



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

**JESUS CHARLES DO AMARAL NOGUEIRA**

**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**

**João Pessoa – Paraíba  
2012**

**JESUS CHARLES DO AMARAL NOGUEIRA**

**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**

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 obter o  
grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

**João Pessoa – Paraíba  
2012**

N778m 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. / Jesus Charles do Amaral Nogueira. – João Pessoa, 2012.

114 f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental)  
PPGEUA - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental / Centro de Tecnologia / Campus I / Universidade Federal da Paraíba - UFPB.

1. Gesso 2. Aveloz 3. Seringueira 4. Aditivo 5. Sustentabilidade I.  
Título.

BC/UFPB

CDU:666.9(043)

JESUS CHARLES DO AMARAL NOGUEIRA

**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.**

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa  
Orientador

---

Prof. Dr. Humberto Correia Lima Júnior  
Examinador Externo

---

Prof. Dr. Ulisses Targino Bezerra  
Examinador Externo

---

Prof. Dr. Givanildo Azeredo  
Examinador Interno

**Dedico este trabalho a minha esposa Vera, que ilumina a minha vida, a meus filhos, Hannah, Ian, Jade e Kenui, presentes de Deus e razão para continuar evoluindo, e também a minha mãe e a meus irmãos.**

**“Muitas pessoas devem a grandeza de suas vidas aos problemas e obstáculos que tiveram que vencer”**

**“Deixe o mundo um pouco melhor do que o encontrou.”**

**Lord Baden-Powell of Gilwell Fundador do Escotismo.**

## **AGRADECIMENTOS**

**A DEUS**, pela força, saúde, proteção e amparo nas horas em que estive cansado.

**Ao Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa**, pelo exemplo como pesquisador e como ser humano, pelos ensinamentos e pela orientação deste trabalho.

**Ao Prof. Dr. Ulisses Targino Bezerra (IFPB)**, pela sábia orientação, pela gentileza e pelo apoio.

**Aos Professores doutorandos: Primo Fernandes Filho, Salustiano Miguel e Jefferson Mack**, por toda a ajuda que me foi dada, pelos conselhos e pelo interesse demonstrado.

**Aos funcionários do LABEME, Zito, Delby e Ricardo** pelo apoio e ajuda.

**Aos técnicos do laboratório de saneamento: Élson Santos (Saneamento) e Romualdo Henriques (Química); ao técnico do Laboratório de Solidificação Rápida, André Rômulo de Souza e ao graduando de Engenharia de Materiais Carlos Maviasel**, pela colaboração na realização de ensaios.

**Aos colegas da turma 2010.1 do Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental.**

**Aos meus amigos e colegas tecnólogos:**

**Alexandre Kelly, Leila Viegas, Evelyne Emanuelle e Esdras Costa** pela ajuda, consideração e amizade que me dedicaram.

**A CAPES**, pelo apoio financeiro em forma de bolsa.

## RESUMO

Um dos grandes desafios da humanidade é utilizar o ambiente em que vive de forma racional, de modo a não comprometer a sua existência nem a das gerações futuras. Toda atividade de construção e de ocupação de áreas gera um impacto ambiental que pode ser irreversível, exaurindo recursos naturais ou contaminando a terra, o ar ou os cursos d'água. O trabalho que se apresenta teve como objetivo aprimorar a técnica de utilização do gesso através da adição de produtos de fonte natural, renovável, eco-eficientes e não agressivos ao meio ambiente, de modo a potencializar a sua aplicação na construção de habitações de interesse social, de baixo custo e baixo consumo energético. A pesquisa demonstrou a viabilidade da utilização de látices vegetais na melhora das propriedades do gesso. Foi pesquisada a utilização do látex de duas plantas da família das Euphorbiáceas, a *Hevea brasiliensis*, conhecida como seringueira e a *Euphorbia tirucalli*, conhecida como Aveloz, além de um aditivo de uso corrente, superplastificante para concretos e argamassas de cimento Portland. Através de ensaios de laboratório e revisão bibliográfica ficou comprovado o efeito benéfico do látex de *Euphorbia tirucalli* às pastas de gesso, o qual conferiu-lhes maior plasticidade, redução do calor de hidratação, extensão do tempo de pega, e em seu estado endurecido, maior resistência a ação da água nas perdas por erosão e maior resistência à compressão. Os resultados obtidos com a adição dos látex foram comparados aos obtidos em pastas e corpos de prova endurecidos, com reduzida relação água/gesso, sem a utilização de aditivos e com a adição do aditivo superplastificante para concretos e argamassas. O estudo através da Microscopia Eletrônica de Varredura e da Difração de Raios X demonstrou não haver modificação na estrutura dos corpos de prova moldados com adição de látex. Por fim, os resultados encorajaram o registro de patentes de dois produtos aditivos com a finalidade de conferir as peças de gesso, maior durabilidade, resistência à compressão, maior compacidade e menor absorção d'água. A documentação de solicitação já foi depositada no Instituto Nacional de Propriedade Industrial - INPI.

**Palavras Chaves:** Gesso. Aveloz. Seringueira. Aditivo. Sustentabilidade.



## ABSTRACT

One of the greatest challenges facing humanity is to use the environment in a rational manner and with respect to do not endanger its existence or that of the future generations. All construction activity and occupation of areas generates an environmental impact that may be irreversible, depleting natural resources or polluting the land, air or water courses. This work aims to improve the technique of using gypsum source by adding products from natural, renewable, eco-efficient and environmentally friendly, in order to maximize their application in the construction of social, low cost and energy efficient houses. The study demonstrated the feasibility of using the latex plant to improve the properties of plaster. Latex of two plants from the family Euphorbiaceas, *Hevea brasiliensis*, known as rubber and *Euphorbia tirucalli*, known as Aveloz, were used to develop a new admixture for gypsum plasters. Through laboratory testing and literature review has been proven the beneficial effect of the latex of *Euphorbia tirucalli* in gypsum pastes was proved. The material gave greater plasticity, reduced heat of hydration, improved the set time. In the hardened state, greater resistance to water erosion and greater compression strength was reached. The results obtained with the latex admixture were compared to those obtained in pastes and hardened specimens with low water / gypsum relation, without and with superplasticizer for concrete and mortar. Scanning electronic microscopy and X-ray diffraction showed no change in the structure of hardened gypsum with the latex. Finally, the results encouraged patenting two additive products and the deposit already was made in the National Institute of Industrial Property.

Keywords: Plaster. *Petroleum Plant*. Rubber. Admixture. Sustainability

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção habitacional em João Pessoa - 1937 a 1989 .....	19
Tabela 2 – Produção Mundial de Gipsita .....	30
Tabela 3 – Distribuição da produção pelos estados em 2008 .....	31
Tabela 4 – Distribuição da produção brasileira de gipsita em 2008 (DNPM, 2003). .	33
Tabela 5 - Características do superplastificante MSET .....	54
Tabela 6 - Características físicas do látex de <i>Hevea brasiliensis</i> .....	54
Tabela 7 - Valores de pH do látex de <i>Euphorbia tirucalli</i> .....	58
Tabela 8 - Distribuição de traços e nº de corpos de prova .....	59
Tabela 9 – Fatores água/gesso dos traços com adição de 1% de MSET .....	74
Tabela 10 – Designação dos traços e percentuais de <i>Hevea brasiliensis</i> e MSET utilizados .....	80
Tabela 11 – Valores de pega obtidos com adição de Látex de <i>Euphorbia tirucalli</i> ....	84
Tabela 12 – Redução de temperatura com adição de látex de <i>Euphorbia tirucalli</i> , a/g = 0,5 .....	95
Tabela 13 - Redução de temperatura com adição de látex de <i>Euphorbia tirucalli</i> , a/g = 0,4 .....	95
Tabela 14 – Composição mineralógica gesso sem aditivo.....	102
Tabela 15 - Composição mineralógica gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> 1% - sem álcool	102
Tabela 16 - Composição mineralógica gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> 1% - com álcool	102

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cristal de gipsita.....	25
Figura 2 – Consumo de gipsita por unidade da Federação.....	32
Figura 3– Destinação do gesso produzido no Brasil .....	33
Figura 4 – Lavra de mina a céu aberto – Mineradora São Jorge .....	35
Figura 5 – fluxograma da produção da gipsita. Fonte: Bezerra,2009.....	36
Figura 6 – Extração do látex de <i>Hevea brasiliensis</i> .....	44
Figura 7 - Formula estrutural do látex. ....	45
Figura 8 – <i>Euphorbia tirucalli</i> .....	50
Figura 9 – Descrição da espécie <i>Euphorbia tirucalli</i> .....	51
Figura 10 – Superplastificante MSET.....	53
Figura 11 – Mudas de <i>Euphorbia tirucalli</i> . ....	55
Figura 12 – Maceração dos ramos de <i>Euphorbia tirucalli</i> .....	56
Figura 13 – Látex diluído em processo de decantação. ....	57
Figura 14 - Obtenção do látex por prensagem. ....	57
Figura 15 – Moldagem em formas plásticas.....	61
Figura 16 – Corpos de prova.....	61
Figura 17 - Ensaio de Absorção d'água .....	62
Figura 18 - Ensaio de resistência à compressão.....	63
Figura 19 – Ensaio de Perda de massa por erosão - padrão.....	65
Figura 20 - Ensaio de Perda de massa por erosão - adaptado.....	65
Figura 21 – Aparelho de Vicat.....	66
Figura 22 – Medição de calor de hidratação. ....	67
Figura 23 - Medição de pH.....	68
Figura 24 - Microscópio Eletrônico de Varredura LEO 1430. ....	69
Figura 25 – Resistência à Compressão – Gesso controle. ....	71
Figura 26 - Absorção de água – Gesso Controle. ....	71
Figura 27 – Perda de Massa – Gesso Controle .....	72
Figura 28 – Evolução do Calor de Hidratação – Gesso Controle a/g = 0,5.....	73
Figura 29 - Evolução do Calor de Hidratação – Gesso Controle a/g = 0,4.....	73
Figura 30 – Resistência a compressão – Gesso + 1% MSET.....	75
Figura 31 – Absorção de água – Gesso + 1% MSET.....	75
Figura 32 – Perda de massa – Gesso + 1% MSET.....	75

Figura 33 – Curvas de Hidratação - MSET 1%. .....	76
Figura 34 – Resistência à Compressão – Gesso + Hévea a/g = 0,5.....	77
Figura 35 – Absorção d'água - Gesso + Hevea a/g = 0,5. ....	78
Figura 36 – Perda de massa – Gesso + Hevea a/g = 0,5 .....	78
Figura 37 – Corpos de prova gesso+Hevea.....	79
Figura 38 – Resistência à Compressão – Hevea + MSET .....	81
Figura 39 – Absorção d'água - Hevea + MSET .....	81
Figura 40 - Perda de massa - Hevea + MSET .....	81
Figura 41 – Valores de início e fim de pega, a/g = 0,5 .....	85
Figura 42 – Valores de início e fim de pega, a/g = 0,4. ....	85
Figura 43 – Resistência à Compressão - Gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> a/g = 0,4.....	86
Figura 44 – Absorção d'água- Gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> a/g = 0,4 .....	86
Figura 45 – Perda de massa - Gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> a/g = 0,4 .....	86
Figura 46 – Resistência à Compressão - Gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> + Álcool a/g = 0,4 .....	87
Figura 47 - Absorção d'água – Gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> + Álcool a/g = 0,4.....	87
Figura 48 – Perda de massa – Gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> + Álcool a/g = 0,4.....	88
Figura 49 – Tempo de pega - Gesso + Euphorbia + álcool a/g = 0,4.....	89
Figura 50 – Período de reação de hidratação Gesso + Euphorbia + Álcool a/g = 0,4 .....	90
Figura 51 – Resistência à compressão - gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> a/g = 0,5. ....	90
Figura 52 – Absorção d'água – gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> a/g = 0,5 .....	91
Figura 53 – perda de massa - gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> a/g = 0,5 .....	91
Figura 54 – Resistência à compressão – gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> + álcool a/g = 0,5 .....	92
Figura 55 – Absorção d'água - gesso + Euphorbia tirucalli + álcool a/g = 0,5.....	92
Figura 56 – Perda de massa - gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> + álcool a/g = 0,5.....	92
Figura 57 - Tempo de pega - gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> + álcool a/g = 0,5 .....	94
Figura 58 – Período de reação de hidratação- gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> + Álcool a/g = 0,5. ....	94
Figura 59 - Evolução do calor de Hidratação com 5% de aditivo: (a) a/g = 0,5 ; (b) a/g = 0,4 .....	96
Figura 60 - Evolução do calor de Hidratação com 4% de aditivo: (a) a/g = 0,5 ; (b) a/g = 0,4 .....	96

Figura 61 - Evolução do calor de Hidratação com 3% de aditivo: (a) $a/g = 0,5$ ; (b) $a/g = 0,4$ .....	96
Figura 62 - Evolução do calor de Hidratação com 2% de aditivo: (g) $a/g = 0,5$ (h) $a/g = 0,4$ .....	97
Figura 63 - Evolução do calor de Hidratação com 1% de aditivo: (g) $a/g = 0,5$ (h) $a/g = 0,4$ .....	97
Figura 64 – Curvas de hidratação: traços gesso controle e com adição de látex de <i>Euphorbia tirucalli</i> .....	97
Figura 65 – Difrátogramas.....	99
Figura 66 –Micrografia Gesso sem aditivos, $a/g = 0,4$ . ....	100
Figura 67 - Micrografia Gesso + Aveloz 1% sem álcool, $a/g = 0,4$ .....	101
Figura 68 - Micrografia Gesso + Aveloz 1% + Álcool, $a/g = 0,4$ .....	101

## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	15
1.1 – Apresentação do Tema .....	15
1.2 – Objetivos .....	16
1.2.1 – Objetivo Geral .....	16
1.2.2 - Objetivos específicos .....	16
1.2 – Estrutura do Trabalho .....	16
2 - POLÍTICA DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL .....	18
3 - REVISÃO DA LITERATURA .....	23
3.1 - O Gesso .....	23
3.1.1 – Aspectos Gerais .....	23
3.1.2 – Obtenção do gesso .....	25
3.1.3 – Dinâmica das reações .....	28
3.1.4 - O Gesso no Brasil .....	29
3.1.5 – O Pólo Gesseiro do Araripe.....	34
3.1.6 – Questão ambiental .....	37
3.1.7 – Reciclagem do gesso .....	39
3.2 – ADITIVOS.....	41
3.2.1 – Aspectos gerais.....	41
3.3- ADITIVOS DE ORIGEM VEGETAL .....	43
3.3.1 – <i>Hevea brasiliensis</i> .....	43
3.3.2– <i>Euphorbia tirucalli</i> .....	49
4 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	53
4.1 – Materiais.....	53
4.1.1 - Gesso.....	53
4.1.2 – Aditivo superplastificante MSET .....	53
4.1.3 – Látex de seringueira – <i>Hevea brasiliensis</i> .....	54
4.1.4 – Látex de aveloz - <i>Euphorbia tirucalli</i> .....	55
4.2 – Métodos.....	58
4.2.1 – Preparação das pastas.....	60
4.2.2 - Preparação dos corpos de prova .....	60
4.2.3 - Ensaio de absorção .....	62

4.2.4 – Ensaio de resistência à compressão .....	63
4.2.5 – Ensaio de perda de massa por erosão .....	64
4.2.6 – Determinação dos tempos de pega .....	66
4.2.7 – Elaboração da curva de hidratação .....	67
4.2.8 – Determinação de pH .....	68
4.2.9 - Microscopia eletrônica de varredura – MEV .....	69
4.2.10 – Difração de raios X – DRX .....	69
4.2.11 – Fluorescência de raios X - FRX .....	70
5 – RESULTADOS .....	71
5.1 - Gesso controle .....	71
5.2 - Gesso com superplastificante MSET .....	74
5.3 – Gesso com látex de <i>Hevea brasiliensis</i> .....	77
5.4 – Gesso com látex de <i>Hevea brasiliensis</i> e superplastificante MSET .....	80
5.5 – Gesso com látex de <i>Euphorbia tirucalli</i> .....	82
5.5.1 – Estudo do traço gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> , sem álcool; a/g = 0,4 .....	85
5.5.2 – Estudo do traço gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> + álcool, a/g= 0,4 .....	87
5.5.4 – Estudo do traço gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> , sem álcool, a/g=0,5 .....	90
5.5.5 – Estudo do traço gesso + <i>Euphorbia tirucalli</i> + álcool, a/g=0,5 .....	91
5.6 - Evolução do calor de hidratação. ....	94
5.7 - Difração por raios X .....	98
5.8 – Microscopia eletrônica de varredura – MEV .....	100
5.9 – Fluorescência de raios X. ....	102
6 - CONCLUSÕES .....	104
7 - RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS .....	106
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	108

## 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 – Apresentação do Trabalho

A construção de habitações de interesse social engloba diversos desafios que sugerem o desenvolvimento de tecnologias apropriadas, que possibilitem a produção sustentável de novos assentamentos, com a utilização de insumos não agressivos ao meio ambiente.

Os insumos utilizados podem ser extraídos de diversas fontes, renováveis e não renováveis, cujos processos extrativos geram impactos no meio ambiente, tanto nos locais de extração quanto nos locais onde são manufaturados e aplicados.

Os efeitos da escolha de um determinado material podem, então, ser sentidos tanto nos locais de extração, quanto nos arredores das plantas industriais responsáveis pelo seu tratamento, e ainda, no próprio local onde são utilizados os produtos manufaturados pela indústria de transformação.

Estes efeitos se fazem sentir no ambiente físico e na situação econômica, social e política das comunidades. A construção de novos assentamentos gera impactos na vida dos assentados, nas regiões circunvizinhas e nos locais de onde é extraída a matéria prima para fabricação dos insumos necessários à construção.

Este trabalho tem como finalidade apresentar as modificações atribuídas a um dos insumos mais antigos utilizados pelo homem na arte de construir, que é o gesso, produzido pelo tratamento do minério gipsita, em que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais. Os trabalhos desta pesquisa foram conduzidos de forma a desenvolver um aditivo que interferisse positivamente na plasticidade, na extensão do tempo de pega, na redução do calor de hidratação, na redução da absorção d'água, no aumento da resistência à compressão e na diminuição da perda de massa por erosão. Para tanto, foram elaboradas pastas de gesso com adição de produtos de base renovável, como os látex de *Euphorbia tirucalli*, conhecido por aveloz, e *Hevea brasiliensis*, conhecida como seringueira, comparando os resultados obtidos com os apresentados por pastas de gesso sem adição e com adição de um plastificante para concreto, de base sintética.



O diferencial do trabalho foi a aplicação de produtos de origem vegetal, um dos quais o aveloz, ainda não utilizado na construção civil, como insumo para a produção de aditivo para gesso.

## **1.2 – Objetivos**

### **1.2.1 – Objetivo Geral**

O objetivo geral da pesquisa foi desenvolver estudos no sentido de testar a eficácia do látex da *Euphorbia tirucalli* e da *Hevea brasiliensis* para melhorar o desempenho de blocos fabricados com gesso quanto à plasticidade, à absorção d'água, à extensão do tempo de pega, à redução do calor de hidratação, à resistência à compressão e à perda de massa por erosão, objetivando sua disseminação como insumo para construção civil.

### **1.2.2 - Objetivos específicos**

- Caracterização da composição química e das propriedades do látex da *Euphorbia tirucalli* e da *Hevea brasiliensis*;
- Caracterização da influência da incorporação dos dois tipos de látex nas matrizes de gesso no que diz respeito à perda de massa, à absorção de água, à resistência à compressão, à plasticidade e aos limites de pega;
- Comparação dos efeitos do uso de aditivos de base renovável frente aos resultados alcançados com corpos de prova sem adições e com utilização de um produto de uso corrente.

## **1.2 – Estrutura do Trabalho**

Como forma de estruturar a apresentação do trabalho, esta dissertação é composta por 6 capítulos, a saber:

O Primeiro Capítulo apresenta o tema, discorrendo sobre a problemática e sua justificativa. Passa em seguida para a apresentação dos objetivos, apresentando ao final a estrutura sob a qual foi desenvolvido o trabalho;

O Segundo Capítulo discorre sobre a situação da habitação de interesse social no Brasil, abrangendo um apanhado histórico sobre este campo e suas implicações sobre o ambiente urbano. Discorre ainda sobre os impactos sociais, econômicos e sobre o meio ambiente derivados da escolha do método de abordagem;

O Terceiro Capítulo apresenta a Revisão Bibliográfica, apresentando em seu primeiro tomo a evolução histórica do uso do gesso. Enfatiza sua importância na evolução de diversas sociedades e sua viabilidade na construção de obras de edificações, notadamente na construção de habitações de interesse social, principalmente na cidade de João Pessoa, destacando o seu potencial econômico e as reservas minerais disponíveis;

A metodologia do desenvolvimento dos trabalhos da pesquisa, bem como a descrição dos materiais e métodos empregados serão abordados no Quarto Capítulo;

O Quinto Capítulo discorre sobre os resultados dos experimentos, em que são apresentados os dados obtidos sobre os traços estudados com as quantidades de material utilizado, analisando os resultados à medida que os apresenta; e

As conclusões do trabalho são apresentadas no Sexto Capítulo, incluindo-se aí as observações e recomendações para futuros trabalhos dentro da linha de pesquisa iniciada com esta dissertação.

## **2 - POLÍTICA DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL**

A nova política habitacional formatada pelo Ministério das Cidades propõe a inclusão social dos assentamentos precários através de ações estruturantes entre as quais o acesso a terra urbanizada, com regularização fundiária plena, infraestrutura bem dimensionada, respeito ao meio-ambiente e meios de sustento econômico da população assentada. Isto só pode ser alcançado através da elaboração de projetos em que se leve em consideração as características sociais e econômicas da população envolvida, de modo a poder-se dimensionar o tipo de atividade de capacitação e os projetos sociais e econômicos apropriados à realidade local.

É neste sentido que a inserção de novos métodos de produção e de novas tecnologias de formulação de materiais não convencionais ganha espaço. Um projeto de criação de assentamentos que contemple a utilização de insumos existentes na região, com utilização de mão de obra local, possibilita a inclusão social tanto através do acesso a moradia quanto pela possibilidade de evolução do padrão socioeconômico da população, que se envolve direta ou indiretamente no processo produtivo.

No caso específico da cidade de João Pessoa, muito pouco se fez quanto à proposição de sistemas construtivos alternativos à alvenaria autoportante de tijolos cerâmicos. No entanto, algumas tentativas foram envidadas, mais por iniciativa isolada de um governo municipal do que por proposição de uma política pública que modifique o padrão vigente e racionalize a produção de moradias, com a utilização de insumos locais e tecnologias acessíveis à população.

Entre os anos de 1935 e 1989 a produção de unidades residenciais construídas com aplicação de recursos públicos na cidade de João Pessoa, alcançou o patamar de 32.904 unidades (Tabela 1).

Entre os anos de 1990 e 1992, os investimentos na habitação popular totalizaram um número de 6027 novas unidades construídas, 2 529 construídas pela CEHAP, (Companhia de Habitação Popular do Estado da Paraíba) e o restante pela iniciativa privada (BONATES, 2007).

Após o período Collor-Sarney, a produção habitacional em João Pessoa entre 1993-1994 reduziu-se a apenas 40 unidades financiadas pela CEHAP.

Tabela 1 - Produção habitacional em João Pessoa - 1937 a 1989.

AGENTES	Pré-BNH IAPs, FCP	BNH						PÓS- BNH	TOTAL
	ATÉ 1963	1967/ 1969	1970/ 1974	1975/ 1979	1980/ 1984	1985/ 1986	1987/ 1989		
IAPs/FCP	385/230	-	-	-					615
IPASE	50	628	-	50					728
IPEP/IPA	-	413	-	-					413
SE									
OUTROS	107	-	-	-					107
MONTEPI	127	662	-	466	2 226	4	1 454		9 336
O/IPEP						401			
CEHAP	-	630	1 973	3 176	6 113	5	92		17 244
						260			
INOCCOP	-	-	293	901	2 476		-		3 670
S									
CEF-	-	-	-	-	-		218		218
POUP									
CEF-	-	-	-	-	-		573		573
FGTS									
TOTAL	899	2 333	2 266	4 593	10 8015	9	2 337		32 904
						661			
TOTAL	899						2 337		32 904

Fonte: BONATES, 2007.

O governo do Presidente Itamar Franco fixou as bases para que durante o período do governo do Presidente Fernando Henrique Cardoso houvesse um crescimento substancial na oferta de financiamentos para construção de novas unidades. Entre os anos de 1995-1998, 10 462 novas unidades foram construídas em João Pessoa, com recursos do governo (92,07%) e da iniciativa privada (7,93%).

Segundo Bonates (2007), no período compreendido entre 1999 e 2002, mais 1 780 novas unidades foram construídas com recursos públicos, contra 1 668 unidades financiadas por fundos privados. Com a volta da inflação e a recessão já notada no segundo mandato de FHC, a produção habitacional com recursos públicos atingiu o número de 3 648 unidades até o final de 2006.

Durante estes períodos, pouco se ousou na tentativa de substituir, pelo menos em parte, o sistema construtivo de alvenaria de tijolos cerâmicos. Há que se ressaltar as experiências promovidas pelo Governo Wilson Braga, com os programas Taipa, que utilizou esta tecnologia para melhorar as condições de alguns

imóveis na Capital e no Estado; o Programa Mutirão, que se valeu da organização popular para construção de conjuntos habitacionais com mão de obra local, além das iniciativas para construção de habitações com painéis de concreto. Esta tecnologia veio a ser outra vez utilizada em governos posteriores, do qual o Projeto Mariz, construído pela CEHAP durante o governo José Maranhão, entregou 940 unidades (LACERDA *et al*, 2011).

Em 2006, com a atribuição de centralizar as ações de combate ao déficit habitacional na capital do estado, foi criada a Secretaria Municipal de Habitação de Interesse Social - SEMHAB. Segundo a SEMHAB, neste ano o déficit habitacional quantitativo em João Pessoa situava-se em torno de 25 000 unidades, levando-se em consideração levantamentos efetuados nas cerca de 140 comunidades inseridas nas Zonas Especiais de Interesse Social propostas. Até 2011, durante os primeiros seis anos de atuação, a SEMHAB construiu e entregou aproximadamente 6 500 novas unidades habitacionais, desativando cerca de 20 assentamentos precários localizados em áreas de risco ou de preservação, e urbanizando outras comunidades, modificando substancialmente o perímetro de algumas das ZEIS antes estabelecidas. Os investimentos giraram em torno de 95% de recursos federais, com contrapartida local de 5%, utilizando-se diversos fundos e programas habitacionais disponibilizados pelo Governo Federal.

Da mesma forma, o déficit qualitativo foi atacado por um programa de regularização fundiária, intitulado MORAR LEGAL, que fixou as bases para a regularização da posse em áreas carentes de instrumento de regularização, como forma de inclusão social dos moradores das ZEIS e da sua consequente assimilação pela cidade legal. Levando-se em consideração que a regularização fundiária plena tem como um de seus requisitos a legalização de um bem com condições de habitabilidade, o número de moradias que apresentam precariedade construtiva vem a se somar ao déficit habitacional, que engloba apenas o total de novas moradias necessárias. Esta nova composição tende a aumentar a quantidade de ações de construção e reforma de unidades habitacionais necessárias para que se alcance um patamar aceitável, visto que grande parte das unidades cadastradas para regularização apresenta precariedade construtiva, que exige intervenção. Outro fator preponderante nesta equação é o crescimento vegetativo, que anualmente incrementa o déficit.

Adotando os mesmos procedimentos construtivos de administrações anteriores, o novo governo municipal em nada inovou a respeito de adoção de novas tecnologias de construção, predominando o sistema construtivo de alvenaria de tijolos cerâmicos autoportantes ou com estrutura de concreto armado na construção de unidades habitacionais, uni e multifamiliares. A partir de 2011, pesquisas com materiais reciclados pela usina de beneficiamento de sobras de construção do município, realizadas por pesquisadores da UFPB no LABEME – Laboratório de Materiais e Estruturas, apontam para a adoção do uso destes materiais em futuros projetos.

