



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

– MESTRADO –

**DESENVOLVIMENTO DE ADITIVO PLASTIFICANTE E
RETARDADOR DE PEGA PARA GESSO A PARTIR DA
MUCILAGEM DA PALMA FORRAGEIRA**

Por

Aline Gomes de Sousa Monteiro

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba

para obtenção do grau de Mestre

**João Pessoa – Paraíba
Setembro de 2015**



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

– MESTRADO –

**DESENVOLVIMENTO DE ADITIVO PLASTIFICANTE E
RETARDADOR DE PEGA PARA GESSO A PARTIR DA
MUCILAGEM DA PALMA FORRAGEIRA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Aline Gomes de Sousa Monteiro

Orientador: Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

**João Pessoa – Paraíba
Setembro de 2015**

M775d Monteiro, Aline Gomes de Sousa.
Desenvolvimento de aditivo plastificante e retardador de
pega para gesso a partir da mucilagem da palma forrageira /
Aline Gomes de Sousa Monteiro.- João Pessoa, 2015.
99f. : il.
Orientador: Normando Perazzo Barbosa
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT
1. Engenharia civil e ambiental. 2. Gesso. 3. Mucilagem.
4. Palma forrageira. 5. Aditivo.

ALINE GOMES DE SOUSA MONTEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE ADITIVO PLASTIFICANTE E
RETARDADOR DE PEGA PARA GESSO A PARTIR DA
MUCILAGEM DA PALMA FORRAGEIRA**

Aprovada em 30 de SETEMBRO DE 2015

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. NORMANDO PERAZZO BARBOSA - UFPB

(Orientador)


Prof. Dr. GIBSON ROCHA MEIRA - UFPB

(Membro Interno)



Prof. Dr. KHOSROW GHAVAMI – PUC-RJ

(Membro Externo)

*Dedico este trabalho à todos que
acompanharam e auxiliaram em minha
jornada, em especial à minha família e ao
meu filho Igor.*

AGRADECIMENTOS

Este trabalho envolveu atividades de laboratório, realizadas com a ajuda de pessoas essenciais para que cada etapa fosse realizada corretamente. Os ensinamentos, o companheirismo e a transmissão de alegria também foram essenciais para que esta dissertação de mestrado fosse concretizada. Por isto, aproveito esta página para prestar meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente agradeço a Deus pelas oportunidades que tem me concedido a cada dia, não só nas questões acadêmicas, mas também em todas as áreas da minha vida.

Ao meu filho Igor, que me impulsiona a cada dia, sempre estando ao meu lado, acompanhando meus passos, sendo minha companhia inseparável, o meu grande amor.

Ao meu namorado Diego, exemplo de companheirismo, que sempre esteve ao meu lado, me oferecendo apoio, carinho e força para prosseguir, enfrentando comigo todos os obstáculos impostos pela vida e fazendo que eu sempre siga o caminho do sucesso.

Ao meu querido Pai Beto e minha querida mãe Eliane, que diante de tudo não mediram esforços para eu prosseguir por esse caminho, sempre foram a base de todas as escolhas, e sem contestar me apoiaram e confiaram em meu potencial. Se hoje cheguei a esse patamar, devo muito aos dois, e como forma de contribuição deixo aqui o meu MUITO OBRIGADA!

Ao Professor Normando Perazzo Barbosa, pela orientação deste trabalho, pela transmissão de conhecimentos e de solidariedade, pela dedicação à pesquisa, e acima de tudo, pelo apoio constante, para que, mesmo com toda dificuldade, tudo desse certo.

Ao Professor Ulisses Targino Bezerra, que me direcionou sempre quando necessário, na ausência do Professor Normando Perazzo.

Ao Professor José Carlos, por ceder seu laboratório, seu tempo e seus conhecimentos.

À todos que fazem parte LABEME (Laboratório de Ensaios de Materiais e Estrutura), todos da UFPB, em especial o técnico Gato, Delbi, Sebastião, Ricardo e Seu Cláudio, pelo apoio, plena disposição para me ajudar quando necessário e pela troca de conhecimentos.

Aos colegas e amigos da turma do mestrado, em especial ao aluno de Doutorado Jesus Charles do Amaral Nogueira, que me norteou com seus amplos conhecimentos no assunto.

A todos os amigos que também ajudaram de maneira indireta na realização deste trabalho.

Pesquisa é Amor. Amor é entrega total. É não ser mais um, é ser dois em um. É ultrapassar a própria vida, transitória e mortal. É renunciar a si mesmo...

Caboclo Aymoré

RESUMO

O uso de gesso na construção civil vem crescendo desde 1990. O revestimento de gesso atual possui rápida e fácil aplicação e está sendo muito utilizada na construção civil devido ao seu baixo custo. No entanto, a execução deste revestimento gera um enorme volume de resíduos, já que possui alta velocidade de endurecimento e ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que possibilitem a sua reutilização. Para reduzir os resíduos gerados pela confecção do gesso, é necessário a adição de um aditivo retardador que propicie aumento no tempo de pega, oferecendo mais tempo de trabalhabilidade do produto. Diante essa situação, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um aditivo retardador plastificante para blocos de gesso a partir da mucilagem da Palma Forrageira *Opuntia Ficus Indica* e a avaliação do seu desempenho através de testes em laboratório. Nos procedimentos metodológicos foram seguidas as seguintes etapas: processo de extração da mucilagem da palma, ensaios de massa específica do aditivo e determinação de ph, como também a aplicação na pasta de gesso para os ensaios de tempo de pega, absorção, compressão e consistência. Com base nos resultados pode-se concluir que o aditivo para ser utilizado como retardador e plastificante obteve valores satisfatórios para o uso. A avaliação do tempo de pega confirmou sua ação retardadora no tempo de início de pega e final de pega. No ensaio de resistência à compressão, quanto menor a porcentagem utilizada do aditivo, maior a resistência. O ensaio de absorção mostrou que o corpo de prova com maior umidade era o que continha a relação a/g maior, e o menor valor corresponde a menor quantidade de água com a adição do aditivo. Quanto ao ensaio de consistência, as pastas com a adição do aditivo possuíram valores satisfatórios comparados aos valores de referência.

PALAVRAS-CHAVE: Gesso. Mucilagem. Palma Forrageira. Aditivo.

ABSTRACT

The use of gypsum in the building industry has been growing since 1990. The current plaster coating quick and easy application and is being widely used in construction due to its low cost. However, implementation of this coating generates a huge amount of waste, since it has high speed hardening and have not yet developed economically feasible technologies or applications that allow its reuse. To reduce the waste generated by the production of gypsum, adding a fire retardant additive that provides increased setting time is needed, offering longer workability of the product. This study aims to develop an additive retardant plasticizer for gypsum blocks from the mucilage of *Opuntia Ficus Indica* forage Palma and the evaluation of their performance through laboratory tests. The following steps were followed: Processed palm mucilage extraction, specific additive mass testing and determination of pH, application in gypsum slurry for setting time tests, absorption, compression and consistency. Based on the results it can be concluded that the additive to be used as fire retardant and plasticizer values obtained satisfactory for use. The setting time of the evaluation confirmed their retarding action on the handle start and end time grip. In compression analysis, the smaller the percentage of the additive used, greater strength. The absorption test showed that the specimen was more moisture containing the A(wather) / G(Gipsum) ratio largest and the smallest value corresponds to the smallest amount of water with the addition of the additive. As for the consistency test, the pulp with the addition of the additive possessed satisfactory values compared to reference values.

KEYWORDS: Plaster. Mucilage. Forage Palma. Additive.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 01 Fluxograma do Processo de Produção do Gesso | 24 |
| Figura 02 Gesseira no Pólo Gesseiro do Araripe | 25 |
| Figura 03 Variedades de Gipsita a) cocadinha; b) rapadura; c) pedra Johnson | 27 |
| Figura 04 Compósito do gesso com adição da água | 30 |
| Figura 05 Curva de hidratação | 33 |
| Figura 06 Cladódio da Palma | 36 |
| Figura 07 Espécies de Cactos dominantes no Nordeste Brasileiro | 37 |
| Figura 08 Espinhos da Palma | 37 |
| Figura 09 Palma cultivada em Juazeirinho – PB | 42 |
| Figura 10 Palma Triturada para a retirada do sumo | 44 |
| Figura 11 Modelo para extração com garrafa PET | 45 |
| Figura 12 Prensa de Cana de Açúcar usada para extração da Mucilagem | 45 |
| Figura 13 Raquetes de Palma Forrageira – <i>Opuntia Ficus-indica</i> | 46 |
| Figura 14 Palmas sem espinhos e cortadas em cubos | 47 |
| Figura 15 Raquetes de Palma cortadas em cubos dispostos no recipiente captador da Mucilagem | 47 |
| Figura 16 Blocos moldados em formas metálicas | 47 |
| Figura 17 Pulverização do gesso na água | 49 |
| Figura 18 a) Água e aditivo para a homogeneização; b) Mistura da água e da mucilagem; c) Homogeneização da água e da mucilagem | 50 |
| Figura 19 Água e aditivo para a homogeneização | 50 |
| Figura 20 Blocos Cúbicos Moldados | 51 |
| Figura 21 a) Valor do peso do Picnômetro vazio; b) Valor do peso do Picnômetro com água destilada; c) 5Valor do peso do Picnômetro com a mucilagem | 51 |
| Figura 22 Medição de pH | 53 |
| Figura 23 Ensaio do tempo de Pega | 53 |
| Figura 24 Ensaio do tempo de Pega com o aparelho de VICAT | 54 |
| Figura 25 Esquema da mesa de consistência..... | 57 |

| | |
|--|----|
| Figura 26 Processo do Ensaio de Consistência. a) Mesa de Consistência. b) Moldagem do recipiente. c) Recipiente cheio..... | 58 |
| Figura 27 Equipamento para o ensaio de Microscopia eletrônica de varredura | 58 |
| Figura 28 Palma em descanso com fungos..... | 59 |
| Figura 29 a) Extração da mucilagem (Peneira e Recipiente); b) Mucilagem ... | 60 |
| Figura 30 Processo do Ensaio de Consistência | 61 |
| Figura 31 Valor Médio do Espalhamento | 63 |
| Figura 32 Comparação do Ensaio de consistência R.0,4 e OS.0,4.1% | 64 |
| Figura 33 Comparação do Ensaio de consistência R.0,5 e OS.0,5.1% | 64 |
| Figura 34 Ensaio de consistência com 0,6 a/g e 1% de aditivo | 65 |
| Figura 35 Valores médios do ensaio de absorção..... | 65 |
| Figura 36 Valores de absorção do gesso sem o aditivo | 68 |
| Figura 37 Valores de absorção com a variação da percentagem de aditivo e a/g 0,4 e 0,5 | 69 |
| Figura 38 Valor Médio do ensaio de Resistência à Compressão | 71 |
| Figura 39 Valor Médio do ensaio de Compressão | 72 |
| Figura 40 Variação dos tempos de início e fim de pega com relação a/g - valores de referência | 74 |
| Figura 41 Tempos de início e fim de pega das pastas com 1% de aditivo | 75 |
| Figura 42 Valores médios do tempo de Pega | 75 |
| Figura 43 Micrografia obtida em microscopia eletrônica de varredura a/g=0,6 | 76 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 01 Principais usos de Gipsita e do Gesso..... | 20 |
| Tabela 02 Composição química teórica da gipsita | 22 |
| Tabela 03 Propriedades Físicas do Mineral Gipsita | 22 |
| Tabela 04 Composição Química média para os depósitos de Gipsita do Araripe | 27 |
| Tabela 05 Grupos Experimentais do Ensaio de Compressão..... | 55 |
| Tabela 06 Valores do diâmetro no Ensaio de Consistência | 62 |
| Tabela 07 Resultado do teor de umidade no Ensaio de Absorção | 67 |
| Tabela 08 Resultado da ANOVA para o ensaio de absorção | 70 |
| Tabela 09 Valores do Ensaio de Compressão | 70 |
| Tabela 10 Resultado do teste estatístico do ensaio de Resistência à Compressão | 72 |
| Tabela 11 Valores de Tempo de Pega | 73 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|--|
| CaO | Óxido de cálcio – Cal livre |
| CaSO₄ | Sulfato de Cálcio |
| CaSO_{4·0,5H₂O} | Sulfato de cálcio hemi-hidratado – gesso |
| CaSO_{4·2H₂O} | Sulfato de cálcio di-hidratado – Gipsita |
| CO₂ | Dióxido de carbono |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| H₂O | Água |
| MEV | Microscópio Eletrônico de Varredura |
| MgO | Óxido de Magnésio |
| NaCl | Cloreto de Sódio |
| NBR | Norma Brasileira |
| SiO₂ | Dióxido de silício |
| SO₃ | Trióxido de enxofre – Anidrido sulfúrico |
| SO₂ | Dióxido de enxofre |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 16 |
| 2 | OBJETIVOS | 18 |
| 2.1 | Objetivos Gerais | 18 |
| 2.2 | Objetivos Específicos | 18 |
| 3 | REVISÃO DE LITERATURA | 19 |
| 3.1 | Gesso | 19 |
| 3.1.1 | Características do Gesso | 21 |
| 3.1.2 | Obtenção do Gesso | 24 |
| 3.1.3 | Gesso no Brasil | 25 |
| 3.1.3.1 | <i>Polo de Araripe</i> | 26 |
| 3.1.4 | Questão Ambiental | 29 |
| 3.1.4.1 | <i>Reciclagem do Gesso</i> | 29 |
| 3.1.5 | Hidratação | 31 |
| 3.2 | Aditivo | 34 |
| 3.3 | Cactáceas | 36 |
| 3.3.1 | Morfologia dos Cactos | 37 |
| 3.3.1.1 | <i>Palma Forrageira</i> | 39 |
| 3.3.2 | Utilização dos Cactos na Construção Civil | 42 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS | 44 |
| 4.1 | Materiais | 44 |
| 4.1.1 | Gesso | 44 |
| 4.1.2 | Palma Forrageira | 44 |
| 4.1.3 | Água | 45 |
| 4.2 | Metodologia | 45 |
| 4.2.1 | Obtenção da Mucilagem | 45 |
| 4.2.2 | Processo Experimental | 52 |
| 4.2.3 | Massa Específica do Aditivo | 57 |
| 4.2.4 | Determinação do pH | 58 |
| 4.2.5 | Ensaio de Consistência | 59 |
| 4.2.6 | Ensaio de Absorção | 60 |
| 4.2.7 | Resistência à Compressão | 60 |

| | |
|--|------------|
| 4.2.8 Ensaio de Tempo de Pega | 62 |
| 4.2.9 Microscopia eletrônica de varredura – MEV..... | 64 |
| 4.2.9 Conservante | 64 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 66 |
| 5.1 Massa Específica | 66 |
| 5.2 Determinação de pH | 66 |
| 5.3 Ensaio de Consistência | 66 |
| 5.4 Ensaio de Absorção | 70 |
| 5.5 Resistência à Compressão | 74 |
| 5.6 Ensaio de Tempo de Pega | 77 |
| 5.7 Microscopia eletrônica de varredura – MEV..... | 81 |
| 5.8 Conservante..... | 82 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 86 |
| 7 FUTURAS PROPOSTAS | 87 |
| REFERÊNCIAS | 88 |
| APÊNDICE A - DETALHAMENTO DO ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA ... | 94 |
| APÊNDICE B - VALORES MÉDIOS DE TEMPO DE PEGA | 95 |
| APÊNDICE C - VALORES MÉDIOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO | 96 |
| APÊNDICE D - VALORES MÉDIOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO | 97 |
| APÊNDICE E - FRX – FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X | 98 |
| APÊNDICE F - ENSAIO DE ABSORÇÃO COM MUCILAGEM DA PALMA DE JOÃO PESSOA | 100 |
| APÊNDICE G - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COM MUCILAGEM DA PALMA DE JOÃO PESSOA | 101 |
| APÊNDICE H - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV ... | 102 |

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de materiais e produtos construtivos de menor impacto ao meio ambiente e que apresentem boas propriedades térmicas e acústicas, resistência adequada e sejam de fácil disponibilidade é uma necessidade nos dias de hoje, marcados pelos movimentos ambientalistas.

A busca pela viabilidade técnica e econômica da utilização de novos materiais e resíduos na cadeia produtiva da construção civil tem a intenção de promover um crescimento econômico integrado às necessidades sociais e ambientais e atender às novas necessidades do setor construtivo. O gesso é um material de ampla aplicação no setor da construção com grande potencial de crescimento. Produzido a partir da gipsita, é composto basicamente por sulfato de cálcio di-hidratado, em um processo produtivo relativamente simples e de baixo custo energético em relação a outros aglomerantes. A reversibilidade de suas reações de transformação possibilita o máximo aproveitamento do material, o que aumenta a possibilidade de reintegração no processo produtivo, minimizando os impactos ambientais de produção.

O gesso possui propriedades específicas que podem ser favoráveis e desfavoráveis à construção civil como: elevada plasticidade da pasta, pega e endurecimento rápido, não apresenta retração na secagem, tendo estabilidade volumétrica após o endurecimento. Tem desempenho satisfatório quando utilizado como aglomerante na fabricação de pré-moldados ou aplicado como revestimento. Porém, devido ao seu endurecimento rápido, há um desperdício de material muito grande, devido ao pouco tempo disponível para aplicação, limitando o uso do material.

Antigamente, as Palmas Forrageiras eram utilizadas na construção civil através da extração de seu suco usado para melhorar propriedades ligantes das construções em terra crua. Essa cactácea exótica originária do México está presente em todos os continentes com diversas finalidades. Consolidou-se no semi-árido nordestino e está enquadrado como uma estratégica fundamental em diversos sistemas de produção para múltiplas utilidades, podendo ser usada na alimentação humana, na produção de medicamentos, cosméticos e

corantes, na conservação e recuperação de solos, cercas vivas, paisagismo, além de uma infinidade de usos. Segundo dados do Instituto Agronômico de Pernambuco (2013), cultivos bem conduzidos de palma forrageira produzem uma biomassa superior a 150 toneladas de matéria verde/ha/ano (ou 15 toneladas de matéria seca/ha/ano). Os estados de maior produção no Nordeste são Alagoas e Pernambuco. A palma contém dentro dela uma mucilagem de propriedades que merecem melhor serem estudadas e este trabalho propõe um aproveitamento dessa mucilagem para melhorar as propriedades físicas das pastas de gesso.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho foi desenvolver um aditivo retardador e plastificante para o gesso, e avaliar seu desempenho através de ensaios laboratoriais.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Fazer um estudo preliminar sobre os tipos de Palma encontrados na região Nordeste, priorizando a Paraíba e seus estados limítrofes;
- b) Fazer uma revisão bibliográfica sobre o uso da mucilagem da Palma em tecnologias antigas;
- c) Desenvolver um método de extração da mucilagem da Palma Forrageira;
- d) Caracterizar a mucilagem fisicamente;
- e) Otimizar o uso da mucilagem em pastas de gesso;
- f) Avaliar a influência da mucilagem com ação plastificante e retardadora em pastas de gesso;
- g) Verificar a eficiência do produto em relação à pastas de gesso;
- h) Propor faixas de aplicação ideais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Gesso

O gesso é utilizado como material construtivo desde o período neolítico, no início do uso da pirotecnia (GOURDIN; KINGERY, 1975). Segundo Gourdin e Kingery foram encontradas amostras datadas de 6000 a.C., relativas às ruínas da cidade de Jericó, que evidenciam o uso do gesso em moldagem de recipientes e modelagens de afrescos, e o emprego em argamassas de revestimento em ruínas na Síria e na cidade de Anu, no sul do Turquestão. O uso do gesso como material construtivo remonta ao ano 7000 a.C., tendo sido identificada sua presença em amostras de materiais oriundos de ruínas na Turquia (Anatólia) e na Síria.

Conforme descrito por Peres, Benachour e Santos (2008), foram encontrados provas deste material na construção da pirâmide de Quéops, localizado no Egito, no ano de 2.800 antes da era cristã.

A partir da invasão romana, a utilização do gesso se difundiu pela França e Península Ibérica, que iniciou o conhecimento em construções com gesso, classificados como “pedreiros do gesso”, que utilizavam o material para revestir a madeira. Só no Século X o gesso voltou a ser utilizado nas construções, principalmente na França (KANNO, 2009). Durante este período também pôde observar o emprego do gesso no Vale de M’zab na África (Argélia), onde o material era empregado na construção de barragens e canais que asseguravam a irrigação das palmeiras em torno das quais eram construídas habitações em blocos de adobe unidos com gesso (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2001).

Uma carta real de França mencionava a exploração de 18 jazidas de “pedra de gesso” na região parisiense, no ano de 1292, evidenciando a grande demanda desse material. A partir do século XII, o gesso foi empregado na produção de argamassas e na colocação de placas de madeira para fechamento de ambientes. Durante o século XIII e o século XVIII, foi utilizado como elemento decorativo em toda a Europa (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2001), logo o gesso passou a ser conhecido como gesso paris ou “plaster of Paris” (CINCOTTO; AGOPYAN;

FLORINDO, 1988), sendo muito utilizado em painéis de madeira e argamassas (ANGELERI; CARDOSO; SANTOS, 1982).

Os primeiros estudos científicos relacionados ao gesso foi elaborado por Lavoisier, século XVIII e início do século XIX, sobre os fenômenos relacionados à origem da preparação do gesso, seguido por Vant'Hoff e Le Chatelier (1887), que elaboraram uma explicação científica sobre a desidratação da gipsita e a hidratação do gesso (JOHN; CINCOTTO, 2007 *apud* SANTOS, 2001; SNIP, 1982).

Com o desenvolvimento industrial, novas tecnologias foram agregadas à produção do gesso, transformando-o num material com maior qualidade e desempenho adequado a novas aplicações (CINCOTTO; AGOPYAN; FLORINDO, 1988).

