto de 2012].

Evolução do consumo brasileiro de aparas. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/141>>

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.

CABRAL, A. E. B. Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD. São Carlos. 2007. 254p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Carlos.

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.

CENIBRA – CELULOSE NIPO-BRASILEIRA S/A. Relatório de sustentabilidade 2009. Jun. 2010. Disponível em:

<<http://www.cenibra.com.br/cenibra/Relatorio%20Web/www/fscommand/PORTUGUES.pdf>>. Acesso em: 1 de agosto de 2012.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente , Diário Oficial, Resolução nº 275, publicado em 19 de junho de 2001.

EVANGELISTA, L., BRITO, J., *Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. Cement & Concrete Composites*, v.32, p.9-14, 2009.

FARIAS FILHO, J. et al. Estudo da durabilidade de argamassas alternativas contendo resíduos. *Cerâmica* [online]. 2011, vol.57, n.344, pp. 395-403. ISSN 0366-6913. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132011000400004> . Acessado em 10 de agosto de 2012

GULLICHEN, J.; FOGELHOLN, C-J. Chemical pulping (book 6) in *Papermaking science and technology*. 693 p. Helsinki: Fapet, 2000.

JOHN, V. M. , SATO, N. M. N. – Durabilidade de componentes da construção. *Coletânea Habitare*, vol. 7 , Construção e Meio Ambiente. [acessado em 2 de outubro de 2012]. Disponível em <http://www.habitare.org.br/ArquivosConteudo/ct_7_cap2.pdf>

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

LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do rio Grande do Sul.

LEVY, S. M., Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria. Tese Dr., Universidade de São Paul, SP (2001) 194p.

LIMA, R. C. O. Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2010.107p.

LIMA, L. G., MORELLI, F. – Mapeamento dos agentes de degradação dos materiais. *Coletânea Habitare*, vol. 3, Normalização e certificação na construção habitacional. [acessado em 2 de outubro de 2012]. Disponível em <<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/115.pdf>>.

NUNES, J. R. A. – Reciclagem de PET: Potencial para aproveitamento na fabricação de novos produtos. Universidade Católica de Góias, GO (2005) 12p.

MACHADO, C. C.; SANTANNA, G. L.; LIMA, D. C.; CARVALHO, C. A. B.; PEREIRA, R. S.; FERNANDES, D. C. M. Comportamento geotécnico de misturas granulométricas de solo-grits. *Revista Árvore*, vol. 33, n. 3, Viçosa, maio/jun. 2009.

MARTINS, F. M. Caracterização Química e Mineralógica de Resíduos Sólidos Industriais Mineraiis 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.

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

MODOLO, R. C. E. Valorização de resíduos do sector de pasta e papel em produtos da construção civil. 2006. 119p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Aveiro, Portugal.

OLIVEIRA, D. F., Contribuição ao estudo da durabilidade de blocos de concreto produzidos com a utilização de entulho da construção civil, Tese Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, PB (2004) 218p.

ÖSTERÅS, A. H., SUNNERDAHL, I., GREGER, M. The impact of wood ash and green liquor dregs application n Ca, Cu, Zn and Cd contents in bark and wood of Norway spruce. 2005. Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution*, 17-29p.

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 10 de agosto de 2012].Disponível em <<http://biblioteca.sinbad.ua.pt/teses/2007000206>>.

PEREIRA, F. S. C. - Incêndios em Estruturas de Concreto Armado em Natal, 2012. [acesso em 2 de outubro de 2012]. Disponível em < <http://www.crea-rn.org.br/artigos/ver/61>>.

PEREIRA, R. S.; MACHADO, C. C.; LIMA, D. C. Compactação de misturas solo-grits para emprego em estradas florestais: influencia do tempo decorrido entre mistura e compactação na resistência mecânica. *Revista Árvore*, vol. 30, n. 3, p. 421-427, Viçosa, 2006b.

PNUD. Educação Ambiental na Escola e na Comunidade. Brasília: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento/ONU, 1998.

SABBATINI, F.H. - Tecnologia de execução de revestimentos de argamassas, 13º Simpósio de Aplicação da Tecnologia de Argamassas, 2001

SOUZA, T. I, CARDOSO, A.V, Utilização de resíduos sólidos da indústria de celulose kraft na fabricação de cimento: caracterização físico-química, 18º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 24 a 28 de Novembro de 2008, Porto de Galinhas, PE, Brasil.

ZANELLA, B. P. Aproveitamento de resíduos da indústria de celulose e papel em argamassa mista de revestimento interno. Bauru, 2011. Tese (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Área de Concentração Saneamento.

8. ANEXOS

8.1 ANEXO 1

Segundo Carasek (2007) as argamassas são classificadas de acordo com 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 ao seu tipo de 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 contra piso;

- 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.