A atual expansão do mercado imobiliário e os continuados investimentos na habitação, ao mesmo tempo em que movimenta o mercado, abre novas oportunidades e enfrenta os efeitos da carência de novas unidades habitacionais, cria uma crise de mão de obra qualificada e escassez de alguns insumos, como cimento e tijolos cerâmicos. O reflexo desta crise nos programas habitacionais tende a produzir um aumento dos custos de produção, tanto por conta dos custos com os materiais, quanto pela crescente valorização da mão de obra que é escassa em várias regiões. A não opção por tecnologias alternativas tornou a indústria da construção civil refém de grupos econômicos que não tem ligação direta com o desenvolvimento das potencialidades da região. Por este princípio, insumos locais são aplicados em outras regiões, como no caso do gesso explorado em Pernambuco, que abastece todo o mercado nacional, mas que não gera substancial incremento na construção da região Nordeste. Este paradoxo pode ser equacionado com adoção de políticas de utilização destes insumos em caráter regional. Isto se dá também pela adoção de técnicas inovadoras, que se caracterizem tanto pela utilização de insumos regionais quanto pela utilização de mão de obra treinada dentro das próprias comunidades ou regiões onde se implantem programas de habitação de interesse social ou de obras de grande impacto. Além disto, a reutilização de insumos advindos de demolições e reformas de obras, aliados a técnicas apropriadas de reutilização dos mesmos pode contribuir para a redução do déficit habitacional, através da diminuição dos custos de produção de elementos construtivos, além de gerar um impacto positivo na sociedade e no meio ambiente.

No campus I da Universidade Federal da Paraíba a construção de um protótipo habitacional com blocos de gesso, utilizando sistema construtivo modular demonstrou na prática a viabilidade de tais construções, abrindo novas

possibilidades de utilização do gesso em construções de habitações, com funcionalidade, baixo custo e reduzido desperdício de material (RODRIGUES, 2008).

A Fundação Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP, desenvolveu um manual para construção de casas térreas em alvenaria de blocos de gesso, com a caracterização de todas as etapas da construção de um protótipo que atende ao especificado na NBR 15.575/2009 – Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos (DNPM, 2010).

Levando-se em consideração os impactos ambientais diretos e indiretos advindos da escolha da tecnologia adotada para a construção de unidades habitacionais, pretende-se, nos capítulos posteriores, apresentar considerações sobre a viabilidade do uso do gesso com adição de produtos de origem vegetal. Por ação destes, comprovar as alterações das propriedades dos produtos obtidos a partir do gesso com outros produtos de base sustentável e regionalizada, que possam incrementar o desenvolvimento social e econômico do Nordeste na construção de habitações de interesse social.

### 3 - REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 - O Gesso

##### 3.1.1 – Aspectos Gerais

O gesso é um dos mais antigos materiais de construção conhecidos pelo homem, o que é comprovado por escavações arqueológicas, que registram o uso do material por civilizações antigas, havendo sido encontrado em ruínas na Síria, na Turquia, em Jericó e no Egito (MUNHOZ, 2008).

No continente africano, sua utilização é registrada na construção de barragens e canais de abastecimento d'água que por muito tempo irrigaram as palmeiras de *Mozabe* e em edificações habitacionais, sob forma de argamassas de assentamento e como reforço em blocos de terra crua (MUNHOZ, 2008).

Em seu “Tratado de Pedra”, o mais antigo estudo sobre o material, o filósofo Theofraste, discípulo de Platão, que viveu entre os séculos IV e III a.C, catalogou a existência de jazidas de gesso na Síria, Fenícia e em Chipre, relatando o uso do material na confecção de estátuas, em afrescos e revestimento (GESSO MONEA, 2009).

Nos países que compunham o Império Romano, o gesso era largamente difundido como material aglomerante, conhecendo-se já as suas propriedades como isolante térmico. Na França, após a invasão romana foi de utilização bastante comum no revestimento de igrejas e prédios públicos, sendo que em 1292 foram catalogadas 18 jazidas do mineral apenas nas proximidades de Paris. A técnica de utilização do gesso foi largamente empregada durante a Idade Média, pela abundância do material, a facilidade de emprego e por conta das suas propriedades não propagadoras de chama. É um bom isolante térmico, além de bom isolante acústico.

O Renascimento foi marcado pelo domínio do emprego do gesso para a decoração recebendo a denominação de gesso de estuque na época do barroco, quando foi usado tanto no teto quanto no acabamento das paredes devido à facilidade de emprego e ao ótimo acabamento conferido às superfícies revestidas.



Após o grande incêndio de Londres, ocorrido entre os dias 2 e 5 de setembro de 1666, que destruiu as partes centrais da cidade, Luiz XIV, rei de França, tornou obrigatório em 1667 o uso do gesso como material de revestimento tanto no interior como no exterior dos prédios, como medida preventiva contra incêndios (GESSO MONEA, 2009).

No século XVIII, do montante das construções existentes na França, 75% dos hotéis e a totalidade dos prédios públicos e populares foram edificadas com panos de madeira e argamassa de gesso, e para as novas construções ou até mesmo reformas, cerca de 95% foram feitas em gesso. Devido à necessidade de uniformizar o método de produção, em 1768 foi apresentado o primeiro estudo sobre a preparação do gesso, por Lavoisier, sendo que no século XIX Le Chatelier e Van t'Holf produziram o primeiro estudo científico sobre a desidratação da gipsita. Com a invenção do forno industrial, século XX, a fabricação do gesso tomou dimensões industriais, com incremento da qualidade e produção em larga escala.

Como isolante acústico, o gesso também se referencia como um produto de ótimo desempenho, devido a sua alta porosidade, que confere ao material a propriedade de desviar, absorver e descontinuar as ondas sonoras pelo atrito produzido pelo ar ao passar pelos poros do material.

A principal desvantagem do gesso na construção civil diz respeito à instabilidade do produto sob a ação da água. Isto pode ser minimizado através da aplicação de produtos impermeabilizantes ou adição de produtos hidrofugantes, que tanto podem ser de origem vegetal quanto mineral (MUNHOZ, 2008).

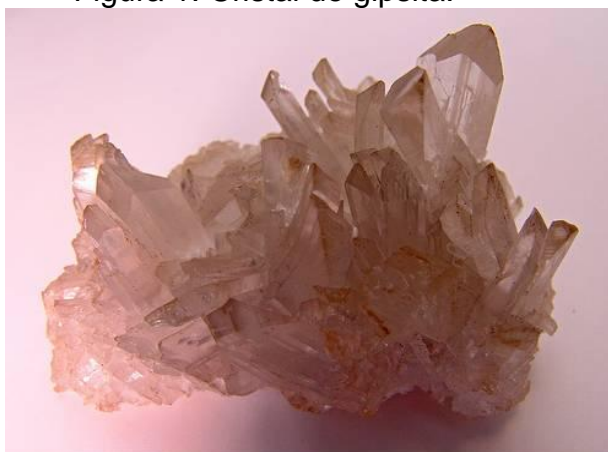
Em ambientes internos, argamassas de gesso podem substituir com eficiência as produzidas com cimento ou cal, proporcionando um acabamento liso, o que dispensa a massa corrida para pintura, com uso comprovado desde a antiguidade: o estuque em tetos trabalhados de igrejas e construções históricas do Renascimento e do Barroco, entre diversos outros exemplos.

Um uso mais recente diz respeito à fabricação de blocos e placas de gesso acartonado, reforçados ou não com fibras vegetais, sintéticas ou minerais e a produção de unidades habitacionais com sistemas construtivos modulares (MAGALHÃES, 2009) associados a sistemas eficientes de impermeabilização.

### 3.1.2 – Obtenção do gesso

O gesso é um material largamente utilizado na construção civil. Oriundo principalmente do mineral gipsita,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Figura 1), apresenta dureza 2 na escala de Mohs, massa específica de  $2,35 \text{ g/cm}^3$  e índice de refração de 1,53, com coloração variando entre o branco e o amarelo escuro e amarronzado, conforme o tipo e o grau de impurezas, e é encontrado em todo o mundo, normalmente associado a outros minerais (halita, anidrita, calcita, enxofre, pirita e quartzo) (DANA-HURLBUT, 1984) sendo um aglomerante aéreo.

Figura 1: Cristal de gipsita.



Originário de bacias sedimentares o gesso é conceituado como um evaporito, formado a partir da evaporação de mares interiores ou de lagos de sal, através de eras geológicas, em forma de camadas com idades geológicas variando do Paleozóico ao Cenozóico. A gipsita e a anidrita têm suas propriedades determinadas conforme as condições do ambiente no qual se formaram (KARNI e KARNI, 1995), variando a classificação mineralógica conforme a associação com outros minerais. Por outra gênese, depósitos de gesso podem ocorrer como resultado de atividade vulcânica, que se manifesta como uma acumulação de ácido sulfúrico (produzido a partir de sulfetos, como é o caso da pirita), que converte o carbonato de cálcio em sulfato de cálcio. Este tipo de gesso, encontrado sob a forma de nódulos, é menos explorado do que os provenientes de depósitos por evaporação. A sua composição

química (ou estequiométrica) média apresenta 32,5% de CaO, 46,6% de SO<sub>3</sub> e 20,9% de H<sub>2</sub>O (SOBRINHO *et al*, 2009).

Além de formado por evaporação de mares e lagos e por atividade vulcânica, o gesso pode ser encontrado em dunas, resultado da degradação pelo intemperismo de rochas matrizes, quando normalmente é encontrado misturado à sílica ou aos argilominerais.

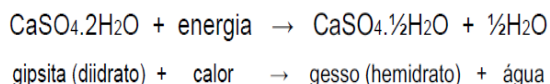
Existem 3 formas principais de ocorrência de gipsita na natureza. Na primeira, denominada selenita, os cristais organizam-se em arranjos monoclinicos prismáticos ou tabulares. Na ocorrência fibrosa, os cristais organizam-se em fibras paralelas, mais ou menos longas. Já em sua forma maciça, apresenta uma formação compacta e granulometria fina, cor branca translúcida, sendo a ocorrência com maior potencial econômico, denominada alabastro (SOBRINHO *et al*, 2009).

As jazidas de gipsita são de fácil exploração e podem ser tanto subterrâneas quanto a céu aberto. Por conta da baixa dureza da rocha, o processo de mineração subterrâneo pode ser realizado com escavadeiras e brocas, e na exploração a céu aberto podem ser efetuados por escarificação ou por desmonte com explosivos.

Atribui-se a descoberta do gesso pelo homem aos antigos habitantes das cavernas, ao acender um fogo em local de afloramento de gipsita, ocorrendo, então, a calcinação do mineral. A palavra gesso deriva do grego “*gypsos*”, formada a partir de duas palavras que denotam “terra” e “cozinhar”(KARNI e KARNI, 1995).

De grande potencial econômico, a gipsita é utilizada na agricultura como corretivo de solos, moída em granulometria apropriada, em solos alcalinos ou pobres em enxofre; na indústria cimenteira é utilizado como adição ao clínquer, como retardador de pega. Outras aplicações industriais englobam a fabricação de cerveja, branqueamento de papel, fabricação de pólvora, botões de fósforo, além de larga aplicação na indústria química como fonte de fabricação de enxofre puro, barrilha, cloreto de cálcio, sulfato de amônio e carbonato de cálcio.

Segundo Agopyan (1989), para a fabricação do gesso é utilizada a gipsita, sulfato de cálcio com duas moléculas de água (diidrato), que quando calcinada em temperaturas relativamente baixas (120°C – 150°C), perde água, liberando-a para a atmosfera, e transformando o diidrato em hemidrato ou gesso (CaSO<sub>4</sub>. ½ H<sub>2</sub>O) (Equação 1). Após a calcinação, o minério é triturado e reduzido a pó, peneirado e ensilado, estando pronto para ser utilizado. O mecanismo de ajuste é explicado pela lei de Le Chatelier.



## Equação 1

A partir de 180°C o gesso vai perdendo todas as suas moléculas de água, surgindo então a anidrita, ou sulfato de cálcio anidro ( $\text{CaSO}_4$ ). Entre as temperaturas de 700°C e 900°C forma-se um produto inerte, sem aplicação industrial, sendo que a partir dos 900°C forma-se óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) livre.

A quantidade de energia para a calcinação do gesso e formação do hemidrato é pequena se comparada com a energia necessária para a fabricação do cimento, que necessita de temperaturas acima de 1 400°C.

O produto mais utilizado na construção civil é o hemidrato  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ . Conforme a técnica de fabricação tem-se o hemidrato  $\alpha$  ou hemidrato  $\beta$ , também conhecido como “gesso de Paris”.

O hemidrato  $\alpha$  é produzido sob pressão entre 2 e 3 atmosferas, em fornos tipo autoclave, com controle de temperatura, umidade e pressão, gerando um produto com a mesma composição química  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ , porém apresentando cristais maiores que o do gesso tipo  $\beta$ , que é produzido à pressão ambiente.

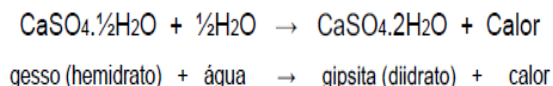
Além do tamanho dos cristais, os hemidratos  $\alpha$  e  $\beta$  diferem em suas propriedades. O gesso tipo  $\alpha$  apresenta uma resistência à compressão superior ao do tipo  $\beta$  e uma menor solubilidade, necessitando de menos água de amassamento para produção da pasta, tendo sua maior utilização na confecção de moldes para odontologia (MUNHOZ *et al*, 2006).

As anidritas, ou sulfatos de cálcio anidros, são gessos especiais e classificam-se em anidrita tipo I, anidrita tipo II e anidrita tipo III, classe alfa e beta.

O gesso hemidratado do tipo  $\beta$ , pode apresentar pequenas porções de impurezas e anidrita. O produto apresenta-se como um pó fino e branco. Pode ser aplicado de forma direta nos revestimentos, substituindo as argamassas tradicionais, principalmente em paredes internas ou como produto premoldado na forma de placas, painéis e blocos de vedação.

O endurecimento do gesso se faz com a adição de água em quantidade média de 18% em relação ao peso do pó, e acontece em poucos minutos. O processo envolve a dissolução do gesso na água e a precipitação em forma de

diidrato, com liberação de calor e expansão do volume, o que acontece conforme a Equação 2.



Equação 2

Encerradas as reações de hidratação o gesso sofre uma pequena retração. O tempo de pega do gesso é função de suas características, de sua finura, da quantidade de água de amassamento, da temperatura e do seu grau de pureza. A presença de aditivos altera o tempo de pega, que em média se situa entre 8 minutos e 20 minutos.

Devido ao seu baixo coeficiente de condutividade térmica, o gesso é considerado um bom isolante, apresentando valores de coeficientes de transmissão de calor da ordem de 0,25 W/m°C a 0,50 W/m°C, dependendo das condições de umidade e da massa específica do material.

Segundo Peres *et al* (2001), a massa específica de blocos e pré-moldados em gesso é da ordem de 900 kg/m<sup>3</sup> a 1000 kg/m<sup>3</sup>, com um coeficiente de condutividade térmica de 0,35 W/m°C. Esta característica empresta ao gesso o poder de equilíbrio higroscópico nos ambientes onde é utilizado, devido a sua capacidade de trocar umidade com o meio ambiente. Em casos de incêndio, a água contida nos poros do revestimento é liberada, tendo um poder de inibir a propagação de chamas.

Quando aquecidos a uma temperatura de 106°C, repete-se o processo ocorrido na calcinação, com a absorção de calor por parte do gesso em troca da água de ligação, que se precipita ao meio como vapor d'água reduzindo assim a propagação de incêndios.

A temperatura segue estabilizada em torno de 140°C enquanto dura o processo de desidratação.

### 3.1.3 – Dinâmica das reações

O processo de hidratação do gesso e a dinâmica das reações podem ser descritos em 6 estágios distintos:

Estágio 1 - Mistura inicial do sulfato de cálcio hemidratado e água;

Estágio 2 - Inicia-se a reação de hidratação, e com a precipitação de sulfato de cálcio diidratado formam-se os núcleos de cristalização;

Estágio 3 – Observa-se o início do crescimento de cristais a partir dos núcleos;

Estágio 4 - Os cristais de sulfato de cálcio diidratado já estão bem crescidos, pela absorção da água pelo hemidrato tornando a mistura viscosa;

Estágio 5 - Os cristais já se tocam e podemos dizer que aqui é o momento de pega inicial. Na prática é aqui que a mistura perde o brilho superficial devido à absorção d'água na formação do diidratado; e

Estágio 6 - Todos os cristais estão entrelaçados formando um corpo sólido.

#### **3.1.4 - O Gesso no Brasil**

O Brasil possui as maiores reservas de gipsita do mundo segundo o Sumário Mineral de 2009 do DNPM. Porém, sua produção e consumo são pequenos se comparados a muitos outros países. O maior produtor mundial é a China, com 40,7 milhões de toneladas, seguida pelos Estados Unidos com 12,7 milhões de toneladas (Tabela 2). Em termos mundiais, a maioria da produção ainda se destina à fabricação do cimento. Nos países desenvolvidos a principal utilização prende-se à produção de gesso e derivados.

Segundo o DNPM (2010), o consumo *per capita* do gesso no Brasil em 2010, com base em levantamentos de 2009 era de 18 kg por habitante por ano, contra 30 kg/hab ano na Argentina, 46 kg/hab ano no Chile, 83 kg/hab ano na Europa ocidental e 107 kg/hab ano nos Estados Unidos. Esses dados mostram um grande potencial de uso do gesso ainda a ser explorado no Brasil.

Tabela 2 – Produção mundial de gipsita.

Países	Reservas <sup>(1)</sup> (10 <sup>3</sup> t)		Produção (10 <sup>3</sup> t)		
	2008 <sup>(p)</sup>	(%)	2007 <sup>(r)</sup>	2008 <sup>(p)</sup>	(%)
Brasil	1.302.474		1,93	2,187	1,44
China			37 000	40 700	26,49
Estados Unidos	700.000		17 900	12 700	8,54
Irã			12 000	12 000	7,95
Espanha			11 500	11 300	7,48
Tailândia			8 600	8 800	5,83
Canadá	400.000		7 700	7 300	4,83
México			6 100	5 800	3,84
França			4 800	4 700	3,11
Austrália			4 200	4 100	2,72
Demais países			79 277	41 926	27,11
TOTAL	Abundantes	-	154 000	151 000	100,00

Fonte: DNPM-DIPIAM e *Mineral Commodity Summaries*, 2009. Notas: (p) dados preliminares; (r) revisado; (1) reservas medidas + indicadas.

Segundo o DNPM (2010), em 2008 a produção de gipsita bruta ROM apresentou um crescimento de 14% em relação ao ano anterior, crescimento que vem aumentando pelo terceiro ano consecutivo, o que se justifica pela demanda proporcionada pelos investimentos realizados na construção civil, nos setores da infraestrutura e principalmente no setor da habitação. A produção provém dos Estados de Pernambuco (2 .005 922 t; 91,71% da produção nacional), Maranhão (67 882 t; 3,10 %), Ceará (65 509 t; 3,00%), Amazonas (34 577 t; 1,58%), Rio Grande do Norte (10 557 t; 0,48%) e Tocantins (2 687 t; 0,12%). Vale também salientar uma pequena expansão no uso do gesso como corretivo de solos.

Pelo mesmo levantamento, aponta-se que cinco empresas operando dez minas, distribuídas em três Estados, geraram o equivalente a 78% da produção nacional (ROM). São elas a Mineradora São Jorge S.A. do Grupo Laudenor Lins; a Votorantim Cimentos N/NE e a Holcim Brasil S.A., do Grupo Holderbank; a CBE - Companhia Brasileira de Equipamento (Grupo Nassau) e a Mineradora Rancharia Ltda. /Supergesso S.A. Indústria e Comércio pertencente ao Grupo Inojosa. Estima-

se que do montante de gipsita explorado foi produzida a quantidade de 996 455 t, o que aponta para um crescimento de 10% em relação ao ano de 2007.

Ainda segundo o DNPM (2009), a produção anual de gipsita no Brasil em 2010 gira em torno de 2,2 milhões de toneladas anuais, e as projeções de consumo até o ano 2030, indicam pelo menos a duplicação das quantidades produzidas atualmente. Para que esta meta seja atingida, estima-se a necessidade de um montante de investimentos em torno de R\$ 561 000 000,00 no que tange a reposição de reservas, com abertura de novas lavras de mineração e consequente incremento na mão de obra ocupada (BEZERRA, 2009). Mesmo assim, o uso do gesso no Brasil ainda é muito pequeno em comparação com outros países, estando os estados do Nordeste como os maiores consumidores, ultrapassando em consumo alguns dos estados mais populosos e desenvolvidos da Federação.

A maioria do minério produzido provém do estado de Pernambuco, que em 2008 contribuiu com 91,71% de toda a produção nacional, com um número de 2 005 922 toneladas. A distribuição da produção pelos estados no ano de 2008 é demonstrada na Tabela 3.

O Nordeste do Brasil é responsável por 46,32% do consumo nacional. O maior consumidor nacional é o estado de Minas Gerais, sendo que na Paraíba, conforme o Anuário Mineral Brasileiro de 2008, o consumo de gipsita equivale a 3,86% do total produzido no Brasil (Figura 2).

Tabela 3– Distribuição da produção pelos estados em 2008.

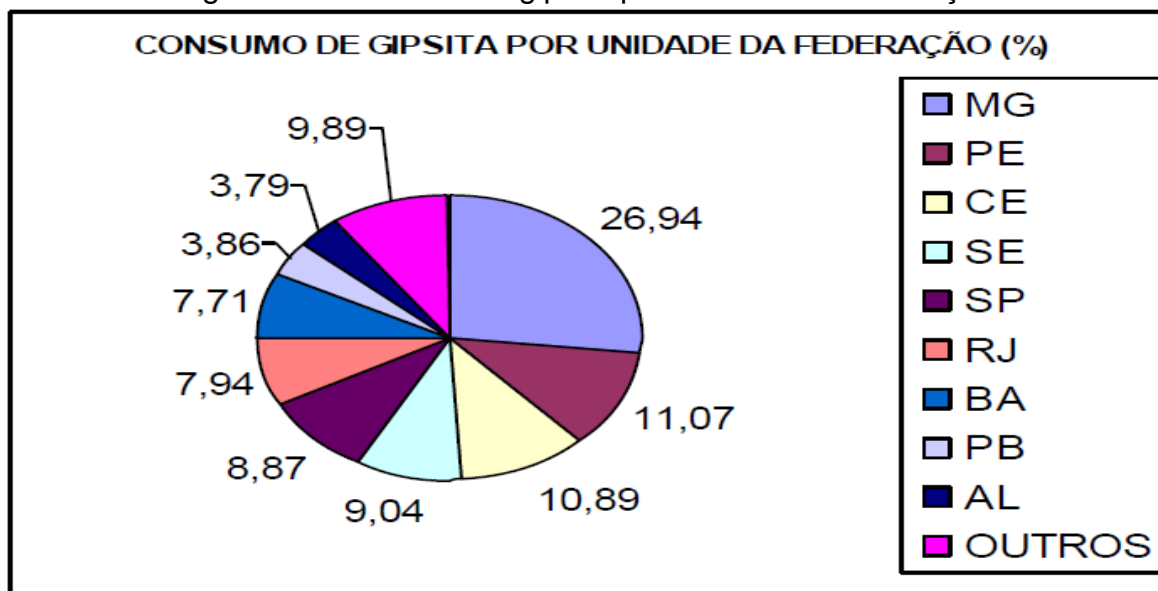
ESTADO	PRODUÇÃO (ton.)	%
Pernambuco	2.005.922	91,71
Maranhão	67.882	3,10
Ceará	65.509	3,00
Amazonas	34.577	1,58
Rio Grande do Norte	10.557	0,48
Tocantins	2.687	0,12

Cerca de 98% das reservas brasileiras estão distribuídas pelos estados da Bahia (43%), Pará (30%) e Pernambuco (25%), ficando o restante das reservas



divididas entre os estados do Maranhão, Ceará, Piauí, Amazonas, Rio Grande do Norte e Tocantins.

Figura 2 – Consumo de gipsita por unidade da Federação.



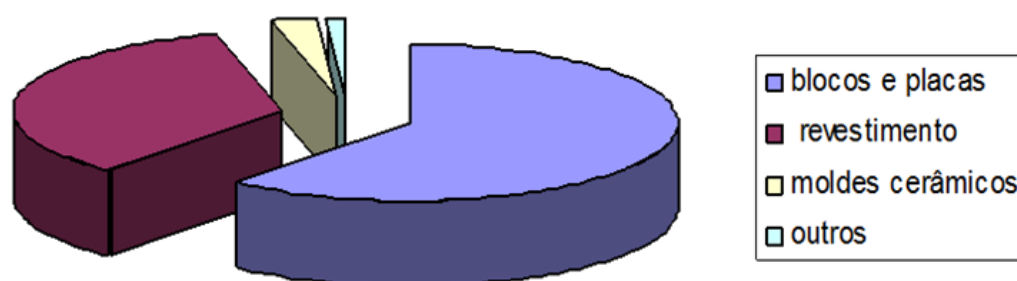
Fonte: DNPM Anuário Mineral Brasileiro

As reservas do Pará apresentam algumas dificuldades de exploração, principalmente por estarem inseridas em uma reserva florestal, onde algumas restrições são impostas; localização distante dos centros consumidores, o que encarece o produto minerado, principalmente pela logística envolvida no transporte e beneficiamento do minério; e a transferência do controle da área (DNPM, 2010). Do ponto de aproveitamento do minério, as principais reservas existentes no Brasil estão concentradas na região do Araripe, que engloba uma área de sertão nos Estado de Pernambuco, Piauí e Ceará, atendendo a 95% da demanda nacional com uma produção de 1,3 milhões de toneladas por ano (SINDUSGESSO, 2009). O produto explorado abastece principalmente as indústrias de fabricação de gesso para fundição e para a indústria cimenteira (Tabela 4). Da produção destinada à construção civil (Figura 3), 61% é destinada à produção de blocos e placas acartonadas, 35% para gesso de revestimento, 3% para moldes cerâmicos e 1% para outros usos que não os da construção civil (MAGALHÃES, 2009).

Tabela 4– Distribuição da produção brasileira de gipsita em 2008 (DNPM, 2003).

Setor industrial	Distribuição (%)
Produção de gesso	58
Fabricação de cimento	29
Uso agrícola	13

Figura 3– Destinação do gesso produzido no Brasil



Quase toda a produção nacional é destinada ao consumo interno. O atendimento ao mercado da construção civil é estratificado através das classes sociais, sendo a comercialização de gipsita, gesso e derivados polarizada nas classes A e B, por três grupos econômicos transnacionais, que atuam nos setores da produção de gesso e de placas acartonadas (*drywall*), cujos principais expoentes são: Lafarge Gypsum, Knauf Drywall e Placo do Brasil/Saint Gobain. As classes C, D e E são abastecidas pelo aglomerado empresarial em torno da marca Brazilian Gypsum, composto pelas empresas instaladas no Pólo Gesseiro do Araripe, em Pernambuco. De toda forma, a pouca expressividade da quantidade exportada em face das reservas brasileiras demonstra que existe um mercado potencial a ser ocupado, principalmente com a utilização das reservas ainda não exploradas na produção de produtos manufaturados, com maior valor agregado.

### 3.1.5 – O Pólo Gesseiro do Araripe

Considerando a produção nacional, o maior potencial de mineração encontra-se no perímetro correspondente ao sertão pernambucano, englobando os municípios de Araripina, Bodocó, Exu, Ipubi, Ouricuri e Trindade, no qual investimentos maciços geraram um aglomerado econômico que se denomina “Pólo Gesseiro do Araripe”. As jazidas de Pernambuco estão inseridas em domínios da Formação Santana, do Cretáceo Inferior, e são formadas por siltitos, margas, calcários, folhelhos e intercalações de gipsita, sendo o minério constituído basicamente por gipsita associada à esmectita e outras argilas, com uma massa específica *in situ* de 2,3 g/cm<sup>3</sup> (LUZ *et al apud* BALTAR, 2004). A relação estéril/minério média é de 1:5.

As principais razões para o montante investido são a quantidade de minério existente, com potencial estimado de 1,22 bilhões de toneladas, com potencial de exploração para 600 anos; a qualidade do minério produzido no local, com teor médio de pureza em torno de 95%; as favoráveis condições de mineração e a sua localização estratégica, devido ao pólo se encontrar em uma região de fronteira de 3 estados: Pernambuco, Ceará e Piauí, tendo em um raio de 700 km a proximidade de 8 das 9 capitais dos estados da Região Nordeste (Salvador, Aracajú, Maceió, Recife, João Pessoa, Natal, Fortaleza e Teresina), além de fácil acesso a 8 importantes portos (Salvador, Aratú, Recife, Suape, Mucuripe, Pecém, Itaqui e Ponta da Madeira).

Pela configuração dos investimentos, no local está instalado um APL- Arranjo Produtivo Local, que agrega empresas de mineração da gipsita, transformação do minério, fabricação de ferramentas e explosivos, distribuição de gesso e derivados, propiciando ainda a fixação de empresas da construção civil, hotéis, oficinas mecânicas, indústria química e fabricação de embalagens. O porte dos empreendimentos varia desde as microempresas até as empresas de pequeno e médio porte, gerando um grande impacto na economia da região.