Atualmente, no século XXI, na busca de materiais que empregam menor quantidade de combustível em seu processo de produção e que minimizam o uso de recursos naturais, o gesso desponta como um material com grande potencial de utilização, por possuir baixo consumo energético e grandes possibilidades de reciclagem, tornando viável sua utilização como material construtivo por um longo período de tempo, tendo em vista a quantidade de matéria-prima disponível (JOHN; CINCOTTO, 2007)

Na tabela 01 podemos observar as utilizações do gesso em vários seguimentos.

Tabela 01: Principais usos de Gipsita e do Gesso.

| SEGMENTOS | DESCRÍÇÃO |
|------------------|--|
| Construção Civil | Utiliza produtos pré-fabricados para a construção civil – pranchas, blocos e placas, gesso acartonado e chapas de fibra prensada para paredes, e para revestimento de alvenarias convencionais, além da fabricação de cimento. |
| Agricultura | Utiliza a gipsita molda, conhecida como gesso agrícola, para neutralizar os solos alcalinos e salinos e, melhorar a permeabilidade de solos argilosos, contribuindo com o enxofre. |
| Química | A gipsita pode ser utilizada como matéria prima para a produção de enxofre, ácido sulfúrico, cimento e sulfato de |

| | |
|--------------------|--|
| | amônio. |
| Papel | O gesso pode ser utilizado como carga na produção de papel. |
| Tintas | O gesso pode ser utilizado como carga de tinta. |
| Tratamento de Água | O gesso pode ser utilizado para modificar a qualidade da água, principalmente na correção de dureza. |
| Cerâmica | Utilizado nos processos de colagem e prensagem. |
| Medicina | O gesso é utilizado na produção de próteses provisórias em ambientes laboratoriais. |

Fonte: Peres, Benachour e Santos (2008)

3.1.1 Características do Gesso

Segundo Munhoz (2008), a gipsita (sulfato de cálcio dihidratado) é um material abundante em todo o planeta e sua extração mundial é em torno de 97 milhões de toneladas por ano. A gipsita é o *gesso natural* que se encontra em terrenos sedimentares, onde no passado existiram oceanos.

As jazidas têm na sua estrutura camadas intercaladas de argila, carbonatos, sílex, e minerais evaporíticos, tais como, halita e anidrita (sulfato de cálcio sem moléculas de água). Sob diferentes condições de pressão e temperaturas as camadas das jazidas tendem a sofrer deformação. A gipsita pode transformar-se em Anidrita. Na superfície terrestre, em contato com a água a anidrita pode sofrer uma rehidratação e voltar a forma de gipsita (CALVO, 2002).

Por se tratar em um mineral com pouca resistência e com grande facilidade de desidratação e rehidratação, sob a ação do calor, a 160°C a gipsita dá origem ao Gesso. Portanto, o mineral natural chama-se Gipsita e o material calcinado de o Gesso. (LYRA SOBRINHO et al., 2001)

A gipsita perde 3/4 da água de cristalização durante o processo de calcinação, convertendo-se a um sulfato semi-hidratado de cálcio (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2008). Quando o gesso é misturado com uma quantidade considerável de água ele se transforma em uma pasta homogênea e consistente e

trabalhável. Em poucos minutos perde a consistência, ganhando viscosidade, aumentando sua resistência e endurecimento. O mecanismo de hidratação é o que resulta no ganho de viscosidade, tempo de pega inicial, endurecimento e aumento de resistência da pasta, tempo de pega final (HINCAPIE & CINCOTTO, 1997 apud MUNHOZ, 2008).

Na tabela 02 tem-se a composição química da gipsita pura e na tabela 03 algumas propriedades físicas.

Tabela 02: Composição química teórica da gipsita.

| COMPOSTO | COMPOSIÇÃO (%) |
|------------------|----------------|
| CaO | 32,5 |
| SO ₃ | 46,6 |
| H ₂ O | 20,9 |

Fonte: Baltar; Basatos; Luz (2008).

Tabela 03: Propriedades Físicas do Mineral Gipsita.

| PROPRIEDADES | CARACTERÍSTICAS |
|-----------------------------------|--|
| Cor | Variável, podendo ser incolor, branca, cinza e outras (dependendo das impurezas) |
| Brilho | Vitreo, nacarado e sedoso |
| Dureza (Escala de Mohs) | 2 |
| Densidade | 2,3 |
| Hábito | Prismático |
| Clivagem | Em quatro direções |
| Morfologia e tamanho dos Cristais | Varia de acordo com as condições e ambientes de formação |

Fonte: Dana (1976), apud Baltar; Basatos; Luz (2008).

No processo de endurecimento do gesso, a velocidade de crescimento dos grãos influencia na sua propriedade mecânica. O endurecimento e a cristalização ocorrem pelos núcleos que vão se expandindo. Um grande número de núcleos gera uma grande quantidade de cristais em pequenas dimensões. Esse acontecimento de

forma rápida pode suceder em núcleos mal formados, diferente de lentamente que possui menos imperfeições (AGOPYAN, 1990 apud MAGALHÃES, 2009).

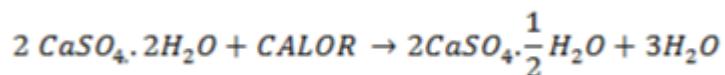
Segundo Canut (2006) a microestrutura da gipsita, em seu estado natural, é constituída de cristais geminados de sistema monoclínico.

A estrutura do sulfato de cálcio di-hidratado é composta por duas camadas de grupos SO_4 , que estão unidas entre si fortemente por íons de cálcio formando um estrato, que por sua vez, estão devidamente unidos por uma camada de moléculas de água, e cada uma se une a um íon de cálcio com um oxigênio do seu mesmo estrato e com um ou outro oxigênio do estrato vizinho (ALTABA, 1980 apud CANUT, 2006).

3.1.2 Obtenção do Gesso

Segundo Baltar et al. (2005), a triagem da gipsita é feita através da seleção manual, britagem, moagem e peneiramento. Em alguns casos a britagem é feita em dois estágios, circuito fechado e peneiras vibratórias a seco. O produto resultante deve apresentar distribuição granulométrica uniforme, com intuito de evitar uma desidratação desigual para as partículas de gipsita.

O gesso é obtido da moagem e posteriormente da calcinação do minério gipsita, que consiste na desidratação no mineral, que perde $\frac{3}{4}$ da água, transformando-se em Sulfato de Cálcio semi-hidratado, como mostra a equação (KANNO, 2009):



Na Figura 01 tem-se o fluxograma de obtenção do gesso e seus produtos. Note-se que na produção do gesso, há liberação de vapor de água na atmosfera, contrariamente a produtos como cimento Portland e cal que emitem gás carbônico.

Figura 01: Fluxograma do Processo de Produção do Gesso



Fonte: Peres, Benachour e Santos (2008)

3.1.3 Gesso no Brasil

O Brasil possui maior parte da reserva de Gipsita no mundo, porém só representa 1,4% da produção mundial (LYRA SOBRINHO, 2004). A exploração da Gipsita localiza-se, principalmente, no Nordeste Brasileiro, em Pernambuco, com mais de 90% da produção nacional. A segunda localidade mais importante de exploração do gesso encontra-se no estado do Maranhão, e a terceira no estado do Ceará.

A mineração nesses estados é feita de forma mecanizada, que se utiliza de equipamentos como rompedores hidráulicos, martelos (vagon drill), tratores de esteira e pás mecânicas (PERES, BENACHOUR E SANTOS, 2008).

A viabilidade econômica de exploração das reservas de gipsita depende de alguns fatores: sua localização, existência de infraestrutura, facilidade de exploração e pureza de seu minério. O estado do Pará possui fatores impeditivos, como a distância dos centros consumidores, a deficiência de infraestrutura e as restrições ambientais, já que sua localização é no interior de uma floresta nacional (BRASIL, 2001, 2009); no estado da Bahia, na região de Camamú, desponta como uma região com grandes perspectivas para exploração, porém algumas restrições técnicas relacionadas à extração vêm retardando o processo de exploração na região (BRASIL, 2009). Em 2001 foram estimadas as reservas que possuíam melhores condições de exploração econômica destacando-se o Polo de Araripe (BRASIL, 2001).

3.1.3.1 *Polo de Araripe*

O Estado do Pernambuco é responsável por cerca de 95% da produção nacional de Gesso, a maior parte localizada no região do Sertão do Araripe, possuindo grandes reservas de gipsitas, como apresenta a Figura 02 (BALTAR et al., 2005).

Figura 02: Gesseira no Pólo Gesseiro do Araripe



Fonte: PINHEIRO, 2011.

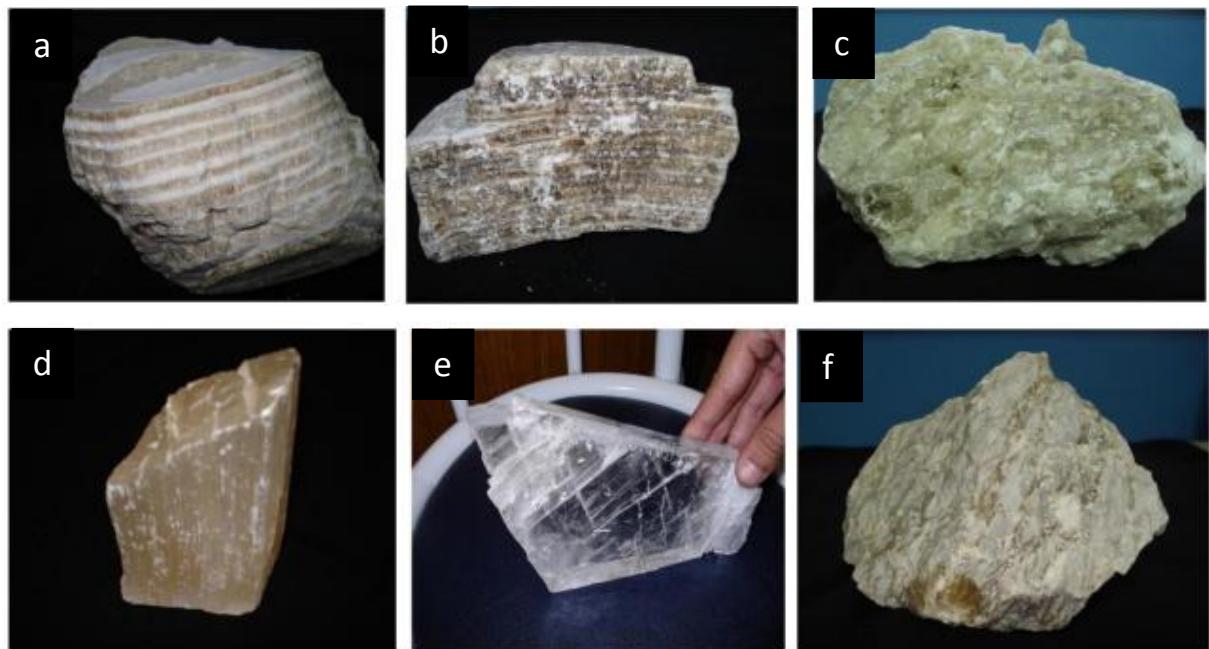
De acordo com o Sindicato das Industrias de Extração e beneficiamento de gipsita, calcários, derivados de Gesso e de minerais não-metálicos do Estado de Pernambuco, Sisdugesso (2011), o polo gesseiro de Araripe é formado por 39 minas em atividades, 139 unidades de industrialização de calcinação e 726 indústrias de pré-moldados. Em 2008, a produção de gesso foi de 5,5 milhões de toneladas diversificando em placas e blocos com 61%, 35% para revestimento, 3% para moldes cerâmicos e 1% para outros usos.

O Pólo de Araripe possui uma excelente qualidade industrial, em face da quantidade de sulfatos, da ordem de 90% a 95%, enquanto uma quantidade desprezível de 0,5% são encontradas impurezas de origem terrígenas (MENOR, 1995 apud LYRA SOBRINHO et al., 2001).

Nas jazidas do Araripe, Estado de Pernambuco, tem cinco variedades mineralógicas de gipsita, conhecidas popularmente por: cocadinha, rapadura, pedra branca (Johnson), pedra ruim e alabastro, cuja características e aplicações são descritas a seguir (BALTAR et al., 2004 apud BALTAR; BASATOS; LUZ, 2008).

- a) Cocadinha - variedade mineralógica de gipsita estratificada, com presença rara de filmes de argila verde (Figura 03a);
- b) Rapadura - variedade mineralógica de gipsita estratificada, com presença de filmes milimétricos de argila verde (Figura 03b);
- c) Estrelinha – variedade mineralógica de gipsita que apresenta cristais radiados em forma de estrelas;
- d) Pedra Johnson - variedade mineralógica de gipsita, com alto grau de pureza, e estrutura cristalina em forma de nódulos e estrela (Figura 03c);
- e) Alabastro - variedade mineralógica de gipsita, fibrosa, maciça e transparente (Figura 04a);
- f) Selenita - variedade mineralógica de gipsita, incolor e transparente (Figura 04b);
- g) Boró – mistura de alabastro e argila;
- h) Anidrita – variedade mineralógica constituída de sulfato de cálcio (Figura 04c);

Figura 03: Variedades de Gipsita: a) cocadinha; b) rapadura; c) pedra Johnson d) alabastro; e) selenita; f) anidrita.



Fonte: PINHEIRO, 2011.

Na tabela 04 pode-se analisar a estrutura química dos polos de gipsita de Araripe.

Tabela 04: Composição Química média para os depósitos de Gipsita do Araripe.

| DETERMINAÇÕES | VALORES (%) |
|---|-------------|
| Umidade a 60% | 0,08 |
| Água combinada a 200°C | 19,58 |
| Perda de fogo a 100°C | 1,62 |
| Resíduos Insolúveis | 0,28 |
| Sílica em SO ₂ | 0,32 |
| Ferro a Alumínio em R ₂ O ₃ | 0,20 |
| Cálcio em CaO | 32,43 |
| Magnésio em MgO | 0,31 |
| Sulfato em SO ₃ | 45,04 |
| Cloreto em NaCl | 0,15 |
| Teor de Gipsita (média) | 98,65 |

Fonte: Peres, Benachour, Santos (2008)

3.1.4 Contribuição Ambiental

O gesso pode ser considerado mais amigável ao ambiente que outros ligantes industriais. A produção de gesso emite vapor d' água na atmosfera o o cimento

Portland a contamina com CO₂. Enquanto a produção de cimento Portland exige temperaturas superiores aos 1400 graus °C e complexas e concentradas instalações industriais, o gesso pode ser facilmente obtido em temperaturas da ordem de 160 °C. Além disso, os resíduos da aplicação do gesso ou de demolições podem ser reaproveitados através de nova calcinação. Portanto, sendo menos danoso ao meio ambiente é um material que merece maiores aplicações na Engenharia.

Porém, o gesso por ser um material ligeiramente solúvel, modifica a alcalinidade do solo e contamina os lençóis freáticos (FIANO E PIMENTEL, 2009), através de SO₄ que ele libera.

Segundo Jonh e Cincotto (2003), o gesso em contato com umidade e em condições anaeróbicas, com bactérias redutoras de sulfatos e baixo pH, condições encontradas frequentemente em aterros sanitários e lixões, pode formar gás sulfúrico, que possui odor similar a de um ovo podre, sendo tóxico e inflamável.

3.1.4.1 Reciclagem do Gesso

O desenvolvimento sustentável da cadeia depende da sustentabilidade de cada segmento. Os principais elementos a serem controlados, para alcançar este modelo de desenvolvimento, são: (a) a redução do uso de recursos naturais; (b) a redução de consumo energético; (c) a redução da geração de resíduos; (d) a reutilização e a reciclagem, entre outros (DEGANI, 2003).

Entre os diferentes segmentos da construção civil, o gesso apresenta um grande potencial de contribuição para a sustentabilidade, devido ao baixo consumo energético do processo de produção e da viabilidade de reciclagem dos resíduos gerados ao longo de sua cadeia produtiva (JOHN; CINCOTTO, 2007).

A Resolução 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos de construção civil. Os resíduos de gesso eram classificado como Classe C – resíduos que não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam reciclagem/recuperação. Essa classificação era um empecilho à maior disseminação do gesso na construção. Porém, houve já uma modificação daquele

item da resolução do CONAMA e hoje ele já é considerado um resíduo que pode ser reaproveitado.

Segundo Munhoz (2008), a geração de resíduo é inevitável, já que um produto sempre possui vida útil limitada, transformando-se em resíduo. De acordo com Harada e Pimentel (2009), são geradas 12.000 toneladas de resíduos de gesso por ano na Cidade de São Paulo, que gera um custo de 2,5 milhões para a Prefeitura Municipal. Conforme Jonh e Cincotto (2003), a redução desse desperdício deve ser prioridade da indústria.

Com os dados obtidos pela FINEP HABITARE, Harada e Pimentel (2009) falam que a base de desperdício de gesso na construção civil é 45%, enquanto os fabricantes de gesso em pó estimam perda de 30%.

O gesso possui características físico-químicas que exigem cuidados especiais na sua disposição final, devido ao seu potencial tóxico, à liberação de gases inflamáveis, ao risco de contaminação do solo e do lençol freático, bem como em razão das restrições aos percentuais de uso em agregados reciclados oriundos dos resíduos da construção civil (ARAÚJO, 2004).

O desenvolvimento de técnicas de reciclagem que integre desempenho técnico com proteção ao meio ambiente é uma tarefa complexa e multidisciplinar. É exigível a integração de conceitos, como a análise do ciclo de vida, estudo da durabilidade e análise de risco de contaminação ambiental. Para a construção civil, a reciclagem e o uso dos resíduos resultam no oferecimento de produtos alternativos e de soluções com ganhos de eficiência geral de processo (JOHN, 2000 apud MUNHOZ, 2008).

O processo de reciclagem consome mais energia comparada a trabalhar com a matéria virgem, requer mais mão-de-obra. Necessita de sistemas complexos de coleta e diferentes processamento, visando a eliminação de contaminantes (JOHN e CINCOTTO, 2003).

De acordo com Brasil (2009), o polo gesseiro de Araripe é responsável pela maior parte da produção nacional, sendo desconhecido o volume de resíduos gerados. Segundo informações do Sindugesso e Abragesso *apud* Agopyan et al. (2005), as principais fontes de resíduos de gesso na construção são as atividades

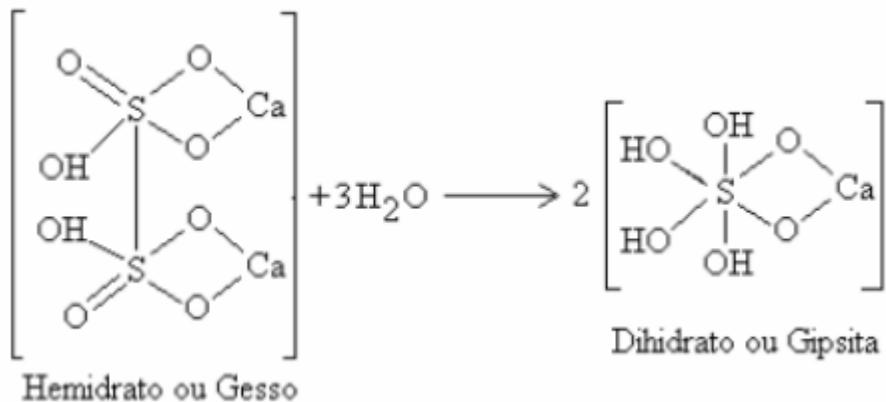
de revestimento com 88%, as chapas de gesso acartonado com 8% e os componentes pré-moldados com 4% da produção.

No Brasil, os resíduos de gesso gerados na construção civil industrial variam de 20% a 30%, dependendo do patamar tecnológico (Pinto 1999). Agopyan et al. (1998) afirmam que, nos canteiros de obra brasileiros, 45% do gesso utilizado é desperdiçado. Cardoso et al. (2009), em pesquisa mais recente, relatam que a perda de gesso no valor de 30%.

3.1.5 Hidratação

A hidratação do gesso apresenta a equação inversa da calcinação. A água é devolvida às partículas e o material retorna a ser gipsita. A Figura 04 ilustra o processo dos compósitos com a adição de água.

Figura 04: Compósito do gesso com adição da água.



Fonte: Moção Junior (2008)

Os primeiros estudos científicos sobre a hidratação do gesso de acordo com Hincapié e Cincotto (1997) foi relatado por Lavoisier em 1798 e Le Châtelier em 1887, com a teoria da cristalização. Nessa teoria, o hemidrato é misturado à água, dissolve-se e forma uma solução supersaturada de íons de SO₄²⁻ e Ca²⁺, que posteriormente precipitam cristais de dihidrato em forma de agulhas entrelaçadas. A hidratação é caracterizada em três fases: hidratação (fenômeno químico) quando

ocorre a dissolução do hemidrato, cristalização (fenômeno físico) e a teoria da cristalização (fenômeno mecânico de endurecimento).

A teoria coloidal, outro mecanismo de hidratação do gesso, tem como base o ganho de consistência inicial da pasta de gesso, anterior à elevação rápida de temperatura que caracteriza a formação dos cristais de gipsita. Segundo essa teoria o mecanismo pode ser compreendido, considerando-se três etapas (SNIP, 1982):

- a) A dissolução – inicialmente a solução é saturada, de forma progressiva, pelos elementos solúveis presentes no material;
- b) A formação de gel – período em que os produtos das reações químicas, no interior da solução saturada, se formam no estado coloidal (na forma de gel).
Corresponde ao início da pega;
- c) A cristalização - período no qual os géis se transformam em cristais.
Corresponde ao período de endurecimento.

Inicialmente as pesquisas adotaram a veracidade da teoria proposta por Le Chatelier, mas seguiram paralelamente ao desenvolvimento coloidal até ser aprimorada e adotada pela maioria dos pesquisadores (SNIP, 1982).

