



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL
MESTRADO

**ELEMENTOS CONSTRUTIVOS E DE PROTEÇÃO TÉRMICA À BASE DE
GESSO E RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

Lívia Lima Noronha

João Pessoa

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL
MESTRADO

**ELEMENTOS CONSTRUTIVOS E DE PROTEÇÃO TÉRMICA À BASE DE
GESSO E RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

Lívia Lima Noronha

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Urbana e Ambiental
da Universidade Federal da
Paraíba / Centro de Tecnologia,
em cumprimento às exigências
para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Dr. Normando Perazzo Barbosa

João Pessoa

2014

ELEMENTOS CONSTRUTIVOS E DE PROTEÇÃO TÉRMICA À BASE DE GESSO E RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Por

Lívia Lima Noronha

Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana do Centro de
Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em 14 de Agosto de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

Orientador – CT/UFPB

Prof. Dr. Ulisses Targino Bezerra

Examinador Externo – IFPB

Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo

Examinador Interno – UFPB

Profa. Dra. Ana Cecília Vieira da Nóbrega

Examinadora Externa – UFPE – Caruaru

João Pessoa - Paraíba

Agosto, 2014.

"O período de maior ganho em conhecimento e experiência é o período mais difícil da vida de alguém."

Dalai Lama

DEDICATÓRIA

A DEUS.

A minha avó Maria Francisca, que enquanto esteve entre nós sacrificou seus desejos pelos meus e me permitiu estudar e chegar até onde estou; ela desistiu dos seus sonhos para que eu pudesse realizar os meus; a minha filha Emmanuelle que me iluminou em todo esse tempo, sendo o anjo que Deus me concedeu para que eu cuidasse aqui na Terra; ao meu esposo Evaniel, meu amor, meu parceiro, meu amigo, que incorpora meus sonhos aos dele e abdica de muitos por mim.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela força, saúde, determinação e amparo nos momentos mais difíceis. Agradeço por estar sempre me segurando em seus braços quando eu nem posso caminhar.

Ao meu esposo Evaniel que, mesmo em momentos difíceis, esteve firme ao meu lado trazendo leveza e bem estar aos meus dias, cuidando e torcendo por mim, me auxiliando e sendo amável em todo o tempo.

Ao Professor Doutor Normando Perazzo Barbosa, por ter acreditado em mim para desempenhar essa pesquisa. Obrigada por ter sido um amigo e orientador. Seus ensinamentos e seu exemplo caminharão sempre comigo.

Ao Professor Doutor Ulisses Targino Bezerra, um mestre paciente e dedicado, que não mediu esforços para auxiliar na pesquisa. Obrigada pela paciência e presteza em seus ensinamentos. Obrigada pela sua amizade.

À aluna de Iniciação Científica Adalice Flávia Duarte, por ter sido meu braço direito durante todo o andamento da pesquisa, vivendo comigo aflições, dificuldades e alegrias que estiveram presentes durante a realização desse mestrado.

Ao Professor Doutor Rênnio, por ter cedido espaço no Laboratório de Carvão Ativado para as análises químicas. Obrigada pela gentileza e dedicação.

À Professora Elisângela Rocha pela sua amizade e transferência de seus conhecimentos.

À técnica do Laboratório de Carvão Ativado Simone pela gentileza e auxílio nos experimentos.

Ao LABEME (Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas), por ter sido meu lugar, meu refúgio e a essência da realização desta pesquisa.

Aos funcionários do Labeme, Ricardo Carvalho, Delby Fernandes, Cláudio Mathias, Otoniel, Zito, Beto, Edimilson (Missu) e em especial Sebastião (Sebastian), que foi meu braço direito, realizando muitas vezes tarefas que não lhe pertencia só para me ajudar e acabou se tornando um grande amigo, me aconselhando e torcendo por mim.

Aos alunos de graduação, mestrado, doutorado e pós-doutorado do LABEME, que foram e continuam sendo importantes e contribuíram de maneira direta e indireta para a

realização deste trabalho, especialmente Vinícius Urquiza, Carlos Maviael, Jesus Charles, Evelyne Emanuelle, Elisângela Pereira, Fabianne Azevedo e Ana Beatriz. Obrigada.

Aos amigos especiais da turma do Mestrado, que levarei sempre comigo, agradeço pelo auxílio nos momentos difíceis, pela presença e pelo carinho, sobretudo a Ana Luísa Guedes, Stanrley Peixoto, Lívia Falcão, Eliana Lima, Alexandre Castro e Jussara Freire.

Ao Professor Doutor Ivson Ferreira dos Anjos pelas conversas, auxílio em cálculos, conselhos e sua amizade.

Aos meus amigos Vládia Moura, Dayane Tomé, e Ricardo Oliveira e Keila Oliveira por estarem comigo seja presencialmente, seja por oração, por telefone, mas nunca me deixaram só, que choraram comigo, sofreram comigo e sorriram comigo.

À minha mãe, por ter me ajudado de diversas maneiras que lhe foi possível, seja no cuidado da minha filha e principalmente em orações que com certeza foram ouvidas.

À minha irmã Liliane que dedicou uma boa parte do seu tempo morando comigo e me auxiliando com minha filha. Grata estou pelo seu amor e paciência quando eu tinha que ficar horas no computador estudando.

À minha irmã Lílian e meu cunhado Williams Júnior que me ajudaram em diversos momentos e de todas as maneiras possíveis, me apoiando, acreditando em mim, e cuidando da minha filha maravilhosamente bem.

Aos meu tios João e Luciene e meu primo João Neto que também presenciaram minhas aflições e desafios e cuidaram da minha filha de forma muito amorosa e cuidadosa.

À CAPES, pelo apoio financeiro em forma de bolsa.

RESUMO

O conceitoconstruçõesustentável tem despertado a atenção em todo o mundo, visto que já se está diante da escassez de recursos naturais e de energia, geração de resíduos sólidos e emissão de gases que danificam cada vez mais o Planeta. Este estudo investigou a possibilidade do uso de fibras vegetais do pseudocaule da bananeira e polpa de embalagens de cimento para o desenvolvimento de compósitos que se destacam por suas propriedades de reforço e térmicas. O aproveitamento de materiais renováveis pode ajudar a reduzir as agressões ao meio ambiente. As embalagens de cimento Portland são em papel tipo Kraft e na sua grande maioria são descartadas no meio ambiente. No entanto, elas contêm fibras na forma de polpa (celulose) que podem ser utilizadas como reforço em matrizes. Para a obtenção da polpa oriunda de sacos de cimento, estes foram cortados em pedaços e passados em um triturador de papel. Em seguida o material triturado era imerso em água e passado em liquidificador industrial. Nas misturas elaboradas com a fibra de bananeira foram testadas porcentagens da fibra em 2% e 4% e relação água/gesso variando de 0,4 a 0,7. O traço com 4% de fibra e relação água/gesso 0,5 conduziu a uma resistência de 2,80 MPa, enquanto que o traço com 2% de fibra e 0,4 de relação água/gesso produziu um compósito com resistência de 5,87 MPa. Observa-se que ao diminuir a proporção de fibra no compósito e a relação água/gesso, a resistência aumentou devido aos vazios que também diminuíram. Para a otimização das misturas realizadas com a polpa variou-se relação água/gesso. Os traços foram moldados sempre para a proporção de 1 kg de gesso/0,08 kg da polpa /0,01 do aditivo retardador. A variação da relação água/gesso foi testada até se chegar nas melhores resistência e trabalhabilidade. A melhor relação água/gesso é de 0,7. Através dos resultados obtidos pelo método de placa quente protegida, constatou-se bons resultados das propriedades térmicas principalmente dos compósitos elaborados com gesso e polpa de embalagens de cimento. O teste de condutividade térmica do compósito utilizando o método da placa quente mostrou que houve redução em relação ao gesso sem reforço.

Palavras Chaves: Gesso; Condutividade Térmica; Resíduo Agroindustrial; Construção Sustentável.

ABSTRACT

The sustainable construction concept has attracted attention worldwide, seeing that already is against scarcity of natural resources and energy, solid waste generation and emission of gases that damage the planet increasingly. This study investigated the possibility the use of vegetable fibers pseudostem of banana and pulp packaging of cement for the development of composites that stand out for its reinforcing properties and thermal. The use of renewable materials can help reduce the strain on the environment. Packages of Portland cement are in Kraft paper and the vast majority are discarded into the environment. However, as they contain pulp fibers (cellulose) can be used as reinforcement in matrix. To obtain the pulp coming from cement bags, they were cut into pieces and passed in a paper shredder. Then the crushed material was immersed in water and passed on an industrial blender. In mixtures prepared with the fiber banana fiber percentages of 2% and 4% and the water / gypsum ranging from 0.4 to 0.7 were tested. The trace with 4% fiber and the water / plaster 0.5 resulted in a resistance of 2.80 MPa, while the mark with 2 % fiber and 0.4 of the water / gypsum produced a composite resistor 5 , 87 MPa. It is observed that by reducing the amount of fiber in the composite and the water / plaster, resistance increased due to voids also decreased . For the optimization of mixtures made with the pulp ranged up the water / plaster. The features were always molded to a ratio of 1 kg of gypsum / 0.08 kg pulp / 0.01 retardant additive. The variation of the water / gypsum was tested to get the best strength and workability. The best water / plaster ratio is 0.7. The results obtained by the method of hot plate protected, we found good results mainly the thermal properties of composites prepared with plaster and pulp packaging of cement. The test of thermal conductivity of the composite using the hot plate method showed that decreased compared to the plaster without reinforcement.

Keywords: Plaster; Thermal Conductivity; Agroindustrial Residue; Sustainable Construction.

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Condutividade térmica das placas de gesso e gesso-polpa..... | 59 |
| Tabela 2 – Condutividade de outros compósitos à base de gesso..... | 59 |
| Tabela 3 – condutividade térmica das placas tipo sanduíche..... | 63 |
| Tabela 4 – Carga de ruptura (kgf/m ²) das placas sanduiche de 45 cm x 45 cm..... | 64 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Edificações sem forro: intensa irradiação de calor do telhado..... | 18 |
| Figura 2 – Imagem do pseudocaule da bananeira segmentado longitudinalmente..... | 33 |
| Figura 3 – Pseudocaule da Bananeira sendo extraído da touceira..... | 34 |
| Figura 4 – Triturador de Resíduos Orgânicos TR 200..... | 34 |
| Figura 5 – Processo de trituração do pseudocaule e fibras resultantes..... | 35 |
| Figura 6 – Fibras do pseudocaule sendo lavadas em água corrente..... | 36 |
| Figura 7 – Fibras de pseudocaule sendo postas ao ar livre para secar..... | 36 |
| Figura 8 – Aferição do pH da solução com cal..... | 37 |
| Figura 9 – Preparação da solução de NaOH, imersão, retirada e secagem das fibras..... | 38 |
| Figura 10 – Triturador de papel..... | 39 |
| Figura 11 – Liquidificador industrial e polpa triturada..... | 39 |
| Figura 12: Reação das diferentes soluções com o iodo..... | 41 |
| Figura 13: Condutivímetro K 30..... | 42 |
| Figura 14: Placa moldada para ensaio no Condutivímetro..... | 42 |
| Figura 15: Placa desmoldada com imperfeições..... | 43 |
| Figura 16: Placa desmoldada com superfície lisa..... | 43 |
| Figura 17: Placa desmoldada sem adensamento..... | 44 |
| Figura 18: Forma para Condutivímetro em moldagem horizontal..... | 44 |
| Figura 19: Moldagem do Compósito com EPS..... | 45 |
| Figura 20: Forma utilizada para confecção dos corpos de prova cúbicos..... | 46 |
| Figura 21: Corpos de prova cúbicos em processo de cura na bancada cerâmica..... | 47 |
| Figura 22: Prensagem dos corpos de prova..... | 47 |
| Figura 23: Prensa para ensaio de tensão na flexão..... | 48 |
| Figura 24: Corpos de prova prismáticos para ensaio de tração na flexão..... | 49 |