Ainda segundo o DNPM (2010), a exploração se dá pela extração do minério em 42 minas, sendo o mesmo beneficiado através de cerca de 140 calcinadoras e em torno de 726 fábricas de artefatos de gesso, gerando um arranjo produtivo responsável por 91,7% da produção nacional de gesso propiciando a geração de

cerca de 13 200 empregos diretos e 66 000 indiretos. O faturamento anual gira em torno de 364 milhões de dólares/ano.

Figura 4 – Lavra de mina a céu aberto – Mineradora São Jorge  
Pólo gesseiro de Pernambuco.



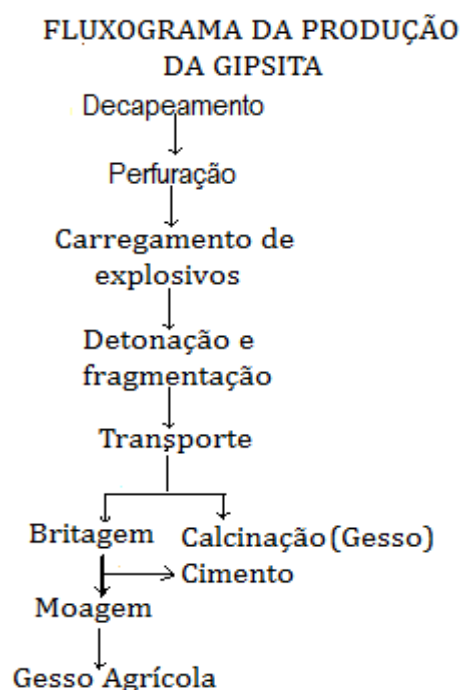
A extração do minério é realizada em minas a céu aberto (*open pit*) (Figura 4) em bancadas com altura média de 15 m (BALTAR *et al*, 2004), utilizando-se de equipamentos como: rompedores hidráulicos, martelos hidráulicos, *wagon drill*, tratores de esteira e pás mecânicas (SOBRINHO *et al*, 2001). Isto se faz possível pela semelhança do condicionamento geológico da região, que apresenta um capeamento reduzido. Em função da tecnologia existente na região, tradicionalmente admite-se um capeamento entre 15 m e 20 m, o que em alguns casos, descarta uma parte da gipsita existente na jazida (SOBRINHO *et al*, 2001).

A atividade de lavra obedece, em qualquer uma das minas explorada, uma sequência de atividades desde a remoção da vegetação até a produção do gesso e dos produtos derivados, que pode ser visualizada na Figura 5.

Segundo Bezerra (2009), o principal problema ambiental na mineração de gipsita é o capeamento, cujo aproveitamento ainda não foi viabilizado. A mineração da gipsita é uma atividade que não gera subprodutos nem resíduos agressivos ao meio ambiente, estando o impacto limitado à área da lavra, não se estendendo à áreas contíguas. A recuperação da lavra alcança patamares superiores a 90%, dependendo do porte da empresa mineradora e da destinação do minério. O maior

descarte ocorre quando a destinação é a calcinação para uso em pré-moldados, o que pode ser minimizado por prévios estudos da composição mineralógica do minério, pelo mapeamento e referenciamento da área, e pelo planejamento da produção, com unidades de beneficiamento próximas ao local de lavra.

Figura 5 – fluxograma da produção da gipsita. Fonte: Bezerra,2009



O principal problema relativo à agressão ambiental se dá pela utilização da lenha proveniente da caatinga para calcinação do produto, cuja queima causa poluição do ar e acelera o desmatamento, ocasionando desequilíbrio ambiental e ameaça a espécies da fauna e da flora locais. Embora produzido a baixa temperatura, em torno de 160°C, o consumo de lenha é proporcional ao crescimento da produção, o que leva à exaustão de um ecossistema de extrema importância.

Em algumas calcinadoras, utiliza-se o óleo pesado, tipo BFP e o coque. No entanto, os constantes aumentos do preço dos combustíveis, principalmente a partir de 1999 favoreceram que a maioria das empresas voltasse a consumir lenha para a fabricação do gesso. A partir de 2001 iniciaram-se experiências de utilização do gás natural, porém até o momento predomina a utilização da lenha como principal fonte de energia calorífica

Devido à pressão exercida pelos órgãos ambientais, as calcinadoras se comprometeram a só utilizar lenha proveniente de áreas onde o manejo é controlado a partir de outubro de 2007, o que vem sendo alvo de constante fiscalização (DNPM,2010).

### **3.1.6 – Questão ambiental**

A produção de gipsita não gera resíduos tóxicos, nem contamina o solo. O material estéril produzido pode ser recolocado no lugar da lavra após a extinção da jazida, reconstituindo o local com material da mesma composição anterior à exploração.

Durante a produção do gesso, no processo de calcinação, não há liberação de vapores tóxicos nem precipitação de metais pesados na atmosfera, liberando-se apenas vapor d'água, não contribuindo para efeito estufa, conseqüentemente não afetando a elevação da temperatura do planeta.

Dentre os materiais produzidos para uso na construção civil, o gesso pode ser considerado um aglomerante alternativo. Embora utilizado pelo homem a aproximadamente 10 000 anos, a sua produção e taxa de utilização é pequena, se comparada a de utilização do cimento.

Os compostos produzidos a base de gesso apresentam características que atestam a possibilidade de aplicação em diversas atividades de construção civil. As experiências relatadas incluem desde a fabricação de argamassas de revestimento e decoração até a construção de barragens, tudo dependendo da qualidade do material empregado e da tecnologia associada.

Como em todas as técnicas antigas de construção, boa parte da tecnologia aplicada pelos povos antigos, anteriores a Revolução Industrial, se perderam pela falta de uso, de transferência as novas gerações ou sofreram alterações para fazer face às necessidades da produção moderna. Em muitos dos casos, este processo aprimorou a técnica de utilização do material, o que não é o caso do gesso, que continuou sendo utilizado principalmente como material de revestimento interno.

Recentemente, a implantação de indústrias de fabricação de placas acartonadas no qual o gesso é associado a placas de papelão que conferem ao material novas propriedades e usos abriu uma nova perspectiva de utilização do material. Embora tenha havido um avanço quanto à nova forma de aplicação do material, algumas limitações de aplicação, principalmente em relação a áreas molhadas têm restringido a utilização em larga escala, principalmente na construção de habitações de interesse social. As soluções encontradas para produzir compostos de gesso resistentes à água utilizam materiais sintéticos produzidos em plantas industriais que encarecem o produto, embora os efeitos produzidos sejam encorajadores ao uso das placas e blocos resistentes a água.

Devido às flutuações econômicas e a crise do petróleo, principalmente a partir da década de 70 do século passado, as antigas técnicas de construção voltaram a ganhar importância, por aliar baixo consumo energético à sustentabilidade ambiental, utilizando métodos e materiais não agressivos, de fácil reincorporação ao meio ambiente. A busca por uma relação mais harmoniosa entre a necessidade de produzir bens e a de preservar o planeta orienta para uma racionalização de métodos e utilização de materiais de construção apropriados a cada necessidade, levando em consideração tanto os fatores econômicos quanto a produção com o mínimo de agressão ambiental.

Com relação ao gesso, é sabido que o descarte ao ar livre de material proveniente de demolição ou restos de obras pode contaminar o solo, o lençol freático e o ar.

Por sua composição química,  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ , o gesso reage com água para formar o composto original do qual foi formulado, a gipsita.

Quando descartado ao ar livre e em contato com umidade e condições anaeróbicas, com baixo pH, e sob ação de bactérias redutoras de sulfatos, que são condições presentes em muitos aterros sanitários e lixões, tende a formar gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), que possui odor característico de ovo podre, tóxico e inflamável (MUNHOZ *et al*, 2006). Em solução aquosa, gera ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) que contamina o solo e atinge o lençol freático.

### 3.1.7 – Reciclagem do gesso

Segundo a resolução 307/2002 do CONAMA, em seu artigo 2º, I, resíduo de construção civil é definido como: “resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”.

Segundo a mesma resolução, em seu artigo 3º, os resíduos da construção civil são divididos por classes. De acordo com a resolução CONAMA 431, de 24 de maio de 2011, que altera o artigo 3º da Resolução 307/2002, o gesso, antes incluído como material Classe C, que são aqueles para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem, foi reclassificado como Classe B, que é a classe dos materiais para os quais existem tecnologias de reciclagem.

A reciclagem do gesso proveniente de demolições ou das sobras de construção é uma necessidade do ponto de vista ambiental e econômico. O descarte em ambientes abertos pode gerar problemas ambientais, como a contaminação do solo, do ar e do lençol freático, necessitando uma série de procedimentos que possibilitem a reciclagem do produto descartado, sua manipulação com o objetivo de obtenção de um produto comercial com qualidade compatível com o produto inicial.

A adoção de métodos apropriados se deve, em primeiro lugar, ao elevado número de contaminantes existentes nos materiais oriundos de demolições, tais como aditivos, pinturas, tratamentos hidrofugantes, entre outros. O processo de reciclagem é determinado pela utilização anterior do material. No caso da reciclagem do gesso proveniente de placas acartonadas, é comprovada a existência de gesso natural hidratado (gipsita), papel (4% a 12%), fibras de vidro, vermiculita, argilas (até 8%), amido, potassa (KOH), agentes espumantes (sabões), dispersantes e hidro-repelentes, nas placas resistentes à água (MUNHOZ *et al*, 2006). Além destes, detecta-se a presença de amianto associado à vermiculita, registrando ainda a presença de metais pesados, inclusive o boro, que é um elemento tóxico.



A reciclagem do gesso compreende primordialmente as etapas de coleta dos resíduos, separação dos contaminantes, processamento e controle de qualidade do produto.

De acordo com a resolução CONAMA 307/2002, os geradores de resíduos de construção têm a obrigação de elaboração de planos de gerenciamento de resíduos da construção civil. No caso do gesso, este plano deve conter parâmetros de ação que possibilitem uma segregação do material dos outros resíduos gerados, de acordo com as peculiaridades do material, de modo que a coleta de gesso para reciclagem se dê em separado. Os resíduos devem ser acondicionados em recipientes apropriados e transportados até o local de reciclagem segundo uma logística específica.

Durante a reciclagem deve-se proceder a separação dos contaminantes, o que exige técnicas apropriadas a cada tipo de impureza, visto que alguns cuidados devem ser tomados em relação à saúde dos operários envolvidos, devido à natureza tóxica de alguns elementos agregados ao gesso.

Segue-se o processamento, que consiste em operações que possibilitem a obtenção do gesso em pó, com características e qualidade compatíveis com as do produto natural, assegurando-se a comercialização de um produto reciclado com controle de qualidade e garantia de eficiência ao consumidor.

A Gypsum Recycling International é uma empresa com sede na Dinamarca que tem patenteado um método de reciclagem de gesso oriundo de placas acartonadas, blocos e de resíduos de demolições de obras construídas com tecnologias de gesso. Pelo método exposto, 100% dos resíduos são reciclados com utilização de tecnologias que permitem a separação dos contaminantes, atuando em 7 países, Dinamarca, Suécia, Noruega, Países Baixos, Irlanda, Reino Unido e Estados Unidos, com método patenteado.

Pelo parâmetro da economia, a reciclagem do gesso se torna importante pela possibilidade de reintroduzir no mercado um produto cuja matéria prima é fruto de descarte, com custo reduzido em relação às despesas de logística e reprocessamento. Após a reciclagem pode-se obter um produto com características idênticas ao original, sem os custos de transporte e beneficiamento do primeiro processo, a transformação da gipsita em gesso nos locais de lavra ou em suas cercanias.

Pelo parâmetro da preservação ambiental, a reciclagem do gesso evita a degradação de novas áreas de exploração, preservando principalmente o bioma caatinga, que fornece o principal insumo energético utilizado para a calcinação da gipsita, a madeira, diminuindo o desequilíbrio ecológico causado pela modificação de um espaço que abriga espécies vegetal e animal características da região do semi-árido, algumas com perigo de extinção. A reciclagem pode ainda evitar a contaminação do solo e do lençol freático da contaminação por enxofre, lixiviado durante a dissolução dos resíduos de gesso lançados ao ar livre, como aterro ou simplesmente lançados às margens de cursos d'água ou em terrenos baldios.

## **3.2 – ADITIVOS**

### **3.2.1 – Aspectos gerais**

Uma das opções para melhoria das propriedades mecânicas do gesso é a utilização de aditivos químicos. Estes têm por finalidade alterar as características do material com vias a potencializar o seu uso, conferindo-lhe alterações de propriedades e aspecto, principalmente com vista a alterações de sua resistência, plasticidade, tempo de pega e durabilidade.

Entendem-se como aditivos o conjunto de substâncias que são adicionadas propositalmente, em pequenas proporções referidas ao peso do aglomerante, com a finalidade de reforçar ou alterar uma ou mais de suas características, conferindo propriedades que o viabilizem para determinado uso (PETRUCCI, 1987).

Segundo o campo de aplicação, os aditivos podem ser do tipo retardador ou acelerador do tempo de pega, plastificantes, superplastificantes, impermeabilizantes e incorporadores de ar, (ALVES, 1993). Ainda segundo Alves (1993), produtos destinados a tratamento superficial e os hidrófugos de massa e superfície são considerados como aditivos, de acordo com a quantidade adicionada ou utilizada no tratamento superficial das peças.

Em referencia ao gesso, algumas características do material são alvo de estudo, visando melhorá-las de modo a permitir uma utilização do material em vários processos e sistemas construtivos e de fabricação de componentes pré-moldados para a construção civil. Analogamente ao concreto, a alteração das propriedades do

gesso tem relação direta com a sua durabilidade e a utilização específica. O aumento da compacidade, o acréscimo de resistência aos esforços mecânicos, a melhora da trabalhabilidade, a diminuição da higroscopicidade, da permeabilidade, a diminuição da retração e a estabilidade volumétrica são alguns dos aspectos mais importantes.

A utilização do gesso na construção de habitações de interesse social está diretamente relacionada com a durabilidade do material, principalmente quanto à possibilidade de aumento de sua resistência a ação dinâmica da água.

Uma das formas de conferir maior compacidade ao material, aumentar a sua densidade e diminuir os espaços vazios é a redução da relação água/gesso. Em termos comerciais, este fator chega a 0,8 na fabricação de elementos pré-moldados e em revestimentos, enquanto que o hemidrato se hidrata com relações em torno de 19% da massa do gesso.

Este excesso de água na preparação dos traços justifica-se pela necessidade de dar plasticidade e trabalhabilidade a pasta, de modo a poder lançá-la nas formas de forma eficiente.

No entanto, ao mesmo tempo em que confere ao material trabalhabilidade, o excesso de água na pasta contribui para uma diminuição de sua resistência à compressão e na capacidade da peça ou do revestimento resistir à infiltração. A evaporação da água em excesso, analogamente ao concreto, cria condutos que tornam o material mais poroso, propiciando a infiltração e inviabilizando a utilização do mesmo em áreas sujeitas à ação da água.

Sendo assim, a utilização de aditivos ao gesso tem por finalidade atender a alguns fatores principais: a diminuição da água utilizada na preparação da pasta, a melhoria da capacidade de resistência à infiltração, a modificação dos limites de início e fim de pega e a conservação ou melhoria das características do material quando da utilização sem aditivos.

Considerando os aditivos disponíveis, a formulação de pastas de gesso com adição de superplastificantes, dispersores e impermeabilizantes tende a produzir alterações benéficas ao produto. É sabido que a ação de aditivos químicos interfere no tempo de pega e nas características finais dos produtos. Denominam-se aceleradores, os agentes que diminuem o tempo de pega, a exemplo dos sulfatos entre os quais se situa a gipsita. Os aditivos do tipo retardadores de pega são os agentes que aumentam o tempo da mesma, entre os quais estão os ácidos e os

colóides. Os retentores de água são agentes que incorporam/absorvem água em suas moléculas, liberando-a aos poucos para o processo de hidratação, a exemplo do hidroxietil-celulose e do hidróxido de cálcio. Denominam-se adesivos, os agentes que promovem adesão através da polimerização química, como o PVA e EVA. Por fim, os plastificantes são aditivos que diminuem a tensão superficial das moléculas formadas na mistura, tornando-a mais fluida, e propiciando uma redução da relação água/gesso.

Além dos produtos de uso consagrado, a pesquisa por novas fontes, principalmente os de fonte renovável e de baixo impacto ao meio ambiente, tende a apresentar novas possibilidades de aplicação, possibilitando a elaboração de produtos menos agressivos ao meio ambiente e de fonte renovável.

Dentre as possibilidades existentes, o látex de algumas *Euphorbiáceas* possuem componentes que tem grande potencial para a fabricação de aditivos eficientes.

### **3.3- ADITIVOS DE ORIGEM VEGETAL**

#### **3.3.1 – *Hevea brasiliensis***

##### **3.3.1.1 – Aspectos gerais**

A borracha natural ocorre em muitas espécies de vegetais tropicais, especialmente na família *Euphorbiaceae*. Dentre os vegetais produtores, a *Hevea brasiliensis* (Figura 6), também conhecida como seringueira, seringa, seringa-verdadeira, cau-chu, árvore da borracha, seringueira-preta, seringueira branca é a que apresenta maior importância, sendo a partir do látex exsudado quando da incisão nos troncos (Figura 6), obtida a borracha natural. Fonte de látex para a fabricação de diversos outros produtos de uso comercial esta espécie ocorre na região amazônica brasileira, na margem de rios e lugares inundáveis da mata, e é uma planta lactescente que atinge até 40 m de altura em estado selvagem, atingindo a média de 15 m a 20 m de altura, em cultivos (IAC, 2010), com tronco de 30 cm a 60 cm de diâmetro. Na região amazônica existem mais de 11 espécies de seringueiras do gênero *hevea*, produtoras de látex, sendo que apenas algumas

produzem látex suficiente para uma exploração comercial, como no caso da *Hevea brasiliensis* (SANTOS e MOTHÉ, 2007).

Figura 6 – Extração do látex de *Hevea brasiliensis*.



Fonte: <http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/Seringueira/Seringue.jpg>.

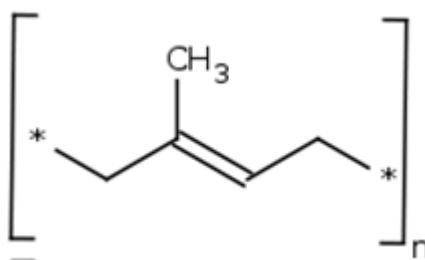
A borracha natural já era utilizada pelos índios brasileiros e pelas civilizações pré-colombianas muito antes do início da colonização das Américas. O primeiro registro de utilização data de 1525, quando P. d'Anghieria relatou a utilização do látex para fabricação de bolas de borracha pelos índios mexicanos (SANTOS e MOTHÉ, 2007).

O látex é uma solução esbranquiçada, por vezes amarelada, produzida por algumas plantas quando da sangria de seu caule. O produto exsudado tem como função proteger a parte ferida da planta e propiciar a sua cicatrização. Na composição dele ocorrem, em média, 35% de hidrocarbonetos, destacando-se o 2-metil-1,3-butadieno 1,3 ( $C_5H_8$ ) (Figura 7) comercialmente conhecido como isopreno, o monômero da borracha. É uma dispersão coloidal estável de uma substância polimérica em um meio aquoso, com um pH neutro variando entre 7,0 a 7,2.

Quando exposto ao ar por um período de 12 h a 24 h, o pH cai para 5,0 e sofre coagulação espontânea, formando a borracha, que é um polímero representado pela fórmula  $(C_5H_8)_n$ , sendo  $n$  da ordem de 10 000, que significa o seu grau de polimerização (*degree of polymerization*). Polímeros são macromoléculas

caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e interações intra e intermoleculares, possuindo unidades químicas ligadas por covalências, que se repetem regularmente ao longo da cadeia. Estas celas repetitivas são denominadas meros. O número de meros da cadeia polimérica é denominado grau de polimerização, sendo geralmente simbolizado por  $n$  ou  $DP$ . Sua massa molecular média é de 600 000 g/mol a 950 000 g/mol.

Figura 7 - Formula estrutural do látex.



O primeiro estudo científico sobre a borracha data de 1735 e foi realizado por Charles de La Condamine, a partir de observações de sua exploração e uso pelos nativos peruanos.

Empregada primeiramente como apagador, a borracha recebeu inicialmente o nome de *Índia Rubber*, que significa raspador da índia, atribuído por Priestley, navegador inglês. A palavra borracha é alusiva à primeira aplicação prática atribuída ao látex manufaturado, que foi a fabricação de botijas para acondicionamento de líquidos, utilizadas pelos portugueses, substituindo as então conhecidas *borrachas* de couro, atribuindo-se desde então o nome borracha ao produto natural obtido do látex da seringueira.

Com base nos escritos de La Condamine, Macquer formulou um método de fabricação de tubos flexíveis de borracha, sendo esta a primeira utilização industrial conhecida, seguindo-se inúmeras outras, com o desenvolvimento de novos processos de aproveitamento e transformação do látex natural da seringueira. A partir de 1820 a borracha começou a ser aplicada em peças de vestuário e em calçados, com inspiração nos calçados indígenas, iniciando-se nesta época a produção de tecidos impermeáveis e botas de neve na Nova Inglaterra. No entanto, os métodos de fabricação de artefatos de borracha não conseguiam impedir que estes se tornassem quebradiços sob o efeito do frio e modificarem a forma sob o

efeito do calor. O grande salto da produção de artefatos de borracha foi alcançado em 1840, quando da descoberta de um processo de vulcanização da borracha, formulado por Goodyear após muitas tentativas e prejuízos que quase o levaram a falência.

Paralelamente aos experimentos de Goodyear, Hancock, em 1815 havia inventado um colchão de borracha, fabricando também, em associação com MacIntosh capas impermeáveis de muita aceitação no Reino Unido. É de sua criação um processo industrial de laminação e prensagem da borracha, levando em consideração a importância de introduzir calor durante o processo de prensagem, criando maquinário apropriado para este fim. Empregando a benzina como solvente, como contribuição de MacIntosh, e agregando ao processo a mastigação e o aquecimento durante a dissolução da borracha, Hancock conseguiu em 1842, descobrir o segredo da vulcanização, formulado por Goodyear, produzindo um método de fabricação de artefatos de borracha que o levou à fortuna (SANTOS e MOTHÉ, 2007).

Entre 1815 e 1894 foram descobertas diversas aplicações para a borracha natural, formulando-se técnicas para a fabricação de brinquedos, pneus para bicicletas, capas, colchões e roupas impermeáveis, agregando-se tecnologia e propiciando que em 1895 a borracha fosse utilizada na fabricação de pneus para carros, por iniciativa de Michelin, o que colocou o produto como de grande importância no mercado mundial, em face da crescente industrialização e produção de automóveis.

### **3.3.1.2 - A borracha no Brasil**

Em uma sociedade marcada pelos avanços induzidos pela Revolução Industrial, a procura por produtos manufaturados e a inerente necessidade de inovação tecnológica abriram caminhos para a utilização da borracha em escala cada vez mais elevada.

Com a constante descoberta de novas utilizações da seiva obtida da extração da *Hevea brasiliensis*, o Brasil, como principal produtor das matrizes de extração, viveu uma época áurea da exploração de látex. Durante este período as exportações brasileiras do produto alcançaram patamares que justificaram intensos investimentos

na região amazônica, polarizada por Manaus, no estado do Amazonas e Belém no estado do Pará, onde se instalou um pólo extrativista destinado a extração e exportação do látex da *Hevea brasiliensis*. Os investimentos foram implementados com a instalação de sedes de empresas bancárias e de comércio na região, responsáveis pelo financiamento das atividades e comercialização do produto, principalmente para o mercado externo.

Iniciando-se na segunda metade do século XIX e estendendo-se até as primeiras décadas do século XX, o ciclo da borracha foi gerador de grandes fortunas, ocasionando o desenvolvimento e ocupação da região Norte do Brasil devido à migração de trabalhadores de todos os recantos do Brasil, principalmente oriundos da região Nordeste, por conta da grande seca que assolou a região em 1870 (CED-UFC, 2011).

O declínio do ciclo da borracha se deu a partir do ano de 1910, devido à concorrência estabelecida pela produção de borracha nas colônias inglesas na Ásia (Malásia, Cingapura e Ceilão). A partir da pesquisa em sementes contrabandeadas do Brasil por volta de 1876, os ingleses desenvolveram técnicas de enxerto que possibilitaram a criação de espécimes mais resistentes a pragas, mais robustas e em plantações economicamente viáveis, com projeto e manejo com vistas à produção em escala. Nestas plantações as mudas foram espaçadas uniformemente, enquanto que nas matas amazônicas as plantas cresciam desordenadamente, disputando espaço com outras espécies nativas, com grandes espaçamentos entre as árvores. A produção estabelecida sob regime colonialista e com incremento tecnológico apresentou ao mercado um produto com um custo mais baixo que o oferecido pelo Brasil, gerando fuga de investimentos estrangeiros e consequente abandono da produção da borracha amazônica. Esta continuou a ser explorada, porém com cada vez menos espaço no mercado internacional.

No final dos anos 20, o americano Henry Ford, inventor do sistema de produção por linha de montagem e um dos principais produtores de automóveis do mundo, resolveu investir na plantação de seringais e cultivo da borracha natural na região amazônica. A finalidade do empreendimento era quebrar o controle do mercado da borracha, exercido pelos ingleses através das plantações asiáticas. Pelo plano, foram investidos recursos para a plantação de 70 milhões de mudas em uma área de 1 milhão de hectares no Pará, com a finalidade de produção de 300 000 toneladas de borracha, cerca de 50% da produção mundial na época. Infelizmente,



as condições climáticas, as adversidades geográficas e as variedades plantadas, sujeitas a pragas e agentes patogênicos levaram a inviabilização do projeto, que se denominou Fordlândia, e que teve de ser abandonado.

Na época de ouro da exploração da borracha na Amazônia, a produção chegou a bater o patamar de 42 000 toneladas anuais, declinando com o tempo (SANTOS e MOTHÉ, 2007). Em 1921, os seringais orientais produziam 1,5 milhões de toneladas, enquanto que a produção nacional declinava para 20 mil toneladas anuais (CED-UFC, 2011).

Diversas experiências de cultivo de seringais em outras regiões do país foram intentadas, com o objetivo de criar opções de plantio em zonas com condições mais favoráveis de produção. Estas novas áreas de produção foram implantadas próximas a grandes centros consumidores ou com infraestrutura suficiente que permitissem o escoamento da produção a menor custo, como forma de reagir à investida do produto asiático no mercado internacional.

Durante a Segunda Guerra Mundial, a invasão japonesa nas colônias britânicas do oriente derrubou a produção inglesa de látex, ocasionando o segundo ciclo brasileiro da borracha. Nesta ocasião, com vistas a fazer frente ao esforço de guerra, milhares de brasileiros foram mobilizados pelo Exército para trabalhar nos seringais, devido à necessidade de látex para a fabricação de pneus principalmente para as viaturas aliadas nos teatros de guerra europeu, africano e do Pacífico.

Por este expediente, brasileiros foram engajados ao exército e colocados a trabalhar nos seringais, sendo denominados de Soldados da Borracha. Terminada a guerra, estes heróis brasileiros, não tendo possibilidades econômicas de reiniciar suas vidas nos locais de origem, incorporaram-se a região, sobreviventes de uma era de exploração e abandonados a própria sorte.

Em 1947 foi criada a Comissão Executiva de Defesa da Borracha e, em 1962, a importação de sementes geneticamente modificadas, produzidas na Ásia originaram a produção com manejo sustentável em outras regiões do país, principalmente em São Paulo e na Bahia.

Atualmente, 75% da produção mundial de borracha natural provém do sudeste asiático, que exporta 85% de sua produção, sendo a Tailândia, a Indonésia e a Malásia os principais produtores.

### 3.3.2– *Euphorbia tirucalli*

#### 3.3.2.1 – Aspectos gerais

*Euphorbia tirucalli*, conhecido como Aveloz, é um vegetal da família *Euphorbiaceae*. Originária da África foi introduzida no Brasil há mais de cem anos, no estado de Pernambuco, estando presente em todas as regiões de clima seco do país, principalmente no Nordeste. Também conhecida como graveto-do-cão, figueira-do-diabo, dedo-do-diabo, dedo-do-cão, pau-pelado, Árvore de São Sebastião, *Solitärpflanze* (Alemanha), *Arvore de los dedos* (Espanha), *Petroleum Plant* (Estados Unidos), *Euphorbea* (Itália).