Segundo Karni e Karni (1995) apud Antunes (1999), as etapas da hidratação se destacam em:

- a) Dissolução do hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) na água formando uma solução saturada de íons de Ca^{2+} e SO_4^{2-} (fenômeno químico);
- b) Os novos cristais de dihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se precipitam em forma de agulhas devido a saturação (fenômeno físico da cristalização);
- c) O aumento da concentração dos cristais gera o endurecimento da pasta (fenômeno mecânico do endurecimento).

Esse mecanismo expõe a reação que ocorre com o resíduo de gesso, que é um gesso hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), quando adicionado às pastas, acelerarem o endurecimento. Ele precipita imediatamente em contato com a água, aderindo-se a

novos cristais, endurecendo a pasta enquanto ainda está ocorrendo muitas nucleações.

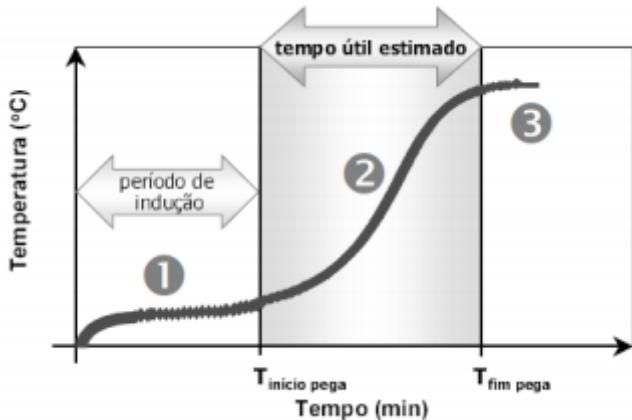
Atualmente, o mecanismo de hidratação do gesso pode ser compreendido considerando a hidratação em quatro etapas (MAGNAN, 1973 apud JONH; CINCOTTO, 2003):

- a) Dissolução;
- b) Período de indução, quando ocorre a estabilização química e física dos hidratos que se organizam formando núcleos de cristalização até a saturação;
- c) Fim da indução e o início de pega, quando ocorre um grande aumento de temperatura devido o aumento de velocidade da reação, ocorre a supersaturação da solução e as agulhas precipitam formando cristais que se agrupam;
- d) Redução da velocidade até o fim da hidratação e é quando ocorre o crescimento dos cristais (até 3 dias), influenciando nas propriedades mecânicas.

De acordo com John e Cincotto (2003) e Kanno (2009), é necessário 18,6g de água para cada 100g de gesso para que ocorra a hidratação, solicitando uma relação entre a massa de água e a de gesso (a/g) de 0,186. Porém, para obter uma pasta com trabalhabilidade são utilizadas relação a/g entre 0,6 e 1,0. A água excedente não reage com o hemidrato e evapora após a cura, gerando porosidade no material. Assim, quanto mais elevada a relação a/g, maior a porosidade, menor contato entre os cristais e maior comprometimento da resistência mecânica do produto final.

O processo de hidratação do hemidrato ocorre em diferentes etapas que pode ser observada através da curva de calor de hidratação de Clifton (1973) apud Antunes (1999) conforme Figura 05.

Figura 05: Curva de hidratação



Fonte: Antunes (1999)

A etapa 01 mostra o período de indução, a etapa 02, a grande hidratação e a etapa 03 a conclusão da hidratação. O tempo de pega registrado corresponde ao intervalo entre o início da variação da temperatura de $0,1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ e a temperatura máxima atingida. Esse intervalo é apontado como o período em que a pasta apresenta-se trabalhável.

3.2 Aditivo

Segundo Muniz (2008), aditivos são substâncias adicionadas às misturas de concretos ou argamassas com objetivo de melhorar certas características básicas ou sanar deficiências que não há como aperfeiçoar com os materiais básicos. São produtos empregados na produção de pastas para modificar certas propriedades do material fresco ou endurecido. Tem como finalidade aumentar a trabalhabilidade ou plasticidade, reduzir o consumo do material, acelerar ou retardar o tempo de pega, reduzir a retração e aumentar a durabilidade.

Aditivo é um material que é adicionado à água, agregado ou cimento, empregado como ingrediente do concreto ou da argamassa, adicionado estes, antes ou durante a mistura. De acordo com Henao e Cincotto (1997), quando adicionados em pequenas quantidades, inferior a 10%, melhoram as propriedades das pastas e argamassas empregadas na construção civil.

O uso de produtos aglomerantes como pedra e areia para elaboração de concreto é utilizado há muito tempo. O uso de elementos para modificar as características são utilizados desde o Império Romano. De acordo com a ABESC, (2000), a adição era feita com substâncias que hoje denominamos de aditivos, sendo eles: Albumina (sangue e clara de ovos) e Álcalis (cal), para plastificar e retardar a pega dos concretos e argamassas feitos à base de cal e pozolanas. Segundo a mesma publicação, no Brasil era utilizado óleo de baleia na argamassa de assentamento para aumentar a plasticidade.

O cimento Portland começou a ser aditivado em 1873, com o acréscimo de cloreto de cálcio e gesso para regular o tempo de pega. No final do século XIX já se utilizavam algumas graxas como plastificantes hidrofugantes de argamassa e concreto. A partir do século XX começou a produção de aditivos plastificantes, impermeabilizantes, aceleradores e retardadores de pega. Os redutores de água tiveram início na década de 70, juntamente na época da produção de aditivos superplastificantes, elevando a redução de água de 6% e 8% para 12%. Esse tipo de aditivo foi introduzido no Brasil, na década de 80, na incorporação de concretos.

No caso do gesso, os retardadores são divididos em dois grupos: os que prolongam o tempo de indução da reação de hidratação sem alterar a velocidade da reação, como é o caso do ácido cítrico e os que diminuem a velocidade da reação, isto é, interferem na cinética de formação da microestrutura do diidrato, como é o caso da caseína (HINCAPIE e CINCOTTO, 1997 apud ANTUNES, 1999), porém para John e Cincotto (2007) apud Trovão (2012) os aditivos retardadores dividem-se em 03 categorias:

- a) No primeiro grupo estão as espécies químicas que reduzem a velocidade de dissolução do hemidrato por introduzirem íons na solução. Retardam a saturação, com isso prolongam a indução. As espécies químicas são ácidos fracos como ácidos cítrico, fórmico, acético, láctico, e seus sais alcalinos, como citratos, acetatos e lactatos. Também o ácido bórico e fosfórico, glicerina, álcool, éter, acetona e açúcar.
- b) No segundo grupo estão às espécies químicas que adicionadas promovem reações complexas, resultando produtos pouco solúveis ou insolúveis em

torno dos cristais e retardam o crescimento dos cristais para posterior precipitação. São eles os boratos, fosfatos, carbonatos e silicatos alcalinos.

- c) No terceiro grupo estão os produtos orgânicos, como proteínas degradadas e alguns colóides, formando um gel em torno do grão de hemidrato, impermeabilizando-o temporariamente, retardando a solubilização e a cristalização do hemidrato. São eles a queratina, caseína, goma arábica, gelatina, pepsina, peptona, albumina, alginatos, proteínas hidrolisadas, aminoácidos e formaldeídos condensados.

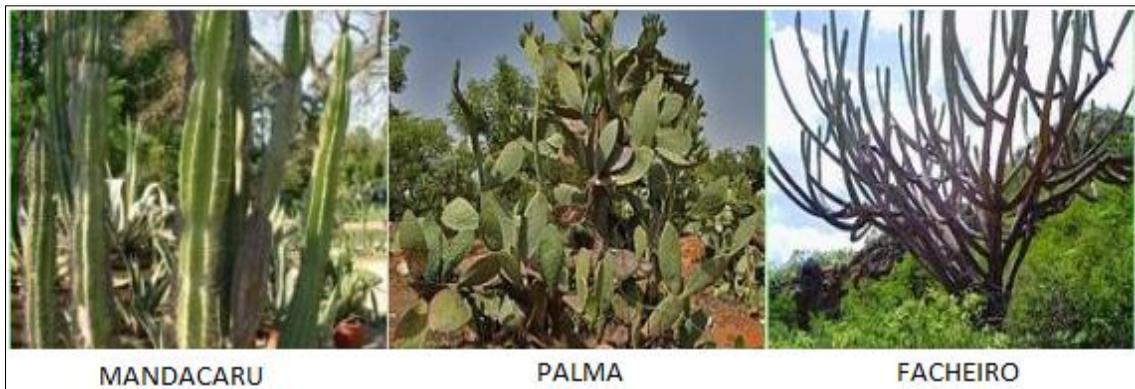
Para a ABESC, os aditivos plastificantes são definidos como produtos cuja função principal é reduzir a água de amassamento para a mesma trabalhabilidade, além de melhorar a coesão, a homogeneidade e diminuir a retração. Basicamente diminui a tensão superficial da água com a consequente dispersão da mesma, proporcionando um melhor aproveitamento do gel (ABESC, Manual Técnico, p. 26).

3.3 Cactáceas

Milhares de espécies de plantas são conhecidas como plantas suculentas. Essas plantas carnudas e ricas em água têm essas características para suportarem grandes períodos de seca (BALLESTER OL莫斯, 1995). Os Cactos ou Cactáceas são as principais espécies. A palavra cacto, do grego Kaktos, significa planta que tem espinhos. De acordo com Takane et. al (2009), sua anatomia é diferente em algumas estruturas, como folhas, caules ou raízes, o que as torna capazes de armazenar água. Além disso, possuem uma especialização fisiológica importante que as permite sobreviver em condições extremas, que é a abertura dos estômatos durante a noite evitando a desidratação durante os períodos mais críticos do dia.

De acordo com Costa (2006), na caatinga do Nordeste Brasileiro ocorre a predominância de cactáceas dos gêneros *Cereus*, *Opuntia* e *Pilosocereus*, dos quais fazem parte o Mandacaru (*Cereus jamacaru*), a Palma (*Opuntia ficus-indica*), com grande destaque na quantidade de cultivo, e o Facheiro (*Pilosocereus pachycladus*), como se observa na Figura 06.

Figura 06: Espécies de Cactos dominantes no Nordeste Brasileiro



Fonte: COSTA (2006)

3.3.1 Morfologia dos Cactos

A resistência à seca envolve aspectos da sua morfologia e fisiologia. São considerados três mecanismos relacionados à seca: resistência, por sua condição xerofítica (tipo de planta que evita a perda de água pela transpiração), tolerância, relacionada a fatores bioquímicos e escape, através de um sistema radicular superficial e ramificado que possibilita o aproveitamento das poucas chuvas.

Devido as suas raízes serem muito finas, longas e bastante ramificadas, faz com que aproveite o indício de umidade. Os caules possuem formatos variados, sendo esféricos, cilíndricos, ovoides, ramificados, poligonais, alados ou sulcados. Sempre obtém a cor verde, são espessos e suculentos, com a função clorifiliana e dar resistência as plantas (INFORMATIVO VERDE, 2015).

Os cládodos são um tipo de modificação caulinar, típica de plantas xerófilas, de clima árido ou semi-árido (Moussa-Ayoub, T et al., 2011). Estes são formados por ramos de caule modificados, que contém clorofila e grande quantidade de água armazenada internamente e funcionam como folhas na sua função fotossintética (Feugang, J et al., 2006).

A Figura 07 apresenta o corte do cladódio da Palma Forrageira (*Opuntia ficus-indica*).

Figura 07: Cladódio da Palma



Fonte: COSTA (2012)

A seiva comumente espessa, com aspecto de gel contribui para a retenção de água, sendo denominada mucilagem. Conforme Chandra *et al.* (1998) apud Costa (2006), esse gel contém proteínas e polissacarídeos. São nos caules dos cactos que estão localizados os estômatos da planta – estruturas semelhantes aos nossos poros, que durante o dia se mantêm fechados a fim de se evitar a perda de água na forma de vapor.

Uma característica marcante são os espinhos (Figura 08), eles reduzem a perda de água da planta, podendo ter diferentes formas, tamanhos e cores, obtendo sua distinção entre as espécies. Esses espinhos servem como proteção contra os predadores, o que favorece também o deslocamento do cacto quando se prende em algum animal e esse a transporta, podendo vir a brotar em outras localidades.

Figura 08: Espinhos da Palma

Fonte: www.biocactaceas.blogspot.com

3.3.1.1 Palma Forrageira

A introdução da Palma no Brasil ocorreu no final do século XVIII (SIMÕES et al., 2005). Era inicialmente destinada à criação de uma cochonilha (*Dactylopius coccus*) para produção de corante (LIRA et al., 2006). Posteriormente a planta passou a ser usada como decoração. Ela só passou a ser utilizada como planta forrageira no início do século XX. Na década de 90 esse uso se intensificou quando ocorreram secas prolongadas no Nordeste (ALBUQUERQUE, 2000; SIMÕES et al., 2005).

O Brasil tem hoje a maior área plantada com palma do mundo, cerca de 600 mil hectares, a maioria cultivada com a espécie *Opuntia ficus-indica*, mais conhecida como palma 'Gigante', porém, a produtividade é baixa, cerca de 40 toneladas de hectares por ano. No México, país de origem da espécie, os agricultores conseguem colher até 400 toneladas, ou seja, dez vezes mais (Marconato, 2008).

Esta planta pertence ao Reino *Plantae*, Classe *Dicotyledonea*, Subclasse *Dialipetalas*, Ordem *Caryophyllales*, Família *Cactaceae*, Género *Opuntia*. O seu nome científico foi atribuído por Tournefort em 1700, devido à sua semelhança com uma planta espinhosa que crescia numa cidade da Grécia, Opus (Sáenz, C et al., 2006).

Devido à sua variabilidade genética, a palma possui uma grande adaptabilidade podendo ser encontrada em locais com climas diferentes, como o continente de África, América e Austrália. Esta grande adaptabilidade ao clima é uma das suas principais características. A região semiárida é caracterizada por sua instabilidade climática, limitando as atividades agropecuárias no Nordeste (Santana et al., 1972; Santos et al., 1997), se destacando a Palma Forrageira devido à sua adaptabilidade.

A *Opuntia ficus-indica* é uma cactácea resistente e com capacidade de adaptação às condições adversas de clima e solo (Datamétrica, 2004), se destaca em zonas áridas e semiáridas devido a seu alto grau de resistência à seca, às altas temperaturas, a sua adaptabilidade a solos pouco férteis e a sua alta produtividade decorrente de sua elevada eficiência no uso da água. Na medida em que a palma forrageira requer pouca água e energia, adquire uma relevância importante, não

apenas em regiões que sofrem de problemas ambientais e de falta de recursos, mas também em áreas desenvolvidas que se interessam em sistemas de produção intensiva com reduzido impacto ambiental (Barbera, 1995).

A presença de tricomas e estômatos profundos, no interior de criptas formadas por camadas de cutinas sobre a epiderme são estruturas morfoanatomicas que a palma possui, que favorece a adaptação em ambientes com déficit hídrico (Santos et al., 2010), além do metabolismo fotossintético MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), que possibilita abrir os estômatos para absorção de CO₂ durante a noite, reduzindo a perda de água durante o dia.

Com o objetivo de armazenar água como fator de sobrevivência em seu habitat, os cactos possuem substâncias mucilaginosas, cutículas espessas com revestimento ceroso e células epidérmicas geralmente lignificadas. A mucilagem de *Opuntia fulgida* foi a primeira mucilagem investigada quimicamente, apresentando arabinose, galactose, ramnose e ácido galacturônico (DAVET, 2005).

De acordo com SÁENZ et al. (2004) a mucilagem é distribuída nas diferentes partes da planta, referência ao gênero *Opuntia*, cladódiose fruto (polpa e pericarpo). As mucilagens aumentam a viscosidade do meio mesmo em baixas concentrações. Geralmente a viscosidade da mucilagem é influenciada por diversos parâmetros, tais como, taxa de cisalhamento, concentração da mucilagem, temperatura, pH, força iônica e sais (FARAHNAKY et al., 2013).

Na literatura há várias denominações para o termo mucilagem como gomas, coloides hidrofílicos (hidrocoloides) ou polissacarídeos solúveis em água (JAHANBIN et al., 2012). Segundo ARAÚJO et al. (2009) as gomas são polissacarídeos complexos encontrados em algas marinhas, sementes, exsudatos de árvores e em colágeno animal. Apresentam a capacidade de se dissolver e de se dispersar em água. Aumentam a viscosidade, são espessantes e podem ou não ser geleificantes.

Há uma diferença entre gomas e mucilagens. As mucilagens são polissacarídeos pouco ramificados que não compõem as paredes das células vegetais e que normalmente são encontrados no interior das sementes e das algas, sendo a diferença em termos de solubilidade, enquanto as gomas se dispersam

rapidamente, as mucilagens formam massas viscosas (ARAÚJO *et al.*, 2009; JANI *et al.*, 2009; SÁENZ e MONTOYA, 1999).

As mucilagens são encontradas na natureza e podem ser de origem animal, microbiana e vegetal. Segundo JANI *et al.* (2009), a mucilagem é uma substância translúcida e amorfia, polimérica formada de monossacarídeos ou mistura de monossacarídeos, sendo que muitas mucilagens possuem a cadeia monossacarídica combinada com ácidos urônicos. A hidrólise da mucilagem fornece mistura de açúcares e ácidos urônicos. A mucilagem contém grupos hidrofílicos que podem se combinar com água para formar soluções viscosas ou géis, sendo que polissacarídeos lineares ocupam mais espaço e formam soluções mais viscosas do que os análogos com mesma massa molar altamente ramificados. Os compostos ramificados formam géis mais facilmente e são mais estáveis porque a interação extensiva ao longo da cadeia não é possível.

Na construção civil a mucilagem pode ser adicionada em pastas e argamassas de gesso, cal ou cimento, melhorando a resistência desses materiais em função de suas propriedades aditivas, influindo no aumento da sua trabalhabilidade, permitindo a diminuição da quantidade de água na mistura. Outro aspecto favorável está no fato da mucilagem ser uma substância orgânica e natural (MAGALHÃES, 2009).

3.3.2 Utilização dos Cactos na Construção Civil

Segundo Legen (2004), a mucilagem do Cacto era utilizada pelos indígenas no México para melhorar a propriedade ligante dos materiais de construção, sobretudo a terra crua. Esta é uma prática milenar que serve para proteger e restaurar prédios históricos, uma vez que o uso de cimento com estas finalidades possui efeitos prejudiciais, devido à incompatibilidade na utilização do adobe.

Oliveira et. al (2005) afirma que os especialistas confirmam a utilização da mucilagem de cacto para a consolidação de terra, entre elas, a *Opuntia ficus-indica*. A experimentação mais destacada nesse segmento foi efetivada nas ruínas de Chan-Chan, no Peru. Segundo Chandra *et al.* (1998) a cal foi usada como aglomerante em muitos templos antigos, e sua resistência baixa e com pouca

durabilidade foi influenciada por materiais orgânicos, chamados de polímeros naturais. De acordo com Kanan (2008), a mucilagem de cacto tem sido utilizada como aditivo para fabricação de tintas a base de cal, para aplicação em edifícios históricos, contribuindo em algumas cidades nas pinturas convencionais, para população de baixa renda, com a dispersão de insetos, como o barbeiro. Magalhães (2009) afirma que a mucilagem de cacto utilizada como aditivo para pastas e argamassas de gesso, cal ou cimento melhora a resistência desses materiais, aumenta sua trabalhabilidade, além de ser uma substância orgânica, natural e de baixo custo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

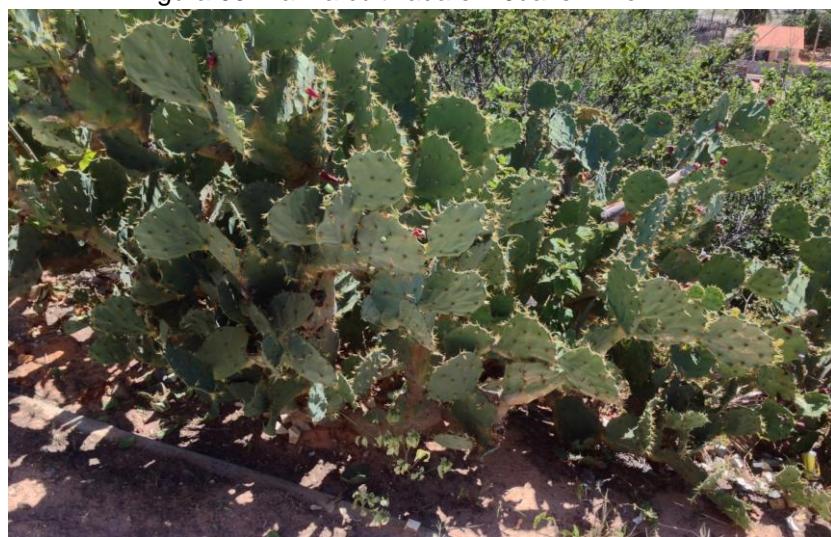
4.1.1 Gesso

O gesso utilizado na pesquisa foi adquirido no comércio local, proveniente do polo de Araripe, interior do estado de Pernambuco. A caracterização do material seguiu a NBR 12127/1991 (Gesso para construção – determinação das propriedades físicas do pó) e a NBR 13207/1994 (Gesso para construção – especificações).

4.1.2 Palma Forrageira

Foi utilizada Palma Forrageira (Figura 09) cultivada na área urbana de Juazeirinho-PB.

Figura 09: Palma cultivada em Juazeirinho – PB



4.1.3 Água

Foi utilizada água do sistema de abastecimento de água da UFPB.

4.2 Metodologia

4.2.1 Obtenção da Mucilagem

Inicialmente foram utilizados dois tipos de palma forrageira, *Opuntia ficus-indica* (mais popularmente conhecida como Palma Redonda e com maior facilidade de ser encontrada na região) colhidas na cidade de Juazerinho e *Nopália cochenillifera*, popularmente chamada de palma miúda, colhidas na cidade de João Pessoa - PB.