| | |
|--|----|
| Figura 25: Rompimento dos corpos de prova em ensaio de tração na flexão..... | 50 |
| Figura 26 – Condutivímetro Térmico – Método Normalizado..... | 51 |
| Figura 27– Influência da polpa oriunda de dois tipos de papel de sacos de cimento..... | 54 |
| Figura 28 – Variação da resistência com a relação água/gesso..... | 55 |
| Figura 29 – Resistência de compósitos gesso-fibras de bananeira em função da relação água/gesso..... | 56 |
| Figura 30: Resistência dos compósitos gesso-fibra de bananeira e gesso-polpa..... | 57 |
| Figura 31: Ensaio de absorção de água na polpa de saco de cimento..... | 58 |
| Figura 32: Ensaio de absorção da fibra de bananeira..... | 58 |
| Figura 33 – Esquema e forma do elemento construtivo utilizado..... | 60 |
| Figura 35: Moldagem do primeiro elemento construtivo..... | 61 |
| Figura 36 – Painel sanduíche..... | 61 |
| Figura 37 – Formas de madeira para painéis sanduíches (à direita preenchida com o painel)..... | 62 |
| Figura 38: Elemento desenvolvido em forma de acrílico..... | 62 |
| Figura 39: Ensaio da placa apoiada nos quatro cantos..... | 64 |
| Figura 40 – Placa de 50 cm x 100 cm com 54,6 kgf/m ² | 65 |
| Figura 41 – Ensaio de placa com 2 m de comprimento..... | 66 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1- | |
| INTRODUÇÃO..... | 16 |
| 1.2 – OBJETIVOS..... | 18 |
| 1.2.1 - Objetivo Geral..... | 18 |
| 1.2.1 - Objetivos Específicos..... | 19 |
| 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 19 |
| 2.1 - A Construção Civil..... | 19 |
| 2.2 – Gesso..... | 21 |
| 2.2.1 – Gipsita..... | 22 |
| 2.2.2 - Pólo Gesseiro..... | 22 |
| 2.3 - Habitação Popular..... | 23 |
| 2.4 - Fibras Naturais..... | 24 |
| 2.5 - Matreiais Compósitos..... | 26 |
| 2.6 – Bananeira..... | 28 |
| 2.7 - Medição da Condutividade Térmica..... | 28 |
| 2.8 – Aditivos..... | 29 |
| 2.9 – Poliestireno Expandido – EPS..... | 29 |
| 2.9.1 - Embalagens de Papel Kraft..... | 29 |
| 2.9.2 – Celulose..... | 32 |
| 3 - MATERIAIS E MÉTODOS..... | 33 |
| 3.1 – Métodos..... | 33 |
| 3.1.2 – Obtenção das fibras..... | 33 |
| 3.1.3 - Obtenção da polpa..... | 39 |
| 3.1.4 - Tratamento da Polpa..... | 40 |
| 3.1.5 - Obtenção das Propriedades Térmicas dos Compósitos..... | 41 |
| 3.1.6 - Utilização do EPS nos Compósitos Gesso-Polpa e Gesso-Fibra..... | 45 |
| 3.1.7 - Resistência à Compressão dos Compósitos Gesso-Polpa e Gesso-Fibra..... | 46 |
| 3.1.8 - Resistência à Tração na Flexão..... | 48 |
| 3.1.9 - Propriedades Térmicas..... | 50 |

| | |
|--|----|
| 3.2 – Materiais..... | 51 |
| 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 53 |
| 4.1 - Generalidades sobre Otimização de Misturas..... | 53 |
| 4.2 - Otimização de Misturas com Polpa..... | 54 |
| 4.3 - Otimização de Misturas com Fibra..... | 56 |
| 4.4 - Resistência à Tração na Flexão..... | 56 |
| 4.5 - Gesso com areia e polpa e saco de cimento..... | 57 |
| 4.6 - Absorção da água da polpa e da fibra de bananeira..... | 57 |
| 4.7 - Condutividade térmica dos compósitos..... | 59 |
| 4.8 - Desenvolvimento de Elementos para Forro de Proteção Térmica..... | 60 |
| 4.8.1 - Elemento construtivo autoportante..... | 60 |
| 4.8.2 - Elemento construtivo tipo sanduíche..... | 61 |
| 4.8.2.1 Propriedades térmicas..... | 63 |
| 4.8.2.2 – Resistência à flexão da Placa Apoiada em Quatro Cantos..... | 63 |
| 5 – CONCLUSÕES..... | 67 |
| 5.1 - Sugestões para Pesquisas Futuras..... | 68 |
| 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 69 |

ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por cinco capítulos.

O capítulo 1 trata da introdução, nela constando os objetivos gerais e específicos.

O capítulo 2 expõe conceitos associados à revisão bibliográfica dos tópicos ressaltantes para a pesquisa tais como o uso de materiais não convencionais na construção civil, habitação popular, reaproveitamento das embalagens de cimento, uso das fibras de bananeira, desenvolvimento de forro para proteção térmica e tópicos pertinentes aos ensaios que foram realizados.

O capítulo 3 destaca os materiais e a metodologia empregados durante o desenvolvimento da pesquisa.

No capítulo 4 são apresentados os resultados alcançados e a análise de todos os ensaios que foram recomendados.

No capítulo 5 são expostas as considerações finais da pesquisa e apresenta sugestões para futuras pesquisas relacionadas com o tema abordado.

CAPÍTULO I

1 - INTRODUÇÃO

As questões ambientais estão inseridas no cotidiano e são altamente relevantes para uma cidadania ambiental digna. Nos anos 60 do século XX, o homem começou a conhecer uma íngreme queda da condição de vida, acarretada pela acelerada deterioração ambiental. Uma grande parte das atividades desenvolvidas pela sociedade, especialmente aquelas no meio urbano, são potencialmente causadoras de conflitos ambientais, que vão desde o consumo descontrolado de recursos naturais até condições alarmantes de poluição, chegando a causar acidentes de dimensões desastrosas (CARNEIRO, 2005).

Entre os anos de 1970 e 1995, o consumo de materiais no mundo despontou de 5,7 milhões de toneladas para 9,5 bilhões, caracterizando uma média de 1,6 ton/hab/ano (MATOS & VAGNER, 1999). Ao englobar toda a problemática dos resíduos sólidos, constatavam-se que os números alarmantes dos grandes centros urbanos, onde além do problema da intensa e constante produção, muitas vezes eram destinados de maneira errônea (BARKOKÉBAS *et al.*, 2002).

A construção civil respondia por uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, e encontrava-se em posição destacada na economia brasileira. Enquanto se analisavam questões positivas, fazia-se necessário avaliar os seus impactos ambientais (ROTH & GARCIAS, 2009).

Segundo Carneiro et. al. (2001), o setor era o maior da economia quanto ao consumo de recursos naturais. O macro complexo da construção civil representava cerca de 14% do PIB nacional (IBGE, 2002). Enquanto na década de 90 a construção civil respondia pelo consumo de 20 a 50% dos recursos naturais consumidos pela sociedade, aproximadamente (SJÖSTRÖM, 1992).

O uso de matérias-primas alternativas, como as fibras de bananeira e fibras de papel Kraft possuem boa aceitação no mercado, visto que a crescente preocupação com a natureza aumenta. No Brasil, destacam-se como as mais aceitas no mercado as fibras de sisal, curauá, algodão, linho, juta, rami, licuri, bananeira e outras (MOTA, 2010).

As fibras de bananeira e de papel Kraft foram escolhidas para a aplicação nesta pesquisa, devido ao fácil acesso às mesmas, tendo em vista que no Nordeste brasileiro há uma facilidade em se adquirir fibras de bananeira, pois há um número vasto de plantações, onde são aproveitados apenas os frutos e o pseudocaule é descartado. Já as fibras de papel Kraft são encontradas nas embalagens de saco de cimento que são muitas vezes descartadas como resíduos.

Na construção civil, os materiais não convencionais vêm destacando-se e inovando a tecnologia. Constatou-se em diferentes eixos de pesquisas práticas, a disponibilidade, o barateamento e principalmente os excelentes resultados ao que se refere às suas propriedades que são capazes de proporcionar melhores resultados. Aliado a isso, o fato desses materiais alternativos serem ecologicamente corretos, também agrupa imenso valor e procura, visto que o interesse por habitações sustentáveis é crescente.

O termo Construção Sustentável está inserido em uma preocupação que aumenta em todo o mundo, pois já se vivencia uma escassez dos recursos naturais e de energia e uma intensa geração de resíduos sólidos e emissão de gases danificando o Planeta. Materiais menos impactantes ao ambiente têm sido estudados, mas o caminho é longo para sua disseminação, a começar pela ausência de normas técnicas. Isto torna difícil a aplicação dos materiais não convencionais em determinadas situações de obras rurais ou de habitações para atendimento de necessidades sociais urgentes (PLESSIS, 2001).

Segundo Schenini *et al.* (2004), no Brasil, a inexistência de um pensamento ecológico na indústria da construção civil gerou danos ambientais que foram agravados pela intensa migração ocasionada na segunda metade do século passado, que produziu uma numerosa demanda por novas habitações.

Grande parte das habitações populares, pelo menos no Nordeste Brasileiro, não utiliza laje, como se vê na figura 1. Em se tratando de uma região com intensa insolação, o calor irradiado pelo aquecimento das telhas gera desconforto nos habitantes. No sentido de melhorar a qualidade de vida de quem vive nesse tipo de casa, pode-se pensar em desenvolver elementos leves para servir de forro e melhorar o conforto térmico das habitações, como pretende este trabalho.

Figura 1 – Edificações sem forro: intensa irradiação de calor do telhado.



1.2 – OBJETIVOS

1.2.1 – Objetivo Geral

O presente trabalho teve como principal objetivo desenvolver elementos construtivos de proteção térmica a partir de gesso com reforço de fibras naturais e de polpa oriunda de sacos de cimento usados para servir de forro em habitações, com o mínimo de pontos de fixação.

1.2.2 – Objetivos Específicos

O objetivo geral só pode ser alcançado a partir da realização dos objetivos específicos destacados abaixo:

- 1 – Caracterização das fibras de bananeira;
- 2 – Caracterização das polpas oriundas de sacos de cimento;
- 3 - Otimização de matrizes de gesso reforçadas com fibras e polpa;
- 4 - Avaliação da condutividade térmica dos elementos construtivos desenvolvidos;
- 5 - Avaliação da resistência mecânica de tais elementos.

CAPÍTULO II

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – A Construção Civil

Os materiais de construção industrializados, tais como o cimento Portland, o aço, concreto, etc, requerem muita energia em seu processo produtivo, o que ocasiona impactos consideráveis ao meio ambiente. Tendo isto em vista, faz-se necessário que se empreguem nas construções materiais alternativos menos impactantes (SILVA *et al.*, 2012).

Presentemente, muitas das atividades desenvolvidas pela sociedade, especialmente aquelas no meio urbano, são potencialmente causadoras de conflitos ambientais, que vão desde o consumo descontrolado de recursos naturais até condições alarmantes de poluição, chegando a causar acidentes de dimensões desastrosas (CARNEIRO, 2005).

A Construção Civil é uma das atividades mais antigas que se pode reconhecer, e nos primeiros tempos da humanidade foi manuseada de maneira artesanal. Os construtores já na época em que as cidades estavam sendo edificadas no Império Romano começaram as primeiras reutilizações de resíduos minerais da construção civil com proposta para novas obras (LEVY, HELENE, 1997).

A relevância das questões ambientais está destacada em todos os contextos profissionais. No campo da construção civil não é diferente, pois o uso de materiais que agridem de maneira considerável a natureza é intenso.

Vive-se hoje uma crescente preocupação com o Planeta e, no campo da engenharia civil, faz-se extremamente necessário uma redução de custos para se dar acesso a imensas parcelas da humanidade, que não dispõem de habitação digna. Dessa forma, é imprescindível a disposição de matérias-primas alternativas e com aceitação no mercado. Inseridos nesse contexto, surgem novos materiais compósitos à base de fibras vegetais e naturais (MOTA, 2010).

O impacto ambiental suscitado pelas construções, devido a sua escala, é objeto de inúmeras pesquisas. Ele deriva, muitas vezes, das agressivas etapas de produção dos materiais construtivos, que consomem consideráveis quantidades de recursos naturais e de energia (ROJAS *et al.*, 2008).