Caracteriza-se com uma espécie arbustiva, podendo chegar aos 7 m de altura (Figura 8). Apresenta ramos verticilados, onde os galhos produzem de 2 a 4 ramos em cada nó, os quais se ramificam produzindo outros galhos com as mesmas características, com diâmetro decrescente, resultando em uma ramificação bastante intrincada, com produção de folhas pequenas que logo desaparecem. A sua floração também tem tempo bastante reduzido, com flores que podem ser verdes ou amarelas caindo em pouco tempo após a florada.

*Euphorbia tirucalli* cresce moderadamente rápido e prospera em climas moderados a quentes. Não parece se adaptar ao frio extremo. As plantas podem facilmente ser cultivadas por meio de sementes, estacas ou cassetetes. O solo composto predominantemente de areia grossa é ideal para plantar as sementes frescas, que devem ser semeadas no final do verão a partir de fevereiro ou março e mantidas em uma área quente e úmida. As plantas jovens crescem relativamente rápido principalmente em solos bem adubados e drenados. Estas belas árvores ficam mais bem posicionadas em espaços abertos sujeitos a grande insolação, em solos rochosos ou arenosos, como um jardim de rochas, taludes ou encostas de cascalho. Eles fazem bons espécimes em jardins secos, desde que os invernos não sejam muito frios, interagindo bem com outras espécies (VOIGT, 2007).

Figura 8 – *Euphorbia tirucalli*.



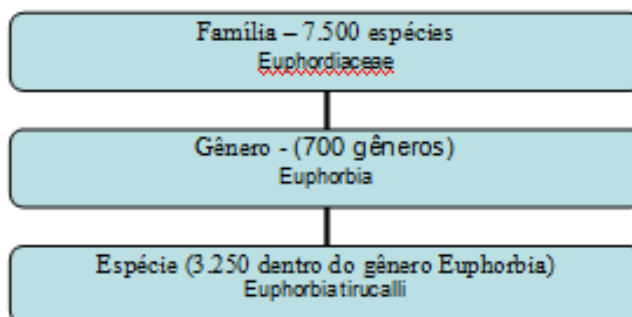
<http://www.plantzafrica.com/plantefg/euphorbtirucal.htm>.

Ao serem feridos, os seus ramos exsudam um látex branco, muito cáustico que pode provocar cegueira e irritação na pele. Devido a sua aparência, é confundido com os cactos, porém pertence a família botânica Euphorbiaceae que é representada por cerca de 700 gêneros, com mais de 7.500 espécies, entre as quais estão incluídos vegetais como a mandioca, a seringueira, a flor-de-papagaio, a coroa-de-Cristo, a mamona, entre outras.

De acordo com Webster (1967), *Euphorbia* é um dos gêneros de plantas da família Euphorbiaceae, que inclui 3250 espécies de grande variedade morfológica (Figura 9).

O nome da família botânica *Euphorbiaceae* é alusivo a Eufórbio, médico do Rei da Mauritânia, no século I d.C, ao qual se atribui o uso da planta para fins medicinais. O nome *tirucalli* foi dado pelo botânico Lieneaus, em 1753, devido a este ser o nome dado a planta pelos nativos do sul da Índia.

Figura 9 – Descrição da espécie *Euphorbia tirucalli*.



### 3.3.2.2 – Aspectos culturais e usos

Durante a Segunda Guerra Mundial, o látex de *Euphorbia tirucalli* foi processado para a produção de borracha. Plantações em larga escala vêm sendo investigadas há cerca de vinte anos como fonte fotossintetizante geradora de biomassa para a produção de energia combustível, como substituto da gasolina ou carvão vegetal, inicialmente nos Estados Unidos (VARRICHIO, 2008 *apud* FURSTENBERGER e HECKER, 1986) e atualmente nos países árabes (VARRICHIO, 2008 *apud* SALAH-ZAYED *et al.*, 2001).

Sua utilização foi pesquisada sob vários aspectos, existindo vasta literatura sobre a sua utilização no campo das ciências farmacêuticas e biológicas, para a produção de remédios e pesticidas (VARRICHIO, 2008). Durante a Segunda Guerra Mundial o látex de *Euphorbia tirucalli* foi processado para a produção de borracha.

Na África é bastante utilizada como sebes plantadas em torno de pequenas plantações, habitações e currais, por conta da sua ação repelente aos mosquitos e outros intrusos, que podem ser mantidas fora. O látex, como em outras *euphorbias*, é muito tóxico e pode causar cegueira, bolhas na pele, e até mesmo ser fatal dependendo da quantidade ingerida. Na medicina tradicional é considerada como uma cura para a impotência sexual e um antídoto para a picada de cobra. (VOIGT, 2007).

As diversas experiências na África do Sul que objetivaram transformar o látex de *Euphorbia tirucalli* em um substituto da borracha natural proveniente da *Hevea brasiliensis* têm demonstrado que o látex contém um percentual muito alto de resina,

o que produz uma borracha de má qualidade (VOIGT, 2007). Os esforços para usar a resina na fabricação de vernizes, também apresentaram resultados insatisfatórios. A madeira de *Euphorbia tirucalli* é branca e mais dura do que a maioria das espécies relacionadas, mas o seu uso não é corrente na construção civil. Como não é atacada por brocas, ela é usada em alguns lugares da África como suportes para os telhados.

Seu látex produz um veneno que pode, com pouco esforço, ser convertido em um substituto da gasolina. Isso levou o químico Melvin Calvin Ellis (08 de abril de 1911 - 08 de janeiro de 1997), químico americano famoso pela descoberta do ciclo de Calvin, juntamente com Andrew Benson e James Bassham, para o qual foi concedido em 1961 o Prêmio Nobel de Química, propor a exploração de matas de aveloz para a produção de petróleo. Esta utilização é especialmente atraente por causa da habilidade da planta para crescer na terra que não é adequada para a maioria das outras culturas. Calvin estima que se possa produzir de 10 a 50 de barris de óleo por hectare. Na década de 1980 a Petrobras começou experimentos com base nas idéias que Calvin colocou.

Quimicamente é constituído por óleos essenciais (eugenol), hidrocarbonetos terpênicos, aldeídos, látex, goma tirucalli, resina, diterpenos do tipo tigliano (ésteres de forbol) e ingenano (ésteres de ingenol), 4-desoxi-forbol e 12-O-tetradecanoil forbol-13-acetato, 12-O-(22) (4E)-octadienol-4-deoxiforbol-13-acetado, ácido 3,3'-di-O-metil-elágico, beta-sitosterol, ácido cítrico, ácido elágico, eufol, euforona, glucose, hentriacontanol, isoeuforal, kaempferol, ácido málico, sapogenina-acetatos, ácido succínico, taraxasterol, taraxerina e tirucalol.

## 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 – Materiais

#### 4.1.1 – Gesso

Foi utilizado gesso tipo  $\beta$  proveniente do Pólo Gesseiro do Araripe, adquirido no comércio local. A caracterização do material foi realizada conforme o determinado pelas normas NBR 12127/1991 – Gesso para Construção – Determinação das propriedades físicas do pó e pela NBR 13207/94 – Gesso para Construção – Especificações.

#### 4.1.2 – Aditivo superplastificante MSET

Como aditivo de referência foi utilizado o superplastificante MSET (Figura 10).

Figura 10 – Superplastificante MSET.



Segundo o fabricante, o produto é um superplastificante para concreto, com baixa influência no tempo de pega, com especificações técnicas conforme a Tabela 5.

Ainda segundo o fabricante, a dosagem do aditivo recomendada para concreto varia entre 0,6% a 1,5% do peso do aglomerante, sendo decidido o uso de uma dosagem de 1,0% para estudo nas pastas de gesso.

Tabela 5 - Características do superplastificante MSET.

CARACTERÍSTICA	VALOR USUAL
Cor	Líquido marrom
Massa específica [g/cm <sup>3</sup> ]	1,21 ± 0,03
pH	8,5 a 9,5
Sólidos (%)	40

#### 4.1.3 – Látex de seringueira – *Hevea brasiliensis*

O produto escolhido foi o látex centrifugado 60%, fornecido pela BDF Comércio de Produtos Agrícolas Ltda., acondicionado em tambor plástico de 50 Kg, produzido no estado de São Paulo, beneficiado em dezembro de 2010.

As especificações do produto, conforme resultado de análise nº 01112/2010, expedido sob a responsabilidade do Químico Mario Candido - CRQ 04105904 estão relacionadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Características físicas do látex de *Hevea brasiliensis*.

CARACTERÍSTICAS	VALOR USUAL
Sólidos totais	61,10
Borracha seca (DRC)	60,00
Diferença entre sólidos totais e borracha seca	1,10
pH	10,10
Viscosidade	20 seg
Estabilidade mecânica	375
Cor	Normal
Odor	Normal
Aspecto	Líquido viscoso – forte odor de amônia.

#### 4.1.4 – Látex de aveloz - *Euphorbia tirucalli*

Foi utilizado material colhido de mudas do vegetal plantado em dois canteiros na cidade de João Pessoa, sendo a matriz de origem da cidade de Pilar, no estado da Paraíba. As mudas da planta foram obtidas através de plantio tipo estaqueamento, onde ramos com altura média de 20 cm foram plantados nos dois canteiros, um nas imediações do LABEME, na UFPB e outro na casa do mestrando, no bairro de Mangabeira, em João Pessoa (Figura 11).

Figura 11 – Mudanças de *Euphorbia tirucalli*.



A extração do látex se deu de três formas diferentes. Da primeira forma, os ramos de aveloz colhidos foram triturados em liquidificador, utilizando-se álcool como solvente, na proporção de 1 porção de ramos para 1,5 porções de álcool, ambas em peso. Antes do processamento, os ramos foram deixados em recipiente de vidro, imersos em álcool durante 7 dias, findo os quais foram colocados no liquidificador e triturados, seguindo-se o peneiramento para retirada da parte sólida. O restante foi novamente colocado em vidro por 48 h, para decantação da parte sólida não retida na peneira, após o que o material foi coado, retirando-se a parte sólida visível, deixando-o pronto para uso.



Pelo segundo processo, ramos cortados de *Euphorbia tirucalli*, com média de 2 cm de comprimento foram colocados em infusão com álcool durante 7 dias, passados os quais o produto foi macerado (Figura 12), fazendo-se a separação da parte sólida por peneiramento. Após este processo o produto foi deixado a descansar, em recipiente de vidro por mais 48 h, para decantação (Figura 13). Passado este intervalo, o látex diluído foi filtrado em um tecido de algodão, retirando-se o restante dos resíduos visíveis.

Figura 12 – Maceração dos ramos de *Euphorbia tirucalli*



O terceiro método de extração foi a extração por prensagem. Por este método, os ramos colhidos foram prensados em uma carga de 12 000 kgf, sendo o sumo recolhido e utilizado diretamente nos traços com gesso.

Foi observado que o material sem adição de álcool se deteriorava biologicamente ao final de alguns dias, pelo que foi testado um novo método, este definitivo.

Por este método, o produto obtido por prensagem (Figura 14) foi filtrado e a ele adicionado álcool, em uma proporção de 20% em peso, atuando este como conservante.

Figura 13 – Látex diluído em processo de decantação.



Foi observada a evolução do valor de pH da solução em amostras no momento da prensagem, *in natura* e com adição de álcool e com idades de 120, 150 e 180 dias, cujos resultados são descritos na Tabela 7.

Figura 14 - Obtenção do látex por prensagem.



Tabela 7 - Valores de pH do látex de *Euphorbia tirucalli*

LOTE	IDADE DA AMOSTRA (dias)	pH
1	0	3,88 – sem álcool
2	0	3,97 – com álcool
3	120	4,93
4	150	5,07
5	180	5,08

## 4.2 – Métodos

Foram preparadas pastas de gesso controle, com relações água/gesso de 0,4 e 0,5, e com elas moldados os corpos de prova destinados aos ensaios de caracterização após o endurecimento (Tabela 8).

Com as pastas no estado fresco foram realizados ensaios para verificação do tempo de pega, utilizando o aparelho de Vicat e ensaio para determinação da evolução do calor de hidratação utilizando um termopar e um *datalogeer*, sob regime pseudo-adiabático.

Devido às características de formação de pastas com distribuição heterogênea de látex, estes ensaios não foram realizados em pastas com adição de látex de *Hevea brasiliensis*, realizando-os apenas para as pastas de gesso com adição de superplastificante MSET e látex de *Euphorbia tirucalli*.

Para caracterização das propriedades após endurecimento, foram realizados ensaios de resistência à compressão, absorção d'água e perda de massa por aplicação de jato d'água.

Com a finalidade de se obter informações sobre a microestrutura dos compostos formados, foram realizados ensaios de difração de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX), análise por microscópio eletrônico de varredura (MEV) e microscópio ótico.

Os métodos utilizados para as atividades de elaboração e caracterização das pastas e dos corpos de prova, bem como as análises sobre a composição química dos compostos formados e sua estrutura, são apresentados a seguir.

Tabela 8 - Distribuição de traços e nº de corpos de prova.

a/g	Aditivo	Percentual de aditivo	Corpos de prova moldados
0,5	Controle 0,5	0	9
	Hevea	1	9
		2	9
		3	9
		4	9
		5	9
	Euphorbia	1	9
		2	9
		3	9
		4	9
		5	9
	Euphorbia+ Álcool	1	9
		2	9
		3	9
		4	9
		5	9
	Hevea + MSET (1%)	1	9
		2	9
		3	9
		4	9
		5	9
0,4	Controle 0,4	0	9
	Euphorbia	1	9
		2	9
		3	9
		4	9
		5	9
	Euphorbia+ Álcool	1	9
		2	9
		3	9
		4	9
		5	9
0,5	MSET	1	9
0,46	MSET	1	9
0,45	MSET	1	9
0,44	MSET	1	9
0,43	MSET	1	9
0,42	MSET	1	9
0,40	MSET	1	9
TOTAL DE CORPOS DE PROVA			351

#### 4.2.1 – Preparação das pastas

Para realização dos ensaios foram preparadas:

- Pastas de gesso controle;
- Pastas de gesso com o superplastificante MSET;
- Pastas de gesso com adição de látex de *Hevea brasiliensis*;
- Pasta de gesso com adição do superplastificante MSET e com látex de *Hevea brasiliensis*;
- Pasta de gesso com adição de látex de *Euphorbia tirucalli* diluído em álcool; e
- Pasta de gesso com adição de látex de *Euphorbia tirucalli* extraído por prensagem, *in natura*.

Para a formulação das pastas foram estudados relações de água/gesso variáveis conforme o material estudado. Para os compostos de gesso controle foram usadas relações água/gesso 0,4 e 0,5, adotando-se a relação 0,5 para as pastas de gesso com *Hevea brasiliensis*.

#### 4.2.2 - Preparação dos corpos de prova

Para execução dos ensaios foram moldados corpos de prova cúbicos, com arestas de 5,0 cm. Todos os corpos de prova foram moldados em forma plástica (Figura 15), com capacidade para três corpos de prova por moldagem, sendo utilizada recipiente e espátula de plástico. A temperatura ambiente manteve-se em torno de 22°C.

Para cada mistura foram moldados 9 corpos de prova, com os quais foram realizados os ensaios de absorção d'água, resistência à compressão e de perda de massa por jateamento de água. O início do procedimento de moldagem de todos os traços constou da pesagem dos materiais em balança eletrônica de precisão. A mistura se deu em recipiente plástico, onde foi colocada a água adicionando-se em seguida o gesso, pulverizando-o sobre a água por 1 minuto. A pasta foi então deixada a descansar por cerca de dois minutos, após o que foi misturada e lançada

às formas. Quando da moldagem com adição de látex ou plastificante comercial, estes foram previamente pesados e incorporados à água.

Figura 15 – Moldagem em formas plásticas.



O adensamento dos corpos de prova se deu com compactação manual das formas usando-se duas camadas de aproximadamente 2,5 cm e 20 golpes por camada, ritmados em cerca de 1,5 s cada. Após o adensamento o excesso de pasta na porção superior das formas foi retirado com auxílio da espátula plástica.

Figura 16 – Corpos de prova.



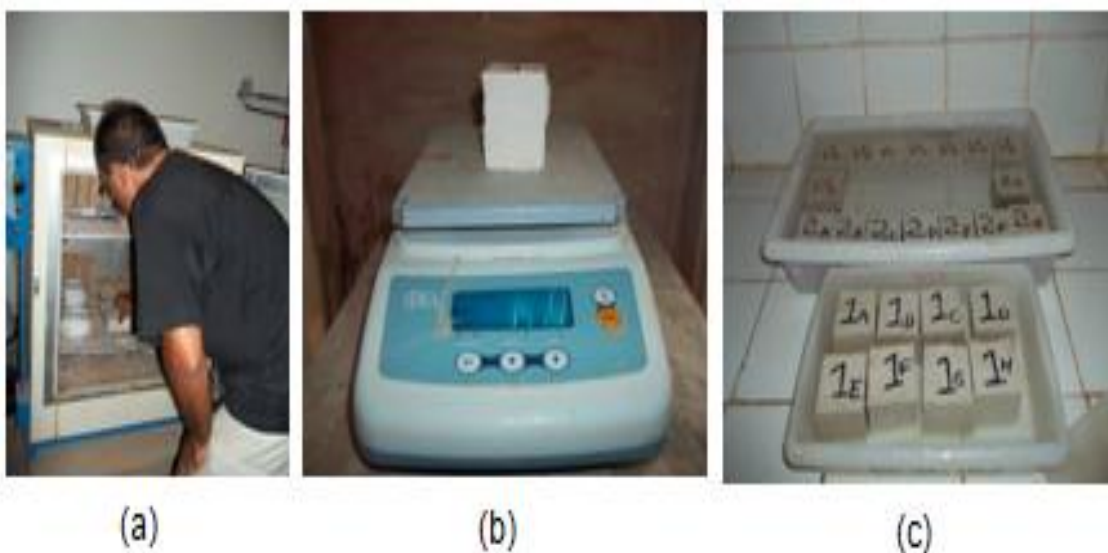
A desforma foi efetuada 24 h após a moldagem ficando os corpos de prova à cura ambiente sobre bancada azulejada durante 12 dias (Figura 16).

### 4.2.3 - Ensaio de absorção

Após a cura dos corpos de prova, foram os mesmos colocados em estufa por 48 h (Figura 17-a), quando foram pesados ( $P_1$ ) (Figura 17-b) e submersos em água por 120 min (Figura 17-c), sendo então retirados e novamente pesados ( $P_2$ ).

Todos os ensaios foram realizados em ambiente do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas – LABEME, no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

Figura 17 - Ensaio de Absorção: (a) colocação de corpos de prova em estufa (b) Pesagem de corpo de prova após estufa e após submersão (c) imersão de corpos de prova por 120 minutos



A percentagem de água absorvida por cada um dos corpos de prova foi calculada pela Equação 4:

$$a = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

$a$  – absorção d'água (%)

$P_1$  – massa seca do corpo de prova (g)

$P_2$  – massa úmida do corpo de prova (g)



A absorção média foi calculada pela somatória das absorções dos corpos de prova dividida por 9, número de corpos de prova ensaiados por traço.

#### 4.2.4 – Ensaio de resistência à compressão

Com a finalidade de verificar a influência de produtos aditivos ao gesso na modificação das suas propriedades mecânicas, foi realizado ensaio de resistência à compressão simples, aos 14 dias após moldados, em seis corpos de prova de cada um dos traços (Figura 18).

Figura 18 - Ensaio de resistência à compressão em corpos de prova prismáticos.



Os corpos de prova utilizados neste ensaio foram retirados do conjunto anteriormente submetido ao ensaio de absorção d'água. Deste modo pode-se analisar a influência desta na resistência à compressão, bem como aferir a resistência média do material após um período de imersão e saturação.

O ensaio foi realizado em prensa modelo Versatester 30-M, com dois mostradores, o primeiro com sensibilidade para 25 kgf e o segundo com sensibilidade para 125 kgf .



A velocidade foi controlada de modo a que a carga fosse aplicada de forma constante. Antes dos ensaios os corpos de prova foram secos em estufa por 24 h e limpos de poeira.

A resistência média de compressão de cada traço, em MPa, foi considerada como sendo a média aritmética dos valores dos seis corpos de prova ensaiados.

#### **4.2.5 – Ensaio de perda de massa por erosão**

A durabilidade dos corpos de prova foi estimada tomando-se como base o método formulado pelo *Bulletin 5*, do *Building Code of Austrália*, com as modificações previstas por Heathcote e Ravindrarajah (2003), que fornece parâmetros para determinação da durabilidade de corpos de prova.

Pelo ensaio padrão australiano, corpos de prova de solo estabilizado são submetidos a um jato d'água com pressão de 50 kPa, durante 60 min, proveniente de uma mangueira na saída da qual é acoplado um bico que produz o jato pressurizado (Figura 19).

Segundo Torgal e Jalali (2007), com este ensaio pode-se estimar o desgaste da parede durante uma vida útil de 50 anos, isto se considerando uma parede de solo estabilizado quimicamente.

No caso em questão, o objetivo foi o de se aferir a durabilidade de um bloco de gesso submetido a um regime de chuva constante. Pelo experimento foi possível aferir o desgaste conferido a cada bloco por uma precipitação de aproximadamente 600 mm/m<sup>2</sup>, o que é muito superior à média de pluviometria da cidade de João Pessoa.

O ensaio consistiu em submeter 3 corpos de prova prismáticos, anteriormente utilizados no ensaio de absorção d'água sendo realizado com a aplicação de um jato de água horizontal, provindo de um chuveiro padrão disponível no comércio de João Pessoa, com 89 furos, cada furo com 1,3 mm de diâmetro. O jato d'água produzido pelo chuveiro teve a vazão de 10 l/min, a uma pressão de 50 kPa, o que corresponde a uma coluna d'água de 5 m e uma velocidade de 10 m/s. A distância entre os corpos de prova e o chuveiro foi de 470 mm, conforme previsto no ensaio padrão.

Com a finalidade de se ter um controle sobre a pressão da água durante o ensaio, foi montado um sistema utilizando-se uma caixa d'água com capacidade para 500 litros, com regime constante de alimentação, instalada a uma altura de 5 metros, com uma tubulação de saída ligada ao chuveiro.

Figura 19 – Ensaio de Perda de massa.  
(créditos: *Heathcote e Moore, 2003*)



Foram ensaiados 9 corpos de prova de cada vez, em três fileiras de três, fazendo-se um rodízio dos corpos de prova a cada 20 minutos, como forma de uniformizar a relação de incidência do jato de água em todos os corpos ensaiados, conforme as Figuras 20-a e 20-b.

Figura 20 - Ensaio de Perda de massa.



O desgaste médio de cada traço foi calculado pela média dos desgastes observados em cada conjunto de 3 corpos de prova de mesmo traço ensaiados. Para tanto, foi observado o peso do corpo de prova após seco em estufa durante 24 h, a uma temperatura média de 55°C, antes e depois de cada ensaio, com valor percentual obtido através da Equação 5.

$$\text{Perda de massa} = ((P_1 - P_3)/P_1) \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

$P_1$  – peso do corpo de prova antes do ensaio; e

$P_3$  – peso do corpo de prova após exposição ao jato d'água.

#### 4.2.6 – Determinação dos tempos de pega

Os tempos de pega de cada um dos compostos foi determinado conforme especificação da NBR 12128/91 com a utilização do aparelho de Vicat (Figura 23) na extremidade inferior do qual é acoplada uma agulha de seção transversal de 1 mm<sup>2</sup>. O material a ser ensaiado foi colocado em um molde cônico com medidas de base 70 mm; de topo 60 mm e com altura de 40 mm, nos traços pesquisados.

Figura 21 – Aparelho de Vicat.



#### 4.2.7 – Elaboração da curva de hidratação

Com a finalidade de aferir a medida de evolução da temperatura das pastas de gesso com e sem adição de látex da *Euphorbia tirucalli*, foi realizado ensaio de medição da temperatura por sistema pseudo-adiabático. O calor expelido pela pasta durante as reações de hidratação teve a sua evolução monitorada.

Para tanto foi elaborado um sistema no qual pastas de gesso formuladas com e sem aditivo foram acondicionadas em um recipiente térmico, de modo a que todo o calor fosse captado por um termopar, inserido no recipiente e em contato com a pasta (Figura 22).

As pastas ensaiadas foram elaboradas da mesma forma que no ensaio de determinação dos tempos de início e fim de pega, conforme a NBR-12128/91.

Figura 22 – Medição de calor de hidratação.



O procedimento atendeu a seguinte ordem de execução:

1. Foram formuladas pastas de gesso controle e de gesso com adição de *Euphorbia tirucalli* nas proporções ente 1% e 5%, para dois fatores de água/gesso, 0,4 e 0,5;
2. Cada pasta elaborada foi acondicionada em um copo plástico e colocada dentro de uma garrafa térmica de EPS; e
3. Foi introduzido um termopar ligado a um datalogeer, que efetuava a leitura da temperatura em função do tempo, com uma taxa de medição de 1 leitura a cada 10 s.

#### 4.2.8 – Determinação de pH

O pH do látex de *Euphorbia tirucalli* foi determinado com utilização de um peagâmetro (Figura 25), com dois sensores, um que mediu o pH da substância e um segundo que indicou a temperatura na qual o ensaio foi realizado. Foram efetuadas medições de amostras no momento da elaboração, com adição de álcool e *in natura* e aos 120 dias, 150 dias, 180 dias e 210 dias com adição de álcool.

Figura 23 - Medição de pH



#### 4.2.9 - Microscopia eletrônica de varredura – MEV

O estudo através da microscopia eletrônica de varredura foi efetuado em três amostras para comparação de resultados.

As imagens foram obtidas com a utilização do microscópio eletrônico de varredura da marca LEO, modelo LEO 1430 (Figura 24). Foram realizadas observações com ampliação de 4 000x e 10 000x.

Figura 24 - Microscópio Eletrônico de Varredura LEO 1430.



#### 4.2.10 – Difração de raios X – DRX

O exame das amostras de gesso com adição de látex de *Euphorbia tirucalli* e gesso controle, com relação água/gesso = 0,4 foi realizado com utilização de um difratômetro Siemens X-Ray Diffractometer D 5000, operando com radiação k-alfa de cobre, 40 kV, 30 mA, com varredura de 5° a 65°, passo de 2 s.

#### **4.2.11 – Fluorescência de raios X - FRX**

Para verificação sobre possíveis alterações na composição mineralógica das pastas de gesso após adição de látex de *Euphorbia tirucalli* foi realizado ensaio de fluorescência de raios X em equipamento disponível na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

## 5 - RESULTADOS

### 5.1 - Gesso controle

Foram elaboradas pastas de gesso controle, sem aditivos, com relações água/gesso de 0,4 e 0,5. Os resultados apresentados serviram de parâmetro de controle para comparação com os resultados obtidos pelos corpos de prova de gesso com aditivos, e são apresentados nas Figuras 25, 26 e 27.

Figura 25 – Resistência à Compressão – Gesso controle.

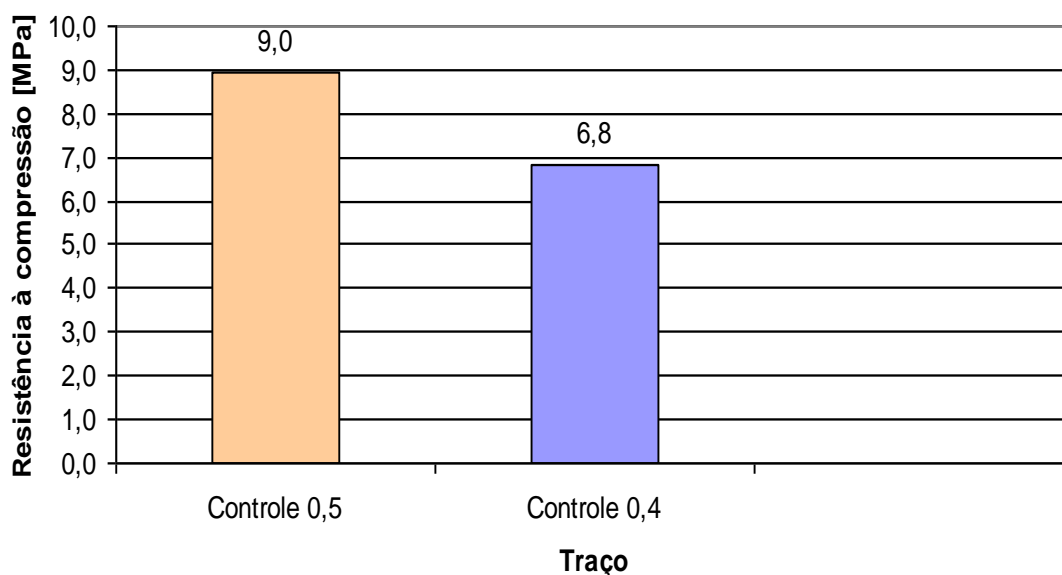


Figura 26 - Absorção de água – Gesso Controle.