Para extração da seiva alguns métodos foram utilizados, como:

Método Tradicional

A literatura indica que o método de extração da seiva, comumente chamada de mucilagem, se dá através do corte da raquete em cubos, deixando em repouso na água por aproximadamente de 3 a 7 dias.

Método Trituração

Foi utilizado um liquidificador industrial para a Trituração da raquete da palma forrageira, que deu origem a uma pasta, como apresenta a Figura 10.

Figura 10: Palma Triturada para a retirada do sumo



Método Conservação em Recipiente Fechado

Com base nessa preocupação, o descanso da raquete, cortada em cubos, na água, tentando-se evitar o mofo durante o repouso (3 a 7 dias). Foram utilizadas garrafas pets, cortadas na parte superior, vistas na Figura 11, quantidades diferentes de raquetes de palmas cortadas em cubos, como também com diferentes quantidades de água, deixando repousar no período de 3 dias e 7 dias. O recipiente foi fechado e vedado, para evitar a entrada de ar. Dessa forma obteve-se êxito e conseguiu-se o líquido sem mofo. A mucilagem retirada do recipiente de 7 dias apresentava-se mais viscosa e densa comparada a de 3 dias. Para a conservação manteve-se o conteúdo em um ambiente refrigerado.

Figura 11: Modelo para Extração com Garrafa Pet



Método Prensa

Foi utilizada uma pequena prensa (Figura 12), usada para a extração do caldo da cana de açúcar.

Figura 12: Prensa de Cana de Açúcar usada para extração da Mucilagem



Devido à dificuldade de extração da mucilagem da Palma Nopalea, foi priorizada a extração e utilização da mucilagem da Palma *Opuntia ficus-indica*, que nos ensaios iniciais apresentou melhores resultados como retardador no tempo de pega do gesso.

Método Congelamento

Percebeu-se que durante a conservação da mucilagem, quando ocorria o descongelamento da palma, havia uma facilidade muito maior de a mucilagem sair do corpo do vegetal.

Então, finalmente o processo para obtenção da mucilagem passou a ser o seguinte:

1. Foram selecionadas as raquetes sem deformidades e maiores (Figura 13);

Figura 13: Raquetes de Palma Forrageira – *Opuntia Ficus-indica*



2. As raquetes da Palma Forrageira foram cortadas em cubos com a extração de todos os espinhos (Figura 14);

Figura 14 : Palmas sem espinhos e cortadas em cubos.



3. Os pedaços de palma foram dispostas em uma peneira de plástico, com um recipiente para captar a mucilagem na sua parte inferior (Figura 15);

Figura 15 : Raquetes de Palma cortadas em cubos dispostos no recipiente captador da Mucilagem



4. O recipiente foi colocado em um ambiente refrigerado, com -18°C por 24 horas e posteriormente em outro ambiente com a temperatura superior (6°C), pelo período de 72 horas, para ocorrer o descongelamento. Portanto, o procedimento para obter a mucilagem da Palma forrageira é caracterizado por refrigeração. O objetivo de modificar o procedimento tradicional de extração foi para obter maior rendimento e um produto mais concentrado. No decorrer do trabalho, notou-se que:

- As Palmas forrageiras escolhidas para pesquisa teriam que ser de zona semi-árida, pois, observou-se que, em ambiente de baixa umidade do ar, a mucilagem fica mais concentrada e viscosa;
- As raquetes das palmas tinham que ser retidas intactas, com apenas uma área de corte, para diminuir a perda da mucilagem até o momento do armazenamento;
- As raquetes tiveram que ser cortadas em cubos, e os espinhos jogados fora, para melhor manuseio do material;
- O armazenamento deve ser feito em uma peneira, para a retirada da seiva a ser feita gradativamente, aproveitando maior quantidade possível do material;
- Posteriormente ao período de extração, a parte sólida deve ser descartada, aproveitando-se apenas do líquido extraído;
- O material, até a adição de conservante ou sua utilização, deve ser mantido em um local refrigerado, com temperatura aproximada a 7°C.

4.2.2 Processo Experimental

Foram preparadas pastas de gesso de referência com relações a/g 0,4, 0,5, 0,6 e 0,7 e com a adição da mucilagem pura (sem conservante).

Com as pastas no estado fresco foram realizados os ensaios de Tempo de Pega com a utilização do Aparelho de Vicat e a plasticidade da pasta através da mesa de consistência.

Para se obter a resistência à compressão e a absorção de água, foram moldados corpos de prova cúbicos de gesso com 5 cm de aresta (Figura 16).

Figura 16: Blocos moldados em formas metálicas



Mistura

A moldagem dos corpos de prova foi feita sempre à temperatura ambiente aproximada de 22°C. Para cada ensaio foram moldados 3 (três) corpos de prova. A mistura foi realizada em um recipiente plástico, com auxílio de uma espátula, onde foi adicionado à quantidade específica de água e posteriormente o gesso foi pulverizado na água pelo período de 1 minuto, deixando descansar por 2 minutos. Depois feita mistura durante 1 minuto. Após a mistura, a pasta foi despejada nas formas, como se pode visualizar na Figura 17.

Figura 17: Pulverização do gesso na água



Quando se usou o aditivo, ele foi previamente misturado à água. Não há uma dissolução dele na água (Figura 18), é necessário dispersá-lo, até se conseguir uma emulsão (Figura 19).

Figura 18: a) Água e aditivo para a homogeneização; b) Mistura da água e da mucilagem; c) Homogeneização da água e da mucilagem

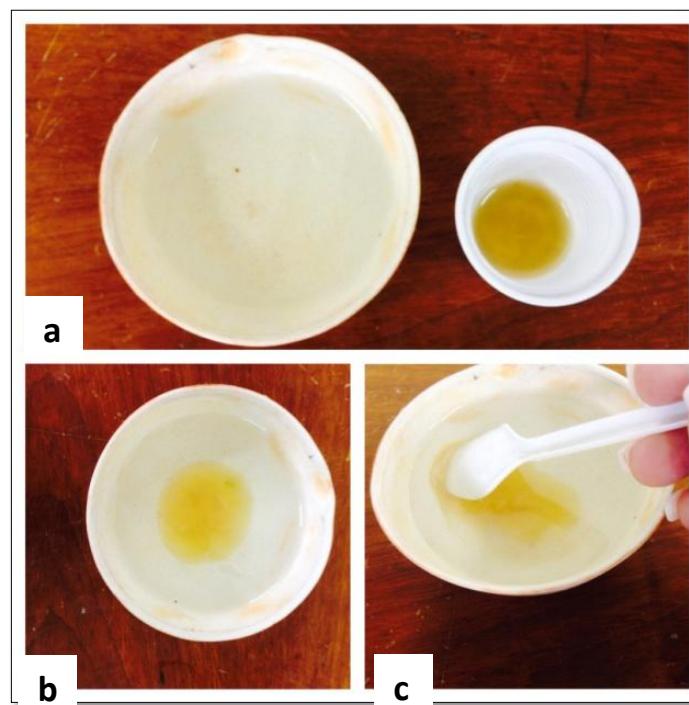


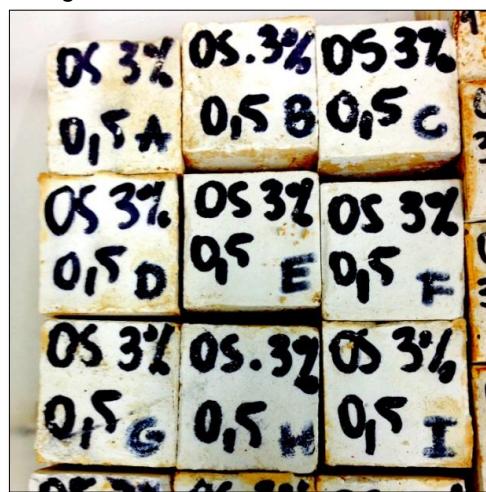
Figura 19: Água e aditivo para a homogeneização



A desforma dos corpos de prova foi efetuada após 24 horas, deixando-se posteriormente 24 horas em estufa com temperatura de 45°C, para agilizar a secagem.

A Figura 20 mostra corpos de prova cúbicos após desmoldados.

Figura 23: Blocos Cúbicos Moldados



Os corpos de prova foram indicados com a seguinte convenção (% de aditivo referida à massa de gesso):

R0,4 – Corpos de Prova de Referência com relação a/g = 0,4

- R0,5 – Corpos de Prova de Referência com relação a/g = 0,5 ;
 R0,6 – Corpos de Prova de Referência com relação a/g = 0,6
 R0,7 – Corpos de Prova de Referência com relação a/g = 0,7
 0,4,1% – Corpos de Prova com relação a/g = 0,4 com 1% de aditivo.
 0,4,3% – Corpos de Prova com relação a/g = 0,4 com 3% de aditivo.
 0,4,5% – Corpos de Prova com relação a/g = 0,4 com 5% de aditivo.
 0,5,1% – Corpos de Prova com relação a/g = 0,5 com 1% de aditivo.
 0,5,3% – Corpos de Prova com relação a/g = 0,5 com 3% de aditivo.
 0,5,5% – Corpos de Prova com relação a/g = 0,5 com 5% de aditivo.
 0,6,1% – Corpos de Prova com relação a/g = 0,6 com 1% de aditivo.
 0,7,1% – Corpos de Prova com relação a/g = 0,7 com 1% de aditivo.

4.2.3 Massa Específica do aditivo

A massa específica do aditivo foi obtida a partir da NBR 10908/2008 - Aditivos para Argamassas e Concreto – Ensaios de Uniformidade. Esta corresponde à média aritmética de duas determinações. A massa específica relativa referida à massa específica da água em cada determinação é calculada pela fórmula:

$$\text{Massa específica relativa} \quad \alpha = \frac{c-a}{b-a}$$

Onde:

a = massa do picnômetro vazio, em gramas;

b = massa do picnômetro mais água, em gramas;

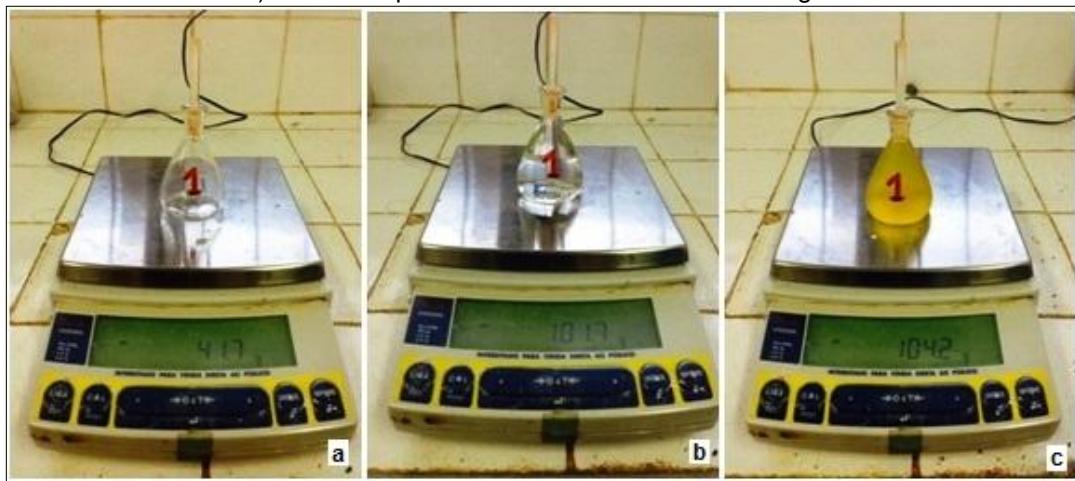
c = massa do picnômetro mais amostra (cheio), em gramas.

Para esse ensaio, foi aferido o peso do picnômetro limpo e seco, denominando a massa de “a”, posteriormente o picnômetro foi imerso em água destilada à temperatura de 25°C ($\pm 0,5$). Em seguida, ele foi posto na estufa por 30 minutos, com água destilada dentro do recipiente. Após esse procedimento enxugou-se a parte externa do recipiente e pesou-se para achar “b”. O mesmo

processo foi executado substituindo a água colocada dentro do picnômetro pelo aditivo, obtendo-se “c”.

A Figura 21 apresenta as imagens das etapas do ensaio de massa específica.

Figura 21: a) Valor do peso do Picnômetro vazio; b) Valor do peso do Picnômetro com água destilada; c) 5Valor do peso do Picnômetro com a mucilagem.



4.2.4 Determinação do pH

O pH da mucilagem da Palma Forrageira (*Opuntia Ficus-indica* Mill) foi determinado com a utilização de um phmetro (Figura 22), a partir da mucilagem extraída.

Figura 22: Medição de pH



4.2.5 Ensaio de Tempo de Pega

O ensaio foi realizado conforme a NBR 12128/1991, em temperatura de 24°C, utilizando o aparelho de *VICAT*, como mostram as Figuras 23.

Figura 23: Ensaio do tempo de Pega com o aparelho de VICAT



O tempo considerado foi computado a partir do momento que o gesso entrou em contato com a água, até o instante que a agulha do aparelho de Vicat não penetrou no fundo da pasta, ficando a 1mm acima da base.

A pasta foi polvilhada sobre a água no período de 1 minuto, ficando em repouso por 2 minutos, sendo misturada no próximo minuto subsequente, em movimentos circulares, até obter uma pasta uniforme.

O final de pega foi caracterizado no período que a agulha não penetrou mais a pasta. Na Figura 24 tem-se o ensaio em execução.

Figura 24: Ensaio do tempo de Pega



4.2.6 Ensaio de Compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme a NBR 12129/1991. Foram confeccionados corpos de prova cúbicos com 50mm de aresta, em um molde com 3 compartimentos, fazendo-se uma moldagem simultânea dos 3 corpos de prova cúbicos.

Todos os cubos antes do ensaio foram submetidos a medições de confirmação da igualdade de dimensão das faces.

Foram utilizados 30 corpos de provas, distribuídos de acordo com a tabela 05, sendo 4 grupos controle utilizados como referência sem a adição do aditivo. No gesso mede-se a resistência quando ele apresenta constância de massa. Aqui manteve-se fixa a idade do ensaio que foi 30 dias.

A tabela 08 exibe os grupos experimentais para o ensaio de Compressão.

Tabela 04 : Grupos Experimentais do Ensaio de Compreessão.

| ELEMENTOS DA AMOSTRA | Nº |
|----------------------|----|
| R.0,4 | 3 |
| R.0,5 | 3 |
| R.0,6 | 3 |

| | |
|---------------|----------|
| R.0,7 | 3 |
| 0,4.1% | 3 |
| 0,4.3% | 3 |
| 0,4.5% | 3 |
| 0,5.1% | 3 |
| 0,5.3% | 3 |
| 0,5.5% | 3 |

4.2.7 Ensaio de Absorção

Os ensaios de absorção foram realizados utilizando o método proposto pela NBR 14717/2001, relativa ao gesso acartonado, adaptado para o gesso comum. Os cubos com 50mm de aresta, foram imersos em água por 120 minutos. .

Após o desmolde dos corpos de prova, os mesmos foram colocados na estufa com temperatura de 40°C por 24 horas e posteriormente foram expostos ao ambiente pelo período de 48 horas.

A porcentagem de água absorvida por cada um dos corpos de prova foi calculada pela equação abaixo:

$$a = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100$$

Sendo:

a – absorção d’água (%)

P1 – massa seca do corpo de prova (g)

P2 – massa úmida do corpo de prova (g)

A Figura 24 apresenta os corpos de prova submersos no ensaio de absorção.

Figura 24 : Ensaio de Absorção



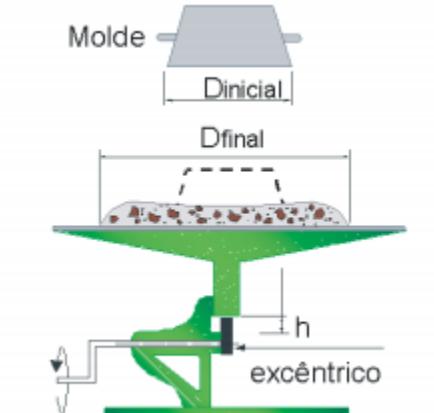
4.2.8 Ensaio de Consistência

Para obter comparativamente a consistência das pastas de gesso, usou-se a mesa de espalhamento, conforme a Figura 32, que é uma ferramenta utilizada no método de ensaio da norma NBR 13276/1995 para argamassas. O teste consiste em medir o espalhamento horizontal da pasta de gesso moldada em forma de tronco de cone padrão, com o material é submetido a sucessivos impactos após a retirada do cone. Na adaptação feito para o ensaio, o gesso é forçado a se deformar mediante 5 golpes padronizadas da mesa. O resultado do ensaio é apresentado por um valor unitário em mm, denominado de medida de espalhamento, que é dado pelo diâmetro (espalhamento) da pasta após a aplicação dos golpes. Este ensaio é comparativo e possibilita uma avaliação indireta da trabalhabilidade da pasta.

Neste ensaio foram analisados os valores de referência a/g 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, sendo eles comparados à mesma quantidade a/g do valor de referência, porém com a adição de 1% do aditivo. A quantidade do teor de aditivo foi o escolhido a partir dos ensaios de já realizados de tempo de pega.

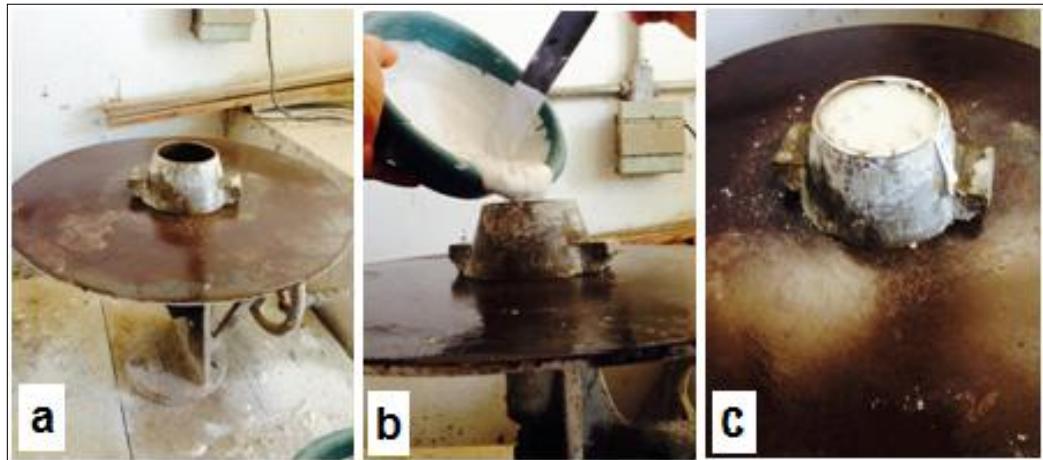
. . . A Figura 25 exibe o esquema do equipamento da mesa de consistência. A Figura 33 expõe o processo do ensaio. . .

Figura 25: Esquema do equipamento da mesa de consistência



Fonte: Google.com.br

Figura 26: Processo do Ensaio de Consistência. a) Mesa de Consistência. b) Moldagem do recipiente. c) Recipiente cheio



4.2.9 Microscopia eletrônica de varredura – MEV

O estudo através da microscopia eletrônica de varredura (MEV - Figura 27) foi executado em dois corpos de provas, $a/g=0,6$ (valor de referência) e $a/g=0,5$ com 3% de aditivo.

Figura 27: Equipamento para o ensaio de Microscopia eletrônica de varredura.



O aditivo adquirido para o ensaio do MEV foi extraído de Palmas Forrageiras (*Opuntia ficus-indica*) colhidas em João Pessoa-PB. Devido ao uso exclusivo da mucilagem de Juazeirinho, sentiu-se a necessidade de elaborar novos testes para analisar a ações e os efeitos desse material, com intuito de comprovar a igualdade das ações das mucilagens independente da localização de extração. Contudo foram feitos testes de absorção relação a/g 0,4 e 0,5 com 3% de aditivo, ensaio de resistência à compressão com a/g=0,35 com 3% de aditivo e ensaio de tempo de pega com o aparelho de Vicat, relação a/g=0,4 com 1% de aditivo.

4.2.10 Conservante

Para a adição dos conservantes foram utilizados dois tipos:

- a) Alcool 70 em relação à mucilagem na quantidade de 1%, 5% e 10%,, a partir do embasamento em Nogueira (2012)
- b) Metabisulfito de sódio e Sorbato de Potássio na proporção de 1%, através da indicação do Professor Artur Raimundo Diniz de Andrade, docente do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Obtenção da Mucilagem

Método Tradicional

Seguindo esse método a mucilagem dos dois tipos de palma quando utilizadas na pasta de gesso não eram obtidos os resultados esperados, devido à quantidade de água para dissolução da mucilagem, além disso, nesse método de extração, notou-se que a mucilagem criou mofo no primeiro dia, como se observa na Figura 28.

Figura 28: Palma em descanso com fungos



Método Trituração

Observou-se que a composição do vegetal na pasta de gesso alterava o cheiro e a cor após alguns dias. Influenciava na degradação, apresentando mofos no gesso.

Método Conservação em Recipiente Fechado

Dessa forma obteve-se êxito e conseguiu-se o líquido sem mofo. Para a conservação manteve-se o conteúdo em um ambiente refrigerado. Percebeu-se que o líquido com 07 dias ficava mais viscoso que o de 03 dias. Observando

essa situação, tentou-se obter um material mais “puro”, sem necessitar diluir na água.