Com um mercado extremamente competitivo e exigente, como o da construção civil, o uso de novas tecnologias e a propagação de novas pesquisas, juntamente com o emprego de novos métodos de construção propõe em expressivas reduções nos custos dos materiais além de proporcionar adequada disposição com grande escala (FERREIRA e FORTES 2009).

A indústria da construção civil é considerada uma constante consumidora dos recursos naturais e geradora de resíduos, fato que promove discussões quanto a sustentabilidade ambiental da referida atividade (SOUZA *et al.*, 2004).

Em meio a crescente e constante preocupação a nível mundial com o meio ambiente, o uso de recursos e materiais renováveis, aqueles que não agridem ao meio ambiente e denotam uma real fonte alternativa e de intenso interesse econômico, tornou-se imprescindível para a sobrevivência das indústrias em um mercado extremamente competitivo dentro de um mundo globalizado (SILVA, 2003).

A redução dos números que enfocam as perdas de materiais é importante e desejável ao serem considerados os aspectos econômicos e ambientais. Duas vertentes nascem a partir da redução de tais resíduos: econômica e ambiental. Avaliando-se economicamente, reduzir pode ser interessante para o crescimento das empresas diante de um mercado cada vez mais competitivo. Em se tratando das questões ambientais, a redução de perdas de materiais beneficia a natureza, poupando os recursos naturais, além de diminuir os resíduos, em que cada vez mais se torna difícil encontrar uma área de deposição (PALIARI, *et al.*, 2002).

2.2 - Gesso

O gesso, inicialmente utilizado em obras de arte e decorações, é um dos mais antigos materiais utilizados pelo homem, conforme confirmam algumas descobertas arqueológicas importantes (PERES *et al.*, 2001). No Brasil ele já está sendo empregado como blocos na construção de casas. Na Universidade Federal da Paraíba já foi, inclusive, desenvolvido um sistema construtivo com blocos de gesso, obedecendo à coordenação modular, o que evita perdas (RODRIGES, 2008).

Os estudos iniciais científicos relacionados à obtenção de gesso a partir da gipsita foram realizados por Lavoisier no ano de 1768 (BALTAR, 2009). E os primeiros trabalhos sobre a hidratação do gesso foram desenvolvidos igualmente por Lavoisier, em 1798 e Le Chatelier, em 1887 (KARNI e KARNI, 1995).

O gesso como revestimento de alvenarias é empregado desde a década de oitenta na construção civil nacional. Assim, a sua versatilidade consentiu ampliar certa tecnologia e ele é utilizado não apenas em acabamento, mas também em elementos decorativos além de argamassas autonivelantes para contrapisos, placas, blocos, cola e gessos acartonados (ROCHA, 2007).

O mineral que dá origem ao gesso é a gipsita. Trata-se de uma rocha sedimentar que origina-se na precipitação de sulfatos de cálcio contidos em águas marinhas submetidas à evaporação. Em geral ocorre coligada a certas impurezas, argilominerais tais como: calcita, dolomita e material orgânico. Os minerais de sulfato de cálcio podem dar-se na forma dihidratada (gipsita: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), desidratada (anidrita: CaSO_4) e semi-hidratada (bassanita: $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), essa última mais rara de encontrar. Segundo Baltar *et al.*, o minério de gipsita do pólo gesseiro de Araripina é considerado o de melhor qualidade no mundo, apresentando teor de pureza que varia de 88% a 98% (OLIVEIRA, 2009).

Na Europa, a utilização de gesso para a construção civil foi popularizada a partir do século XVIII, quando também nessa época passou a ser usado como corretivo de solos (BALTAR, 2009).

O uso inicial de gesso na antiguidade em Portugal foi apreciado por volta do século XVI no período Manuelino na decoração de janelas de uma igreja do mosteiro Cristo executado no século XII. Na Grécia antiga e no período romano o gesso já era usado como revestimento em diferentes camadas sobrepostas. Para fazer a pasta de gesso mais consistente

eram usados algumas vezes pêlos de animais ou crina, que deveriam ser limpos, desembaraçados, longos e fortes, sendo sobrepostos na pasta ou argamassa somente na hora da aplicação (Silveira et al., 2005).

O Brasil destaca-se pela maior reserva mundial de gipsita, porém representam apenas 1,5% da produção mundial, a maior produção no país, provém dos Estados de Pernambuco (1.560.854 t, 89,28% da produção nacional), Maranhão (96.074 t 5,5%), Ceará (60.622 t 3,47%), Amazonas (21.600 t 1,24%) e Tocantins (9.023 t, 0,52%) (DNPM/ PE – 2012).

A produção e o consumo per capita são bem inferiores aos de muitos países. Os Estados Unidos chegam a consumir mais de 100 kg/hab/ano. Já na Europa pode-se chegar ao total de 80 kg/hab/ano. Entre os países da América do Sul, o Chile destaca-se como o maior consumidor de gesso, com cerca de 40 kg/ hab /ano, ultrapassando o Brasil que possui o índice de cerca de 15 kg/ hab/ ano. Esses dados apontam que existe um concentrado uso do gesso a ser descoberto nos países americanos do sul (BARBOSA e RODRIGUES).

O gesso é um material de elevada eficiência energética quando comparado a outros materiais de construção. Enquanto a fabricação de cimento requer temperaturas da ordem de 1450°C, a cal e os blocos cerâmicos requerem 900°C a 1000°C, a fabricação do gesso necessita de temperaturas de apenas 150°C - 170°C. Além disso, enquanto a fabricação do cimento e da cal lança CO₂ na atmosfera, a de gesso emite vapor d'água (BARBOSA e RODRIGUES, 2008).

2.2.1 - Gipsita

A gipsita é a matéria prima utilizada na fabricação do gesso, a propriedade da rocha é considerada pelo alto seu teor de sulfato de cálcio, em geral, a produção é obtida em minério com 80% a 95% de pureza, pode-se encontrar em formas diferenciadas na cor e textura.

A obtenção do gesso comercial vem da calcinação e posterior moagem da gipsita, conforme equação (1).



2.2.2 - Pólo Gesseiro

O Pólo Gesseiro encontra-se localizado no extremo oeste do Estado de Pernambuco, epicentro do Nordeste a cerca de 800 km equidistante de sete capitais brasileiras (Recife,

Salvador, Fortaleza, Aracaju, Maceió, João Pessoa e Natal). Encontram-se envolvidas com a produção, na região de Pernambuco, empresas de mineração da gipsita, indústrias de beneficiamento, empresas de transformação, comercialização e distribuição do gesso e produtos derivados, e ainda empresas do setor de construção civil, indústrias de máquinas e ferramentas, fabricantes de explosivos, transportadoras, oficinas mecânicas, hotéis, indústria química e fabricantes de embalagens, constituindo uma cadeia produtiva do setor, configurando-se, assim, o APL – Gesso (Arranjo Produtivo Local do Gesso).

Este se apresenta como uma junção de empresas de micro, pequeno e médio porte que oferecem cerca de 13.200 empregos diretos e aproximadamente 66.000 indiretos.

Estimado como um APL – Arranjo Produtivo Local de nível estadual e federal, o Pólo Gesseiro de Pernambuco tem uma reserva avaliada em 1,22 bilhões de toneladas, sendo uma das mais significantes e respeitáveis em todo o mundo, sobretudo ponderando o alto teor de pureza do gesso.

Na região do Araripe, abrange cinco municípios, 80% das minas do país, e ainda 139 fábricas de gesso calcinado, sendo cerca de 726 fábricas de pré-moldados.

Em 2008 Pernambuco produziu 5,5 milhões de toneladas, o que corresponde a 95% da produção nacional, em que 61% é dedicada à fabricação de blocos e placas, 35% para revestimento, 3% para moldes cerâmicos e 1% para outros usos.

Cerca de 800 mil toneladas de gipsita são produzidas pelo Pólo e esta é usada pela indústria de cimento e ainda são produzidas 200 mil toneladas de gesso agrícola que vem destacando-se no agronegócio.

A produção cresce a cada ano, demonstrando a eficácia e a potencialidade do estado, bem como a competência profissional dos envolvidos (SINDUGESSO, 2012).

2.3 - Habitação Popular

Instintivamente os primeiros habitantes que nos antecederam já procuravam um lugar para protegerem a si e às suas famílias de tempestades, animais e do vento, onde pudessem descansar e se sentirem guardados. Esse lugar é o que conhecemos por moradia, habitação, casa.

Entre o fim do século XIX e início do século XX as cidades iniciavam um processo de concentração urbana, onde os trabalhadores residiam em cortiços, por conta da grande expansão do mercado de trabalho (BONDUKI, 1998).

Os trabalhadores de um modo geral eram mal remunerados e com isso aumentou descompensadamente a malha urbana. Por outro lado havia também nesse período uma escassez de habitações populares e por tais motivos o poder público intervém de maneira a tentar controlar a produção de habitações (BONDUKI, 1998).

Os materiais de construção alternativos surgem como expectativas em inserir na habitação popular um novo conceito, incentivando também aos governos a investirem em algo mais acessível e que ao mesmo tempo represente um compromisso com o meio ambiente, já que materiais recicláveis e reutilizáveis podem ser empregados diretamente na construção civil.

2.4 - Fibras Naturais

Na Bíblia encontramos referência de usos de fibras em construção. O estudo sistemático do uso de fibras com finalidade de reforço de matrizes cimentícias teve início na Inglaterra, no ano de 1970. No Brasil, o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED) foi o pioneiro, iniciando os estudos em Camaçari, Bahia, em 1980.

As fibras dos vegetais encontram na parede celular uma estrutura complexa que envolve as células (FILISETTI, 2002). Macroscopicamente, as fibras despertam interesse por suas propriedades físicas e mecânicas que são:

(i) Dimensões: A relação entre comprimento e diâmetro das fibras é fator determinante na transferência de esforços para a matriz. Outro ponto interessante é a seção transversal irregular das fibras vegetais, bem como seu aspecto fibrilado, que exercem influência positiva sobre a ancoragem dessas fibras, junto às matrizes frágeis;

(ii) Volume de vazios e absorção de água: em razão da grande porcentagem volumétrica de vazios permeáveis, a absorção é muito alta já nos primeiros instantes de imersão. Como consequência direta, advém interferência negativa na relação água-aglomerante da matriz, intumescimento e posterior retração da fibra. Por outro lado, o elevado volume de vazios contribui para menor peso, maior absorção acústica e menor condutibilidade térmica dos componentes obtidos;

(iii) Resistência à tração;

(iv) Módulo de elasticidade: as fibras vegetais classificam-se como de baixo módulo, fator determinante para seu emprego em componentes construtivos que trabalhem no estágio pós-fissurado, com elevada absorção de energia e resistência a esforços dinâmicos (DUARTE *et. al*, 2009).

De maneira geral, as fibras vegetais de natureza celulósica são descontínuas. Sua morfologia diferenciada é interessante, sobretudo nos produtos naturais, porquanto pode revelar sua origem (MANO, 2004).

Para que determinadas exigências sejam cumpridas, algumas fibras naturais podem ser modificadas industrialmente por processos químicos (RABELO, 2000).

Desde a antiguidade há menções da utilização de fibras como material de reforço. Esta ideia é anosa e pode-se encontrar referências onde essa prática era utilizada no livro de Gênesis, da Bíblia Sagrada: os israelitas aproveitavam a palha para reforçar seus tijolos de terra crua (SHUMAN, 2000): "Naquele mesmo dia o Faraó deu esta ordem aos inspetores do povo e aos capatazes: não continueis a fornecer palha ao povo, como antes, para o fabrico dos tijolos".

Por conta do menor custo da matéria-prima e suas excelentes propriedades mecânicas quando associadas a matrizes diversas formando compósitos, as fibras naturais têm sido utilizadas como preenchimentos orgânicos ou reforços para termoplásticos. Destaca-se atualmente uma procura das indústrias por produtos ecologicamente corretos, já ocorrendo a substituição de fibras sintéticas por fibras naturais. A esse fato alia-se a relevância social e econômica bem como o fato das fibras naturais não oferecerem riscos à saúde (SILVA *et al*, 2009).

Na construção civil, fibras que normalmente são recusadas pelas indústrias de amarra, estofados e tecelagem, podem ser empregadas como reforços (SAVASTANO, 2001).