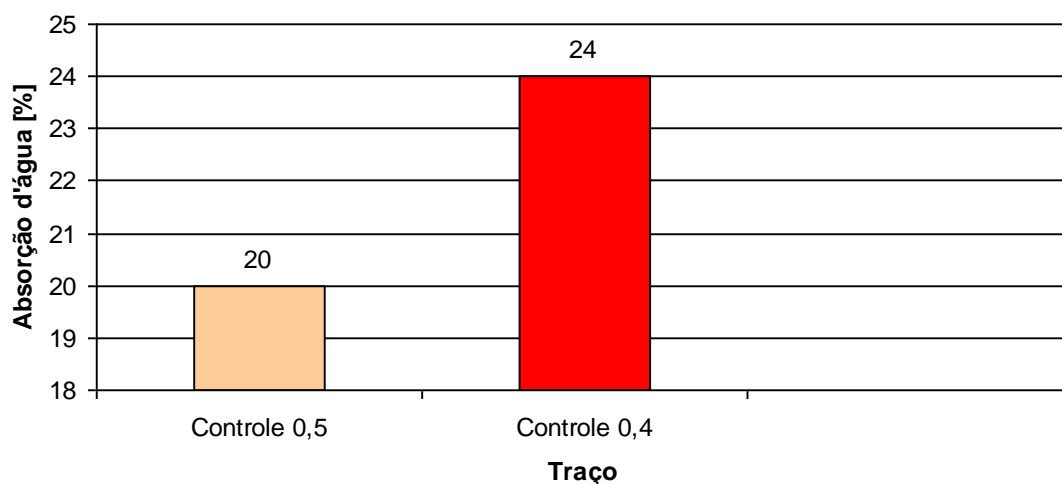
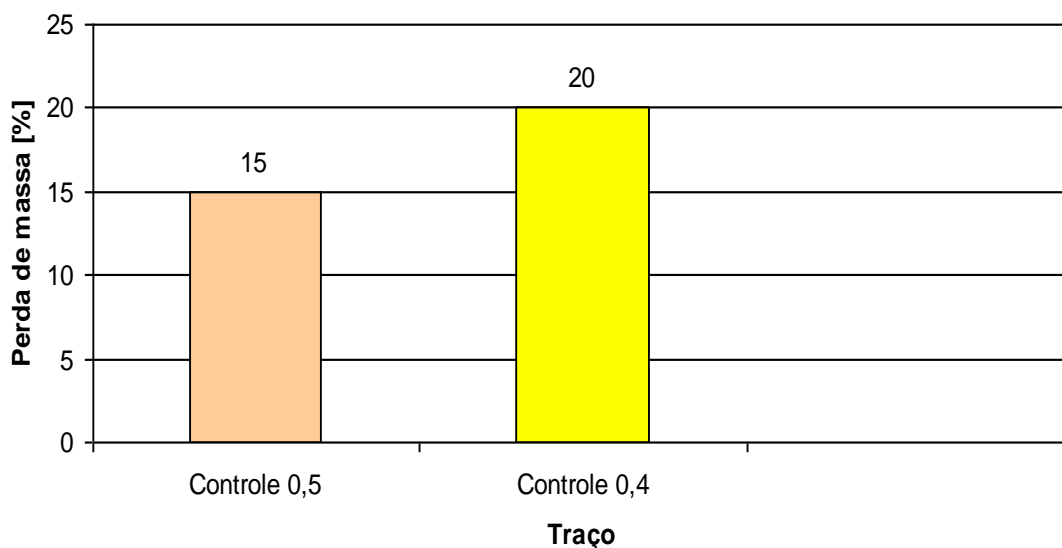




Figura 27 – Perda de Massa – Gesso Controle



Em relação à plasticidade, os traços apresentaram comportamentos diferentes. O traço com fator água/gesso de 0,5 apresentou plasticidade suficiente para moldagem. Já o traço com relação água/gesso de 0,4, apresentou dificuldade de moldagem, sendo de difícil lançamento, razão pela qual apresentou desempenho insatisfatório, com baixa resistência à compressão e perda de material por erosão maior que a determinada quando do ensaio de perda de massa por jateamento no traço com relação água/gesso igual a 0,5.

A evolução da temperatura em função do tempo, indicada nas Figuras 28 e 29 apresentou valores bem próximos, com uma temperatura máxima de 54°C.

Outro fator observado foram os tempos de início e fim de pega, determinados pelo aparelho de Vicat. No caso do material estudado o fim de pega tem seu valor máximo em 23 min, quando a agulha do aparelho não consegue mais penetrar na pasta, o que limita a utilização do gesso, tanto para revestimento quanto para a fabricação de peças pré-moldados.

O estudo da sua curva de hidratação revelou temperatura máxima de 54°C, podendo este valor ser reduzido com o uso de aditivos. No entanto, nota-se uma disparidade entre o tempo de início de pega determinado pelo aparelho de Vicat, cujo ensaio determina que o início de pega se dá quando a penetração da agulha não ultrapassa a cota de 1,0 mm a contar do fundo do recipiente. Neste caso, isto se

dá aos 11 minutos para  $a/g = 0,4$  e 13 minutos para  $a/g = 0,5$ , com fim em 23 minutos e 20 minutos, respectivamente.

Figura 28 – Evolução do Calor de Hidratação – Gesso Controle  $a/g = 0,5$

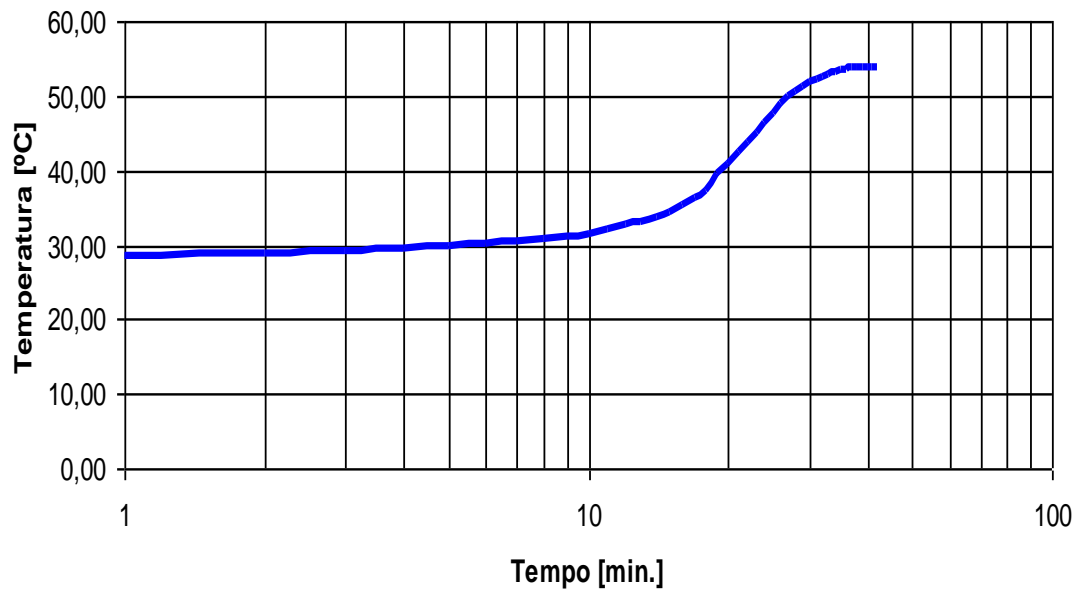
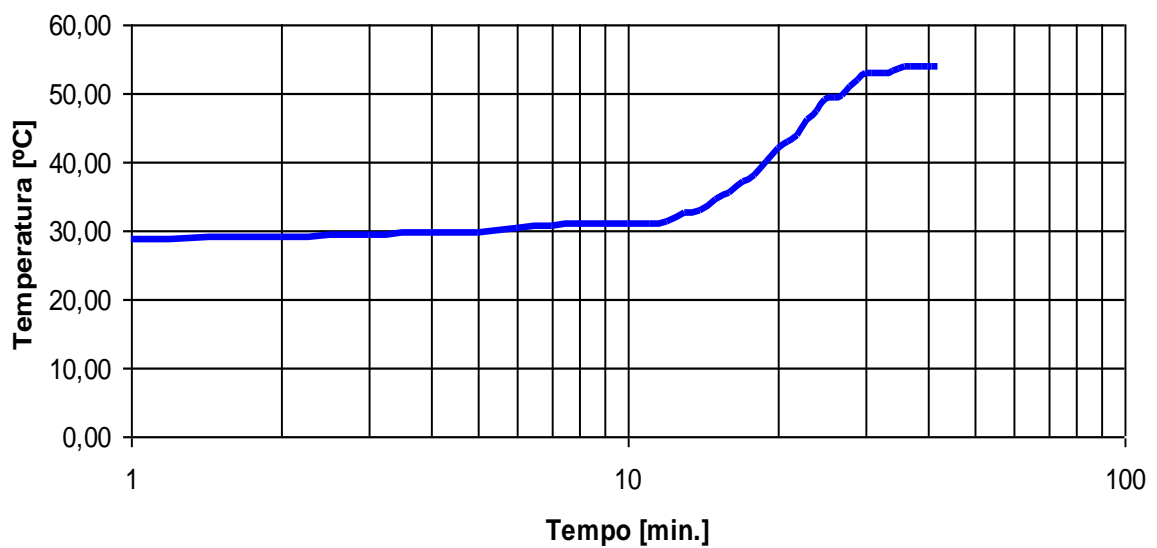


Figura 29 - Evolução do Calor de Hidratação – Gesso Controle  $a/g = 0,4$ .



Analisando pela curva de hidratação, determinada por ensaio efetuado com datalogeer, o tempo de fim de pega ultrapassa os 40 minutos para os dois fatores água/gesso, visto que as reações de hidratação, liberadoras de calor não se encerram quando do endurecimento da pasta. Estas continuam mesmo após a verificação de fim de pega pelo aparelho de Vicat.

É fato que a indústria de fabricação de pré-moldados em gesso utiliza relações água/gesso que ultrapassam o valor 0,6, chegando até 0,8, com o objetivo de se obter plasticidade e retardamento de reações de endurecimento.

Isto levanta a questão sobre o método de adensamento apropriado para pastas com relações a/g menores que 0,5. Ficou comprovado, que para fatores com reduzida quantidade de água se faz necessário adensamento mecânico para que se obtenha uma boa compacidade.

## 5.2 - Gesso com superplastificante MSET

Os testes envolvendo as pastas de gesso com adição do superplastificante MSET foram realizados com variação da relação água gesso, mantendo-se um percentual de 1% de adição de plastificante em relação à massa do gesso.

As relações água/gesso escolhidas no início correspondiam aos escolhidos para moldagem dos corpos de prova sem aditivo, porém os resultados iniciais de moldagem do traço com relação a/g = 0,4 apresentaram pouca plasticidade, o que conduziu a pesquisa de relações intermediárias entre esta e a relação a/g = 0,5.

Foram testados, além das relações 0,4 e 0,5, valores intermediários entre 0,42 e 0,46, moldando-se 6 corpos de prova para cada traço. As relações água/gesso adotadas para cada traço estão expressas na Tabela 8, cuja média dos resultados estão discriminados na Tabela 9 e nas Figuras 30, 31 e 32.

Tabela 9 – Fatores água/gesso dos traços com adição de 1% de MSET.

Traço	K	L	M	N	O	P	Q
a/g	0,5	0,4	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42

Figura 30 – Resistência a compressão – Gesso + 1% MSET.

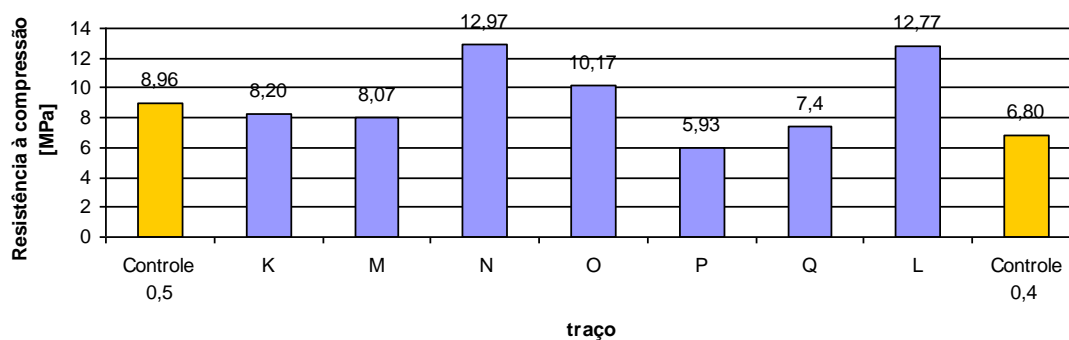


Figura 31 – Absorção de água – Gesso + 1% MSET

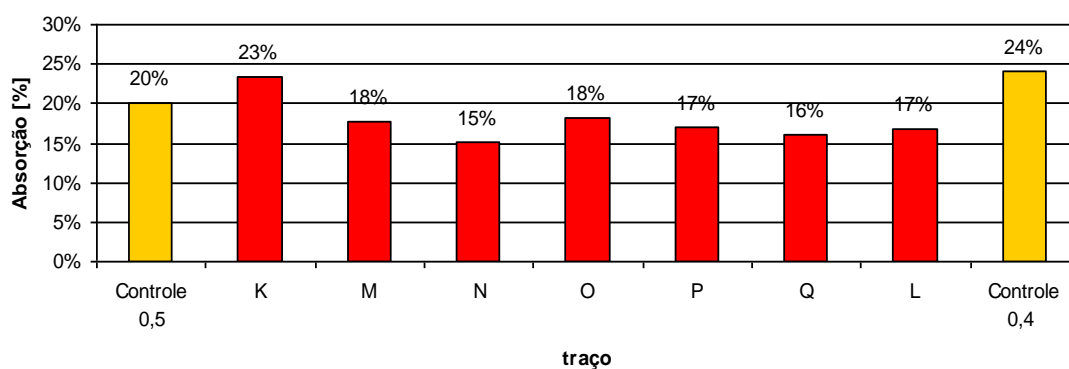
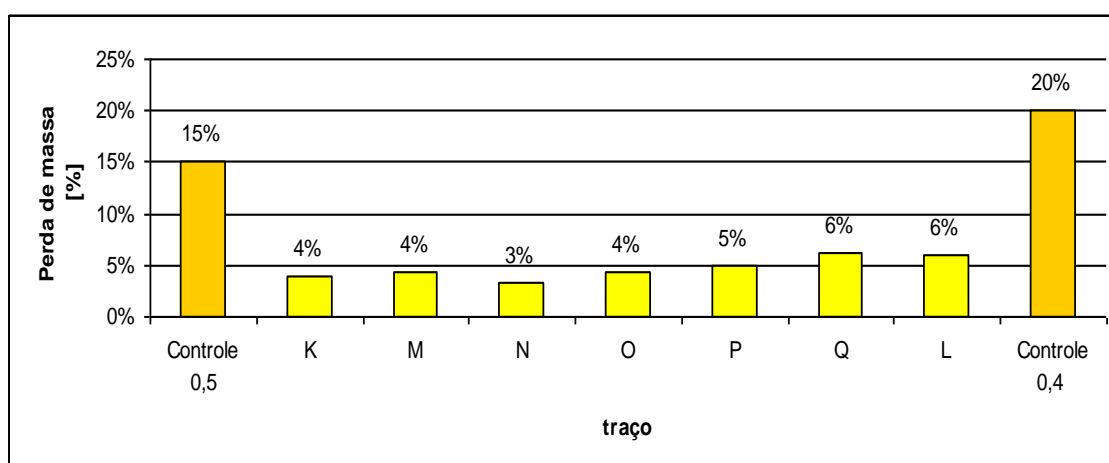


Figura 32 – Perda de massa – Gesso + 1% MSET.



Todas as misturas apresentaram boa plasticidade, de modo que o material pode ser lançado às formas e adensado manualmente, em duas camadas. Foi observado, porém, que o endurecimento das pastas se deu nos primeiros quatro

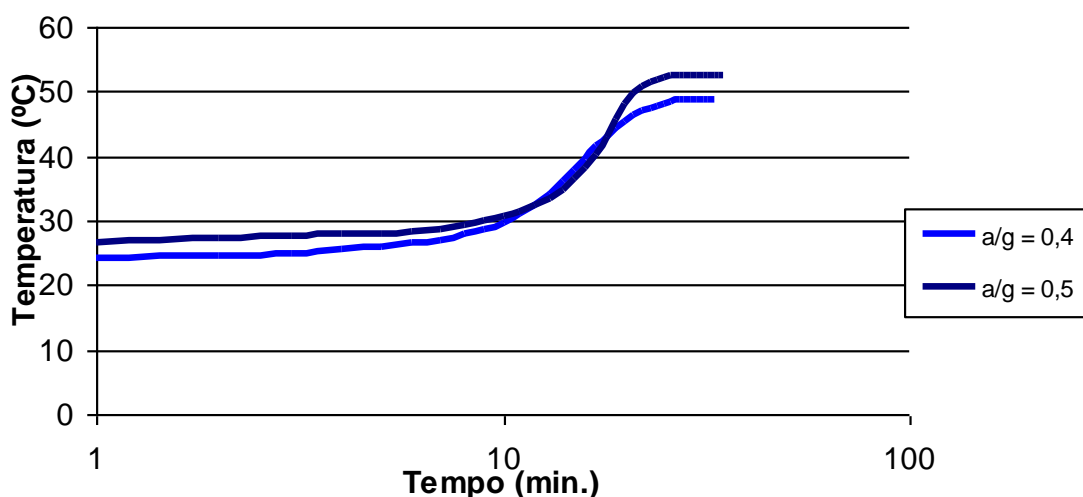
minutos após a mistura, o que leva a concluir que o aditivo MSET tem influência na pega do gesso, atuando como acelerador. Além disto, os corpos de prova aos quais foi adicionado o superplastificante MSET apresentaram uma menor perda de massa por erosão, comparados aos resultados obtidos em corpos de prova sem aditivo.

O ensaio de início e fim de pega segundo a NBR 12128 – MB 3469, utilizando o aparelho de Vicat, demonstrou que o início de pega se dá aos 6 minutos após a mistura, estendendo-se até os 13 minutos, quando se dá o fim da pega. Nota-se, porém que a mistura perde a plasticidade após 4 minutos, inviabilizando a sua utilização após este tempo.

As curvas de hidratação dos traços com adição de 1% de superplastificante MSET, fator  $a/g = 0,4$  e  $0,5$  (Figura 33) demonstraram uma rápida elevação de calor, com uma taxa de crescimento de  $0,6^{\circ}\text{C}$  nos primeiros minutos, elevando-se ao passar do tempo, atingindo temperaturas máximas de  $48,6^{\circ}\text{C}$  e  $52,4^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Isto confirma as observações feitas durante o ensaio com o aparelho de Vicat, que apontou início de pega e perda de plasticidade logo aos 4 minutos depois de efetuada a mistura, o que caracteriza o aditivo como um acelerador de pega para gesso.

O calor de hidratação máximo atingiu temperatura de  $48,6^{\circ}\text{C}$  para  $a/g = 0,4$  e  $52,4^{\circ}\text{C}$  para o fator  $a/g = 0,5$ , ficando os valores um pouco abaixo dos determinados para os traços de gesso controle.

Figura 33 – Curvas de Hidratação - MSET 1%.



### 5.3 – Gesso com látex de *Hevea brasiliensis*

Para a produção dos corpos de prova com adição de látex da *Hevea brasiliensis* foram preparadas pastas de gesso com adição de látex nos percentuais de 1% a 5% em relação à massa do gesso, com relações água/gesso iguais a 0,5.

Foi observado que o látex aplicado às pastas produzia um compósito com textura emborrachada, de difícil elaboração por segregar parte do material, que se aglutinava em segundos, produzindo corpos de prova heterogêneos.

Foram moldados 9 corpos de prova para cada um dos cinco percentuais de látex, totalizando uma série de 45 corpos de prova, que foram ensaiados à compressão simples, à absorção d'água e ao desgaste por erosão conforme os procedimentos adotados para os corpos de prova de gesso controle. Os gráficos relativos à resistência à compressão, absorção e perda de massa estão demonstrados nas Figuras 34, 35 e 36. Devido à consistência emborrachada do material não foi possível aferir os tempos de início e fim de pega com o aparelho de Vicat.

Os corpos de prova submetidos ao ensaio de compressão apresentaram uma particularidade em relação aos corpos de prova ensaiados com os outros aditivos. Mesmo após a ruptura, não havia desagregação do material, que embora não suportasse mais carga, achatava-se, mantendo a deformação mesmo após a retirada da carga. O látex introduzido na estrutura conferiu ductilidade ao gesso.

Figura 34 – Resistência à Compressão – Gesso + Hévea a/g = 0,5

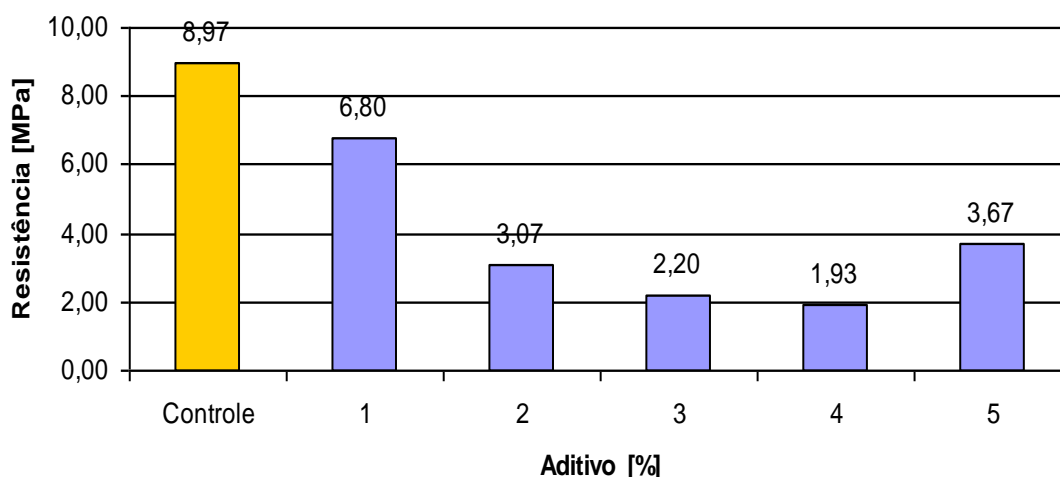


Figura 35 – Absorção d'água - Gesso + Hevea a/g = 0,5.

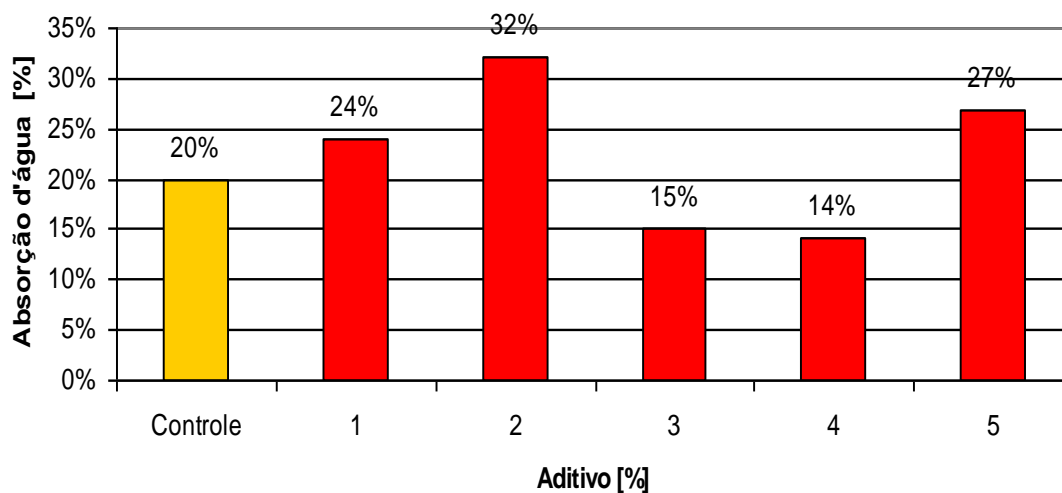
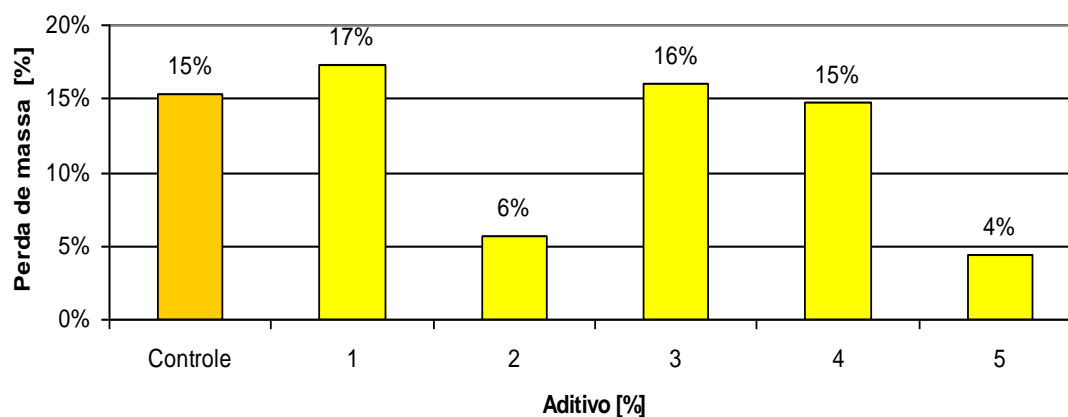


Figura 36 – Perda de massa – Gesso + Hevea a/g = 0,5



O traço com fator água/gesso igual a 0,4 não foi elaborado devido à falta de plasticidade apresentada quando da elaboração da pasta com o aditivo.

Os corpos de prova moldados com pastas de gesso acrescidas com látex de *Hevea brasiliensis* apresentaram uma distribuição heterogênea com aglutinação de parte do material que não se acomodava as formas, gerando um resíduo sem forma definida, como se vê em segundo plano na Figura 37.

Foi observado que ao ser misturado ao gesso, uma parte do látex aglutina-se em separado, formando um material com duas fases distintas. Isto produziu corpos de prova com baixa resistência à compressão, alta permeabilidade e reduzida resistência à ação dinâmica da água, determinados pelos ensaios de resistência à compressão, absorção d'água e de perda de massa por erosão, respectivamente.

Figura 37 – Corpos de prova gesso+Hevea



Com o estudo ficou comprovado que o método proposto se mostrou ineficiente para produzir alterações benéficas em matrizes de gesso no que tange ao aumento de sua capacidade de resistência a ação da água. O que chamou a atenção foi o fato de que adição de látex em pastas de gesso produziu, em seu estado endurecido, peças com uma capacidade de deformação maior que as fabricadas com outros aditivos. Estas peças, quando submetidas à compressão, conseguiram manter uma coesão maior, tornando-se elásticas ao ponto de alongar-se segundo um eixo horizontal quando submetidas a tensão vertical induzida pela prensa. Em todo caso, as características apresentadas pelo material não são por si só um atestado da possibilidade de utilização industrial na fabricação de componentes para construção civil, pela impossibilidade de constituir dois corpos de prova com características idênticas. Faz-se necessário um estudo mais aprofundado



sobre as reações produzidas quando da mistura do gesso, látex e água e as propriedades apresentadas pelo compósito.

#### 5.4 – Gesso com látex de *Hevea brasiliensis* e superplastificante MSET

Foram moldados corpos de prova de gesso com adição de látex de *Hevea brasiliensis* e superplastificante MSET, como forma de aferir os efeitos causados pela adição de um superplastificante com um aditivo que introduziu ductilidade as pastas de gesso com ele aditivadas.

Foram elaborados 9 corpos de prova com fator água/gesso igual a 0,5 com 1% de aditivo MSET e fatores de adição de *Hevea brasiliensis* variando entre 1% e 5%, tudo em relação à massa do gesso.

Os corpos de prova elaborados segundo esta metodologia apresentaram as mesmas características dos moldados sem aditivo MSET, apresentando, porém, uma plasticidade maior. No entanto, a mistura voltou a apresentar duas fases distintas, uma em que se notava claramente segregação de uma parte do látex, apresentando uma textura emborrachada que induzia uma resistência diferenciada entre partições de um mesmo corpo de prova. Não foi possível verificar os limites de pega do material segundo a NBR 12128/91. A distribuição dos percentuais de látex de *Hevea brasiliensis* e de superplastificante MSET são apresentados na Tabela 10. Os resultados obtidos quanto à resistência à compressão, absorção d'água e perda e massa por erosão, são apresentados nas Figuras 38, 39, e 40.