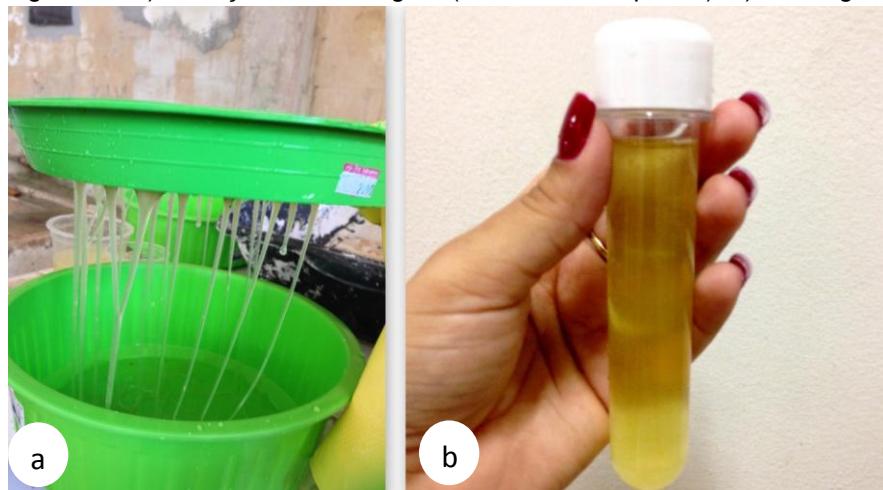
Método Prensa

Para a obtenção de um material mais concentrado foi utilizado uma prensa, mas, devido à espessura da palma *Opuntia ficus-indica* e sua rigidez, não foi possível a extração. A Palma *Nopalea* passou pela prensa, mas em consequência a sua viscosidade, a seiva fixava nos rolos de compressão e só uma baixíssima quantidade podia ser recuperada.

Método Congelamento (Método adotado)

Observou-se que com o descongelamento a palma forrageira *Opuntia Ficus-indica* expelia sua mucilagem gradativamente, porém, a Nopálea não obteve o mesmo resultado, degradando com rapidez após o descongelamento sem expelir a seiva. A Figura 29 apresenta a mucilagem extraída.

Figura 29: a) Extração da mucilagem (Peneira e Recipiente); b) Mucilagem



5.2 Massa Específica

O valor da massa específica relativa obtida conforme a NBR 10908/2008 é de 1,041, portanto ligeiramente superior à da água.

5.3 Determinação do pH

O pH da mucilagem da palma obtido com a utilização do phmetro foi 4,8, indicando pH ácido.

5.4 Ensaio de Consistência

A Tabela 11 apresenta um resumo com as composições das pastas utilizadas, feitos dois ensaios para cada composição, com o espalhamento correspondente.

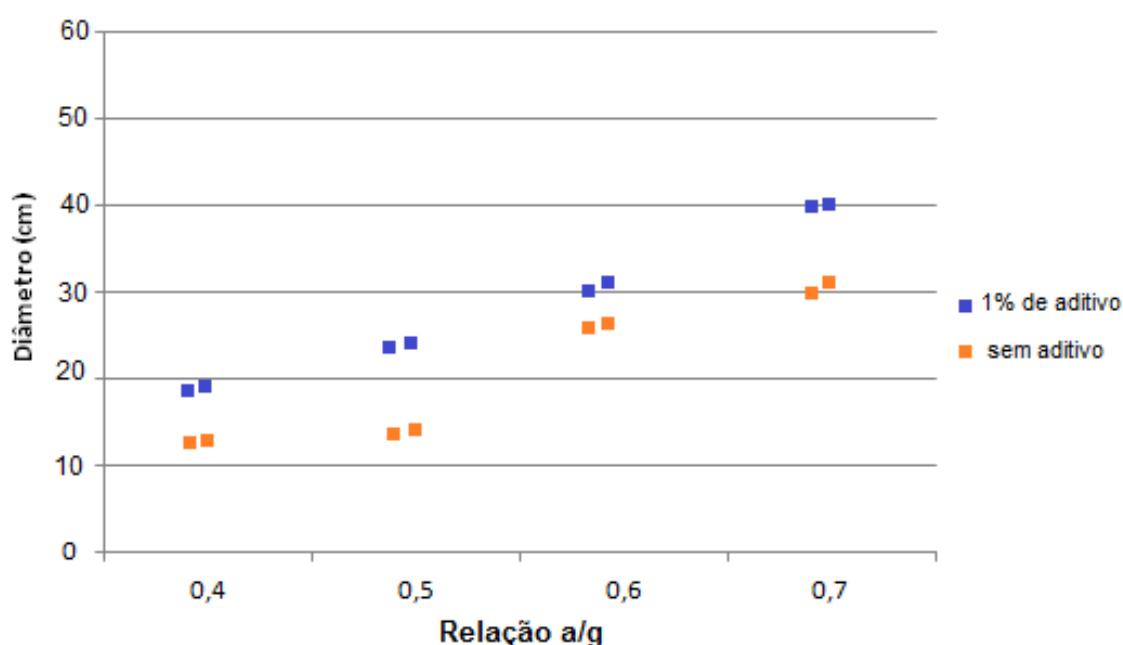
Tabela 06: Valores do diâmetro no Ensaio de Consistência

| TESTE DE ESPALHAMENTO – MESA DE CONSISTÊNCIA | |
|---|--------------------------|
| ELEMENTOS DA AMOSTRA | Diâmetro (cm) |
| R 0,4 | 13 cm |
| R 0,4 | 13,2 cm |
| R 0,5 | 13,5 cm |
| R 0,5 | 14,3 cm |
| R 0,6 | 28 cm |
| R 0,6 | 27 cm |
| R 0,7 | 32 cm |
| R 0,7 | 30 cm |
| 0,4,1% | 17 cm |
| 0,4,1% | 18,2 cm |
| 0,5,1% | 24,6 cm |
| 0,5,1% | 22 cm |
| 0,6,1% | 30 cm |
| 0,6,1% | 32 cm |

| | |
|---------------|---------|
| 0,7.1% | 40,5 cm |
| 0,7.1% | 40 cm |

Na Figura 30 tem-se o valor do espalhamento obtido na mesa de consistência em função da relação a/g, com e sem aditivo. Como era de esperar, o diâmetro da pasta na mesa cresce com a relação a/g, visto que passa a haver mais água disponível, que aumenta a mobilidade das partículas sólidas.

Figura 30: Processo do Ensaio de Consistência

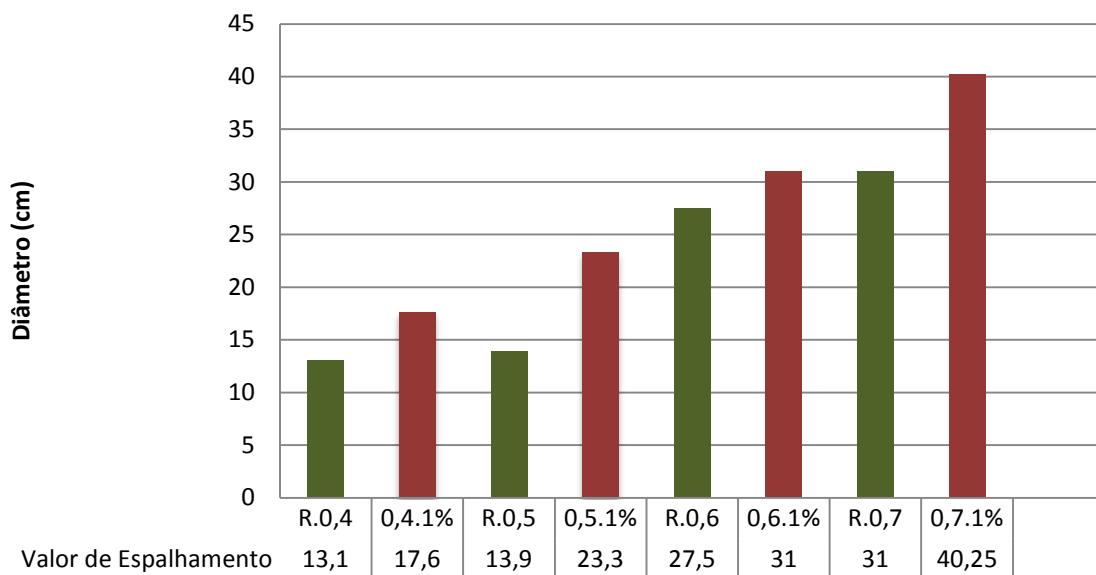


A presença do aditivo faz crescer o espalhamento. Vê-se que a pasta com $a/g=0,4$ e 1% de aditivo apresenta maior espalhamento que aquela sem aditivo e $a/g=0,5$. Já a pasta com $a/g=0,6$ e 1% de aditivo apresenta praticamente o mesmo espalhamento que a de referência com $a/g = 0,7$.

Vale lembrar que com a relação $a/g = 0,4$ há dificuldade de moldagem da base do cone do ensaio. Já a inclusão de 1% do aditivo melhora significativamente as condições de moldagem.

A Figura 31 apresenta os resultados médios obtidos para o espalhamento das pastas de gesso.

Figura 31: Valor Médio do Espalhamento



O aumento do espalhamento nas pastas ao longo dos ensaios pode ser visualizado nas Figuras 32 e 33.

Figura 32: Comparação do Ensaio de consistência R.0,4 e OS.0,4.1%

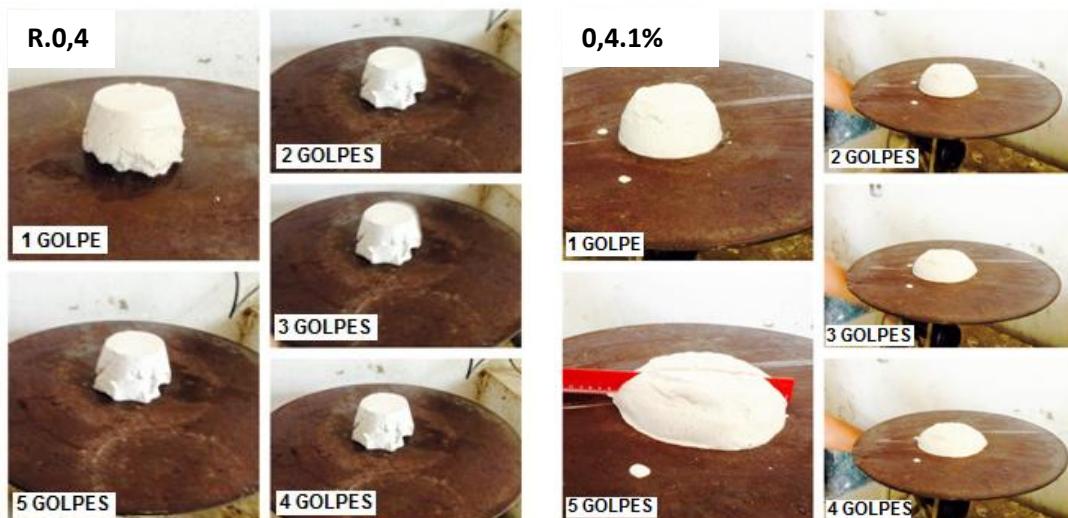
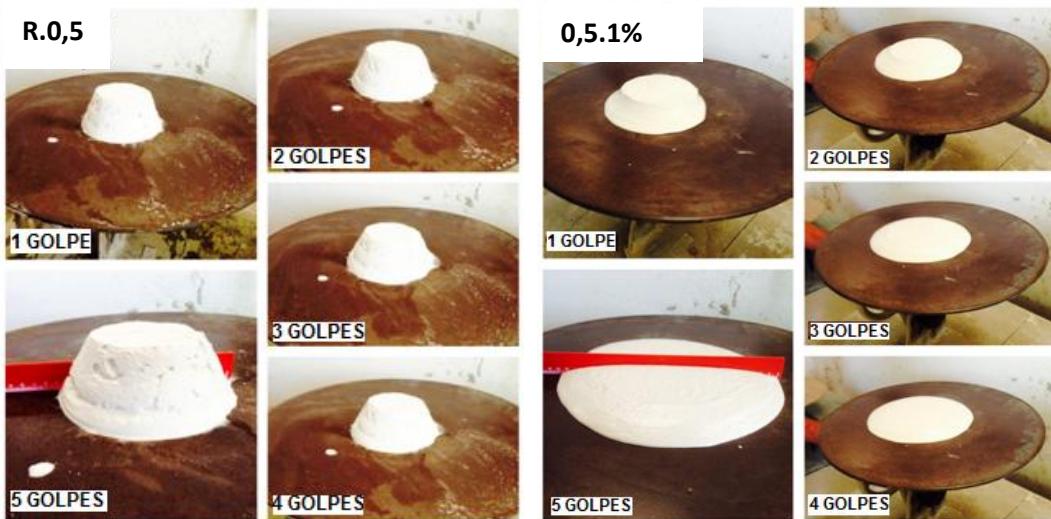
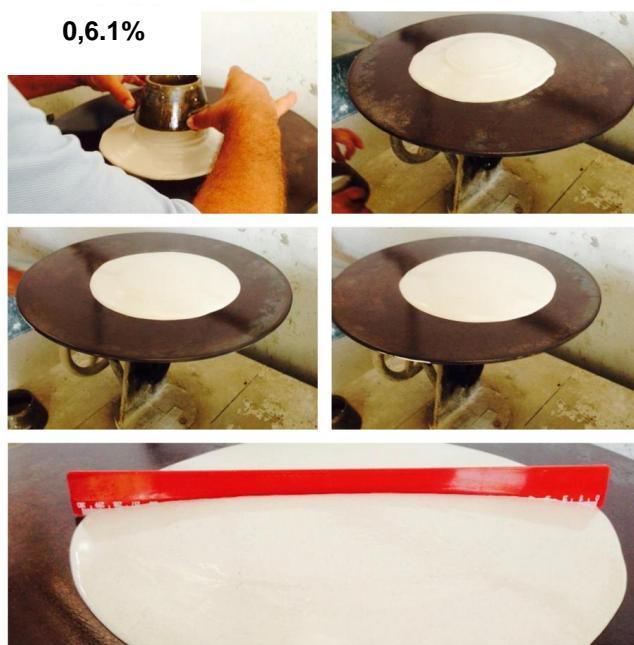


Figura 33: Comparação do Ensaio de consistência R.0,5 e OS.0,5.1%



Na Figura 34 vê-se que com relação água/gesso igual a 0,6 e 1% de aditivo já se consegue uma pasta bastante fluida. Isto indica o efeito plastificante do aditivo desenvolvido.

Figura 34: Ensaio de consistência com 0,6 a/g e 1% de aditivo



5.5 Ensaio de Absorção

O ensaio de absorção das pastas de gesso com adição da mucilagem da cactácea *Opuntia ficus-indica*, em quantidade de 1%, 3% e 5%, foi comparada a valores de referência a/g 0,4; 0,5; 0,6 e 0,7.

Entre as pastas de gesso com e sem adição da mucilagem, os melhores resultados foram: 0,4.1%, seguidos de 0,4.3%, como mostra as Tabelas 12 e 13.

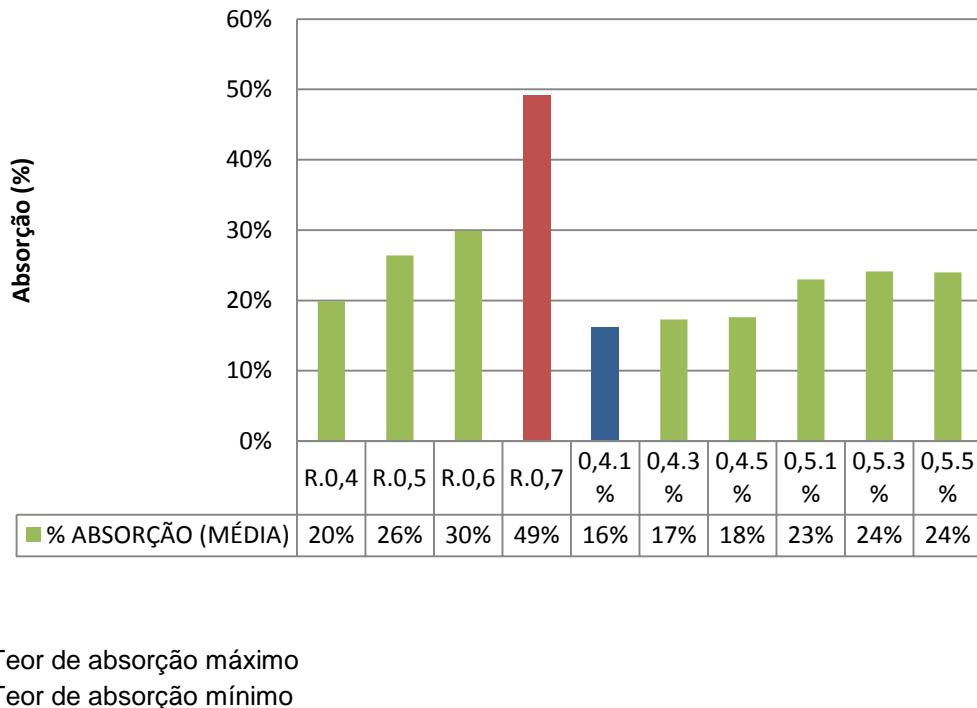
Analizando-se os resultados obtidos, verifica-se que existe uma relação direta entre a relação a/g e a taxa de absorção. Devido à inclusão da mucilagem é possível reduzir o consumo de água nas pastas, conservando a plasticidade, permitindo a redução da absorção.

Tabela 07: Resultado do teor de umidade no Ensaio de Absorção

| ELEMENTOS DA AMOSTRA | MASSA SECA | MASSA ÚMIDA | ABSORÇÃO |
|----------------------|------------|-------------|----------|
| | (g) | (g) | (%) |
| R 0,4 a | 186,7 | 224,3 | 20,1% |
| R 0,4 b | 184,8 | 222,1 | 20,1% |
| R 0,4 c | 187,3 | 224,0 | 19,5% |
| R 0,5 a | 169,0 | 213,8 | 26,5% |
| R 0,5 b | 164,2 | 208,9 | 27,2% |
| R 0,5 c | 171,5 | 215,7 | 25,7% |
| R 0,6 a | 153,8 | 196,8 | 27,9% |
| R 0,6 b | 152,1 | 199,4 | 31,0% |
| R 0,6 c | 149,7 | 195,6 | 30,6% |
| R 0,7 a | 119,5 | 180,8 | 51,2% |
| R 0,7 b | 115,7 | 178,3 | 54,1% |
| R 0,7 c | 130,0 | 185,8 | 42,9% |
| 0,4,1% a | 190,6 | 221,0 | 15,9% |
| 0,4,1% b | 187,8 | 218,4 | 16,2% |
| 0,4,1% c | 188,7 | 219,5 | 16,3% |
| 0,4,3% a | 177,7 | 209,3 | 17,7% |
| 0,4,3% b | 179,8 | 210,2 | 16,9% |
| 0,4,3% c | 178,0 | 208,9 | 17,3% |
| 0,4,5% a | 169,4 | 199,7 | 17,8% |
| 0,4,5% b | 177,7 | 209,3 | 17,7% |
| 0,4,5% c | 177,7 | 208,3 | 17,2% |
| 0,5,1% a | 163,5 | 200,9 | 22,8% |
| 0,5,1% b | 164,9 | 203,6 | 23,4% |
| 0,5,1% c | 164,7 | 202,1 | 22,7% |
| 0,5,3% a | 157,8 | 196,3 | 24,3% |
| 0,5,3% b | 158,1 | 196,0 | 23,9% |
| 0,5,3% c | 159,1 | 197,4 | 24,0% |
| 0,5,5% a | 152,9 | 191,7 | 25,3% |
| 0,5,5% b | 157,1 | 194,5 | 23,4% |
| 0,5,5% c | 154,7 | 190,6 | 23,2% |

A Figura 35 exibe o valor médio do teor de umidade, após ensaio de absorção.

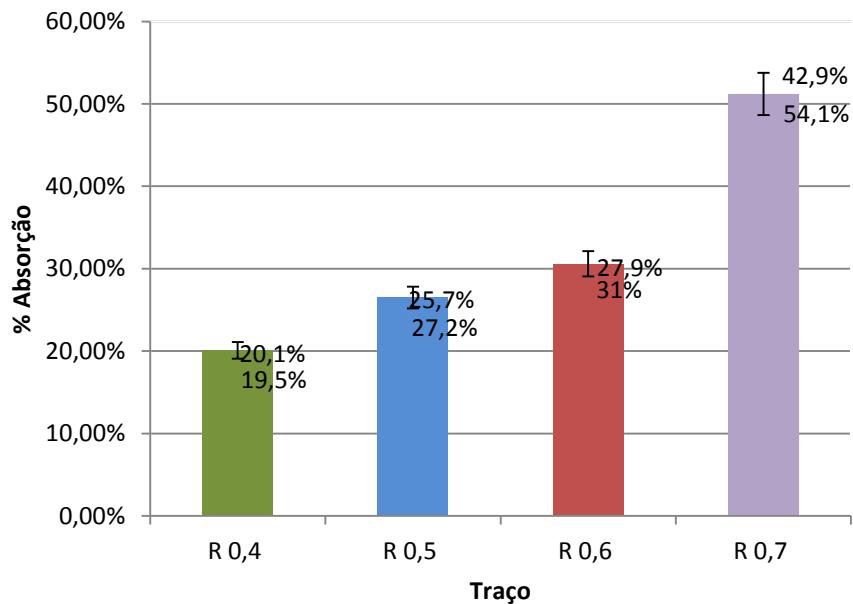
Figura : 35 Valores médios do ensaio de absorção.



Nota-se que o aditivo reduz a absorção em relação à referência. Com relação a/g 0,4 consegue-se absorção inferior a 20%, quando o aditivo está presente.

Na Figura 36 tem-se a variação de absorção com relação a/g dos corpos de prova sem aditivo. Estão indicados os valores médios, máximos e mínimos. Nota-se significativa absorção nas relações água/gesso superior a 0,6 que são as que comumente se usa na prática.