Sendo assim, há recentemente um crescente empenho e interesse na utilização de materiais lignocelulósicos (fibras de sisal, coco, banana, curauá e juta), como reforço em divisórias. A importância da utilização das fibras vegetais como atuante de reforço está conexa ao seu baixo custo, menor densidade em relação às fibras de vidro, e ainda são fontes renováveis, não abrasivas, biodegradáveis e largamente disponíveis em território nacional (PIRES, 2009).

Dizem-se lignocelulósicos os materiais fibrosos, que compõem matrizes complexas constituídas de celulose, um rígido polímero de glicose, hemiceluloses, pectinas e outras gomas. Tal matriz é saturada com lignina, que pode ser analisada como uma cobertura de resina plástica. Esses materiais lignocelulósicos são localizados na biomassa vegetal, termo habitualmente usado para indicar matéria orgânica produzida, tanto pelas espécies vegetais, como por seus resíduos. Biomassa vegetal: florestas, produtos agrícolas, gramíneas com alto rendimento em fibras (bambu, sisal, juta, rami), resíduos agroindustriais (bagaço de cana de açúcar, palha de milho, palha de arroz) (CASTRO, 2001).

As fibras sintéticas são geralmente derivadas de petróleo. Por razões ambientais há atualmente um crescente empenho e interesse na utilização de materiais naturais lignocelulósicos (fibras de sisal, coco, banana, curauá, juta, etc), como reforço em matrizes diversas.

2.5 - Materiais Compósitos

Pode-se definir compósitos como materiais combinados por, no mínimo, dois componentes ou fases: fase matriz, podendo ser cerâmica, polimérica ou metálica, e fase dispersa, comumente composta por fibras ou partículas que servem como carga, empregadas para enfatizar características mecânicas, eletromagnéticas, físicas ou químicas do material como um todo (PEREIRA, 2002). É necessário que haja interação química e/ou física entre as duas fases para acontecer a transferência de esforços mecânicos da matriz para os reforços fibrosos (BRASKEM, 2002).

Outra definição diz que materiais compósitos são aqueles que possuem dois ou mais constituintes que são física e quimicamente distintos, porém juntos conduzem a um outro material de propriedades distintas daquelas de seus componentes. (OLIVEIRA, 2007; MATHEWS e RAWLINGS, 1994).

Na versão eletrônica do *dictionary of composite materials technology* de Stuart Lee, compósito é um material multifásico formado por materiais combinados que se diferenciam em composição ou forma, e mesmo unidos conservam suas identidades e propriedades atribuindo ao conjunto atuação superior ao alcançado por cada um dos materiais constituintes isolados. Compósitos podem ser encontrados nas formas fibrosas (fibras /matriz), laminares (camadas de material), particuladas (partículas /matriz) ou híbridas (uma combinação dos anteriores).

Para a formação de compósitos são importantes:

(i) Dimensões: relação de aspecto: é a relação entre comprimento e diâmetro das fibras é fator determinante na transferência de esforços pra matriz. Outro ponto interessante é a seção transversal irregular das fibras vegetais, bem como seu aspecto fibrilado, que exercem influência positiva sobre a ancoragem dessas fibras, junto às matrizes frágeis;

(ii) Volume de vazios e absorção de água: Em razão da grande porcentagem volumétrica de vazios permeáveis, a absorção é muito alta já nos primeiros instantes de imersão. Como consequência direta, advém interferência negativa na relação água-aglomerante da matriz, intumescimento e posterior retração da fibra. Por outro lado, o elevado volume de vazios contribui para menor peso, maior absorção acústica e menor condutibilidade térmica dos componentes obtidos;

(iii) Resistência à tração: Semelhante, em média, à das fibras de polipropileno; e

(iv) Módulo de elasticidade: As fibras vegetais classificam-se como de baixo módulo, fator determinante para seu emprego em componentes construtivos que trabalhem no estágio pós-fissurado, com elevada absorção de energia e resistência a esforços dinâmicos (DUARTE et. al, 2009).

O surgimento de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais, está diretamente conectado aos seguintes subsídios:

(i) características essenciais às plantas e aos procedimentos de aquisição das fibras vegetais. Ao se tratar de plantas fibrosas, são exemplos a percentagem de fibra existente na parte explorada (folha, caule ou fruto) e o método utilizado no desfibramento; e

(ii) comércio extremamente seletivo e restrito, com relativa mínima produtividade de itens passíveis de comercialização. A indústria madeireira, por exemplo, trabalha com particularizações técnicas que geram índices elevados de rejeição das matérias-primas:

- perecibilidade dos produtos; - restritas e mínimas informações acessíveis de como se destinar resíduos a empregos alternativos. É praticamente inexistente a prática de “bancos de resíduo”, para fins de realocação desses materiais em outros mercados (SAVASTANO JUNIOR e PIMENTEL, 2000).

A utilização de fibras de resíduos para a contribuição de matrizes frágeis é considerada admissível para a gestão sustentável dos resíduos sólidos urbanos (CARVALHO, *et al*, 2002).

As fibras naturais quando se desenvolvem, extraem gás carbônico do ar ambiente e ao fim do ciclo de vida os elementos fabricados com fibras naturais podem ainda ser incinerados,

gerando assim energia para fornos e outros mais. No Brasil há uma enorme potencialidade para a produção de fibras naturais entre elas a juta e o sisal que possibilitam que o segmento industrial brasileiro atente para os benefícios de uso destes materiais (BRAGA, 2010).

2.6 - Bananeira

A bananeira, *Musa Musaceae*, é uma planta herbácea, que é facilmente encontrada em quase todas as partes do mundo. No Brasil, o estado de maior destaque entre os produtores, é a Bahia. A bananeira tem um porte de 2,0 a 8,0 metros de altura, com um diâmetro médio da base de 30 cm a 45 cm e em sua parte superior entre 10 cm e 15 cm, possui raízes superficiais e fibrosas, e um caule que é de localização subterrânea, denominado rizoma, suas folhas possuem bainhas (pecíolos) e estes, quando justapostos formam o falso caule (pseudocaule), que é de onde obtém-se as fibras para estudo (MOTA, 2010).

2.7 - Medição da condutividade térmica pelo método da placa quente protegida

A condutividade térmica de materiais isolantes é verificada através do método de placa quente protegida (MOURA *et al.*, 1993).

A resistência térmica é determinada a partir da lei de Fourier:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{q_1 + q_2}{2} \right)}$$

em que R é a resistência térmica ($m^2 \text{ K/W}$), q_1 e q_2 a densidade de fluxo de calor medido pelos fluxímetros 1 e 2 (W/m^2) e T_1 e T_2 as temperaturas superficiais da amostra medidas por termopares tipo T dispostos em arranjo diferencial.

Considerando que a amostra é homogênea, é possível determinar a **condutividade térmica** do material (λ):

$$\lambda = \frac{L}{R}$$

em que λ é a condutividade térmica ($W/m \text{ K}$) e L é a espessura da amostra (m).

2.8– Aditivos

As propriedades mecânicas do gesso podem ser consideravelmente melhoradas com a utilização de aditivos químicos. A finalidade destes é melhorar o seu uso através de alterações nas características do material, e tais alterações melhoram a resistência, bem como a plasticidade, o tempo de pega e a durabilidade (NOGUEIRA, 2012).

Pode-se definir como aditivo o conjunto de substâncias que são acrescentadas propositalmente, objetivando o reforço ou mesmo alteração de uma ou mais características e atribuindo propriedades que o viabilizem para um uso específico (PETRUCCI, 1987).

Ao se misturar água ao gesso, as reações de hidratação são muito rápidas, e por vezes não permitem que o material seja manuseado para se moldar uma peça construtiva, por exemplo. Para os fins que se propõe esse trabalho, necessário se fazer o uso de um produto que retarde o endurecimento. Na indústria de gesso existem retardadores químicos comumente utilizados para retardar o endurecimento do gesso, porém eles não são plastificantes, ou seja, não deixam a mistura mais trabalhável com menor quantidade de água. Para se ter maior resistência, diminui-se a água de mistura, ou seja, a relação água/gesso. Os espaços vazios são também diminuídos e a densidade e a resistência se elevam.

No ano de 2012 o então aluno de mestrado Jesus Charles do Amaral Nogueira, que hoje prossegue com a pesquisa como doutorando desenvolveu na Universidade Federal da Paraíba – UFPB, no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas –LABEME um retardador de pega e plastificante para gesso a partir da resina do Avelozpatente nº 000261.

2.9 - Poliestireno Expandido – EPS

O Poliestireno Expandido possui a sigla internacional EPS, e é popularmente denominado de Isopor, o que na verdade é uma marca registrada. Este é um dos materiais que vem destacando-se na construção civil. O poliestireno expandido destaca-se por ser rico em possibilidades de aplicações na construção civil. Uma das aplicações mais expressivas se sobressai em seu uso como isolante térmico e acústico (OLIVEIRA, 2013).

O aspecto de pequenas células do EPS é obtido através do processo de expansão. O gás que é utilizado como agente expansor é o gás pentano que é inofensivo ao meio ambiente pois se degrada fotoquimicamente de maneira rápida.

A primeira vez que o EPS foi desenvolvido foi no ano de 1949 nos Laboratórios da BASF, “Badische Anilin und Soda-Fabrik”, que é uma indústria alemã de soda e anilina. Aqui

no Brasil o EPS é mais divulgado como Isopor, que é uma marca registrada da Knauf Isopor Ltda.

O EPS é destacável por uma infinidade de aplicações comerciais que se devem a características, tais como:

- (i) Leveza (constituído de 98% de ar e densidade variando em 10-30 kg/3);
- (ii) Baixa condutividade térmica (células cheias de ar dificultam a passagem do calor) e baixa permeabilidade à água;
- (iii) Versatilidade (fácil de manusear e de adaptar-se a diferentes situações);
- (iv) Alta resistência ao envelhecimento;
- (v) Higiênico (não é substrato para o crescimento de microrganismos e não libera substâncias nocivas).

A reciclagem do EPS é dificultada por suas principais características, a leveza e a baixa densidade. Por se constituir principalmente por ar, ao ser derretido o seu volume decresce para 10% do original. Isso é automaticamente somado ao fato de dificultar o transporte desse material por ocupar bastante espaço, e dessa maneira pouco empresas demonstram interesse para reciclar ou até mesmo coletar o EPS.

Porém descarta-lo no lixo comum é um completo desperdício, pois os produtos de EPS são 100% recicláveis. O tempo para que este se decomponha na natureza é de aproximadamente 150 anos, o que acarreta danos, ocupando grande espaço nos aterros sanitários, onde satura rapidamente outras áreas destinadas para outros tipos de resíduos. Se for queimado o EPS libera gás carbônico o que contribui com o aumento do efeito estufa. Se for descartado indevidamente na água pode ser ingerido por algum animal aquático ocasionando prejuízos ao ecossistema (ABRAPEX, 2014).

2.9.1 - Embalagens de Papel Kraft

Papéis se definem, fundamentalmente, como um acumulado de fibras celulósicas de desiguais dimensões, envolvidas umas às outras onde são prensadas, proporcionando uma superfície apropriada para colar, escrever ou imprimir. A forma como as fibras ficam dispostas, sua resistência individual e seu tamanho definem a resistência mecânica; a natureza

das fibras incide em suas características, que variam de acordo com o vegetal de procedência, havendo diferenças entre a forma estrutural, tamanho e pureza (ROBERT, 2007).

A polpa Kraft, uma palavra alemã que significa forte, dá origem a papéis resistentes e que possuem coloração escura. O papel Kraft é confeccionado a partir de uma combinação de fibras de celuloses curtas e longas, que são derivadas de polpas de madeiras macias. O resultado da mistura dessas fibras proporciona ao papel adequado características de resistência mecânica, ótima atuação no processamento mecânico e uma maciez relativa (SAMISTRARO et al., 2009).

Segundo Cunha Jr, 2005, o Perfil de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil informa que existem cinquenta tipos de resíduos com destinação classificada. As embalagens de papel Kraft que contém resíduos de cimento e argamassa (pertencentes à Classe C) são consideradas resíduos destinados ao reaproveitamento e reciclagem, e de uso restrito para outros fins por serem consideradas contaminadas com resíduos de cimentos ou de outros materiais de construção.