Tabela 10 – Designação dos traços e percentuais de Hevea e MSET utilizados

Traço	H1-P1	H2-P1	H3-P1	H4-P1	H5-P1
<i>Hevea</i> (%)	1	2	3	4	5
MSET (%)	1	1	1	1	1

Figura 38 – Resistência à Compressão – Hevea + MSET

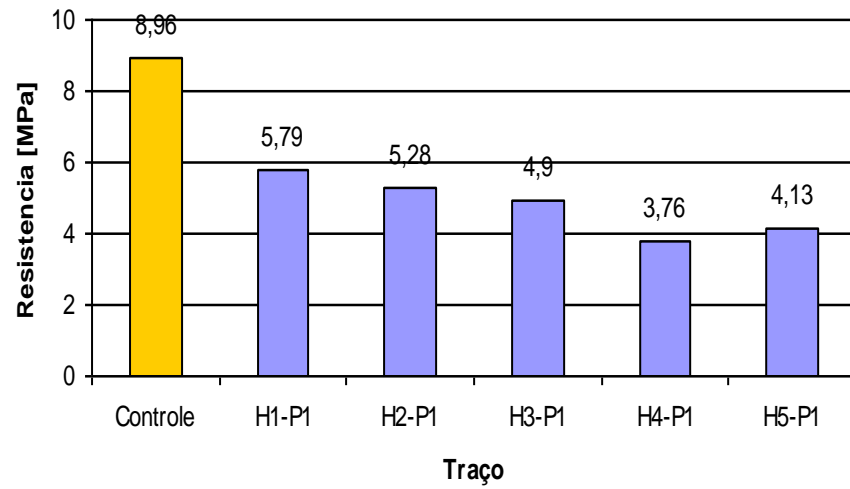


Figura 39 – Absorção d'água - Hevea + MSET

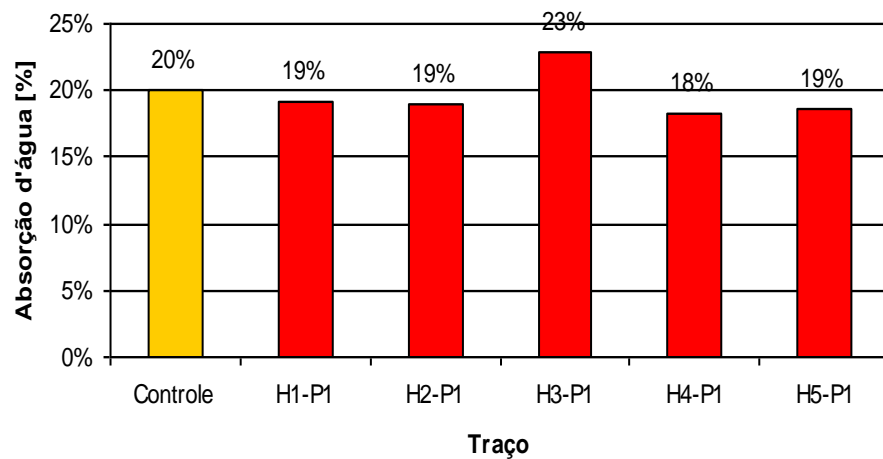
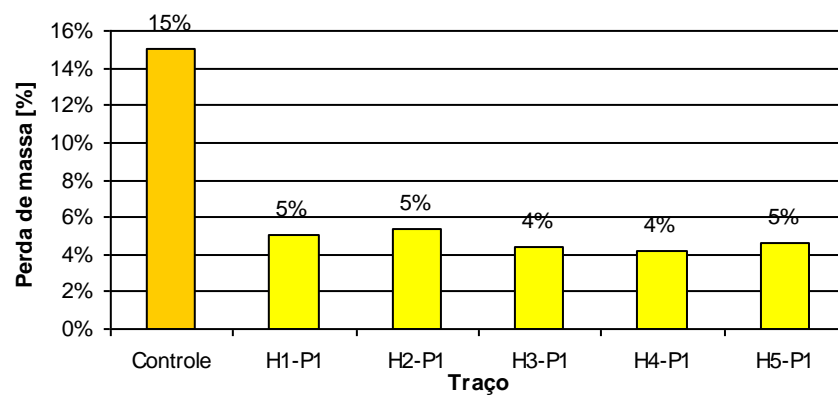


Figura 40 - Perda de massa - Hevea + MSET



A aplicação concomitante do látex da *Hevea brasiliensis* e do superplastificante MSET apresentou como resultados pastas com plasticidade mais acentuada que a conseguida nos traços controle. No entanto a adição de 1% de plastificante a fatores de 1% a 5% de látex produziu peças com baixa resistência à compressão, por conta da segregação de parte do látex, que apresentou comportamento similar ao demonstrado nos traços gesso – *Hévea brasiliensis* sem adição de MSET. O resultado apresentado pelo ensaio de absorção indica que a mistura dos aditivos pouco influenciou na impermeabilização dos corpos de prova, apresentando valores bastante aproximados do conseguido nos corpos de prova sem aditivos. Em relação à perda de massa por erosão, os corpos de prova ensaiados demonstraram que a combinação dos aditivos incrementou a resistência à perda por erosão. Este fato se deve em parte pelo envolvimento dos grãos de gesso pelo látex, que impedem que os mesmos sejam lixiviados. No entanto, este processo de envolvimento dos grãos impede uma perfeita interação entre o material, criando pontos com características diferenciadas. O processo de fabricação adotado se mostrou ineficiente para criar uma situação em que este processo se dê de forma homogênea, de modo a se ter uma distribuição igualitária das tensões por todo o volume das peças.

Da mesma forma que no traço no qual foi utilizado apenas o aditivo MSET, o tempo de pega se manteve nos mesmos padrões, a pasta apresentando endurecimento a partir dos primeiros 4 minutos, ocasionando uma rápida perda da plasticidade do traço, inviabilizando o seu manuseio após este tempo. Isto se deve a característica aceleradora de pega do superplastificante MSET, já determinada em separado pelo aparelho de Vicat e por medição com datalogger em regime pseudo-adiabático.

### **5.5 – Gesso com látex de *Euphorbia tirucalli***

Para a moldagem dos corpos de prova de gesso com adição de látex de *Euphorbia tirucalli* foram elaboradas pastas de gesso com fator água/gesso iguais a 0,5 e 0,4.

O látex utilizado nas moldagens foi obtido por prensagem e adição de álcool, devido a observações preliminares que indicaram a necessidade de um conservante que evitasse a degradação precoce do aditivo. Sendo assim, foi estipulado um fator de adição de 20% de álcool ao látex extraído, o que conferiu estabilidade e durabilidade ao produto.

Foi, então, estudado o efeito da adição do álcool nas propriedades do látex e a sua possível influência nas características das pastas e dos corpos de prova. Para tanto, foi realizado ensaio para aferição dos limites de pega das pastas formuladas com adição de látex, com e sem álcool.

O estudo demonstrou que a adição de álcool ao látex pouco influenciou nas suas características de superplastificante e retardador de pega, influenciando levemente no período de indução. Foram ensaiadas pastas de controle,  $a/g = 0,5$  e  $0,4$ ; pasta de gesso com adição de 5% de álcool e pastas de gesso com látex de *Euphorbia tirucalli*, relações  $a/g = 0,4$  e  $0,5$ .

A comparação dos resultados demonstrou que a pasta com adição de 5% de álcool apresentou resultado de tempo de pega equivalente ao das pastas de gesso controle, não se notando significativa mudança independente do fator água/gesso empregado. A plasticidade da pasta com relação água/gesso  $0,4$  com álcool, apresentou resultados mais satisfatórios que as pastas nas quais não foi adicionado este produto, porém não comparáveis aos resultados das pastas em que foi adicionado o látex, que apresentaram boa trabalhabilidade, mesmo com percentual mínimo de 1% de adição.

Os tempos de pega de todas as pastas com relação  $a/g = 0,5$ , obtidos pelo ensaio de Vicat, apresentaram substancial alteração em comparação aos obtidos na pasta controle de mesma relação  $a/g$  (Tabela 11).

Quanto às pastas com relação  $a/g = 0,4$ , apenas a pasta com adição mínima de látex, 1%, apresentou tempos de pega aproximados da pasta controle (Figuras 41 e 42), todas as outras apresentando significativas alterações de tempo de pega, segundo os resultados apresentados pelo ensaio de Vicat. A plasticidade destas pastas excedeu o obtido em pastas com mesma relação água/gesso, sem adições. A pasta formulada com 1% de látex apresentou menos plasticidade que a formulada com 2% de adição, o que indica a necessidade de maior energia para obtenção de uma

Tabela 11 – Valores de pega obtidos com adição de Látex de *Euphorbia tirucalli*

a/g	TRAÇO	PRODUTO ADITIVO	LIMITES DE PEGA	
			INÍCIO (min)	FIM (min)
0,5	Controle 0,5	-	13	23
	-	5% Álcool	17	32
	A	<i>Euphorbia</i> 5%	120	144
	B	<i>Euphorbia</i> 4%	104	121
	C	<i>Euphorbia</i> 3%	92	108
	D	<i>Euphorbia</i> 2%	62	74
	E	<i>Euphorbia</i> 1%	32	46
0,4	Controle 0,4	-	11	20
	F	<i>Euphorbia</i> 5%	114	145
	G	<i>Euphorbia</i> 4%	97	119
	H	<i>Euphorbia</i> 3%	83	100
	I	<i>Euphorbia</i> 2%	55	71
	J	<i>Euphorbia</i> 1%	17	28

boa compactação do material considerando este percentual de adição (Tabela 11).

Delimitados os tempos de início e fim de pega das pastas, foram elaborados corpos de prova cúbicos, com aresta igual a 5 cm para realização dos ensaios de compressão, absorção d'água e perda de massa por erosão.

Foram moldados 9 corpos de prova para cada traço, com percentual de adição de látex variando de 1% até 5% relativos à massa do gesso. A quantidade de corpos de prova moldados para cada série é transcrita na Tabela 8.

Figura 41 – Valores de início e fim de pega,  $a/g =$ 

0,5.

Figura 42 – Valores de início e fim de pega,  $a/g = 0,4$ .

### 5.5.1 – Estudo do traço gesso + *Euphorbia tirucalli*, sem álcool; $a/g = 0,4$

Este traço foi elaborado pela adição de látex *in natura* obtido por prensagem, às pastas de gesso. Foi mantida uma relação água/gesso = 0,4 enquanto que o percentual de látex variou entre 1% e 5%. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão, absorção d'água e perda de massa por erosão estão demonstrados nas Figuras 43, 44 e 45.

Figura 43 – Resistência à Compressão - Gesso + *Euphorbia tirucalli* a/g = 0,4

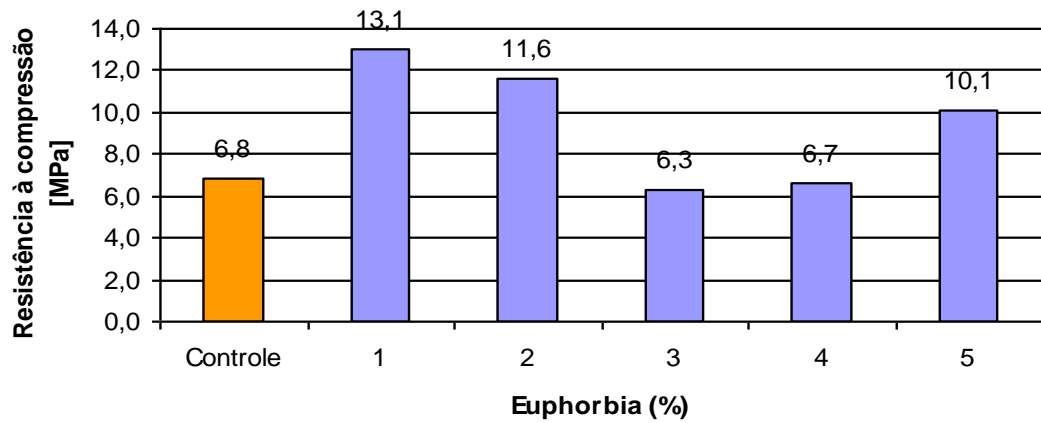


Figura 44 – Absorção d'água- Gesso + *Euphorbia tirucalli* a/g = 0,4

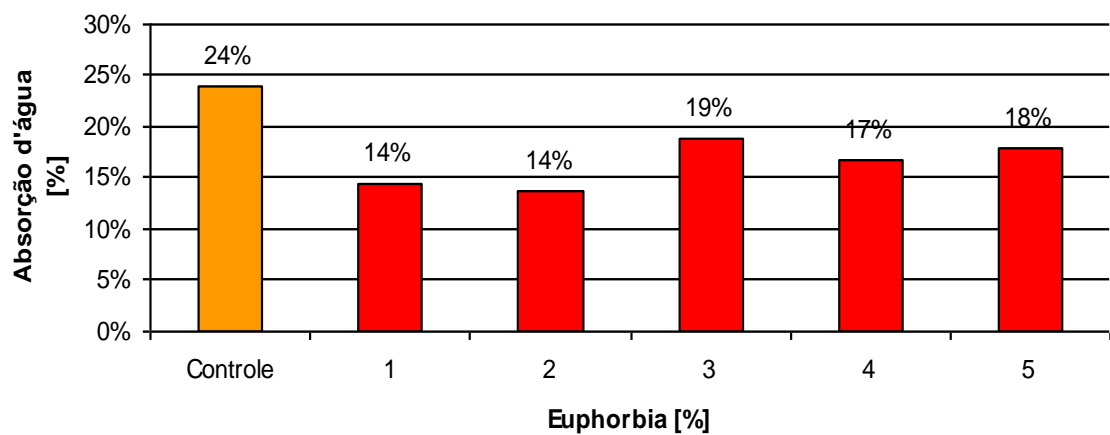
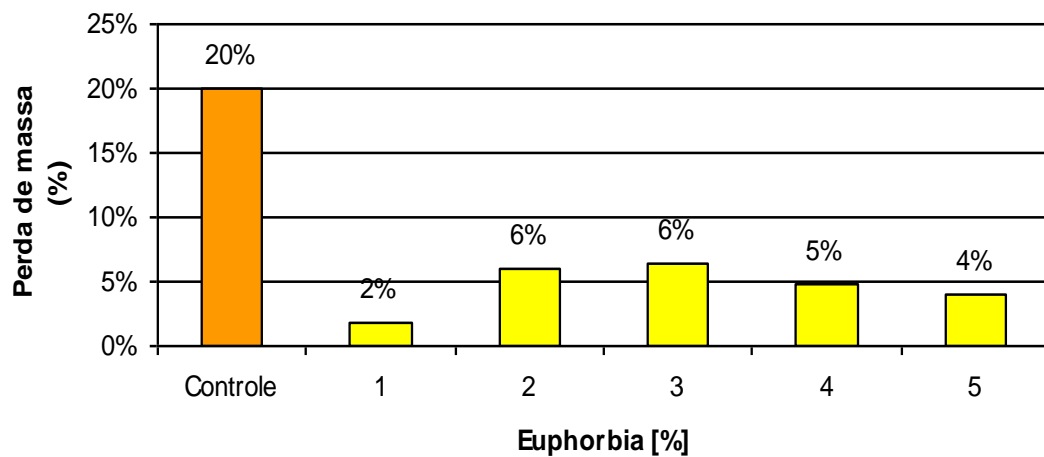


Figura 45 – Perda de massa - Gesso + *Euphorbia tirucalli* a/g = 0,4



### 5.5.2 – Estudo do traço gesso + *Euphorbia tirucalli* + álcool, a/g = 0,4

Foi elaborado traço com fator a/g = 0,4 com adição de látex de *Euphorbia tirucalli* ao qual foi previamente adicionado um percentual de 20% de álcool. Com este traço foram moldados 9 corpos de prova que foram posteriormente ensaiados à resistência à compressão, absorção d'água e perda de massa por erosão. O percentual de adição de látex variou entre 1% e 5%. Os resultados podem ser visualizados nas Figuras 46, 47 e 48.

Figura 46 – Resistência à Compressão - Gesso + *Euphorbia tirucalli* + Álcool a/g = 0,4

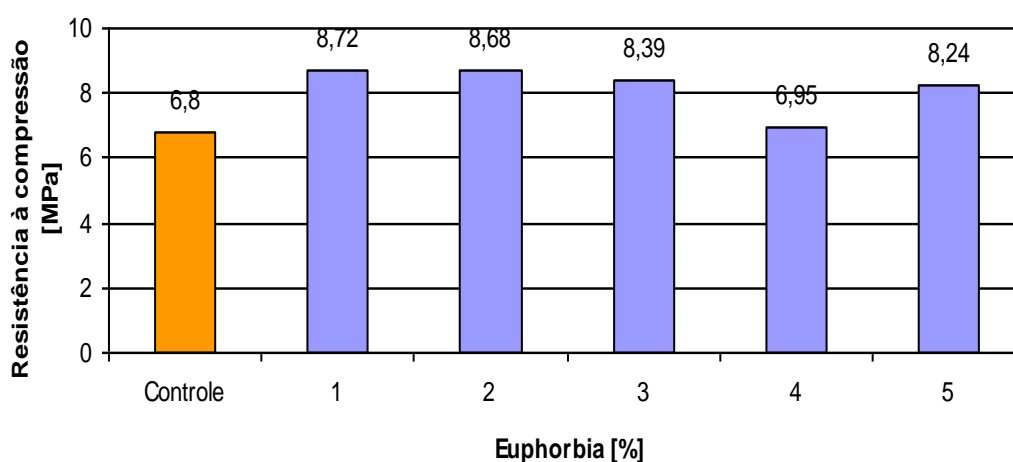


Figura 47 - Absorção d'água – Gesso + *Euphorbia tirucalli* + Álcool a/g = 0,4

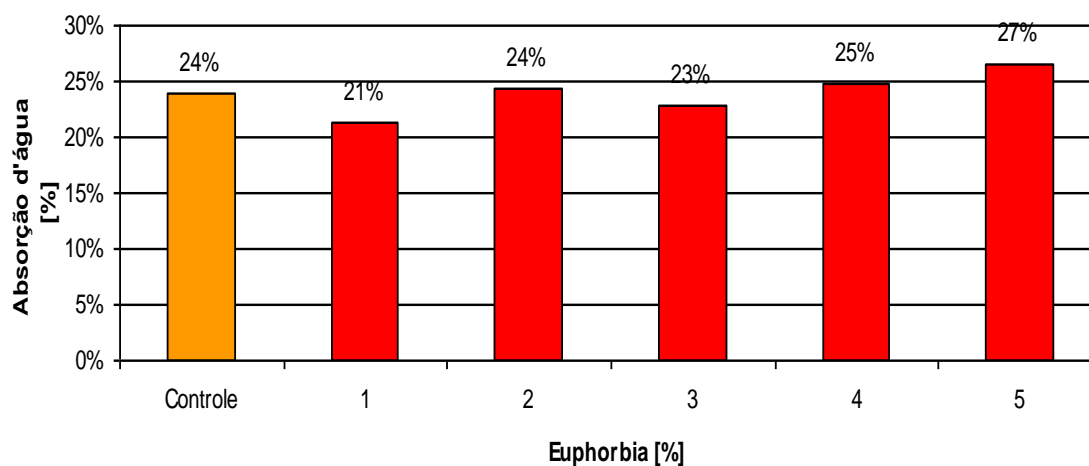
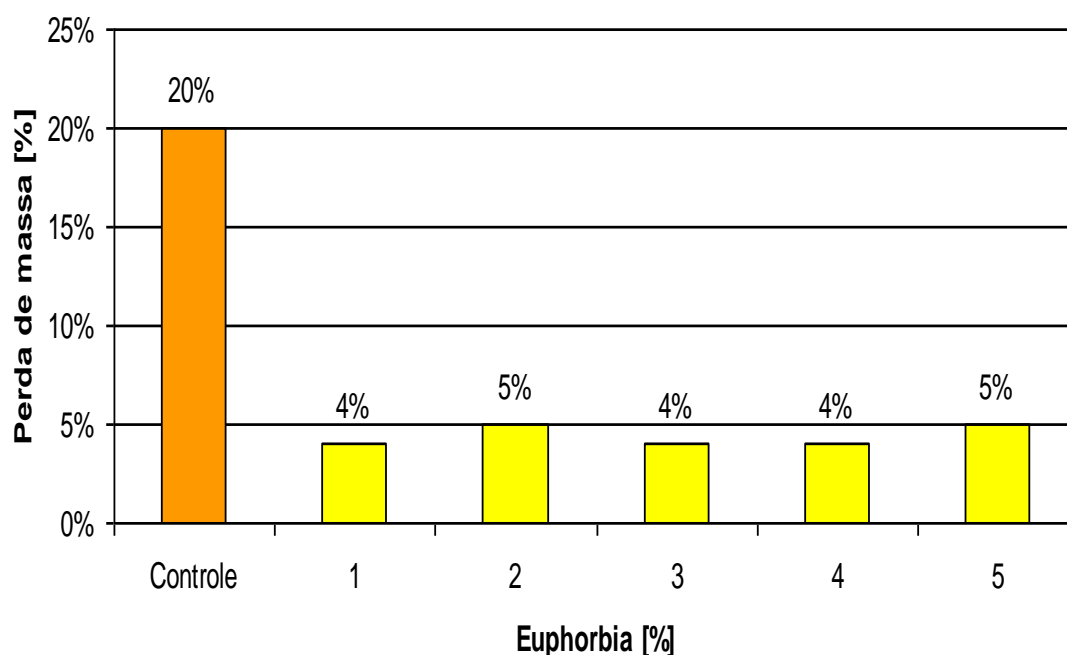




Figura 48 – Perda de massa – Gesso + *Euphorbia tirucalli* + Álcool a/g = 0,4



A comparação de resultados apresentados pelos corpos de prova moldados com fator água/gesso 0,4, com adição de látex de *Euphorbia tirucalli* demonstrou a influencia que a adição de álcool exerce nas propriedades de resistência a compressão, absorção d'água e perda de massa por erosão. Os melhores resultados foram apresentados pela série em que não foi adicionado álcool ao látex. Nesta, o conjunto dos valores da série são superiores aos demonstrados quando da adição de álcool, com uma descontinuidade quando da adição de 3% de látex, quando os valores da resistência a compressão e perda de massa dos corpos de prova fabricados com látex diluído em álcool apresentaram melhores resultados.

Comparativamente aos resultados obtidos nas pastas de gesso controle, os valores da série sem álcool também apresentam resultados satisfatórios.

A adoção de mistura e adensamento mecânicos provavelmente influenciará para a uma melhor distribuição dos resultados, corrigindo eventuais falhas principalmente no processo de adensamento das pastas.

A plasticidade não sofreu alteração pela adição ou não de álcool ao látex. Todas as pastas foram moldadas com facilidade, com adensamento manual, concluindo-se que a adição de álcool, na proporção de 20% pode ser reavaliada, diminuindo-se o percentual de modo que a sua atuação no composto limite-se à

conservação do látex, aumentando o seu prazo de validade sem influenciar nas outras propriedades das pastas e das peças em estado endurecido.

Comparativamente aos valores apresentados no traço gesso controle  $a/g = 0,4$ , a adição de látex de *Euphorbia tirucalli* exerceu efeito retardador de pega, influenciando tanto no período de indução, que antecede ao início da pega quanto no tempo no qual as reações de hidratação e endurecimento do material ocorrem.

O ensaio de Vicat, para pastas de gesso controle, apontou valores de 11 minutos para início de pega e 20 minutos para fim de pega, compreendendo um período de reação de cerca de 9 minutos. A Figura 49 demonstra os valores obtidos para o início e fim de pega pelo mesmo ensaio para o traço  $a/g = 0,4$ , com adição de látex entre 1% e 5%, e a Figura 50 demonstra os valores calculados entre início e fim de pega para os mesmos traços.

Figura 49 – Tempo de pega - Gesso + Euphorbia + álcool  $a/g = 0,4$

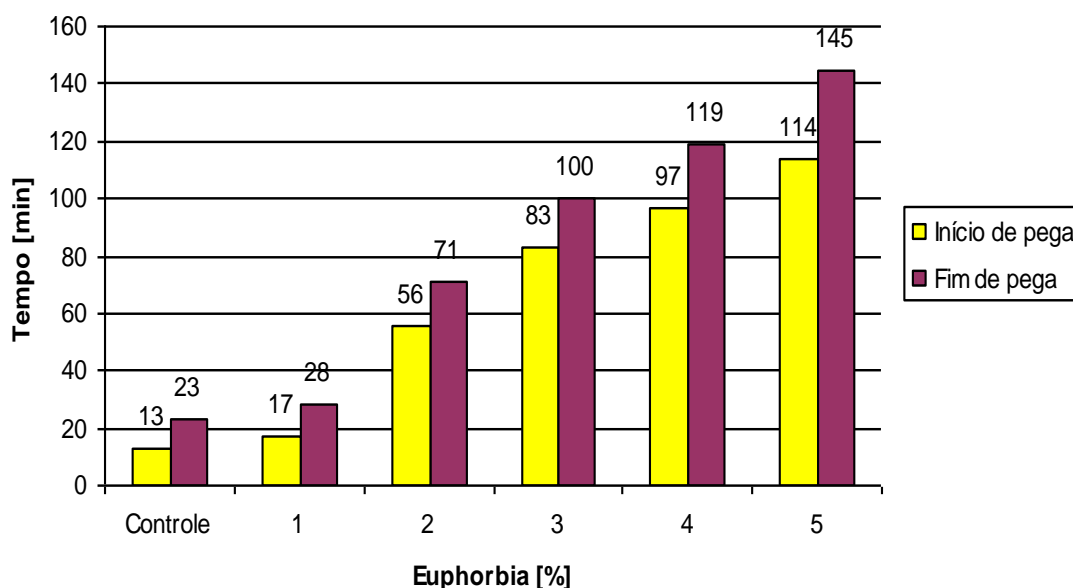
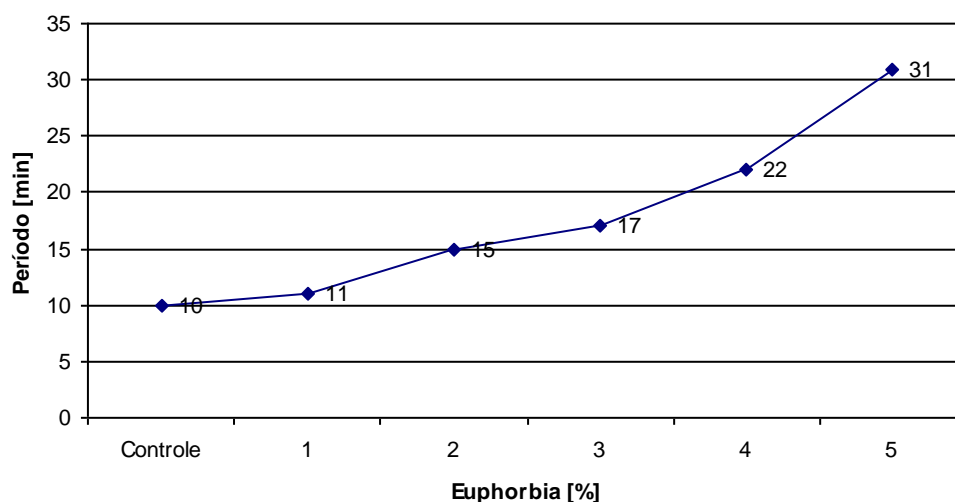


Figura 50 – Período de reação de hidratação Gesso + Euphorbia + Álcool  $a/g = 0,4$



#### 5.5.4 – Estudo do traço gesso + *Euphorbia tirucalli*, sem álcool, $a/g=0,5$

Foi elaborado traço com fator água/gesso igual a 0,5 com adição de látex de *Euphorbia tirucalli* sem adição de álcool ao látex. Foram moldados 9 corpos de prova que foram posteriormente ensaiados a resistência à compressão, absorção d'água e perda de massa por erosão, cujos resultados podem ser visualizados nas Figuras 51, 52 e 53.

Figura 51 – Resistência à compressão - gesso + *Euphorbia tirucalli*  $a/g = 0,5$ .