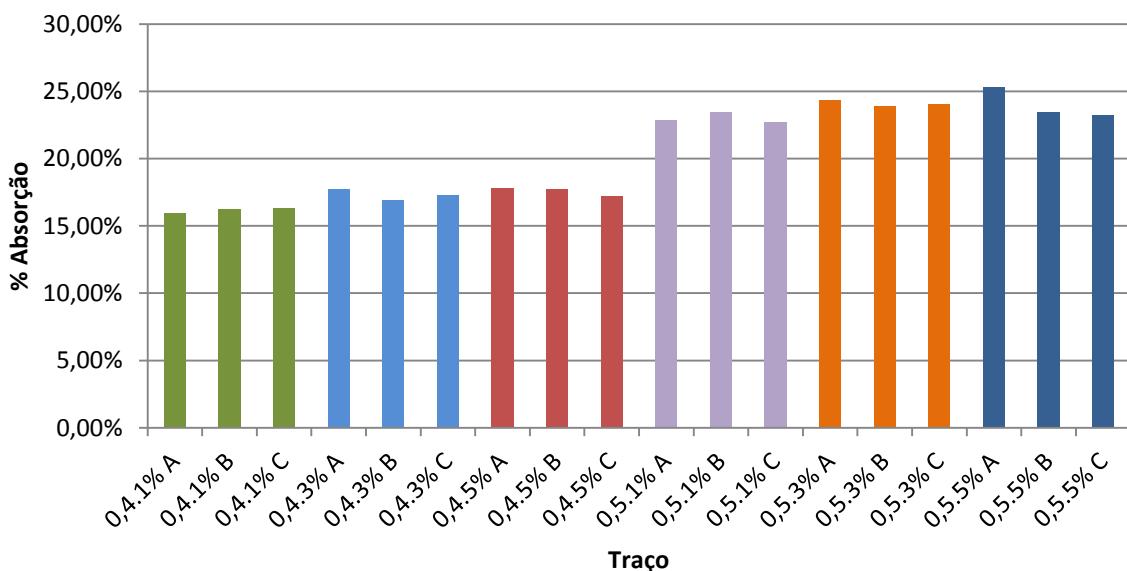
Figura 36: Valores de absorção do gesso sem aditivo



Vê-se que quando se passa a relação água gesso de 0,6 para 0,7, nas pastas de referência há um acréscimo de quase 65% na absorção!

Na Figura 37 tem-se o comparativo da absorção de água dos corpos de prova de gesso com teor de plastificante adicionado. Fica evidente a pouca influência do aumento da percentagem de aditivo além de 1% na absorção.

Figura 37: Valores de absorção com a variação da percentagem de aditivo e a/g 0,4 e 0,5



Os resultados do Ensaio de Absorção foram analisados estatisticamente pela ANOVA. Foram verificadas diferenças significativas ($F = 60,602$ e nível- $p < 0,001$), na comparação dos resultados do ensaio de absorção (Tabela 08).

Tabela 08 : Resultado da ANOVA para o ensaio de absorção

ANOVA

| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | nível-P | F crítico |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------------|------------------|
| Entre grupos | 0,2409 | 9 | 0,0268 | 60,60239741 | 0,000000000000150 | 2,3928 |
| Dentro dos grupos | 0,0088 | 20 | 0,0004 | | | |
| Total | 0,2497 | 29 | | | | |

5.6 Resistência à Compressão

A Tabela 09 apresenta resultados de resistência à compressão e na Figura 44 seus valores médios.

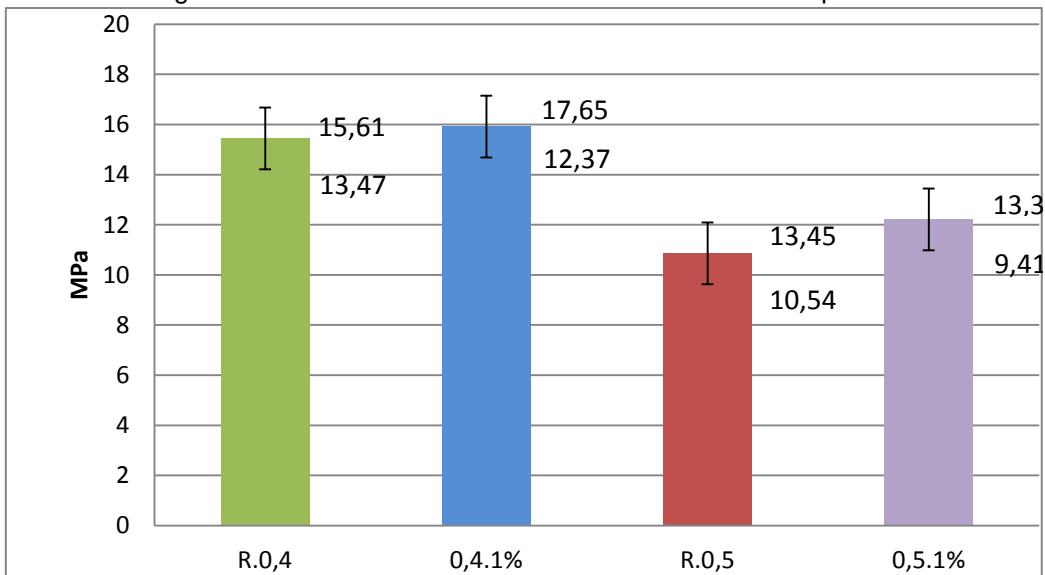
Tabela 09: Valores do Ensaio de Compressão

| | MPa | MPa MÉDIA |
|--------|------------|----------------------|
| R.0,4 | 15,61 | 14,84 |
| | 13,47 | |
| | 15,45 | |
| R.0,5 | 10,86 | 11,62 |
| | 10,54 | |
| | 13,45 | |
| R.0,6 | 8,02 | 9,41 |
| | 11,82 | |
| | 8,4 | |
| R.0,7 | 6,49 | 6,27 |
| | 5,66 | |
| | 6,67 | |
| 0,4.1% | 12,37 | 15,31 |
| | 15,92 | |
| | 17,65 | |
| 0,4.3% | 13,35 | 12,92 |
| | 14,56 | |
| | 10,86 | |
| 0,4.5% | 7,15 | 8,34 |

| | | |
|--------|-------|-------|
| | 9,4 | |
| | 8,47 | |
| 0,5.1% | 9,41 | |
| | 12,21 | 11,66 |
| | 13,35 | |
| 0,5.3% | 7,03 | |
| | 4,62 | 5,77 |
| | 5,67 | |
| 0,5.5% | 2,43 | |
| | 2,27 | 2,70 |
| | 3,41 | |

A Figura 38 enfatiza o comparativo da resistência com 1% de aditivo e a relação água/gesso de 0,4 e 0,5.

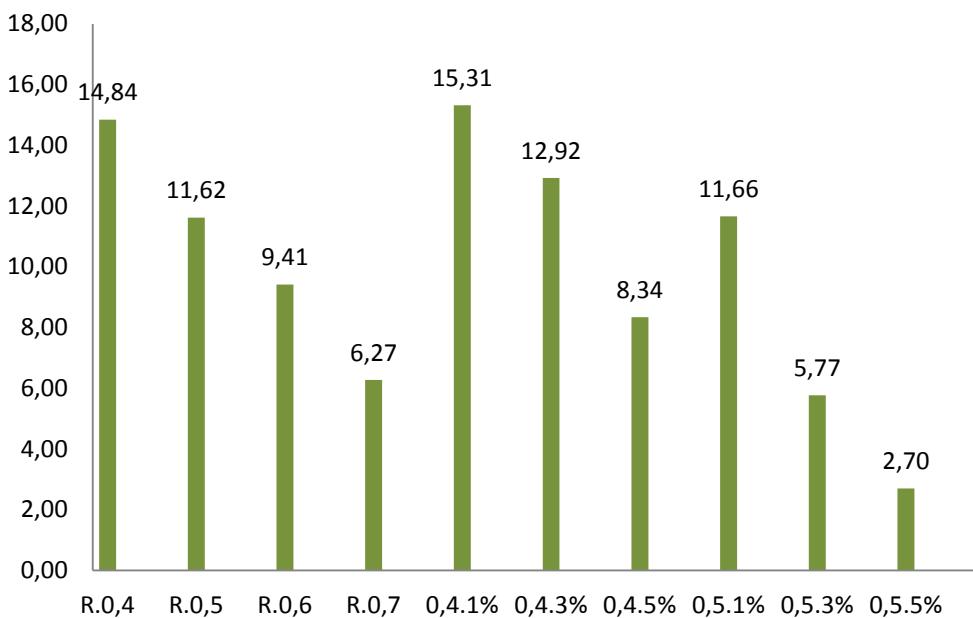
Figura 38: Valor Médio do ensaio de Resistência à Compressão



Aqui se nota que a adição de 1% de aditivo não prejudica a resistência da pasta de gesso. Aumenta a trabalhabilidade da Pasta.

A Figura 39 apresenta os valores médios do ensaio de compressão. Agora o que se percebe é que passando o teor de aditivo para 3% ou 5% a resistência é significativamente penalizada.

Figura 39: Valor Médio do ensaio de Compressão



Os resultados dos ensaios de resistência à compressão foram analisados utilizando o teste estatístico ANOVA – Análise de Variância. Segundo ANOVA, foram verificadas diferenças significativas na comparação dos resultados dos ensaios ($F = 19,190$ e nível- $p < 0,001$) que podem ser observadas na Tabela 10.

Tabela 10: Resultado do teste estatístico do ensaio de Resistência à Compressão

ANOVA

| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | nível-P | F crítico |
|-------------------|--------|----|--------|------------|--------------|-------------|
| Entre grupos | 460,67 | 9 | 51,186 | 19,1905903 | 0,0000000561 | 2,392814108 |
| Dentro dos grupos | 53,344 | 20 | 2,6672 | | | |
| Total | 514,01 | 29 | | | | |

No sentido de se verificar a possibilidade de se obter maior resistência com o gesso, baixou-se a relação a/g para 0,35. Neste caso foi necessário um teor de 3% de aditivo mas chegou-se em três corpos de provas com resistência de 18,3 MPa; 25,4 MPa e 23,3 MPa, resistências comparáveis a de concretos.

5.7 Ensaio de Tempos de Pega

A Tabela 12 apresenta os resultados dos tempos de início e fim de pega das pastas de gesso com e sem aditivo.

Os resultados mostraram que a adição da mucilagem adicionada pasta de gesso, influencia no retardamento do tempo de pega. Foi observado um aumento de plasticidade do material.

Um aumento de aproximadamente 1 hora e 30 minutos no tempo de pega inicial com a adição da mucilagem em 1% comparado à referência, foi observado na faixa de concentração estudada. .

Tabela 11: Valores de Tempo de Pega.

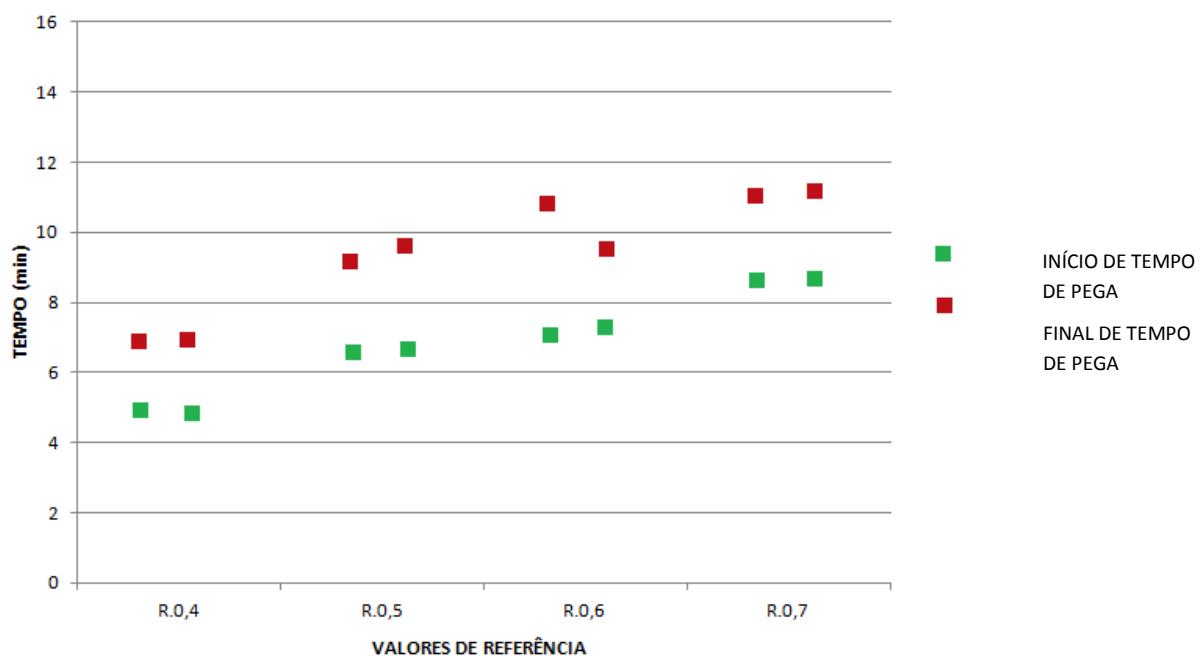
ENSAIO DE PEGA – APARELHO DE VICAT

| REFERÊNCIA | TEMPO DE PEGA |
|------------|---|
| R.0,4(A) | INÍCIO DE PEGA: 00:05:38 FINAL DE PEGA: 00:07:43 |
| R.0,4 (B) | INÍCIO DE PEGA: 00:05:25 FINAL DE PEGA: 00:07:50 |
| R.0,5 (A) | INÍCIO DE PEGA: 00:06:28 FINAL DE PEGA: 00:09:11 |
| R.0,5 (B) | INÍCIO DE PEGA: 00:06:40 FINAL DE PEGA: 00:09:43 |
| R.0,6 (A) | INÍCIO DE PEGA: 00:07:20 FINAL DE PEGA: 00:10:39 |
| R.0,6 (B) | INÍCIO DE PEGA: 00:07:30 FINAL DE PEGA: 00:09:51 |
| R.0,7 (A) | INÍCIO DE PEGA: 00:08:23 FINAL DE PEGA: 00:11:08 |
| R.0,7 (B) | INÍCIO DE PEGA: 00:08:20 FINAL DE PEGA: 00:11:39 |
| 0,4,1% (A) | INÍCIO DE PEGA: 01:40:00 FINAL DE PEGA: 02:00:00 |
| 0,4,1% (B) | INÍCIO DE PEGA: 01:48:00 FINAL DE PEGA: 02:12:00 |
| 0,4,3% (A) | INÍCIO DE PEGA: 02:00:08 FINAL DE PEGA: 02:20:22 |
| 0,4,3% (B) | INÍCIO DE PEGA: 02:08:34 FINAL DE PEGA: 02:24:12 |
| 0,4,5% (A) | INÍCIO DE PEGA: 04:17:00 FINAL DE PEGA: 05:28:00 |
| 0,4,5% (B) | INÍCIO DE PEGA: 04:22:00 FINAL DE PEGA: 05:16:00 |
| 0,5,1% (A) | INÍCIO DE PEGA: 01:15:58 |

| | |
|------------|---|
| | FINAL DE PEGA: 01:31:07 |
| 0,5,1% (B) | INÍCIO DE PEGA: 01:22:47 FINAL DE PEGA: 01:33:00 |
| 0,5,3% (A) | INÍCIO DE PEGA: 02:20:42 FINAL DE PEGA: 02:47:00 |
| 0,5,3% (B) | INÍCIO DE PEGA: 02:18:33 FINAL DE PEGA: 02:45:00 |
| 0,5,5% (A) | INÍCIO DE PEGA: 04:42:17 FINAL DE PEGA: 05:49:00 |
| 0,5,5% (B) | INÍCIO DE PEGA: 04:38:04 FINAL DE PEGA: 05:36:13 |

Na Figura 40 pode-se ver a influência da relação água/gesso nos tempos de inicio e fim de pega.

Figura 40: Variação dos tempos de inicio e fim de pega com relação a/g



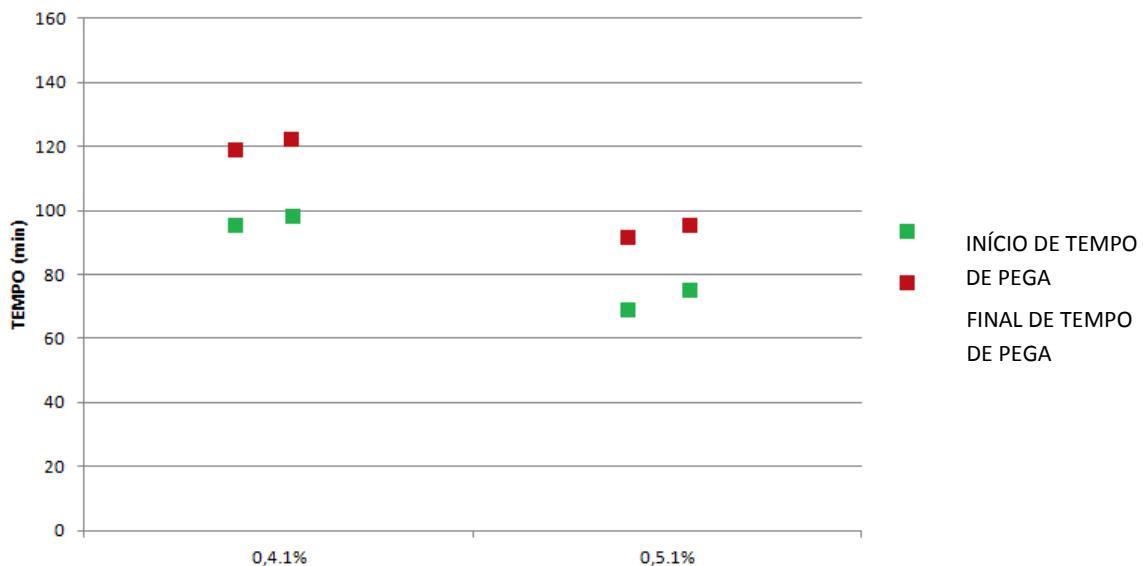
Percebe-se que os tempos de inicio e fim de pega crescem com a relação a/g.

Na Figura 41 tem-se os tempos de inicio e fim de pega para as relações a/g 0,4 e 0,5 com 1% de mucilagem.

É visível o grande efeito retardador do aditivo. Passa-se de tempos de pega da ordem de poucos minutos para mais de uma hora.

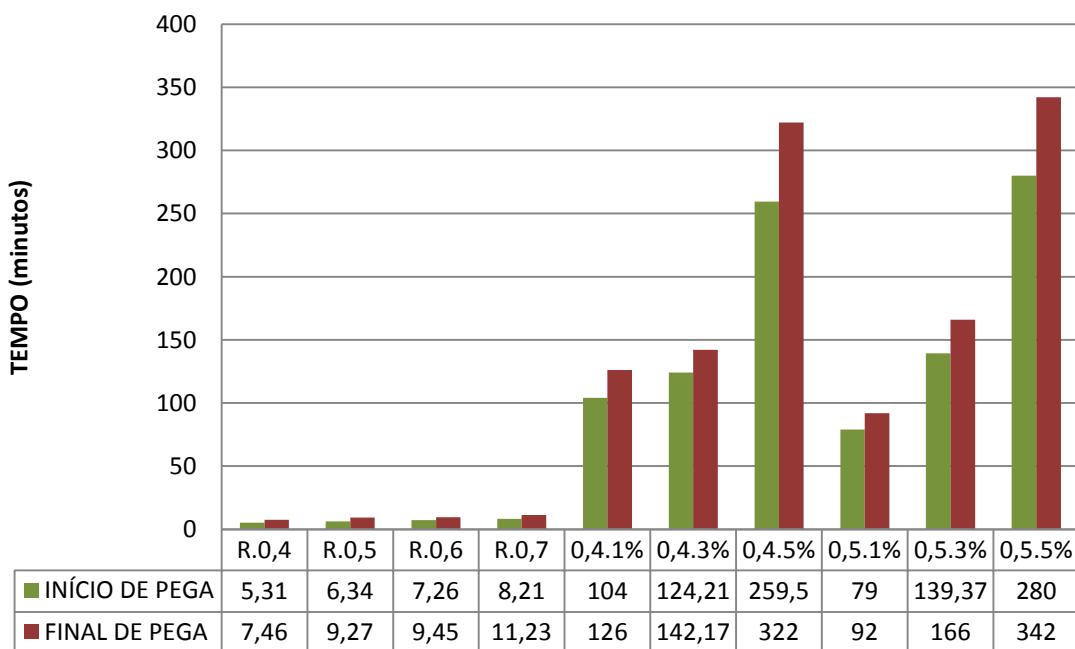
Aumentando-se o teor de aditivo, tem-se um aumento nos tempos de pega.

Figura 41: Tempos de início e fim de pega das pastas com 1% de aditivo



A Figura 42 indica os resultados médios obtidos nos ensaios de início e fim de pega.

Figura 42: Valores médios do tempo de Pega



5.8 Microscopia eletrônica de varredura – MEV

A utilização da microscopia eletrônica de varredura (MEV) permitiu a observação da morfologia dos cristais do gesso. Na Figura 50 é apresentada a microestrutura da pasta com relação a/g=0,6 sem aditivo, com aumentos de 5.000 e 10.000 vezes. Nela se observam cristais com formas lamelares, com superfície lisa e irregular.

No caso da pasta de gesso com aditivo (Figura 43), não se percebem de imediato diferenças significativas. Vale salientar que nesse caso foi usado aditivo com palma proveniente de João Pessoa, que tem menor eficacidade que aquele obtido com palma de Juazeirinho.