A produção do papel Kraft é dada a partir de polpas de fibras celulósicas longas, que permanecem fortes, por não se submeterem a nenhum processo mecânico e dessa forma mantém suas propriedades mecânicas (BRACELPA, 2014).

As indústrias de cimento, açúcar e bandejas de ovos recebem o maior volume de produção de papel Kraft. Embalagens à base de celulose têm índices econômicos relevantes e a tendência é que mantenham tais índices tanto em curto quanto em médio prazo. O papel causa menos impacto ao meio ambiente quando comparado a outros materiais por isso sua produção vem crescendo desde 2005 (EMBALANEWS, 2007).

Por inúmeras razões as embalagens de papel Kraft são as mais utilizadas nas embalagens de cimento, porém consomem muita celulose nativa como matéria prima em sua produção, fato que afeta diretamente as questões ambientais de maneira expressiva. São utilizadas pela indústria de cimento há mais de 80 anos, porém não sofrem evolução significativa e possuem aspectos negativos ao se tratar do transporte e da conservação do produto (BRACELPA, 2011).

Sacos de cimento usados nas obras são em sua maior parte descartados no meio ambiente. Um bom uso que dele se pode fazer é justamente reaproveitar suas fibras celulósicas.

2.9.2 - Celulose

A maior consumidora de celulose do mundo é a indústria de papel, e a fonte mais comum é o eucalipto, *Eucalipitus sp*, da família das Mirtáceas. A identificação de sua origem botânica é permitida através da morfologia das fibras naturais (FOELKEL, 2007).

A madeira para celulose e papel no Brasil, advém de espécies arbóreas de pinus *Pinuselliottii*, *Pinus taeda* e *Pinus caribea*, bambu (em menor escala) e eucalipto, destacando-se *Eucalyptusgrandis*, *Eucalyptussaligna*, *Eucalyptusurophyla*, que são cultivados desde então para essa finalidade (SAMISTRARO, 2009).

A celulose é um polímero constituído por alongadas cadeias de anéis de glucose, interligadas umas às outras por ligações glicosídicas, classificado como polissacarídeo ou carboidrato (PORTELLA, 2011). É um dos fundamentais constituintes das paredes celulares das plantas (cerca de 33% do peso da planta), em combinação com a lignina, a hemicelulose e a pectina (FOELKEL, 2007). Suas cadeias diferentes justapostas de glucose constituem fibras compactas que compõem a parede celular insolúvel à água nos vegetais. O uso mais popular é como, papel (a partir de polpa de madeira), fibra (de uso geral na indústria têxtil), na indústria de móveis e na construção civil (AKCELRUD, 2007).

Como principais propriedades, a celulose expõe boa resistência mecânica, baixa resistência ao calor e alta absorção de umidade, peso molecular variável e fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$ com valor mínimo de $n = 200$, tipicamente de 300 a 700, pode passar de 7000 (MANO, 2004).

CAPÍTULO III

3 - METODOLOGIA

O trabalho experimental foi desenvolvido no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba – LABEME, do Centro de Tecnologia da UFPB.

3.1 - Métodos

O trabalho experimental passou pelas seguintes etapas:

3.1.2 - Obtenção das fibras:

As fibras de bananeira foram obtidas do pseudocaule retirado “in natura” de touceira da planta existente no campus da própria Universidade Federal da Paraíba, no Laboratório de Materiais e Estruturas. Na Figura 2 pode ser visto o pseudocaule e na Figura 3 a retirada da touceira.

Figura 2 – Imagem do pseudocaule da bananeira segmentado longitudinalmente

Fonte: (O Autor, 2013)



Figura 3 – Pseudocaule da Bananeira sendo extraído da touceira

Fonte: (O Autor, 2013)



Ainda verde, o pseudocaule foi submetido a um processo de Trituração utilizando o Triturador de Resíduos Orgânicos TR 200, visto na Figura 4. Na Figura 5 vê-se o triturador e as fibras obtidas.

Figura 4 – Triturador de Resíduos Orgânicos TR 200.

Fonte: (O Autor, 2013)



Figura 5 – Processo de Trituração do pseudocaule e fibras resultantes

Fonte: (O Autor, 2013)



Após o processo de Trituração do pseudocaule, verificou-se que as fibras necessitavam passar por um processo de limpeza. Então, elas foram colocadas imersas em uma solução de cal, na proporção de 10 litros de água para 1,5 kg de cal por um período de 24 horas. Após esse período as fibras foram lavadas em água corrente e colocadas para secar ao ar livre por um período de 5 dias (Figuras 6 e 7).

Figura 6 – Fibras do pseudocaule sendo lavadas em água corrente



Figura 7 – Fibras de pseudocaule sendo postas ao ar livre para secar



A solução com cal, para limpeza das fibras, foi submetida a aferição de pH, em Laboratório de Saneamento (Figura 8). Viu-se que se trata de um meio altamente alcalino, com pH 13.

Figura 8 – Aferição do pH da solução com cal.



Mesmo com o tratamento com a solução com cal, constatou-se que as fibras não ficavam totalmente limpas de seus resíduos. Então elas passaram por um novo processo de limpeza por meio de solução de NaOH (hidróxido de sódio) com concentração de 0,5% e 1,0%, até chegar a melhor concentração, e não queimar as fibras. A solução de NaOH é altamente corrosiva e pode produzir queimaduras. A solução de NaOH foi preparada no Laboratório de Carvão Ativado, localizado na UFPB.

Figura 9 – Preparação da solução de NaOH, imersão, retirada e secagem das fibras.



3.1.3 - Obtenção da polpa

Para a obtenção da polpa oriunda de sacos de cimento, estes foram cortados em pedaços e passados em um triturador de papel (Figura 10).

Figura 10 – Triturador de papel



Em seguida o material triturado foi imerso em água por três dias, já na quantidade de ser usada na mistura com o gesso, e passado em liquidificador doméstico. Ele não se mostrou muito eficaz em triturar o papel, sendo assim foi providenciado um liquidificador industrial, mais potente e com maior capacidade. Na Figura 10 vê-se o equipamento e o papel já triturado.

Figura 11 – Liquidificador industrial e polpa triturada



3.1.4 - Tratamento da Polpa

Foi verificada a probabilidade de a polpa ter que passar por lavagem utilizando algum composto químico. Avaliou-se a possibilidade de o papel ficar mais resistente se houvesse a perspectiva de retirar o amido do Kraft e deixar só a celulose.

Um composto que identifica amido é a tintura de iodo. Dessa forma, utilizando o Laboratório de Carvão Ativado da UFPB, foram realizados testes. O papel foi posto de molho em diferentes soluções de NaOH, e retirava-se gotas dessas soluções, para misturar com gotas da tintura de iodo a 2%. A confirmação de que haveria amido dava-se com a coloração da solução ao entrar em contato com a tintura de iodo: ficar lilás, ou uma cor que dela se aproximasse.

Para iniciar os experimentos foram escolhidos aleatoriamente três concentrações diferentes de pH, onde foram observadas reações no primeiro momento e depois de 3 dias de molho na mesma solução. Os pHs escolhidos foram 3.0, 7.0 e 10. A escolha dos pHs se fez necessário porque o resultado seria interpretado da seguinte forma: se o pH fosse ácido um composto químico ácido deveria ser usado para lavar a polpa. Se o composto fosse alcalino, a necessidade seria de um composto químico básico, que poderia ser a própria solução de NaOH. Caso o resultado fosse neutro, isso indicava que a imersão na água com pH neutro já seria o bastante para retirar amido, deixando a polpa com mais concentração de celulose, e portanto mais resistente e sem o uso de nenhum composto. No primeiro momento em que o papel foi posto nas diferentes soluções não houve nenhuma mudança de cor, ou seja, não foi demonstrada nenhuma reação quando em contato com a tintura de iodo. Então, esperou-se três dias para verificar novamente.

Depois do terceiro dia em que o papel estava de molho com as diferentes concentrações de pH, foram percebidas reações quando em contato com o iodo. As soluções que tinham pH 7 e 10 apresentaram mudanças em suas colorações que se aproximaram do tom lilás. Conclui-se, portanto, que o papel após três dias em solução com NaOH e também em solução com água sem nenhum composto químico perde mais amido ficando com concentração maior de celulose e, logo, mais resistente.

Figura 12: Reação das diferentes soluções com o iodo



Depois desse experimento a polpa sempre ficava três dias de molho e somente depois era triturada e adicionada ao gesso para moldagem do compósito.

3.1.5 - Obtenção de Propriedades Térmicas do Compósito

Foi realizada por meio do método de placa quente protegida, através do Condutivímetro K30 (Figura 13).

Figura 13: Condutivímetro K 30



Para que a placa fosse levada ao Condutivímetro, na proporção de 30x30x3 cm, foi-se necessário que estas fossem moldadas em forma própria metálica, conforme figura abaixo.

Figura 14: Placa moldada para ensaio no Condutivímetro



Figura 15: Placa desmoldada com imperfeições



Quando as placas eram moldadas, era necessário que a superfície ficasse a mais lisa possível, pois os espaços vazios interferem no resultado. Tais espaços vazios se dão por conta da água, ou do uso das fibras vegetais e até mesmo pela dificuldade de adensamento na hora da moldagem, pois a forma metálica é proposta para moldagem vertical. Quando a mistura fibra-gesso-água é posta dentro da forma, há uma certa dificuldade de adensar, visto que a fibra permite ao traço menos plasticidade.

Quando havia muitos vazios nas placas moldadas, era necessário repetição da moldagem.

Figura 16: Placa desmoldada com superfície lisa



Muitas vezes as placas moldadas adquiriam cor escura devido ao óleo utilizado para lubrificar a forma.

Nas placas com EPS que necessitavam ser moldadas para a análise no Condutivímetro, encontrou-se dificuldades em dispor como compósito no meio do gesso na forma que é própria para moldagem na vertical. Ao desmoldar as placas estas não conseguiam ficar bem adensadas por conta da disposição vertical e da mistura com o EPS e as placas não ficavam próprias para o ensaio conforme observa-se na figura abaixo:

Figura 17: Placa desmoldada sem adensamento



Então por esse motivo foi pensado em desenvolver uma forma em formato horizontal para facilitar a moldagem com EPS. Tal forma foi confeccionada no Labeme com as mesmas medidas da forma própria do condutivímetro, conforme verifica-se em seguida:

Figura 18: Forma para Condutivímetro em moldagem horizontal





3.1.6 - Utilização do EPS nos Compósitos Gesso-Polpa e Gesso-Fibra

Conforme andamento da pesquisa, observou-se a possibilidade de utilizar o EPS como forma de desenvolvimento de um compósito mais leve. O EPS que têm bons resultados acústicos e excelentes propriedades térmicas, ao ser associado com a fibra de bananeira e a polpa Kraft demonstrou bons resultados, tanto na resistência, como na condutividade térmica. Então foram moldados elementos com EPS e realizados ensaios de resistência e condutividade.

Figura 19: Moldagem do Compósito com EPS



Foi testado inicialmente tamanho menor de forma, depois, outros maiores. No início o acabamento não ficou adensado de maneira uniforme, mas foram repetidos muitas vezes até chegar em um adensamento que permitisse ao elemento que o mesmo estivesse com o acabamento uniforme.

3.1.7 - Resistência à Compressão dos Compósitos Gesso-Polpa e Gesso-Fibra

Neste ensaio foram moldados corpos de provas cúbicos, com arestas medindo 5,0 cm. Os corpos de provas foram moldados em forma metálica com capacidade para 3 corpos de prova para cada moldagem. Para a mistura foram utilizados recipiente plástico e uma espátula.

Para os compósitos gesso-polpa foram moldados sete traços, sendo três corpos de prova para cada traço, o que totalizou em 21 corpos de prova.

Para os compósitos gesso-fibra foram moldados nove traços, sendo três corpos de prova para cada traço, o que totalizou em 27 corpos de prova.

Foi moldado um traço com gesso e areia e outro com gesso, areia e polpa.

O procedimento padrão para cada moldagem deu-se da seguinte maneira: os materiais passaram por pesagem em balança eletrônica precisa, depois foram misturados em recipiente plástico, onde a água é adicionada e em seguida o gesso e os outros materiais. Quando a mistura dos materiais era completada, lançava-se às formas.