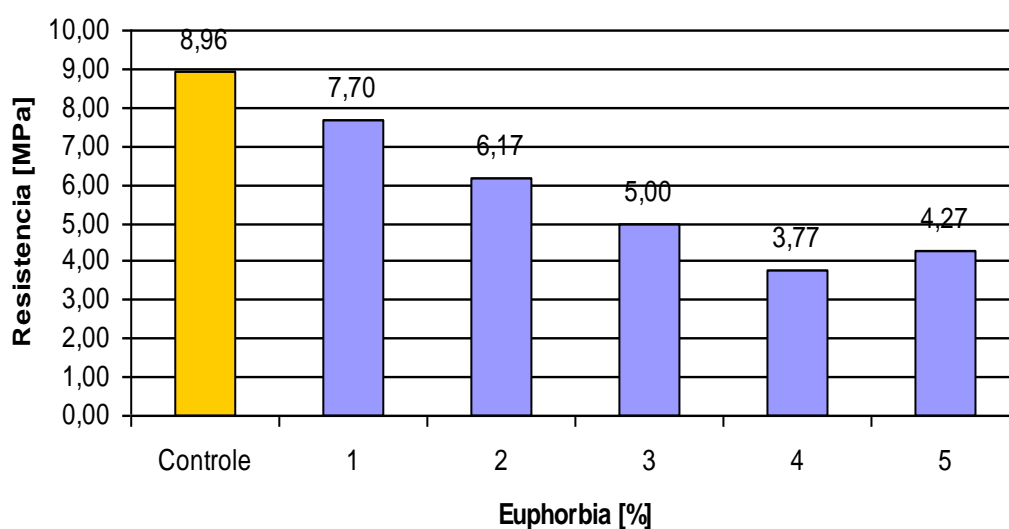


Figura 52 – Absorção d'água – gesso + *Euphorbia tirucalli* a/g = 0,5

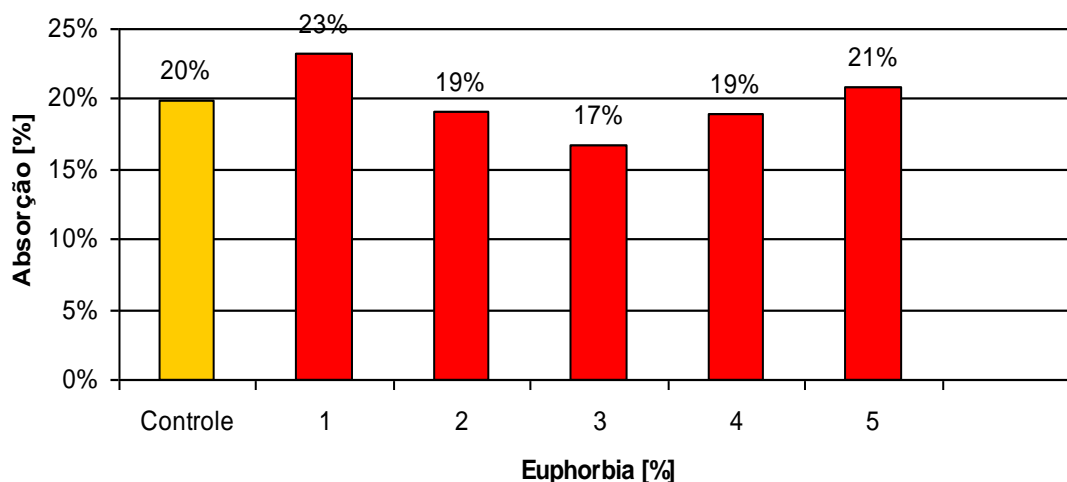
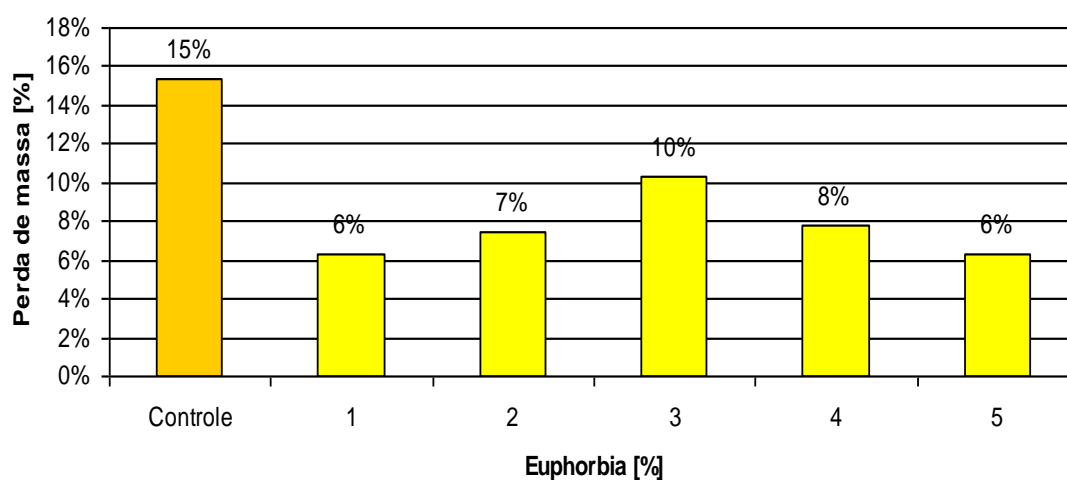


Figura 53 – perda de massa - gesso + *Euphorbia tirucalli* a/g = 0,5



#### 5.5.5 – Estudo do traço gesso + *Euphorbia tirucalli* + álcool, a/g=0,5

Foi elaborado traço com fator água/gesso igual a 0,5 com adição de látex de *Euphorbia tirucalli* com adição de 20% de álcool em relação ao peso do látex. Foram moldados 9 corpos de prova que foram posteriormente ensaiados a resistência à compressão, absorção d'água e perda de massa por erosão, cujos resultados podem ser visualizados nas Figuras 54, 55 e 56.

Figura 54 – Resistência à compressão – gesso + *Euphorbia tirucalli* + álcool a/g = 0,5

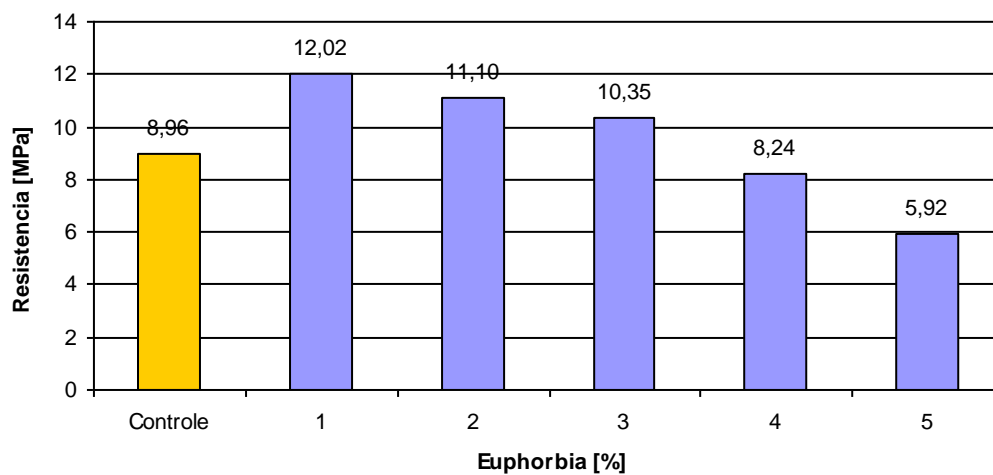


Figura 55 – Absorção d'água - gesso + *Euphorbia tirucalli* + álcool a/g = 0,5

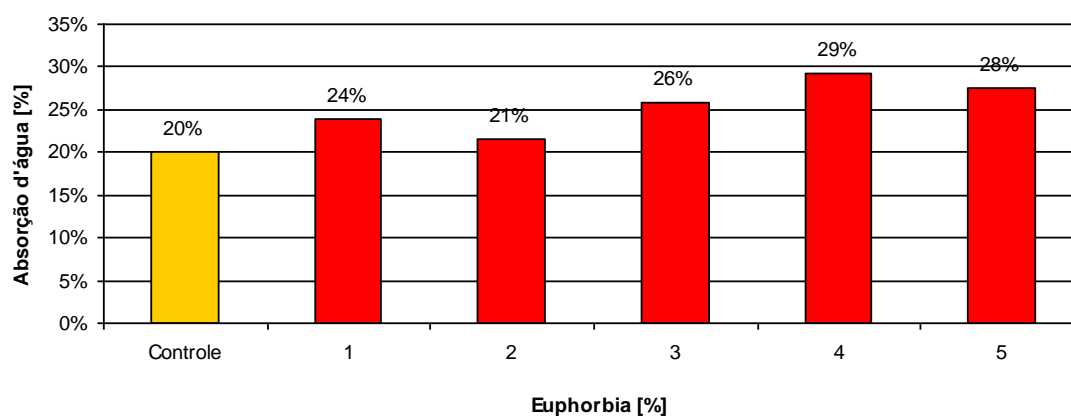
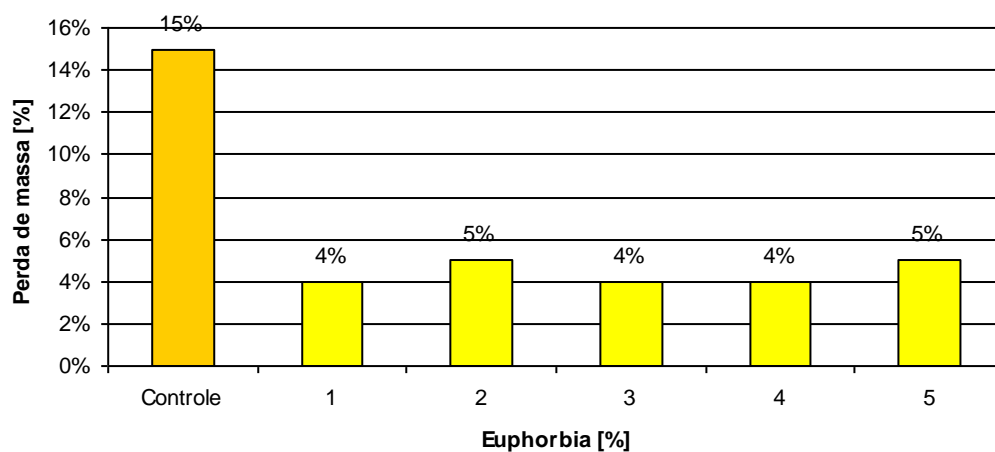


Figura 56 – Perda de massa - gesso + *Euphorbia tirucalli* + álcool a/g = 0,5



O estudo do traço gesso + água + látex de *Euphorbia tirucalli*,  $a/g = 0,5$  e percentual de látex entre 1% e 5% apresentou melhor resultado quando da utilização de látex diluído em álcool, em contraste com os resultados apresentados pelo traço com fator água/gesso de 0,4.

No traço em questão, os melhores resultados para resistência à compressão apresentaram-se quando da adição entre 1% e 3% de látex com álcool. A perda de massa por erosão também apresentou resultados mais satisfatórios nas séries de corpos de prova moldados com látex diluído em álcool.

A comparação entre os resultados dos traços com fator 0,4 e 0,5 leva a concluir a necessidade de ajuste no percentual de álcool adicionado para dar estabilidade ao látex.

Este ajuste poderá levar à determinação de um percentual de adição de álcool que possibilite a estabilização do pH da solução, sua conservação por um período longo de tempo e redução de possíveis efeitos nocivos as propriedades das pastas de gesso, o que se dará por um aprofundamento do estudo das reações existentes entre o látex e o álcool e entre estes e o gesso.

Da mesma forma que o acontecido com os traços com fator água/gesso 0,4, o estudo do traço com fator 0,5 apresentou valores que indicam que a adição do látex exerceu efeito retardador de pega, influenciando tanto no período de indução quanto nos limites de início e fim de pega em todas as séries estudadas.

O ensaio de Vicat, para pastas de gesso controle, apontou valores de 13 minutos para início de pega e 23 minutos para fim de pega, compreendendo um período de reação de cerca de 10 minutos. A Figura 57 demonstra os valores obtidos pelo mesmo ensaio para o traço  $a/g = 0,5$ , com adição de látex entre 1% e 5%, e a Figura 58 demonstra os valores calculados entre início e fim de pega para os mesmos traços.

Figura 57 - Tempo de pega - gesso + *Euphorbia tirucalli* + álcool a/g = 0,5

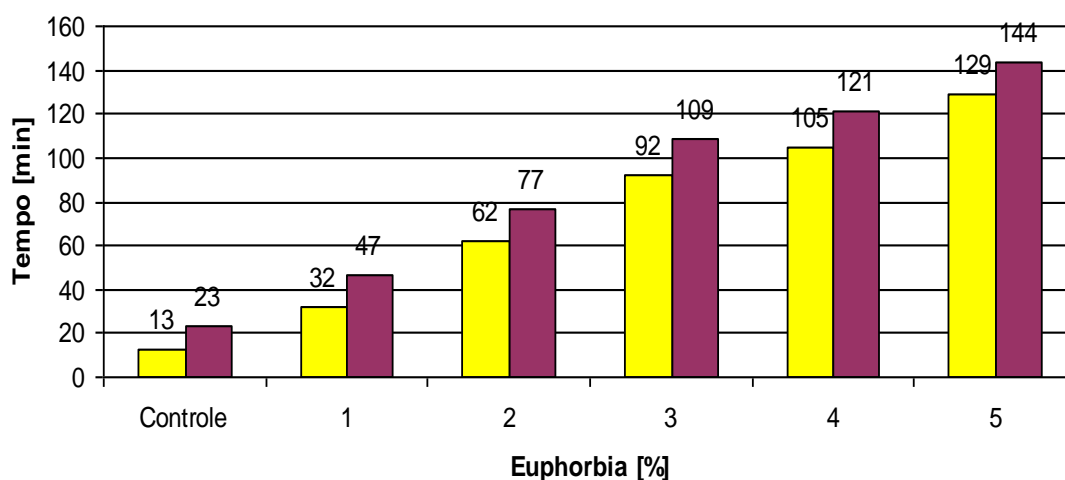
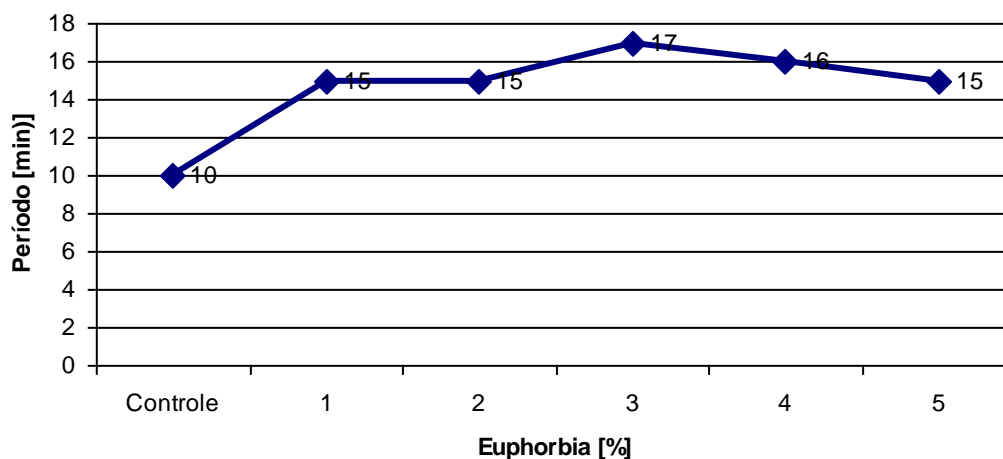


Figura 58 – Período de reação de hidratação- gesso + *Euphorbia tirucalli* + Álcool a/g = 0,5.



## 5.6- Evolução do calor de hidratação.

Paralelamente ao processo de determinação das características das pastas formuladas com látex de *Euphorbia tirucalli*, foi realizado um estudo sobre a evolução do calor de hidratação em cada um dos traços com adição de látex de *Euphorbia tirucalli* e nos traços de gesso controle.

Foi observada que a adição de látex de *Euphorbia tirucalli* as pastas de gesso induziu a diminuição da temperatura máxima de hidratação para todos os casos estudados. Os resultados apontam para uma redução em torno de 13% da temperatura de hidratação de uma pasta de gesso, relação a/g = 0,5 em relação às pastas de gesso sem aditivos. Este comportamento se repete nas pastas com fator a/g igual a 0,4, com uma redução máxima de 6% da temperatura máxima atingida durante o período de hidratação (Tabelas 12 e 13).

Tabela 12 – Redução de temperatura com adição de látex de *Euphorbia tirucalli*, a/g=0,5.

a/g = 0,5	Percentual de látex de <i>Euphorbia tirucalli</i>					
	5	4	3	2	1	Controle
temperatura (°C)	48,4	47,16	49,9	49,8	50,1	54
Tempo (min.)	91	78	70	60	49	44
Redução da temperatura (%)	10%	13%	8%	8%	7%	

Tabela 13 - Redução de temperatura com adição de látex de *Euphorbia tirucalli*, a/g=0,4

a/g = 0,4	Percentual de látex de <i>Euphorbia tirucalli</i>					
	5	4	3	2	1	controle
temperatura (°C)	50,80	51,00	51,40	51,80	53,60	54,00
Tempo (min.)	89	95	80	75	55	40
Redução da temperatura (%)	6%	6%	5%	4%	1%	

A alteração no período de indução também pode ser sentida pelo traçado das curvas de hidratação de cada um dos traços estudados. As curvas de hidratação para as pastas de gesso com adição de *Euphorbia tirucalli* diluído em álcool, na proporção de 20% de álcool adicionado ao látex, em peso foram elaboradas com utilização de um datalogeer e um termopar, em ensaio sob regime pseudo-adiabático. Os resultados estão expressos nas Figuras 59 a 63, cujos gráficos demonstram o comportamento da curva de hidratação de cada um dos traços. A Figura 64 apresenta o resultado de todas as curvas em um único gráfico.



Figura 59 - Evolução do calor de Hidratação com 5% de aditivo: (a)  $a/g = 0,5$  ; (b)  $a/g = 0,4$

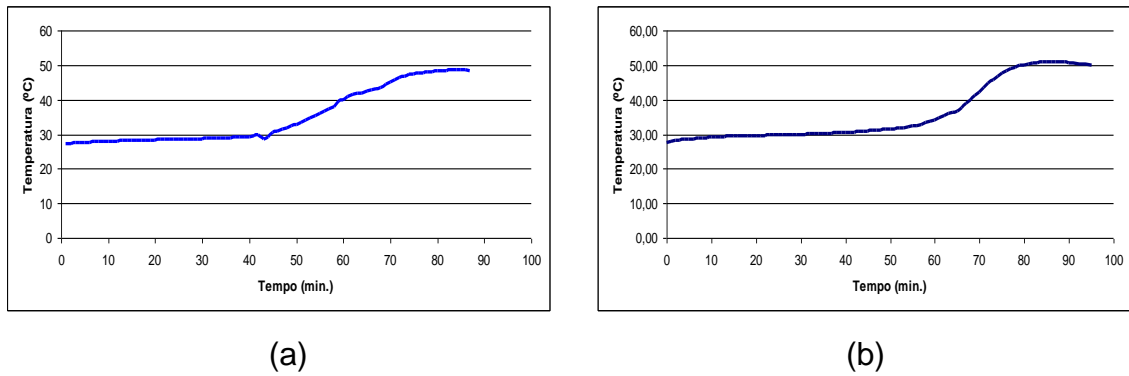


Figura 60 - Evolução do calor de Hidratação com 4% de aditivo: (a)  $a/g = 0,5$  ; (b)  $a/g = 0,4$

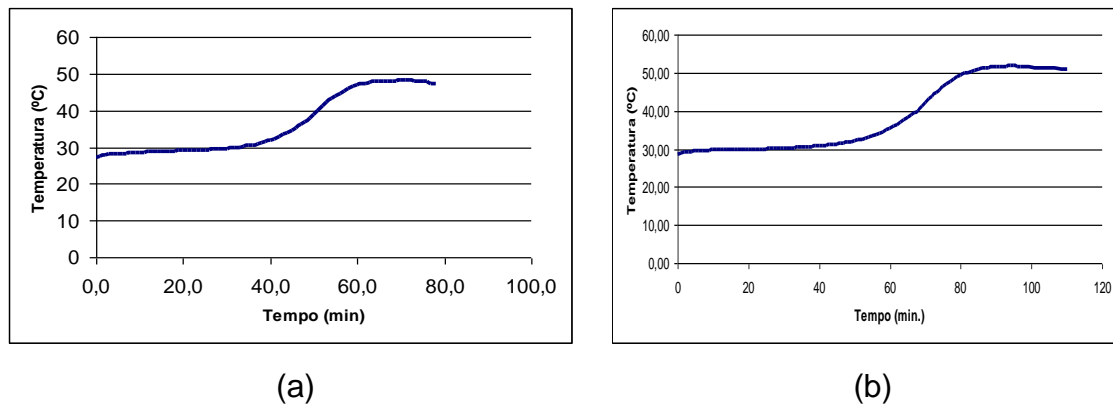


Figura 61 - Evolução do calor de Hidratação com 3% de aditivo: (a)  $a/g = 0,5$  ; (b)  $a/g = 0,4$

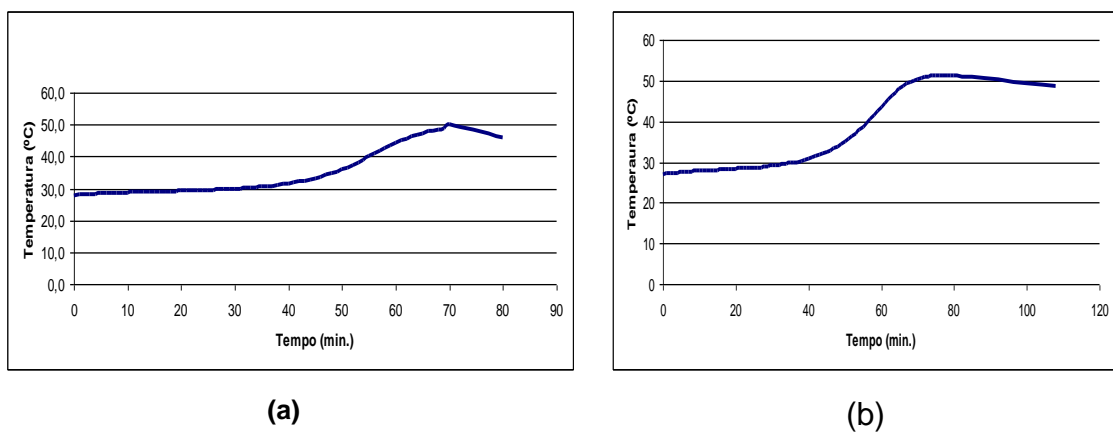


Figura 62 - Evolução do calor de Hidratação com 2% de aditivo: (g) a/g = 0,5 (h) a/g = 0,4

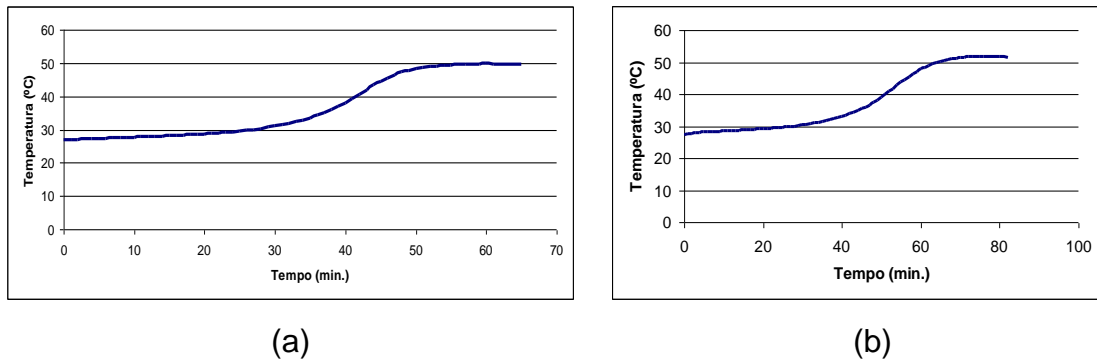


Figura 63 - Evolução do calor de Hidratação com 1% de aditivo: (g) a/g = 0,5 (h) a/g = 0,4

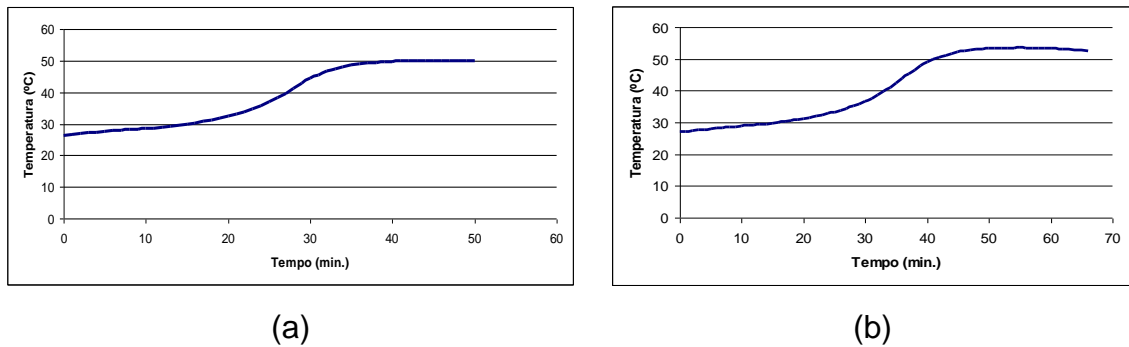
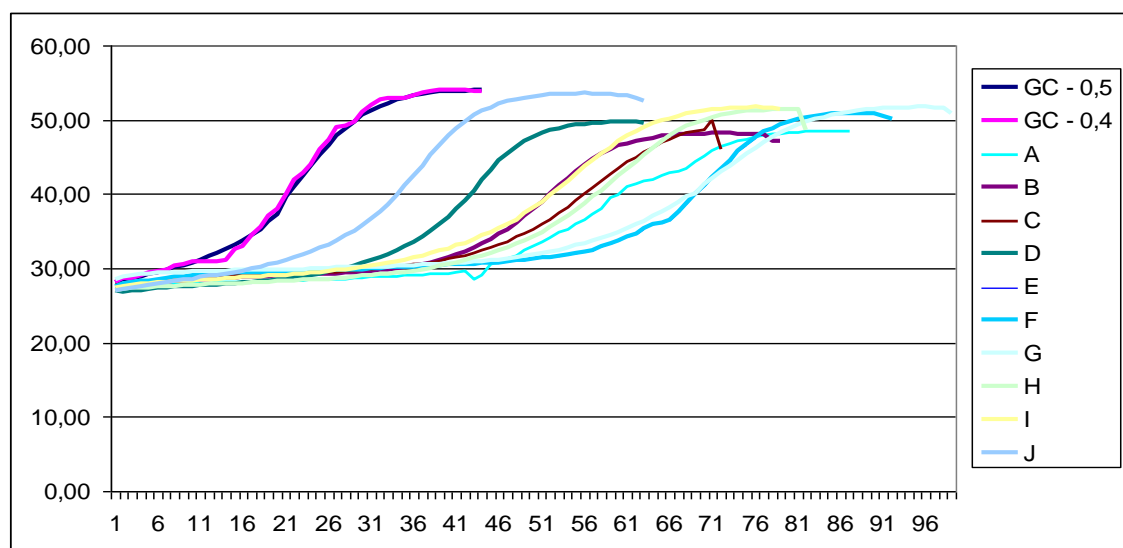


Figura 64 – Curvas de hidratação: traços gesso controle e com adição de látex de *Euphorbia tirucalli*.