Figura 43: Micrografia obtida em microscopia eletrônica de varredura a/g=0,6

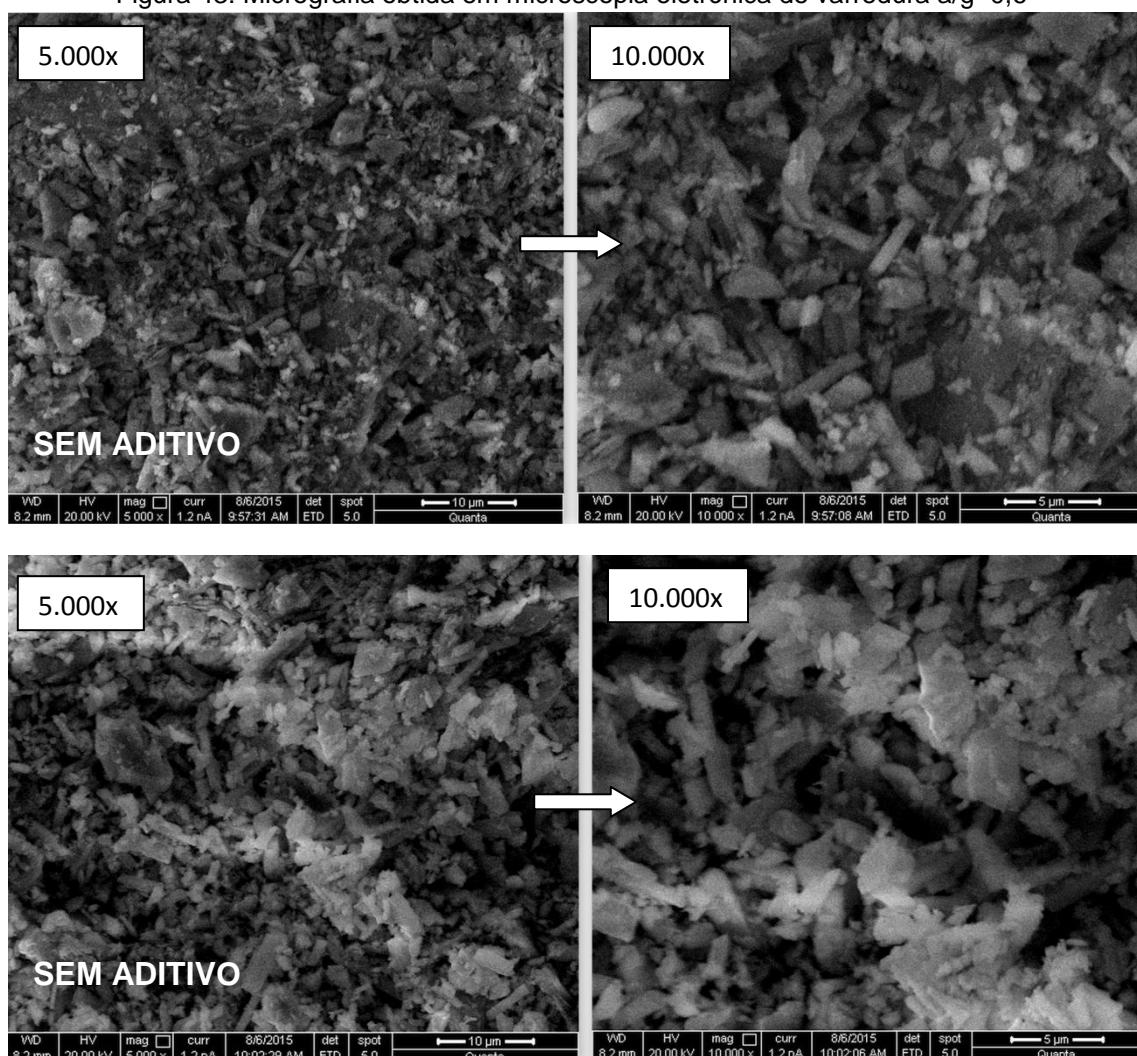
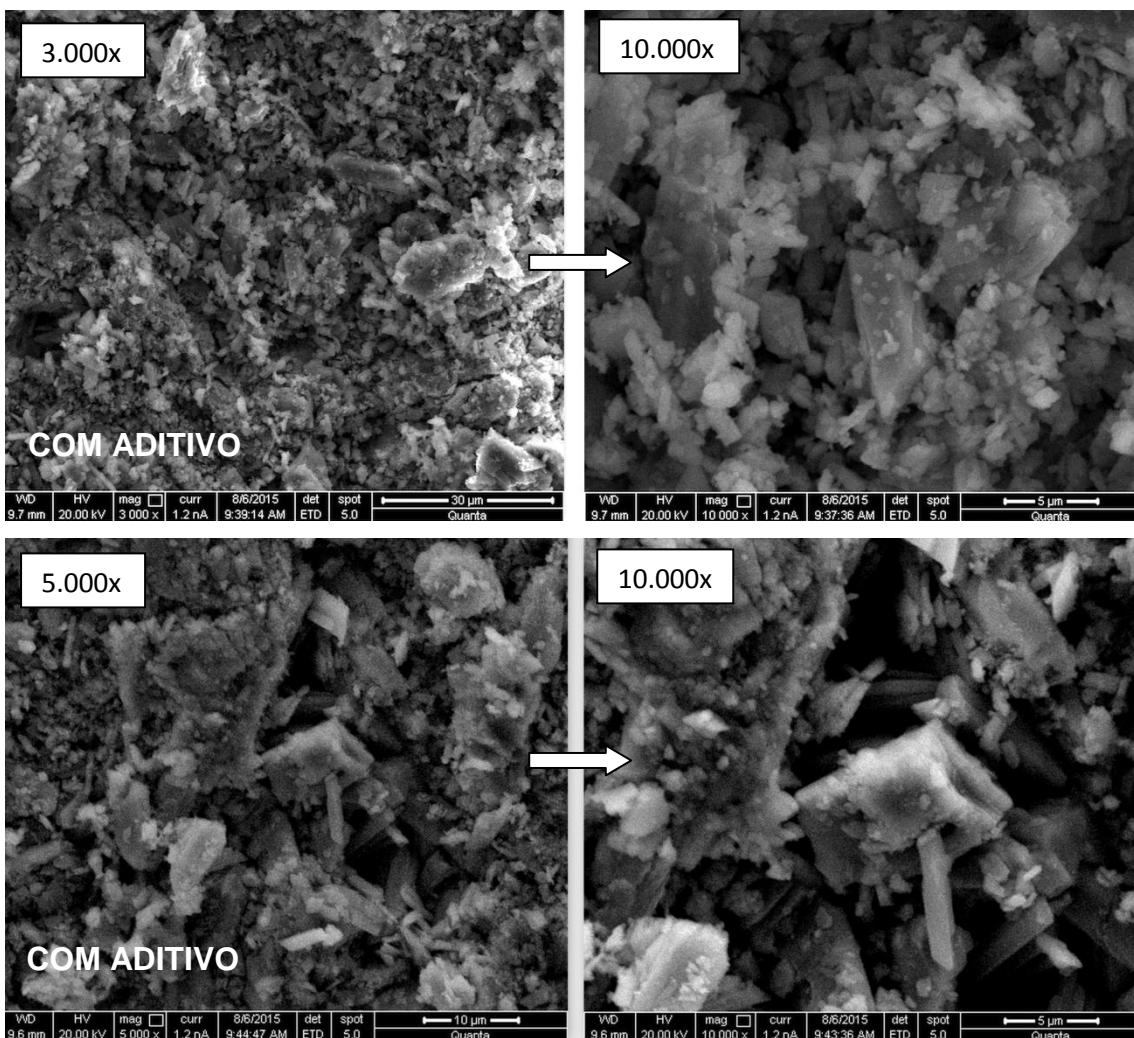


Figura 44: Micrografia obtida em microscopia eletrônica de varredura a/g=0,5 e 3% de aditivo



5.9 Influência da adição de conservante

Para evitar degradação biológica da mucilagem foram adicionados produtos inibidores do crescimento de fungos. Inicialmente tomou-se como base o trabalho de Nogueira (2012) que adicionava 20% de Álcool 70 na mucilagem de Aveloz. Com a mucilagem da palma, adicionando-se esse valor, observou a perda da capacidade de retardamento de 70%.

Contudo, com base no direcionamento do Professor do curso de Engenharia de Alimentos da UFPB, Artur Raimundo Diniz de Andrade, fez-se a adição de 1% metabissulfito de sódio e 0,5% sorbato de potássio à mucilagem,

comumente usados na conservação de alimentos. Esses materiais provocaram um efeito contrário ao desejado, levando à aceleração do tempo de pega.

Posteriormente, voltou-se aos ensaios com base no álcool. Foram feitos testes com quantidades menores, 1%, 5% e 10%. As três percentagens promoveram a conservação do aditivo quanto ao ataque de fungos. Pode-se afirmar que após 3 meses nenhuma dano foi observado na mucilagem.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu tirarem-se as seguintes conclusões:

É possível a obtenção de um aditivo plastificante e retardador para pastas de gesso, a partir de uma plana conhecida como Palma forrageira, de nome científico *Opuntia ficus-indica*, que cresce com facilidade no semi-árido nordestino.

Notou-se claramente que a mucilagem da planta quando cresce no semi-árido, com baixa umidade do ar, é mais consistente que aquela da planta quando no litoral paraibano, onde a umidade do ar é elevada.

O aditivo desenvolvido é um produto de fonte renovável e de muito menor impacto ambiental que os aditivos industrializados.

O processo de extração da mucilagem desenvolvido por congelamento mostrou-se eficaz, devendo-se ainda otimizá-lo.

Como conservante, destinado a evitar deterioração biológica, a adição de pequenas quantidades de álcool, de 1% a 5% mostrou-se eficaz num período de três meses.

A massa específica do aditivo desenvolvido é ligeiramente maior que a da água, sendo da ordem de 1,041.

O pH do aditivo é ligeiramente ácido, com valor de 4,8.

O teor de 1% de aditivo em relação à massa de gesso é o mais adequado para pastas de gesso.

O aditivo desenvolvido tem função plastificante. Pasta de gesso com relação = 0,4 e 1% de aditivo apresenta maior plasticidade, medida pelo espalhamento na mesa de consistência, que aquela sem aditivo e relação a/g = 0,5. Com relação a/g = 0,6 e 1% de aditivo, a pasta apresenta praticamente o mesmo espalhamento que a de referência com a/g = 0,7.

A absorção de água por parte do gesso é reduzida quando se coloca 1% de aditivo na mistura. Com relação a/g = 04, tem-se uma redução de 25% na absorção média. Já quando se aumenta a relação a/g há uma diminuição relativa dessa diferença, visto que a porosidade é quem tem maior influência. Teores de 3% e 5% não melhoraram significativamente a absorção em relação a 1%.

No que diz respeito à resistência à compressão, ela não é afetada quando se utiliza 1% do aditivo desenvolvido. Teores mais elevados começam a penalizar a resistência, fazendo-a decrescer.

O tempo de pega é fortemente influenciado pela presença do aditivo. Apenas 1% do aditivo faz passar os tempos de início e fim de pega de alguns minutos para mais de uma hora. Isto mostra o poder retardador do aditivo desenvolvido. Aumentando-se o teor de aditivo, aumenta-se ainda mais os tempos de pega.

Os conservantes 1% metabissulfito de sódio e 0,5% sorbato de potássio usados na indústria de alimentos, anularam o efeito retardador do aditivo, chegando mesmo a acelerar os tempos de pega da pasta de gesso. Devem então serem descartados com essa função.

Já 1% de álcool manteve o produto em condições de uso pelo período de um mês. Maiores teores de álcool interferem no tempo de pega.

O aditivo desenvolvido permite diversificar o uso do gesso na construção. Com ele pode-se baixar significativamente a relação água/gesso ainda com trabalhabilidade, ter um tempo de manuseio do material por mais tempo, e chegar a resistências comparáveis à do concreto, o que permitirá a execução de elementos com função estrutural na engenharia.

7 FUTURAS PESQUISAS

Como continuação desse trabalho é sugerido:

- Analisar quimicamente a mucilagem e procurar compreender o mecanismo de ação do aditivo desenvolvido;
- Pesquisar como controlar o tempo de pega de forma a se fixar o teor de aditivo conforme o período desejado para manipulação da pasta de gesso;
- Estabelecer outros compostos para a conservação da Mucilagem;
- Investigar as propriedades de resistência à tração, flexão e perda de massa por erosão dos corpos de prova com a adição do aditivo;
- Aplicar a metodologia adotada nessa dissertação em pastas à base de cimento;
- Analisar a mucilagens de outros cactos em pastas de gesso e de cimento.

REFERÊNCIAS

ABESC. Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem. **Manual Técnico.** São Paulo, 2000, Abesc.

ANGELERI, F. B.; CARDOSO, S. R. F.; SANTOS, P. S. As gipsitas brasileiras e sua aplicação como gesso na indústria cerâmica. Descrição dos métodos utilizados para seu estudo e caracterização. Parte I: Ensaios químicos. **Cerâmica**, São Paulo, v. 28, n. 156, p.471-479, dez. 1982.

AGUIAR, L. R. **Avaliação da ecoeficiência de programas e projetos ambientais voltados às micros e pequenas empresas do pólo gesseiro do Araripe, estado de Pernambuco.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão e Políticas Ambientais, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

ANTUNES, Rubiane Paz do Nascimento. **Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso.** 1999. 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ARAUJO, F. A. **Aplicação da metodologia de produção mais limpa: estudo em uma empresa do setor da construção civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.121p.

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

_____.**NBR 10908:** Aditivos parágrafo argamassa e concreto Ensaios de uniformidade. Rio de Janeiro, 2008.

_____.**NBR 11768:** Aditivos parágrafo concreto de cimento portland. Rio de Janeiro, 1992.

_____.**NBR 12127:** Gesso para construção - Determinação das Propriedades Físicas do Pó. Rio de Janeiro, 1991.

_____.**NBR 12128:** Gesso para Construção: Determinacao das propriedades fisicas da pasta. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 12129:** Gesso para construção – Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 1991.

_____.**NBR 13207**: Gesso para edifícios – Especificações. Rio de Janeiro, 1994.

_____.**NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

_____.**NBR 14717**: chapas de gesso acartonado: determinação das características físicas. Rio de Janeiro, 2001.

BALLESTER OLMOS, J. F. Cactus y Plantas Suculentas. Espanha: Floraprint, 1995.

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.

BARBERA, G. 1995. History, economic and agro-ecological importance. Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO. **Plant Production and Protection Paper**, 132.

BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2011. Vol.1.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. **Balanço mineral brasileiro 2001:** Gipsita. Brasil: DNPM, 2001. Disponível em: Acesso em: 10 set. 2014.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. **Anuário mineral brasileiro 2006.** Brasil: DNPM, 2007. Disponível em: . Acesso em: 09 set. 2014.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. **Sumário mineral brasileiro de 2009.** Brasil: DNPM, 2009. Disponível em: . Acesso em: 09 set. 2014.

CARDOSO, F. A. et al. Squeeze flow as a tool for developing optimized gypsum plasters. Construction and Building Materials, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 1349-1353, 2009.

CALVO, J.P. Yeso. **Curso Internacional de Técnico Especialista em Rocas y Minerales Industriales. Ilustre Colégio Oficial de Geólogos**, Madri.2003.

CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C. O gesso como material de construção: propriedades físicas e mecânicas. In: EDIFICAÇÕES IPT. **Tecnologia de edificações**. São Paulo: Pini, 1988. Cap. 9, p. 57-60.

CHANDRA, S.; EKLUND, L.; VILLARREAL, R. R. **Use of cactus in Mortars and Concrete. Cement and Concrete Research**. Estados Unidos. 1998.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2014.

COSTA, M. R. G. F. **Palma Forrageira na Alimentação Animal**. 2006. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2006.

DATAMÉTRICA. **Projeto palma**. Recife. Federação de Agricultura do estado de Pernambuco, 2004, 110p.

DEGANI, C. M. **Sistema de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

INFORMATIVO VERDE. **Os Fascinantes Cactos e Outras Suculentas**. Disponível em: <<http://www.itograss.com.br/informativoverde/edicao67/mat5ed67.htm>>. Acesso em: 22 de out. de 2014

FEUGANG , J; KONARSKI, P; ZOU, D; STINTZING, F.C; ZOU, C. **Nutritional and medicinal use of Cactus pear (Opuntia spp.) cladodes and fruits**. Frontiers in Bioscience 2006.11: 257489.

FIANO, M. B. S.; PIMENTEL, L. L. Estudo de viabilidade do reaproveitamento do gesso – queima rápida. Encontro de iniciação científica da PUC, 14 – Campinas, **Anais** 2009.

GERMAN, W. L. Algumas notas sobre a fabricação e uso de gesso na indústria cerâmica. **Cerâmica**, v. 23 , n. 96, p. 270-273, nov.1977.

GOURDIN, W. H.; KINGERY, W. D. The beginnings of pyrotechnology: neolithic and egyptian lime plaster. **Journal of Field Archaeology**, Boston, v. 2, n. 1, p.133-150, 1975. Disponível em: . Acesso em: 19 maio 2009.

HARADA, E.; PIMENTEL, L. L. Estudo de viabilidade do reaproveitamento do gesso – queima lenta. Encontro de iniciação científica da PUC, 14 – Campinas, **Anais** 2009.

HENAO, A. M. H. CINCOTTO, M. A. **Seleção de substâncias retardadoras do tempo de pega do gesso de construção.** São Paulo, 1997. Boletim Técnico – Escola Politécnica, USP. São Paulo.

HINCAPIÉ, A. M.; OLIVEIRA, C. T. A.; CINCOTTO, M.A.; SELMO, S. M. Revestimento de gesso I. Téchne, nº 21, mar/abr., p.44-47, 1996a. HINCAPIÉ, A. M. **Efeito de substâncias retardadoras de pega nas propriedades do gesso de construção.** São Paulo, 1997. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, USP. São Paulo.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Alternativas de Gestão dos Resíduos de Gesso.** Contribuição para Reformulação da Resolução CONAMA 307. São Paulo, 2003.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Gesso de construção civil.** In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil.** São Paulo: Ibracon, 2007. p. 727-760.

KANAN, M. I. **Manual de Conservação e Intervenção de Argamassas e Revestimentos à Base de Cal.** Brasília, DF. Iphan, 2008.

KANNO, W. M. **Propriedades mecânicas do gesso de alto desempenho.** Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

LEGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço.** Porto Alegre. Livraria do Arquiteto; Rio de Janeiro: TIBÁ – Instituto de Tecnologia Intuitiva e Bio-Arquitetura, 2004.

LYRA SOBRINHO, A.C.P. ; DANTAS, J.O.C. Gipsita. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral.** Brasília: DIDEM, 2004. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=4370> Acesso em: 20 ago. 2014.

MAGALHÃES, A. C. T. V. de. **Estudo de Fibras Vegetais, Mucilagem de Cacto e Gesso em Componentes Construtivos.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2009.

MARCONATO. C. Salva de palmas. Sistema de cultivo desenvolvido pelo agrônomo Paulo Suassuna multiplica a produtividade, incentiva a criação de agroindústrias e gera renda no sertão paraibano. **Revista globo rural.** Edição 272 – Junho, 2008.

MONÇÃO JÚNIOR, Ariosto Rodrigues. **Otimização das condições experimentais na desidratação da gipsita para obtenção de um gesso beta reciclável.** 2008. 66p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

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

NOGUEIRA, J.C.A. **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 do Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2012.

OLIVEIRA, M. M.; SAWITZKI, R. L.; FONSECA, T. C. C. S. A seiva de cactos como aditivos de argamassas antigas. In: Simpósio brasileiro de tecnologias de argamassas, 6., International Symposium on Mortars Technology. **Anais.** SBTA: Florianópolis, 2005.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. **O gesso – produção e utilização na construção civil.** Recife: Bagaço, 2001. 94 p.

PERES, L. S.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. Gesso: produção e utilização na construção civil. Recife: Editora SEBRAE, 2008.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Construção Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINHEIRO, Sayonara Maria de Moraes. **Gesso Reciclado: Avaliação de Propriedades para Uso em Componentes.** Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 352p. Tese (Doutorado). Departamento de Arquitetura e Construção, UNICAMP, 2011.

SÁENZ, C; BERGER, H; GARCIA, J.C; GALLETI, L; CORTÁZAR, V.G; HIGUERA, I. **Utilización agroindustrial del nopal.** Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y

la Alimentación. Roma, 2006.

SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. de A. et al. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco.** IPA. Documentos, 30. 48p, 2010.

SANTOS, C. H. M. **Políticas Federais de Habitação no Brasil (1964-1998).** Brasília, IPEA, 1997.

SILVEIRA, P. M.; VEIGA, M. R.; BRITO, J. Gypsum coatings in ancient buildings. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 1, p.126-131, jan. 2007.

SINDUSGESSO - Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco. **Pólo Gesseiro.** Disponível em: <http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp>. Acesso em: 30 set. 2011.

TAKANE, R. J.; PIVETTA, K. F. L.; YANAGISAWA, S. S. **Cultivo de Cactos e Suculentas Ornamentais.** 1. ed. Fortaleza: GrafHouse, 2009.

TROVÃO, 2012. **Pasta de gesso com incorporação de resíduo de gesso e aditivo retardador de pega.** Disponível em:<<http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese5088Ana%20Paula%20Milagres%20Trov%E3o.pdf>>. Acesso em: 19 set 2014.

APÊNDICE A – DETALHAMENTO DO ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA

Na Tabela 10, a massa específica é representada em gramas, indicada a partir da amostra de água de referência e do aditivo. O valor da massa específica é 1,041g.

Tabela 10: Valores dos Pesos dos elementos da amostra para o encontro da massa específica.

| MASSA ESPECÍFICA | |
|-----------------------------|----------------------------|
| ELEMENTOS DA AMOSTRA | Massa (g) |
| Picnômetro Vazio (a) | 41,7 |
| Picnômetro com água (b) | 101,7 |
| Picnômetro com amostra (c) | 104,2 |

Aplicando os valores (g) na fórmula, obtemos:

$$\frac{104,2 - 41,7}{101,7 - 41,7} = \frac{62,5}{60} = 1,041$$

APÊNDICE B – VALORES MÉDIOS DE TEMPO DE PEGA

Para estimativa do tempo médio, os tempos foram transformados em valores fechados, para obter uma média base, como podemos ver na Tabela 11.