Figura 20: Forma utilizada para confecção dos corpos de prova cúbicos



O adensamento dos corpos de prova deu-se de forma manual. O excesso de gesso foi retirado com o auxílio de uma espátula.

Os corpos de prova foram desinformados 24 horas após a moldagem e ficavam expostos em bancada de cerâmica por um período de 12 a 14 dias para concluir o processo de cura, onde haveria a perda de água. Para comprovar a perda de água e estabilização do peso, era realizada a constância de peso, onde os corpos de prova eram pesados no momento do desmolde e após o processo de cura. Os pesos eram devidamente anotados.

Figura 21: Corpos de prova cúbicos em processo de cura na bancada cerâmica



Após esse período de cura os corpos de prova eram pesados por dois dias consecutivos para comprovação da estabilização do peso. Após essa comprovação estes estavam aptos para serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão realizado por equipamento específico.

Figura 22: Prensagem dos corpos de prova



3.1.8 - Resistência à Tração na Flexão

Para a realização do ensaio de resistência à tração na flexão foi utilizada a NBR 13279. O equipamento utilizado foi prensa Shimadzu (Figura 23) que promove a aplicação controlada da carga sobre o corpo de prova prismático de 40 mm x 40 mm x 160 mm. A distância entre centros do apoio é 100 mm.

Figura 23: Prensa para ensaio de tensão na flexão



Foram moldados três corpos de prova para cada traço em forma metálica. Os materiais foram pesados em balança eletrônica com precisão de décimo de grama.

Figura 24: Corpos de prova prismáticos para ensaio de tração na flexão



A resistência à tração na flexão é dada pela seguinte equação 2:

$$f_{ctm} = F \cdot L / (b \cdot h)^2$$

Onde:

f_{ctm} = resistência à tração na flexão;

F = carga máxima aplicada;

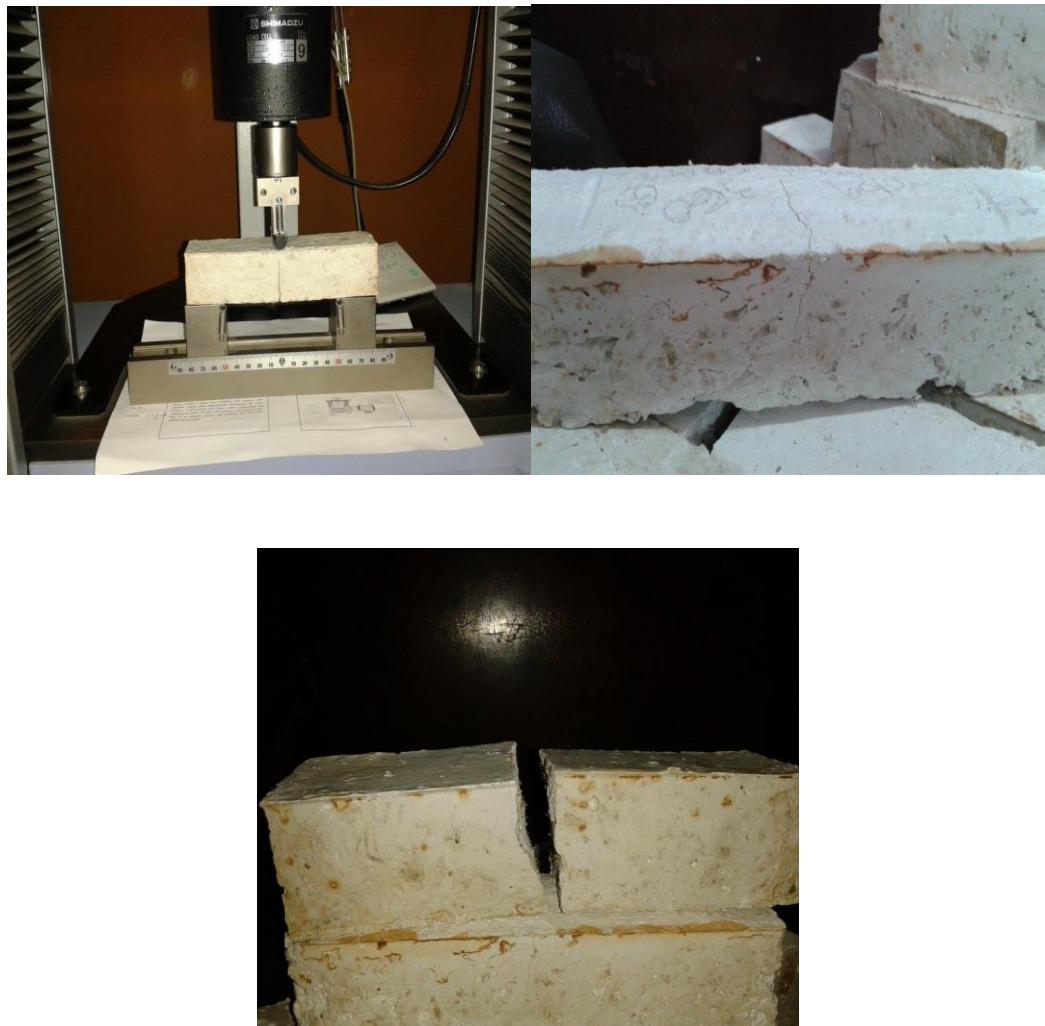
L = distância entre cutelos de apoio;

b = largura média do corpo-de-prova na seção de ruptura;

h = altura média do corpo-de-prova, na seção de ruptura;

Na Figura 25 vê-se o corpo de prova sendo ensaiado e após ruptura.

Figura 25: Rompimento dos corpos de prova em ensaio de tração na flexão

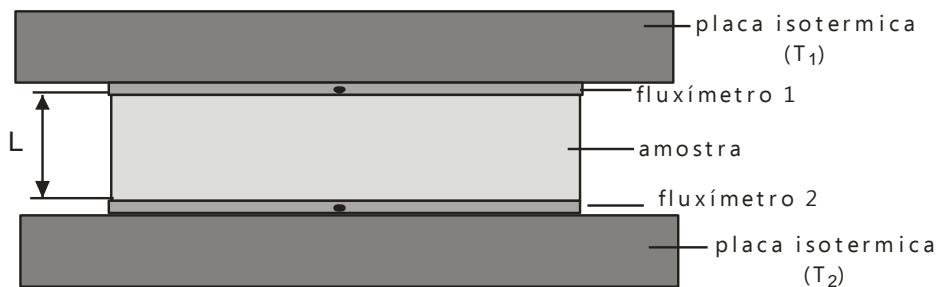


3.1.9 Propriedades térmicas

Os ensaios de condutividade foram realizados no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, baseado na Norma Técnica ASTM C-518: “Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus”.

A Figura 26 mostra um esquema do dispositivo.

Figura 26 – Condutivímetro Térmico – Método Normalizado



3.2 - Materiais

Os materiais utilizados para a fabricação dos compósitos foram:

- Gesso

O gesso utilizado foi obtido no comércio local, proveniente do Polo Gesseiro do Araripe, PE.

-Pseudocaule da Bananeira

O pseudocaule de bananeira (*Musa Musaceae*) que foi utilizada foi obtido no campus I da UFPB.

- Embalagens de Cimento

As embalagens de cimento foram adquiridas em obras em execução no campus da Universidade Federal da Paraíba.

- Aditivo Retardador de Pega e Plastificante

O aditivo que foi utilizado foi desenvolvido a partir da resina do aveloz por aluno de doutorado da UFPB (patente nº 000261)

- Areia Fina

A areia foi obtida no Labeme.

- Água

Utilizou-se água potável fornecida pela Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA). Em alguns momentos foi necessário o uso de água destilada, sendo esta disponibilizada pelos Laboratórios de Carvão Ativado e Laboratório de Saneamento na UFPB.

- Solução de Iodo

A solução de iodo utilizada foi adquirida em farmácia na Grande João Pessoa.

- NaOH – Hidróxido de Sódio

A solução de NaOH foi preparada no Laboratório de Carvão Ativado na UFPB.

CAPÍTULO IV

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo expõe os resultados experimentais que foram obtidos neste trabalho.

4.1 – Generalidades sobre Otimização de Misturas

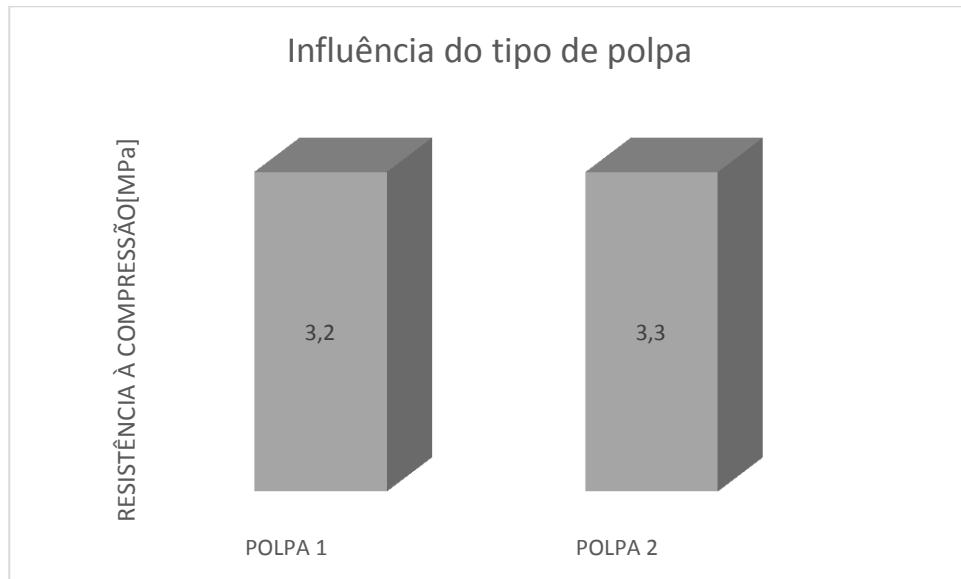
Os ensaios preliminares indicaram que o teor de 10% de polpa tornava difícil a mistura e o acabamento dos corpos de prova. Então, escolheu-se a percentagem em massa de 8% como reforço nos compósitos com polpa.

Já as percentagens de fibra são forçosamente inferiores às da polpa, isto por conta do seu comprimento muito maior. Percentagens superiores a 4% em massa tornam praticamente impossível a mistura.

Uma característica dos compósitos fibrosos aqui testados foi a sua elasticidade. Eles apresentam notável capacidade de deformação e mesmo após superada a carga máxima, o corpo de prova continua aglomerado.

A princípio avaliou-se a possibilidade de o tipo de papel utilizado para a extração da polpa causar alguma interferência na resistência. Porém, após experimentos com dois tipos de papel de sacos de cimento de diferentes empresas viu-se que praticamente não há influência na resistência à compressão, como se vê na Figura 27.

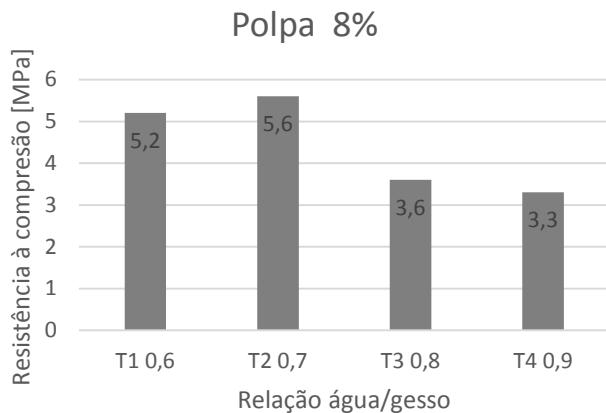
Figura 27– Influência da polpa oriunda de dois tipos de papel de sacos de cimento.



4.2 - Otimização de Misturas com Polpa

Para a otimização das misturas realizadas com a polpa variou-se a relação água/gesso (a/g). Os traços foram moldados sempre para a proporção de 1,00 kg de gesso:0,08 kg de polpa: 0,01kg do aditivo retardador e foram enumerados de T1 – T4. A variação da relação água/gesso foi testada até se chegar nas melhores resistências à compressão e trabalhabilidade. A Figura 28 indica que a melhor relação água/gesso é de 0,7.