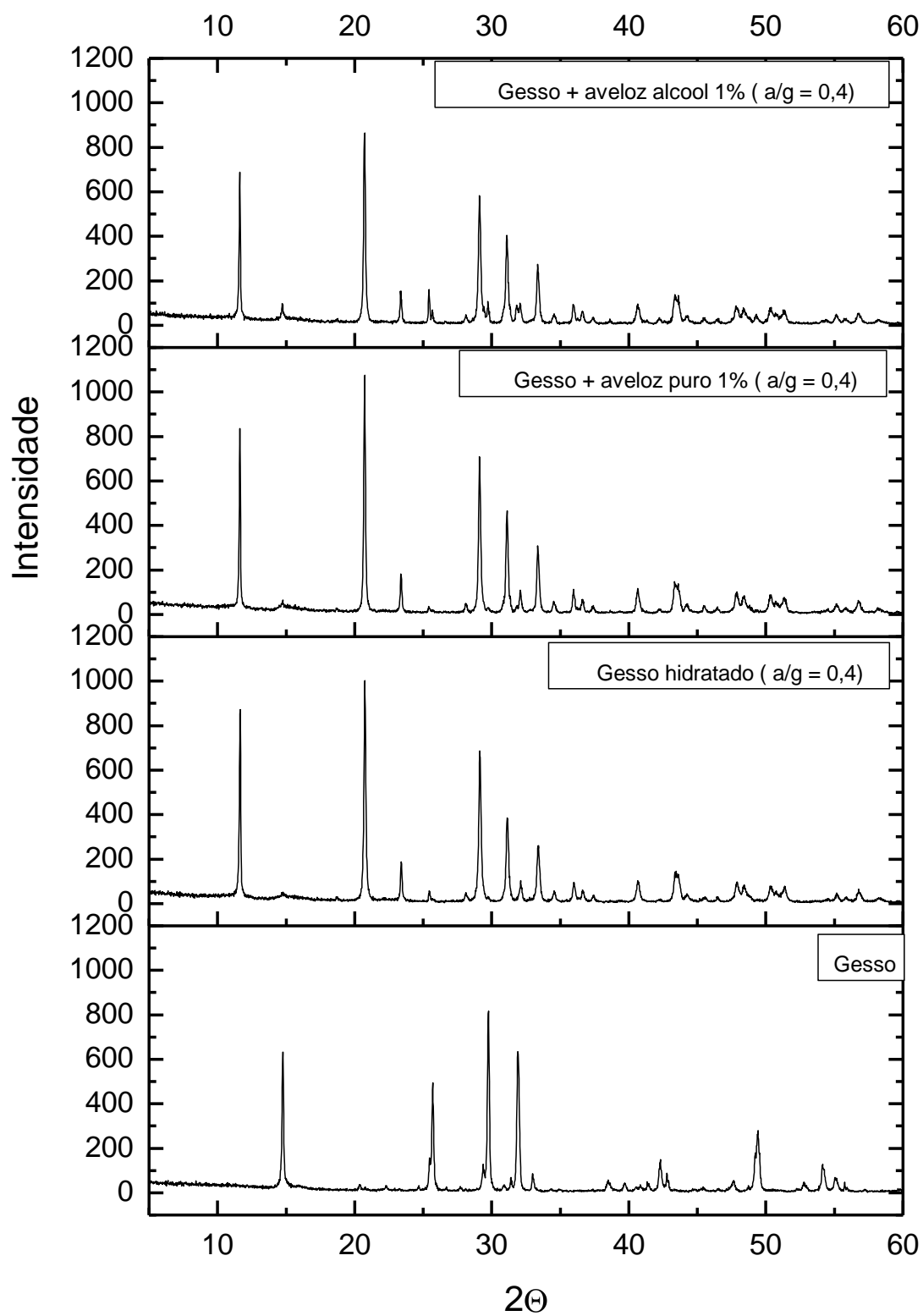


## 5.7 - Difração por raios X

O resultado dos exames efetuados por difração de raios X efetuado em amostras de gesso em pó, caracterizaram-no como  $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ , o que equivale à composição do gesso comercial.

Após a adição de água, a pasta formada apresentou características de gesso hidratado,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , não se observando alterações significativas quando da adição do látex de *Euphorbia tirucalli*. Nota-se, porém, uma variação de intensidade de alguns picos diferenciando as amostras de gesso com látex, com e sem álcool. Pela análise dos difratogramas (Figura 65), estes picos mostram mais intensidade nas amostras de látex sem adição de álcool.

Figura 65 – Difratomogramas



## 5.8 – Microscopia eletrônica de varredura – MEV

A comparação das imagens geradas pelo microscópio eletrônico de varredura apontam para diferenças significativas na estrutura das pastas de gesso ao qual foi adicionado látex, em comparação a uma pasta controle.

Nas pastas as quais foi adicionado látex de *Euphorbia tirucalli* observam-se cristais bem formados, em forma de agulhas, produto da ação retardadora de pega do látex de *Euphorbia tirucalli*, que possibilitou uma pega mais lenta e um maior tempo de hidratação dos componentes da pasta (Figuras 66, 67 e 68).

Figura 66 –Micrografia Gesso sem aditivos, a/g = 0,4.

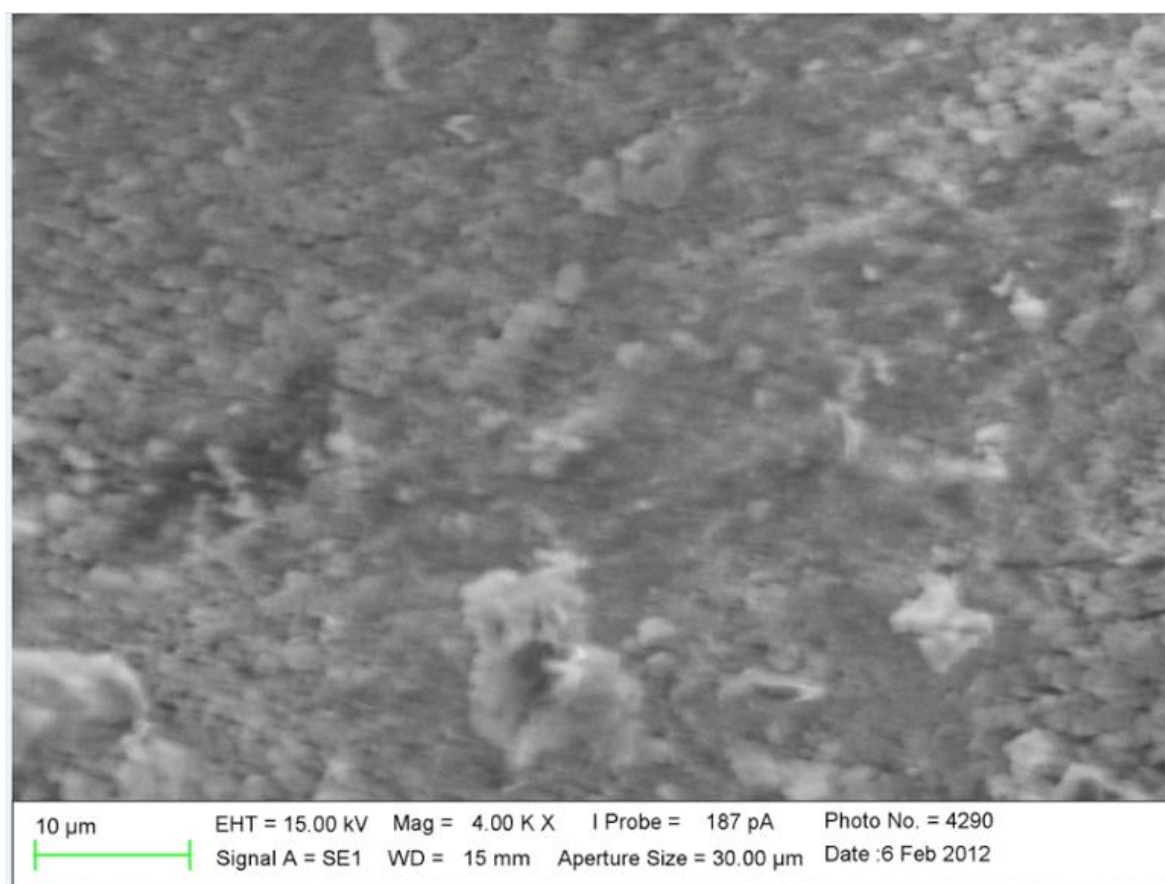


Figura 67 - Micrografia Gesso + Aveloz 1% sem álcool,  $a/g = 0,4$

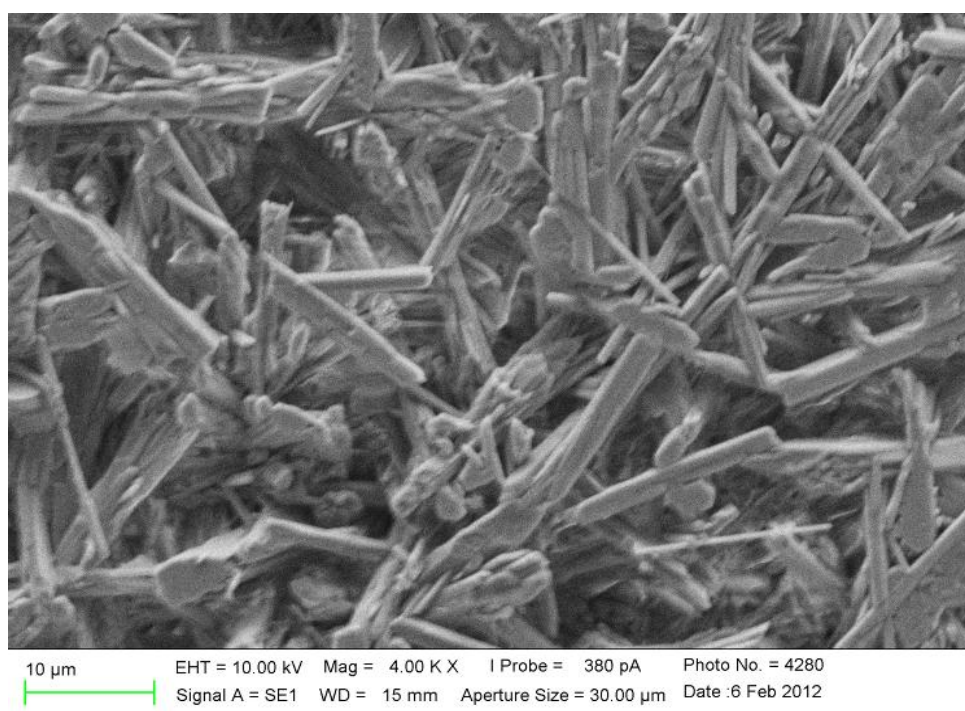
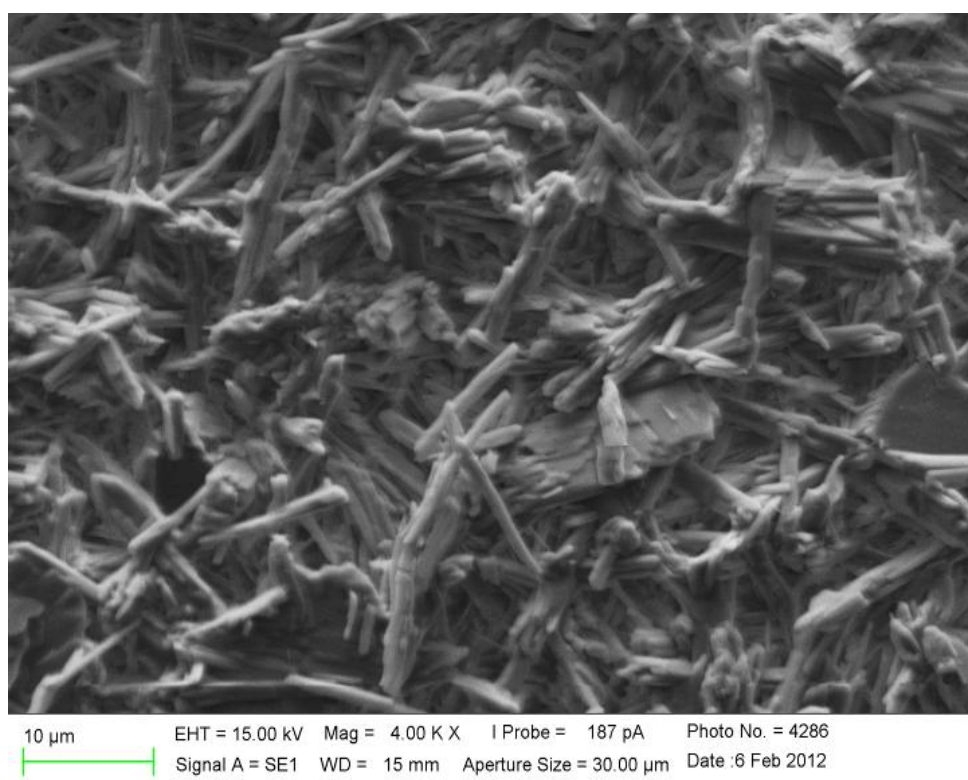


Figura 68 - Micrografia Gesso + Aveloz 1% + Álcool,  $a/g = 0,4$



### 5.9 – Fluorescência de raios X.

Os resultados das análises mineralógicas das amostras de gesso, com e sem adição de látex de *Euphorbia tirucalli* estão demonstradas nas Tabelas 14, 15 e 16.

Os resultados demonstram que todas as amostras apresentam valores compatíveis com a NBR 13207, que estabelecem valores mínimos de óxido de cálcio (CaO) e anidrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>) em 38,00% e 53,00%, respectivamente.

A adição de látex de *Euphorbia tirucalli* às pastas de gesso atribuem pequenas modificações nos percentuais dos produtos, o que explica a diferença de resultados ocorridos quando da adição de látex com e sem álcool as pastas de gesso. No entanto, nota-se que as diferenças entre os valores são relativamente pequenas.

Tabela 14 – Composição mineralógica gesso sem aditivo

Produto	(%)
SO <sub>3</sub>	54,279
CaO	44,757
SiO <sub>2</sub>	0,811
K <sub>2</sub> O	0,153

Tabela 15 - Composição mineralógica gesso + *Euphorbia tirucalli* 1%

Produto	(%)
SO <sub>3</sub>	53,423
CaO	45,463
SiO <sub>2</sub>	0,937
K <sub>2</sub> O	0,177

Tabela 16 - Composição mineralógica gesso + *Euphorbia tirucalli* 1% + álcool.

Produto	(%)
SO <sub>3</sub>	53,361
CaO	44,624
SiO <sub>2</sub>	1,709
K <sub>2</sub> O	0,162

Isto significa dizer que a presença do aveloz não altera a composição química da pasta, influenciando, portanto, apenas nas características de organização da microestrutura e nos aspectos de impermeabilidade da pasta.



## 6 - CONCLUSÕES

Este trabalho teve como meta demonstrar a viabilidade de utilização de látex de origem vegetal como aditivo ao gesso de forma a melhorar as propriedades das pastas e de componentes com elas fabricados com uso na construção civil.

O experimento desenvolvido, com base em referenciais teóricos, apoiado em resultados de outras pesquisas utilizadas como referência, conclui que:

- O gesso, um dos mais antigos materiais aglomerantes utilizados, pode ter suas características melhoradas com uso de aditivos;
- Os resíduos gerados pela extração do látex podem ser utilizados para geração de energia, abastecendo os fornos de calcinação da gipsita ou na calcinação do material reciclado.
- O aditivo superplastificante MSET, utilizado em uma dosagem de 1% em relação à massa do gesso, em pastas com fator água/gesso igual a 0,5 induz melhor trabalhabilidade às pastas;
- O tempo de pega das pastas de gesso nas quais foi utilizado o superplastificante MSET apresentou modificações para valores inferiores ao do gesso sem aditivos, concluindo-se que este aditivo atua como um acelerador de pega;
- O látex de *Hevea brasiliensis*, mais conhecida como seringueira, apresentou como resultado positivo agregar ductilidade às peças ensaiadas. Por outro lado, todas as peças ensaiadas apresentaram aumento de infiltração da água e baixa resistência à compressão se comparadas com peças de gesso controle, nas quais nenhum aditivo foi usado;
- A adição de látex de *Euphorbia tirucalli*, mais conhecido por aveloz, às pastas de gesso, com fatores água/gesso de 0,4 e 0,5, em proporções gesso/aditivo entre 1% e 5% apresentaram resultados satisfatórios de resistência à compressão, absorção d'água e durabilidade em relação às pastas de gesso controle;
- A adição de álcool ao látex de *Euphorbia tirucalli* aumenta a sua durabilidade, conservando a sua integridade por pelo menos 210 dias;

- A adição de álcool, em teor de 20% em relação à massa do látex influi nas suas propriedades de modo a apresentar resultados de resistência à compressão, absorção d'água e durabilidade das peças diferentes dos corpos de prova fabricados sem adição de álcool;
- Independente da adição de álcool, todas as pastas nas quais houve adição de *Euphorbia tirucalli* apresentaram excelente plasticidade, o que comprova a característica de superplastificante ao látex de *Euphorbia tirucalli*;
- Independente da adição de álcool, todas as pastas formuladas com adição de látex de *Euphorbia tirucalli*, apresentaram alteração significativa nos seus limites de pega, o que caracteriza o látex de *Euphorbia tirucalli* como um poderoso aditivo retardador de pega;
- Todas as peças fabricadas com adição de látex de *Euphorbia tirucalli* apresentaram menor desgaste quando submetidas ao ensaio de perda de massa por jateamento de água, quando comparados os resultados com os obtidos com outros aditivos e com corpos de prova de gesso controle; e
- O calor de hidratação das pastas, às quais foi adicionado o látex de *Euphorbia tirucalli*, apresenta valores menores se comparados aos das pastas sem adição.

A introdução de *Euphorbia tirucalli* em pastas de gesso aumenta a plasticidade das pastas, tem pouca influência na absorção de água, reduz significativamente a perda por erosão, aumenta a resistência à compressão e a análise da microestrutura sugere o envolvimento dos cristais de gesso hidratados pelo látex, o que explica a menor perda por erosão da água.

## 7 - RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Apesar de apresentar resultados satisfatórios, principalmente no que diz respeito à aplicação de látex de *Euphorbia tirucalli*, diversas linhas de pensamento baseadas nos resultados apresentados, precisam ser aprofundadas como forma de fundamentar o uso do material em obras correntes, como um produto comercial.

Sugere-se as seguintes linhas de pesquisa, como complemento aos resultados aqui apresentados.

- Análise microscópica de cada um dos traços com adição de látex de *Euphorbia tirucalli* como forma de observar a interação entre o látex e os cristais de gipsita, em seus interstícios;
- Análise química dos produtos, como forma de dimensionar as reações entre os componentes durante o estado fresco e endurecido e os compostos formados quando da adição do látex;
- Determinação da quantidade mínima necessária de álcool para atuar como conservante e verificar a sua interferência sobre as propriedades das peças em seu estado endurecido;
- Elaboração de um sistema de produção do aditivo, compreendendo a sua prensagem, filtração, desinfecção, além de método de controle de qualidade de modo a se ter uma conformidade da produção, dimensionando os equipamentos necessários ao processo;
- Elaboração de sistema de produção do aditivo em estado seco, em pó, com a utilização de método de secagem apropriado (liofilização, *spray-dry*), e realização de ensaios de caracterização das pastas em estado fresco e endurecido, de modo a ajustar relações água/gesso aplicáveis a cada destinação das pastas;
- Investigação sobre as propriedades de resistência à tração, flexão, condutividade térmica e elétrica dos corpos de prova fabricados de pastas de gesso com adição de látex de *Euphorbia tirucalli*;
- Aprofundar os estudos sobre a possibilidade de interação do aditivo a base de látex de *Euphorbia tirucalli* com outros aditivos, de modo a aumentar a sua resistência à compressão e diminuir a sua absorção d'água;

- Repetir os ensaios realizados com corpos de prova fabricados com pastas de gesso adicionadas de látex de *Euphorbia tirucalli*, submetendo-as a adensamento mecânico, principalmente com fatores água/gesso 0,4 e inferiores;
- Pesquisar outras formas de utilização do látex e do resíduo de *Euphorbia tirucalli*;
- Ajustar método de reciclagem dos resíduos de peças de gesso com aditivo; e
- Aplicar a metodologia adotada nesta dissertação para pesquisa do aditivo obtido do látex de *Euphorbia tirucalli* em pastas a base de cimento e cal.

## 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12127: Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12128: Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas da pasta. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR12129: Gesso para construção – Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. NBR 13207: Gesso para construção – Especificação. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575: Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos. Rio de Janeiro, 2009.

ALVES, J. D. Materiais alternativos de construção. Goiânia: Editora da Universidade Católica de Goiás, 2006. 103 p.

\_\_\_\_\_. *Manual de tecnologia do concreto*. 3 ed. rev. pp 65-67. Goiânia: Editora da UFG, 1993.

OLMOS, J. F. B. Cactus e plantas suculentas. Espanha. Floraprint, 1995. 144 p.

BARBOSA, N. P. Considerações sobre materiais industrializados e não convencionais – Texto Técnico – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental – PPGEUA - UFPB – 2005.

\_\_\_\_\_. Construção com terra crua: do material à estrutura – Monografia apresentada no Concurso para Professor Titular da Área de Estruturas do Departamento de Tecnologia da Construção Civil – UFPB – 1996.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. Diagnóstico do Pólo Gesseiro de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Rochas Minerais Industriais: Usos e Especificações Parte 2 – Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações CT2008-175-00 Capítulo 23 – pág. 505- 526. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Ministério da Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro, 2008.

BERALDO, A. L. **Bambu-cimento**: alternativas para construções rurais. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., Canela, 1997. Anais. São Paulo: ANTAC, 1997. v. 1, p. 145-150.

BEZERRA, M. S. Relatório Técnico 34 – Perfil da Gipsita. CONTRATO Nº 48000.003155/2007-17: DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DUODECENAL (2010 - 2030) DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL - J. Mendo Consultoria. DNPM-2009.

BONATES, M. F. Ideologia da casa própria...sem casa própria – O Programa de Arrendamento Residência na Cidade de João Pessoa – Dissertação de Mestrado, UFRN, 2007.

BONDUKI, N. Política habitacional e inclusão social no Brasil: revisão histórica e novas perspectivas no governo Lula, 2008.

[www.usjt.br/arq.urb/numero\\_01/artigo\\_05\\_180908.pdf](http://www.usjt.br/arq.urb/numero_01/artigo_05_180908.pdf) acesso em 20/04/2010

\_\_\_\_\_. Origens da habitação social no Brasil. *Análise Social*, vol. XXIX (127), 1994.

BOTEGA, L. R. A política habitacional no Brasil (1930-1990). *REVELA – Periódico de Divulgação Científica da FALS – Faculdade do Litoral Paulista*. Ano I, nº 2 – 2008.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010.

[www.censo2010.ibge.gov.br/dados.../index.php?uf=27](http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados.../index.php?uf=27), acesso em 11/03/2011.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia – Anuário Estatístico 2010 – Setor de transformação de não metálicos – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM/DTTM, 2010

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE -RESOLUÇÃO Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002. Disponível em: <[www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)>. Acesso em: 22/05/2011.

CEPED – CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO. Utilização de Fibras vegetais no Fibro-Cimento e no Concreto-Fibra. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Habitação – BNH/Departamento de Estudos e Pesquisas Aplicadas – DEPEA, 1982. 72 p.

DANA-HURLBUT. Manual de mineralogia. 9ª tiragem. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.

DNPN- Departamento Nacional de Produção Mineral – Gipsita - Sumário Mineral, p54-55. junho, 2010.

FEITOSA, M. C. A.; SAMPAIO, J. A.; BALTAR, C. A. M.; BALTAR, L. M. Estudo do comportamento do gesso  $\alpha$  com a adição de ácidos graxos – PIBIC, 2010. disponível em [www.cetem.gov.br/publicações/série\\_anais\\_XVIII\\_jic\\_2010/Maria\\_Feitosa.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicações/série_anais_XVIII_jic_2010/Maria_Feitosa.pdf)  
Acesso em 27/07/2011

FURSTENBERGER, G. On the active principles of the *Euphorbiaceae*, XII. Highly unsaturated irritant diterpene ester from *Euphorbia tirucalli* originate from Madagascar. Journal of Natural Products, v 49, ed 3, PP 386-397, 1986.

GESSO MONEA. História do Gesso. Disponível em:  
<http://gessomonea.com.br/page2.html>

Gypsum Recycling International. Disponível em <http://www.gypsumrecycling.biz/>  
acesso em 26/04/2011

HEATHCOTE, K. A; RAVINDRARAJAH, R. S. R. I. Relationship Between Spay Erosion Test and the Performance of Test specimens in the Field. Sustainable Construction on the Next Millennium Environmentally, Friendly and Innovative Cement Based Materials. International Conference held in João Pessoa, PB, Brasil. Edited by Normando Perazzo Barbosa, 2000.

HEATHCOTE, K.; MOORE, G. (2003) The UTS durability test for earth wall construction.  
acessível em: [www.Dab.Uts.Edu.Au/Ebrf/Research/Leipzig-Paper.Doc](http://www.Dab.Uts.Edu.Au/Ebrf/Research/Leipzig-Paper.Doc)

KARNI, J.; KARNI, E'Yal. **Gypsum in construction**: origin and properties. Materials and structures, 1995, Haifa, Israel.

LACERDA, E. F. L; MARROQUIM, F. M. G.; ANDRADE, S. S. Avaliação pós-ocupação das unidades habitacionais do conjunto Antonio Mariz, João Pessoa-PB. 2º Simpósio Nacional de Qualidade de Projeto de Ambiente Construído. Rio de Janeiro, Brasil, 2011.

MACHADO, M. M. Perfil fitoquímico e avaliação dos principais efeitos biológicos e imunológicos *in vitro* do *Euphorbia Tirucalli* L. – Dissertação de Mestrado – Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2007.

MAGALHÃES, A.C.T.V..- Estudo de fibras vegetais, mucilagem de cacto e gesso em elementos construtivos – Dissertação de Mestrado – Brasília, DF, 2009.

MARTINS, J. C. L.; SILVA, M. M. C. P.; FREITAS, P. C. B.; BARBOSA, A. S. R.; BARBIRATO, J. C. C. Avaliação do potencial de aplicação de barras de bambu em sistemas de cobertura. CONFERENCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1., ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DE AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., São Paulo: SmartSystem Consulting. 2004. v. 1. P. 54301-54310.

MEDINA, J. C. O Sisal. São Paulo: Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, 1954.

MUNHOZ, F. C.; RENÓFIO, A. Uso da gipsita na construção civil e adequação para a P+L. XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 2006

MUNHOZ, F. C. Utilização do gesso na fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Estadual Paulista. Bauru. 2008.

M SET - Super plastificante MSET - Ficha técnica. – disponível em: <http://www.MSET.com.br/uploads/produtos/fichatecnica/63MSET-super-plastificante.pdf> . acesso em 29/06/2011.

NZS – Standard New Zeland, 4297, 1998 – Erosion Test (Pressure Spray Method) – Committee BD/83, Earth Building.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS W. A. O gesso: produção e utilização na construção civil. Sindusgesso. Ed. Bagaço. Recife-PE. 2001.

PETRUCCI, E. G. Concreto de cimento Portland. 11ª edição. Ed. Globo, Rio de janeiro, 1987.

RODRIGUES, C. C. Desenvolvimento de um sistema construtivo modular com blocos de gesso – Dissertação de Mestrado. UFPB, João Pessoa, 2008.

ROLNIK, R. Cada um no seu lugar – Dissertação de Mestrado defendida na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. USP, São Paulo, SP, 1981.



SANTOS, C. H. M. Políticas Federais de Habitação no Brasil (1964-1998). Brasília, IPEA, 1999.

SANTOS, G. R.; MOTHÉ, C. G. - Prospecção e perspectivas da borracha natural, *Hevea brasiliensis* – *Revista Analytica*, Nº 26, p 32-40, Rio de Janeiro, 2007.

SIMATUPANG, M. H.; SCHIMITT, A. U. - Wood extractives of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) and their influences on the setting of the inorganic binder in gypsum-bonded particleboards. *Journal of Tropical Forest Science* 6(3): 269 – 285 – Hamburgo, Alemanha, 1992.

SINDUSGESSO – Sindicato da Indústria do Gesso de Pernambuco. Pólo Gesseiro, 2009. Disponível em <http://sindusgesso.org.br>.

SOBRINHO, A. C. P. L.; AMARAL, A. J. R.; DANTAS, J. O. C.; DANTAS, J. O. C.; ALCOFORADO, J. R. Gipsita, balanço mineral brasileiro, DNPM, 2001.

TORGAL, F.; JALALI, S. Ensaio de avaliação da durabilidade das construções em terra.  
Disponível em: [www.apurama.org/admin/arquivos/pdfs/retardadores\\_de\\_gesso.pdf](http://www.apurama.org/admin/arquivos/pdfs/retardadores_de_gesso.pdf).

U.S Geological Survey Mineral Commodity Summarie.  
Acessado: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pub/mcs/2010.pdf> (acesso em 21/12/2010).

VARRICCHIO, M. C. B .N.; ORMELEZ, E. G.; MOREIRA, C. B.; SILVA, S.; KUSTER, R. M.; LAGE, C. L. S. - Cultivo *in vitro* de *euphorbia tirucalli* (aveloz), avaliação da constituição química do látex, em diferentes condições de cultivo, e teste de atividade larvicida e juvenilizante em *aedes aegypti*. *Biofar – Revista de Biologia e Farmácia*. ISSN 1983-4209 - Volume 02 – Numero 01 – 2008.1

VOIGT, W.. South African National Institute of Biodiversity and Plant. Harold Porter NBG, Dezembro 2007.  
<http://www.plantzafrica.com/plantefg/euphorbtirucal.htm>.  
acesso em 28/06/2011.

WEBSTER, G. L. The Genera of *Eufhorbiaceae* in the Southeastern United States – *Journal of de Arnold Arboretum*, v.48, ed 33. pp 303-361, 1967.

<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/gipsita.pdf> acesso em 11/04/2011

[http://www.sindusgesso.org.br/polo\\_gesseiro.asp](http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp) acesso em: 11/04/2011, as 16:45h.

<http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/Seringueira/Seringueira.htm> - acesso em 28/06/2011