Figura 28 – Variação da resistência com a relação água/gesso



Na matriz de gesso sem fibras, reduzindo-se a relação água/gesso a resistência aumenta, de maneira semelhante às pastas de cimento. Maior relação água/aglomerante, menor a resistência, diz a lei de Abrams. Porém, ela, tem limite pois, se muito pequena, não se tem trabalhabilidade adequada para um bom adensamento e resulta que o material fica com muito ar incorporado, e tem a resistência prejudicada. Veja-se no caso de uma relação água/gesso de 0,6, quando incorporando 8% de polpa, já provoca redução de resistência em relação à relação a/g = 0,7 que apresenta uma trabalhabilidade bem melhor. Saliente-se ainda que a moldagem dos corpos de prova com 8 % de polpa incorporada nas relações a/g menores de 0,8 só foi possível com o uso do aditivo desenvolvido por NOGUEIRA (2012).

Os resultados estão compatíveis com aqueles de outros trabalhos desenvolvidos na UFPB. Nogueira (2012), sempre usando 1% do mesmo aditivo, obteve para matriz de gesso com a/g = 0,5 resistência à compressão de 6,8 MPa. Com a/g= 0,4 essa resistência subiu para 13,1 MPa. Já Oliveira (2009) obteve resultados nos compósitos gesso- EVA e gesso-vermiculita que variaram de acordo com a relação a/g. as relações foram entre 0,8 a 1,0. Quando a relação a/g aumentava, a resistência à compressão diminuía.

Por sua vez, Ribeiro, (2006), obteve resistência à compressão de 12,8 MPa para uma relação a/g = 0,75 sem aditivo.

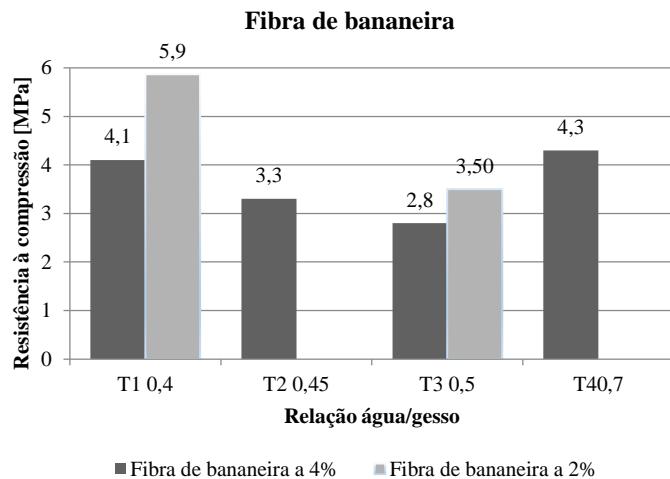
4.3 - Otimização de Misturas com Fibra

Nas misturas elaboradas com a fibra de bananeira foram testadas porcentagens da fibra em 2% e 4% e relação água/gesso que variou de 0,4 a 0,7. O traço com 4% de fibra com relação água/gesso 0,5 conduziu a uma resistência de 2,8 MPa e o traço com 2% de fibra em 0,4 de relação água/gesso produziu um compósito com resistência de 5,8 MPa.

Observa-se que ao se diminuírem a proporção de fibra no compósito e a relação água/gesso, a resistência aumenta, por conta dos vazios que também diminuem.

Na Figura 29 tem-se os resultados obtidos com as fibras.

Figura 29 – Resistência de compósitos gesso-fibras de bananeira em função da relação água/gesso

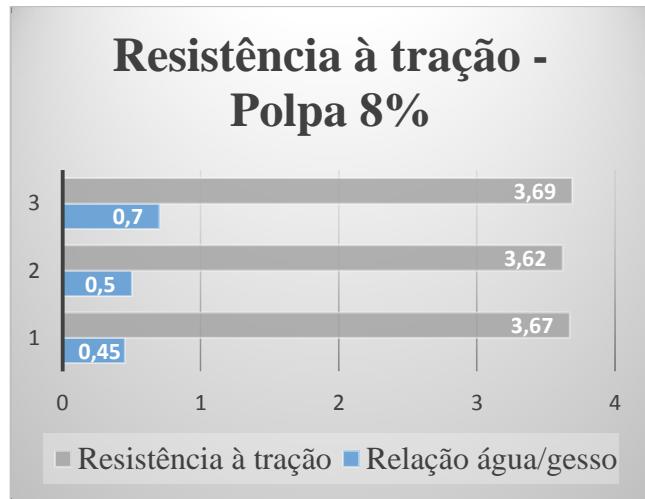


Nota-se que para a mesma relação água/gesso, de 0,7, a resistência obtida com 4% de fibra foi inferior à conseguida com 8% de polpa.

4.4 - Resistência à Tração na Flexão

A resistência à tração na flexão dos compósitos com 8% de polpa para diferentes relações água/gesso podem ser vistas na Figura 30. Ribeiro (2006), para uma relação água/gesso 0,75, obteve valores que superam os 3,0 MPa, sem aditivo.

Figura 30: Resistência dos compósitos gesso-fibra de bananeira e gesso-polpa



4.5 - Gesso com areia e polpa e saco de cimento

Também foi investigado um traço com gesso, areia e polpa. A areia fina entrou na proporção de 30% da massa de gesso e o teor de polpa, 8%. Para a relação água-gesso de 0,7 chegou-se a uma resistência à compressão de 4,7 MPa. Quando a relação baixou para 0,4, a resistência aumentou para 10,6 MPa.

4.6 – Absorção de água da polpa e da fibra de bananeira

Amostras de polpa e de fibra tiveram medidas sua absorção de água (Figuras 31 e 32).

A polpa do papel de saco de cimento apresentou cerca de 330% de absorção.

Figura 31: Ensaio de absorção de água na polpa de saco de cimento



Os resultados de absorção das fibras de bananeira foram obtidos com aquelas que haviam passado pelo tratamento da solução com cal e com as que apenas tinham sido lavadas com água.

Figura 32: Ensaio de absorção da fibra de bananeira



As fibras apenas lavadas com água potável apresentaram cerca de 470% de absorção de água. Já na fibra tratada este valor caiu para 190%.

Os resultados de absorção aqui indicados estão coerentes com os valores apontados na literatura relativos à absorção de fibras vegetais.

4.7 - Condutividade térmica dos compósitos

A Tabela 1 apresenta os resultados da condutividade de duas placas: uma de gesso outra de gesso-polpa e outra de gesso-fibra de bananeira. Ambas com relação água/ gesso de 0,7. O teor de polpa na segunda placa foi de 8%.

Tabela 1 – Condutividade térmica das placas de gesso e gesso-polpa

| Amostra | Espessura [mm] | Condutividade Térmica [W/m k] |
|-------------------------|----------------|-------------------------------|
| Placa de Gesso | 30.9 | 0.333 |
| Placa de Gesso e polpa | 26.5 | 0.254 |
| Gesso + Fibra Bananeira | 30.0 | 0.445 |

Nota-se que a introdução da polpa no compósito permite a redução da condutividade térmica. No caso, a placa com polpa apresentou apenas 76% da condutividade do gesso comum. Já a fibra de bananeira não foi tão eficaz em reduzir a condutividade térmica.

Comparando-se os resultados com as análises realizadas no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas da Universidade Federal de Santa Catarina, indicados na Tabela 2, vê-se que a ação da polpa foi mais eficaz que a de matrizes gesso-vermiculita e gesso-resíduos de etileno vinil acetato (EVA).

Tabela 2 – Condutividade de outros compósitos à base de gesso

| Amostra | Espessura [mm] | Condutividade Térmica [W/mK] |
|-----------------------|----------------|------------------------------|
| Placa de Gesso-1 | 30.3 | 0.297 |
| Placa de Gesso-2 | 30.7 | 0.308 |
| Placa de gesso/Verm-1 | 30.5 | 0.289 |
| Placa de | 30.5 | 0.274 |

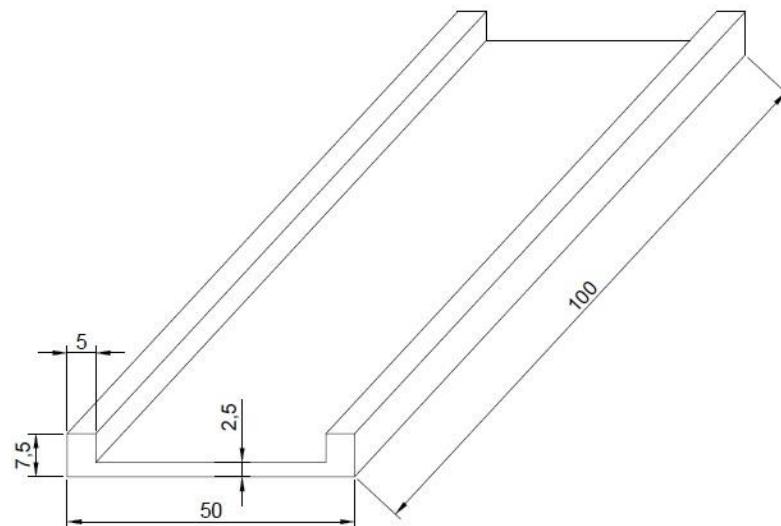
| | | |
|-----------------------------|-------------|--------------|
| gesso/Verm-2 | | |
| Placa de gesso/EVA-1 | 32.1 | 0.288 |
| Placa de gesso/EVA-2 | 31.6 | 0.265 |

4.8 - Desenvolvimento de Elementos para Forro de Proteção Térmica

4.8.1 – Elemento construtivo auto portante

Inicialmente foi pensado um elemento de forro autoportante, Foi elaborado um elemento com 1 m de comprimento, com as bordas enrijecidas para vencer vãos maiores. As dimensões do elemento de forro estão indicadas na figura 32.

Figura 33 – Esquema e forma do elemento construtivo utilizado



Foi usada uma forma feita com painéis de compensado plastificado vista na Figura 33.

Figura 34 – Forma para o painel autoportante



Adotou-se o compósito com 8% de polpa e 1% de aditivo plastificante e retardador e relação a/g =0,7. A mistura do compósito, realizada no misturador de argamassa disponível na UFPB, que permite a preparação de material suficiente para moldagem de um elemento (Figura 34). Após secagem, o elemento pesou 18,65 kgf.

Figura 35: Moldagem do primeiro elemento construtivo



4.8.2 – Elemento construtivo tipo sanduiche

Outro elemento de forro desenvolvido foi do tipo sanduiche, no qual se tem um núcleo de EPS revestido pelo compósito de gesso, conforme se vê na Figura 36.

Figura 36 – Painel sanduíche



Foram testados elementos maiores de cerca de 50 cm x 100 cm e 30 cm x 30 cm, com espessura total de 3 cm (Figura 37).

Figura 37 – Formas de madeira para painéis sanduíches (à direita preenchida com o painel)



Posteriormente passou-se a um outro processo, consistindo este em se colocar sobre uma mesa uma folha de acrílico e sobre ela posicionar cantoneiras de alumínio, devidamente presas sobre a mesa (Figura 38).

Figura 38: Elemento desenvolvido em forma de acrílico



Houve dificuldades iniciais na preparação dos painéis e viu-se que é fundamental que a superfície do isopor não esteja impregnada ou suja com nenhum produto como pó ou gordura, sob pena de se prejudicar a aderência com a matriz de gesso. Também na placa acrílica há necessidade de se aplicar um desmoldante.

4.8.2.1 Propriedades térmicas

Foi medida a condutividade térmica de placas pelo método da placa quente protegida, no Laboratório LMPT daUFSC. Os resultados da Tabela 3 indicam que há uma notável redução na condutividade dos painéis sanduíche, em relação apenas à matriz, expostos na Tabela 4 da página 67.

Tabela 3 – condutividade térmica das placas tipo sanduíche

| Amostra | Descrição | Espessura (mm) | Densidade (kg/m ³) | Condutividade Térmica (W/mK) |
|---------|------------------------------|----------------|--------------------------------|------------------------------|
| 1 | EPS + Gesso | 36.44 | 589 | 0.068 |
| 3 | EPS + Polpa cimento | 38.52 | 725 | 0.090 |
| 4 | Fibra Bananeira + EPS | 37.86 | 703 | 0.073 |

4.8.2.2 – Resistência à flexão da Placa Apoiada em Quatro Cantos

- Placas de 45 cm x 45 cm

Para se ter ideia da capacidade de carga dos diversos painéis sanduíche, foi feito um ensaio apoiando as placas nos quatro cantos, e colocando-se pesos sobre elas, como se vê na figura abaixo:

Figura 39: Ensaio da placa apoiada nos quatro cantos.



Embora as alturas não sejam exatamente iguais, pode-se ter uma ideia da carga de ruptura das placas, expressa em kgf/m^2 . Os resultados constam na Tabela 4.

Tabela 4 – Carga de ruptura (kgf/m^2) das placas sanduiche de 45 cm x 45 cm.

| Tipo de placa | Carga de ruptura (kgf/cm^2) |
|----------------------------|---|
| Gesso | 77 |
| Gesso com fibras bananeira | 180 |
| Gesso com polpa | 430 |

Ao ocorrer a ruptura vê-se que há perda de aderência entre a capa de gesso e o isopor. No entanto, isto ocorre já para níveis de carga elevados e essas peças não são projetadas sob carga que não o peso próprio e peso de fiação ou pequenas tubulações. As resistências são muito maiores que as necessárias para tal.

Placa de 50 cm x 100 cm

A placa com um metro de comprimento (Figura 39), feita com gesso e polpa, não foi levada à ruptura. Apenas colocou-se carregamento correspondente a quase 55 kgf/m^2 e ela não apresentou deformações visíveis.



Figura 40 – Placa de 50 cm x 100 cm com $54,6 \text{ kgf/m}^2$

$54,6 \text{ kgf/m}^2$

Placa de 37 cm x 200 cm

Na Figura 40 vê-se o ensaio de peça com dois metros de comprimento. A placa tem apenas gesso no revestimento. A carga de ruptura foi equivalente a $13,8 \text{ kgf/m}^2$, além do peso próprio. A espessura total da placa era de apenas 3,5 cm, com núcleo de EPS de 2,5 cm.



Figura 41 – Ensaio de placa com 2 m de comprimento

CAPÍTULO V

5 – CONCLUSÕES

Neste trabalho foram desenvolvidos elementos à base de gesso que podem ser usados como forro para cortar o fluxo de calor irradiado pelo telhado em ambientes que são cobertos apenas pelo telhado.

Foram usados polpa oriunda de sacos de cimento e fibras de bananeira, com a intenção de melhorar, tanto as propriedades térmicas quanto a resistência à tração do gesso.

Mostrou-se que a extração de polpa de um resíduo prejudicial ao meio ambiente é viável e pode ser usada em compósitos em que o gesso é a matriz. Contrariamente ao cimento Portland, o gesso tem pH próximo do neutro, e assim não ataca nem degrada as fibras vegetais.

O teor de 8% de polpa em relação à massa de gesso, com relação água gesso igual a 0,7 foi a composição mais apropriada.

As fibras de bananeira também podem ser incorporadas em teores próximos de 2% em massa. Maiores percentagens dificultam a trabalhabilidade. Os compósitos com polpa apresentam resistência à compressão superiores a 5 MPa, o que é uma boa resistência para os fins desejados.

A incorporação de polpa melhora as propriedades térmicas. O teste com o método da placa quente protegida mostrou que a placa só de gesso apresentou condutividade térmica de 0,333 W/(m.K) e quando havia polpa incorporada esse valor caiu para 0,244 W/(m.K), que representa 73 % do valor inicial.

A incorporação de fibras de bananeira interfere pouco nas propriedades térmicas dos compósitos.

Foram desenvolvidos dois diferentes tipos de elementos de forro: um destinado a ser autoportante, outro tipo placas sanduíche com núcleo de EPS.

Os painéis autoportantes apresentam capacidade de carga capaz de vencer vão de casa popular, entre 2 m e 3 m.

Os painéis sanduíches pesam bem menos e também seriam capazes de vencer esse tipo de vão. Em pequenas placas, apoiadas nos quatro cantos, elas também podem ser empregadas, apresentando resistência suficiente para receber seu peso próprio e de elementos de instalações como condutos de eletricidade ou de água.

O núcleo de EPS melhora ainda mais as propriedades térmicas das placas para forro. Aquela feita com polpa de cimento apresentou condutividade térmica da ordem de 0,090 $\text{W}/(\text{m.K})$, ou seja 27% da placa só de gesso.

A aplicação desses elementos de proteção térmica melhoraria o conforto térmico tanto de moradores de casas populares sem laje, quanto de operários de pequenas indústrias, expostos a irradiação de energia pelo teto.

5.1 – Sugestões para Pesquisas Futuras

Com base nos estudos aqui desenvolvidos, sugere-se:

- melhorar o sistema de formas, usando-se base de vidro e placas de alumínio que permitam um controle maior do acabamento das placas;
- fazer e testar elementos de forro com núcleo de EPS que cheguem aos três metros de comprimento, podendo-se variar e otimizar a espessura do núcleo de EPS;
- aplicar em uma construção real os elementos desenvolvidos.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKCELRUD, Leni. **Fundamentos da Ciência dos Polímeros**. São Paulo: Manole, 2007.
- Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (Abrapex). <http://www.abrapex.com.br/Geral.html>. Acessado em: 08 de janeiro de 2014.
- BALTAR, Magalhães Leila. **Influência da Adição de Polissacarídeos nas Propriedades Físicas do Gesso Alfa**. 2009. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral). Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Recife.
- BARBOSA, N. P. Considerações sobre materiais industrializados e não convencionais - Texto Técnico - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental - PPGEUA - UFPB - 2005.
- BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel. Disponível em:<www.bracelpa.org.br>. Acesso em: 10 jan. 2014.
- BONDUKI, Nabil Georges. Origens da habitação social no Brasil: arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria. 2 ed. São Paulo: Estação Liberdade: FAPESP, 1998.
- BRASKEM, S. A. **Boletim Técnico** nº 8. Glossário de termos aplicados a polímeros. Revisão 2002. Disponível em: <<http://www.braskem.com.br/site.aspx/Produto-Boletim-Tecnico>>. Acesso em 10 abr. 2011.
- CASTRO, Heizir F. **Processos Químicos Industriais II**. Faculdade de engenharia química de Lorena. Departamento de engenharia química. Anotações Apostila 4, 2001.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- CUNHA JR., Nelson B (Coord.). Cartilha de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para a Construção Civil. Belo Horizonte: Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais, 2005.
- DUARTE, D.; IMAI, E.M.; MEGUMI, P. **FIBRAS NATURAIS E SUA APLICAÇÃO NA ARQUITETURA**. 2009.
- EMBALANEWS. Revista especializada em embalagem, dirigida aos setores de alimentos, bebidas, cosméticos, farmacêuticos e afins. **São Paulo: Nova**. Ano XVIII –nov. 2007. Edição 210.
- FOELKEL, Celso. **As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel**. Eucalyptus Online Book & Newsletter. São Paulo: ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 2007. p.79
- KARNI, J.; KARNI, E. **Gypsum in construction: origin and properties. Materials and Structure**, Praha, n. 28, p. 92-100, 1995.

LABORATÓRIO DE MEIOS POROSOS E PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. 2010.

MANO, Eloisa Biasotto. **Introdução a polímeros**. São Paulo: Blücher, 2004. 2.ed. rev. e ampl.

MATOS, G.; WAGNER, L. **Consumption of materials in the United States 1900 – 1995**. US Geological Survey, 1999, 9 p.

MATTHEWS, F.L.; RAWLINGS, R.D. **Composite materials: engineering and science**. London: Chapman & Hall, 1994.

MOTA, R.C.S. **Análise de Viabilidade Técnica de Utilização da Fibra de Bananeira com Resina Sintética em Compósitos**. 2010. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

NOGUEIRA, Jesus Charles do Amaral. **Melhoria das Propriedades do gesso com aditivo sintético e com látex de *Euphorbia Tirucalli* e de *Hevea Brasiliensis* para uso na Construção de Habitações de Interesse Social**, 2012.114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Paraíba.

OLIVEIRA, J.F.S.; AQUINO, E.M.F.; SILVA, R.V. **Configurações alternativas no uso dos PRF: laminado e estrutura sandwich**. Trabalho aceito para apresentação no 19º Congresso de Engenharia Mecânica - COBEM, em novembro de 2007 (no prelo).

OLIVEIRA, Jorge Fernando de Sousa. **Estudos da influência da configuração em compósitos poliméricos híbridos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

OLIVEIRA, Marilia Pereira de. **Materiais Compósitos à base de gesso contendo EVA (Etileno Acetato de Vinila) e Vermiculita: Otimização de misturas e propriedades termomecânicas**, 2009. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal da Paraíba - UFPB. Paraíba.

PALIARI, José C. et al. Avaliação das perdas de concreto usinado nos canteiros de obras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2002. CD-ROM.

PEREIRA, Marinalva M. **Processamento de cerâmicas**. Belo Horizonte: Dep. Eng. Metalúrgica e de Materiais. Editora UFMG, 2002.

PERES, L; BENACHOUR, M; SANTOS, V.A. **O Gesso: Produção e Utilização na Construção Civil**. Recife, Bagaço, 2001. 166p.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PCC). São Paulo, 1999.

PIRES, Eduardo Nascimento. **Efeito do tratamento de superfície em fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi**. 2009. Dissertação (Mestrado) – UFSC, Florianópolis, SC.

PORTELLA, M. G. et al. Estudo Comparativo do Envelhecimento Químico Acelerado de Papel Kraft Termoestabilizado e Convencional –In: VI CONGRESSO DE INovação TECNOLÓGICA EM ENERGIA ELÉTRICA - CITENEL. Fortaleza, 2011. Disponível em: <www.cteep.com.br/port/institucional/projetos/Projeto_0068-004_2007_Site.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2014.

PLESSIS, C. D. Doing more, better, with less – A developing country perspective on sustainability through performance. In: CIB WORLD BUILDINGCONGRESS: PERFORMANCE IN PRODUCT AND PRACTICE, Wellington, 2001. Proceedings... Wellington, Branz, 2001. 8 p. (Plenary session).

RABELO, Marcelo. **Aditivação de Polímeros**. São Paulo: ARTLIBER, 2000.

RIBEIRO, Abrahaõ Severo, **Produção de Gesso Reciclado a partir de Resíduos oriundos da Construção Civil**, 2006. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Paraíba.

ROBERT, Noely T. F. Dossiê Técnico - Produção de embalagem de papel. Rio de Janeiro: Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro - REDETEC, out. 2007.

ROCHA, C.A.L. O Gesso na Indústria da Construção Civil: Considerações Econômicas sobre utilização de Blocos de Gesso. 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral). Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, 2010.

RODRIGUES, C.C. **Desenvolvimento de um sistema construtivo modular com blocos de gesso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

ROJAS, J.W.J.; BONATO, F.S.; ZUCCHETTI, L.; BASSI, M.R.; FONSECA, P.A. 2008. **Avaliação Ambiental para Verificação de Impactos Causados pela Construção de Edificação com Paredes em Basalto no Município de Feliz – RS**. In: I Encontro Latino Americano de Universidades Sustentáveis (ELAUS), Passo Fundo, 2008. Anais... Passo Fundo, 2008. 10 p.

SAMISTRARO, Gisely, et.al. Previsão das propriedades físicas do papel Kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e regressão por mínimos quadrados parciais (PLS). São Paulo: **QUÍMICA NOVA**, 2009. v. 32, n. 6.

SCHENINI, P. C.; BAGNATI, A. M. B.; CARDOSO, A. C. F. **Gestão de resíduos da construção civil**. In: Cobrac — Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis: UFSC, de 10 a 14 de outubro de 2004.

SHUMAN, I. E. **Replacement of a tooth with a fiber-reinforced direct bonded restoration**. Gen. Dent., Seattle, v. 81, n. 3, p. 314-318, May/ June, 2000.

SILVA, Ethiene P. da; SOARES, Monique P.; BOLDT, Rachel S. Simpósio Brasileiro de Design Sustentável 2. Aplicação do compósito AKS7 no design de móveis. **Anais Rede Brasil de Design Sustentável**. São Paulo: RBDS, 2009.

SOUZA, U. E. L. et al. **Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33-46, out./dez. 2004. Disponível

em:<<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3573/1978>>. Acesso em: 10 mai. 012.