Tabela 11: Valores médios de Tempo de Pega

| ENSAIO DE PEGA – APARELHO DE VICAT (MÉDIA) | |
|---|---|
| REFERÊNCIA | TEMPO DE PEGA |
| R.0,4 | INÍCIO DE PEGA: 00:05:31 FINAL DE PEGA: 00:07:46 |
| R.0,5 | INÍCIO DE PEGA: 00:06:34 FINAL DE PEGA: 00:09:27 |
| R.0,6 | INÍCIO DE PEGA: 00:07:26 FINAL DE PEGA: 00:10:18 |
| R.0,7 | INÍCIO DE PEGA: 00:08:21 FINAL DE PEGA: 00:11:23 |
| 0,4,1% | INÍCIO DE PEGA: 01:44:00 FINAL DE PEGA: 02:06:00 |
| 0,4,3% | INÍCIO DE PEGA: 02:04:21 FINAL DE PEGA: 02:22:17 |
| 0,4,5% | INÍCIO DE PEGA: 04:19:50 FINAL DE PEGA: 05:22:00 |
| 0,5,1% | INÍCIO DE PEGA: 01:19:00 FINAL DE PEGA: 01:32:00 |
| 0,5,3% | INÍCIO DE PEGA: 02:22:47 FINAL DE PEGA: 02:33:00 |
| 0,5,5% | INÍCIO DE PEGA: 04:43:00 FINAL DE PEGA: 04:42:00 |

APÊNDICE C – VALORES MÉDIOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A Tabela 12 apresenta os valores médios do teste de espalhamento e o Gráfico 05 mostra a análise dos valores.

Tabela 12: Valores Médios do diâmetro no Ensaio de Consistência

| TESTE DE ESPALHAMENTO – MESA DE CONSISTÊNCIA | | |
|---|-----------------|--------------|
| ELEMENTOS DA AMOSTRA | Diâmetro | MÉDIA |
| | | (cm) |
| R 0,4 | 13,1 cm | |
| R 0,5 | 13,9 cm | |
| R 0,6 | 27,5 cm | |
| R 0,7 | 31 cm | |
| 0,4,1% | 17,6 cm | |
| 0,5,1% | 23,3 cm | |
| 0,6,1% | 31 cm | |
| 0,7,1% | 40,25 cm | |

APÊNDICE D – VALORES MÉDIOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO

Os valores médios obtidos de absorção indicam diferentes características, como podemos visualizar na Tabela 13. Esses valores foram dados pela somatória da absorção dos corpos de provas dividida pela quantidade de corpos em cada grupo.

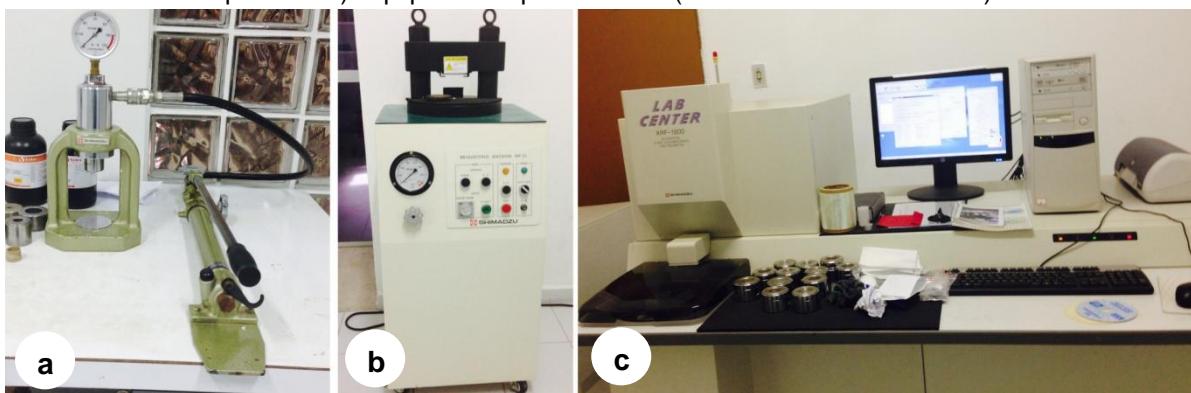
Tabela 13: Valor Médio do teor de umidade no Ensaio de Absorção

| ELEMENTOS DA AMOSTRA | MASSA SECA MÉDIA (g) | MASSA ÚMIDA MÉDIA (g) | TEOR DE UMIDADE MÉDIA (%) |
|----------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| R 0,4 | 186,2 | 223,4 | 19,9% |
| R 0,5 | 168,2 | 212,8 | 26,4% |
| R 0,6 | 151,8 | 197,2 | 29,9% |
| R 0,7 | 121,7 | 181,6 | 49,2% |
| 0,4.1% | 189,0 | 219,6 | 16,1% |
| 0,4.3% | 178,5 | 209,4 | 17,3% |
| 0,4.5% | 174,9 | 205,7 | 17,6% |
| 0,5.1% | 164,3 | 202,2 | 23,0% |
| 0,5.3% | 158,3 | 196,5 | 24,1% |
| 0,5.5% | 154,9 | 192,2 | 24,0% |

APÊNDICE E – FRX – FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

O ensaio de FRX foi feito com equipamentos do laboratório de Materiais da Universidade Federal da Paraíba – UFPB (Figura 53).

Figura 53: Equipamentos para o ensaio de FRX; a) acoplador e desacoplador b) equipamento de compressão c) Equipamento para análise (XRF – 1800 da shimadzu).



A análise foi feita com o valor de referência 0,6 a/g (Tabela 14) e o valor de 0,5 a/g com 3% de aditivo (Tabela 15).

O aditivo utilizado foi colhido em João Pessoa – PB.

Tabela 14: FRX do valor de referência 0,6 a/g.

| ELEMENTOS | % EM MASSA |
|--------------------------------|------------|
| SO ₃ | 57,40 |
| CaO | 41,33 |
| SiO ₂ | 0,69 |
| SrO | 0,19 |
| Al ₂ O ₃ | 0,16 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,15 |
| K ₂ O | 0,03 |
| MnO | 0,01 |

Tabela 15: FRX do valor 0,5 a/g com 3% de aditivo.

| ELEMENTOS | % EM MASSA |
|--------------------------------|------------|
| SO ₃ | 56,90 |
| CaO | 41,36 |
| SiO ₂ | 0,95 |
| SrO | 0,19 |
| Al ₂ O ₃ | 0,26 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,20 |
| K ₂ O | 0,04 |
| MnO | 0,01 |
| TiO ₂ | 0,03 |
| CuO | 0,008 |

Nota-se pouca diferença nos componentes apresentados, com destaque no acréscimo na referência 0,5 a/g com 1% de aditivo, em pouca quantidade do Dióxido de Titânio (TiO₂), muito utilizado em pigmentações e o Óxido de Cobre (CuO).

APÊNDICE F – ENSAIO DE ABSORÇÃO COM MUCILAGEM DA PALMA DE JOÃO PESSOA

O ensaio de absorção das pastas de gesso com adição da mucilagem da cactácea *Opuntia ficus-indica* das raquetes de Palma colhidas em João Pessoa foi feita com a relação a/g=0,4 e 0,5 em quantidade de 3% de aditivo, como podemos ver na Tabela 16.

Tabela 16: Ensaio de absorção com mucilagem colhidas em João Pessoa.

| ELEMENTOS DA AMOSTRA | MASSA SECA | MASSA ÚMIDA | ABSORÇÃO |
|----------------------|------------|-------------|----------|
| | (g) | (g) | (%) |
| 0,4.3%.JP.a | 177,5 | 210,1 | 18% |
| 0,4.3%.JP.b | 172,5 | 204,5 | 18% |
| 0,4.3%.JP.c | 177,6 | 209,8 | 18% |
| 0,5.3%.JP.a | 163,4 | 201,8 | 23% |
| 0,5.3%.JP.b | 163,7 | 203,1 | 24% |
| 0,5.3%.JP.c | 159,1 | 196,8 | 23% |

A Tabela 17 apresenta os valores médios para o ensaio de absorção com a Palma extraída de João Pessoa-PB.

Tabela 17: Valor médio do ensaio de absorção.

| ELEMENTOS DA AMOSTRA | MASSA SECA | MASSA ÚMIDA | ABSORÇÃO |
|----------------------|------------|-------------|----------|
| | (g) | (g) | (%) |
| 0,4.3%.JP | 175,86 | 208,13 | 18% |
| 0,5.3%.JP | 162,06 | 200,5 | 23% |

APÊNDICE G – ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COM MUCILAGEM DA PALMA DE JOÃO PESSOA

A tabela 13 apresenta resultados de resistência à compressão para o ensaio com relação a/g = 0,35 com 3% de aditivo retirado da Palma colhida em João Pessoa-PB (Tabela 18). Como comparativo, foi realizado o ensaio na mesma proporção com a Palma colhida em Juazeirinho (Tabela 19).

Tabela 18: Valores do Ensaio de Compressão da Opuntia fícus-indica colhida em João Pessoa

| | MPa | MPa MÉDIA |
|------------|-----------------------|--------------|
| 0,35.3%.JP | 9,64 11,78 12,1 | 11,17 |

Tabela 19: Valores do Ensaio de Compressão da Opuntia fícus-indica colhida em Juazeirinho

| | MPa | MPa MÉDIA |
|---------|------------------------|--------------|
| 0,35.3% | 18,27 25,36 23,3 | 22,31 |

Pode-se observar que a Palma colhida em Juazeirinho obteve-se melhor resistência à compressão, apresentando o dobro do valor com 22,31 MPa, sendo a mucilagem extraída em João Pessoa só teve resistência de 11,17 MPa.

APÊNDICE H – Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

As Figuras 44, 45, 46, 47 e 48 correspondem ao ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura em corpos de prova com aditivo e sem aditivo.

Figura 44: Microestrutura do gesso sem aditivo; a) ampliação de 2.000 x; b) ampliação de 3.000 x; c) ampliação de 5.000 x; d) ampliação de 10.000 x;

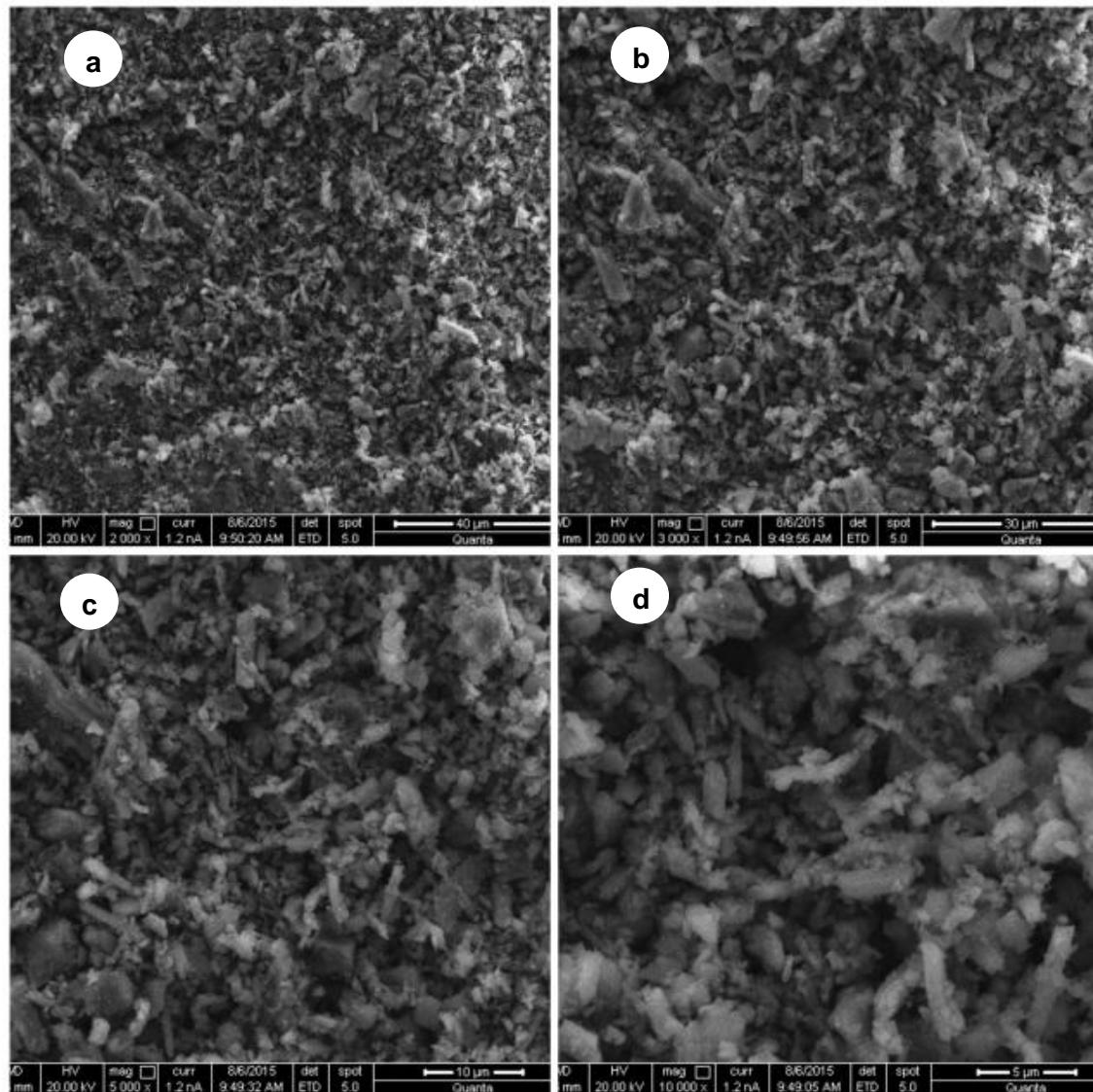


Figura 45: Microestrutura do gesso sem aditivo; a) ampliação de 2.000 x; b) ampliação de 3.000 x; c) ampliação de 5.000 x; d) ampliação de 10.000 x;

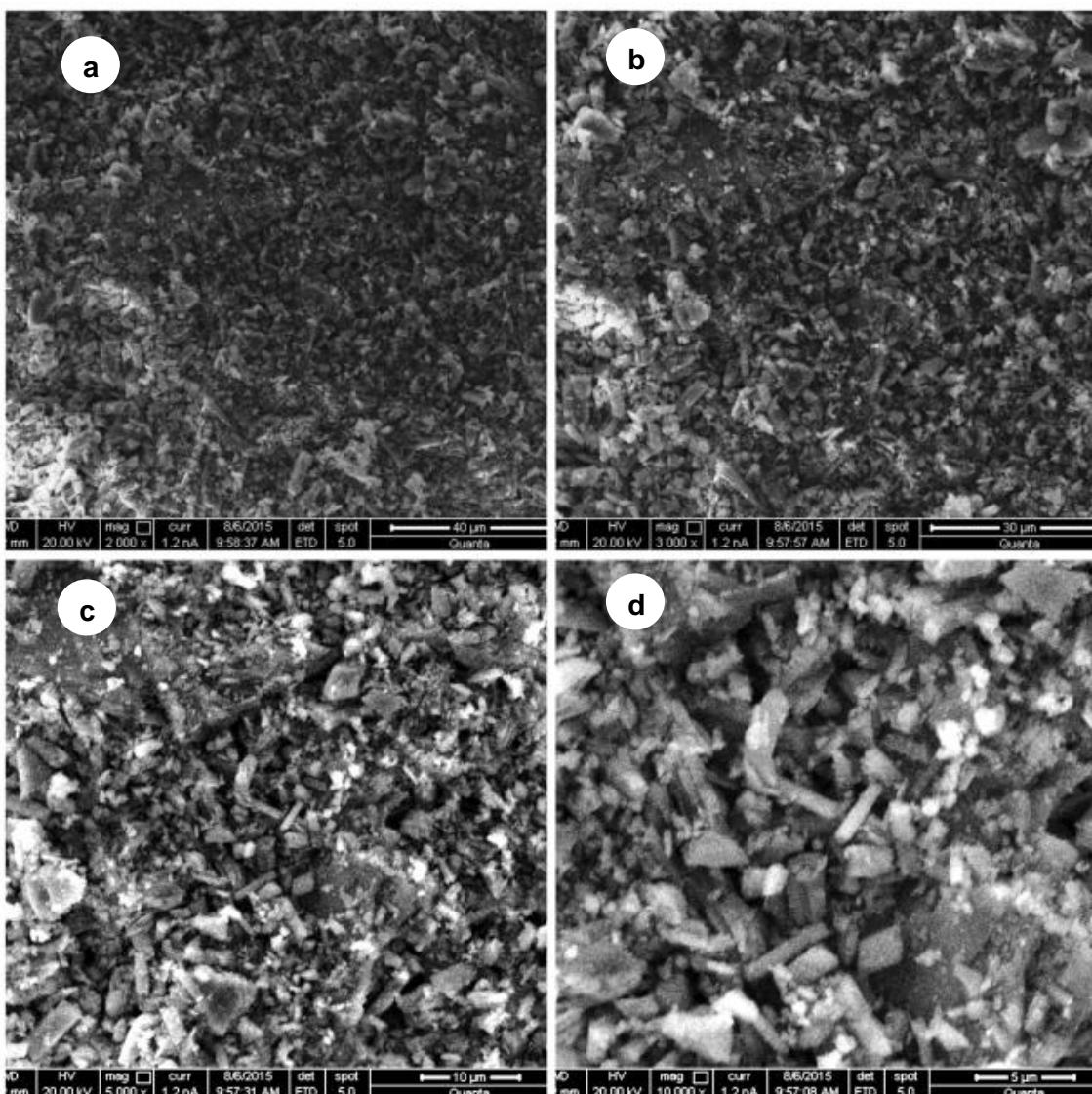


Figura 46: Microestrutura do gesso sem aditivo; a) ampliação de 1.000 x; b) ampliação de 1.000 x; c) ampliação de 2.000 x; d) ampliação de 3.000 x; e) ampliação de 5.000 x; f) ampliação de 10.000 x;

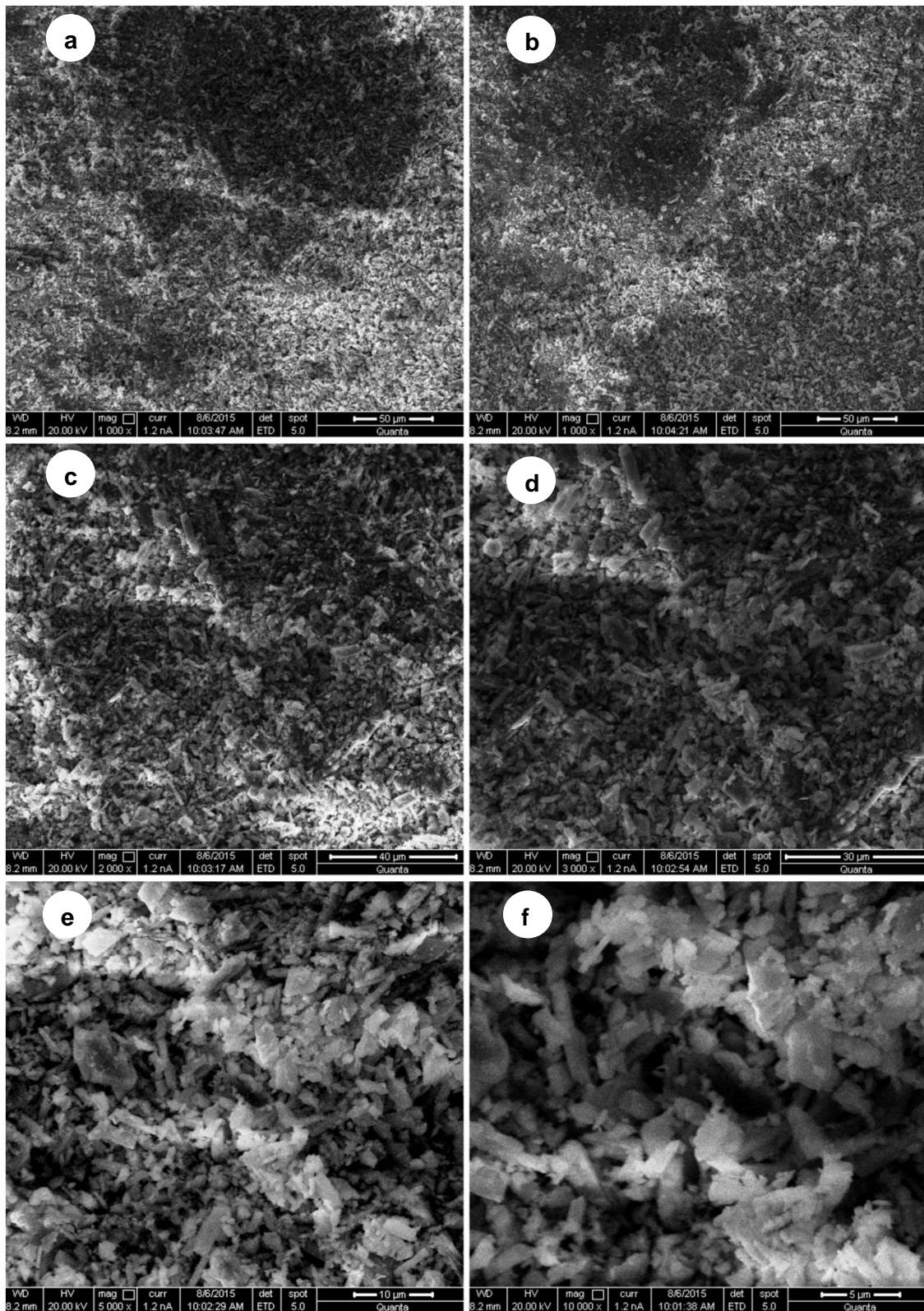


Figura 47: Microestrutura do gesso com aditivo; a) ampliação de 2.000 x; b) ampliação de 3.000 x; c) ampliação de 5.000 x; d) ampliação de 10.000 x;

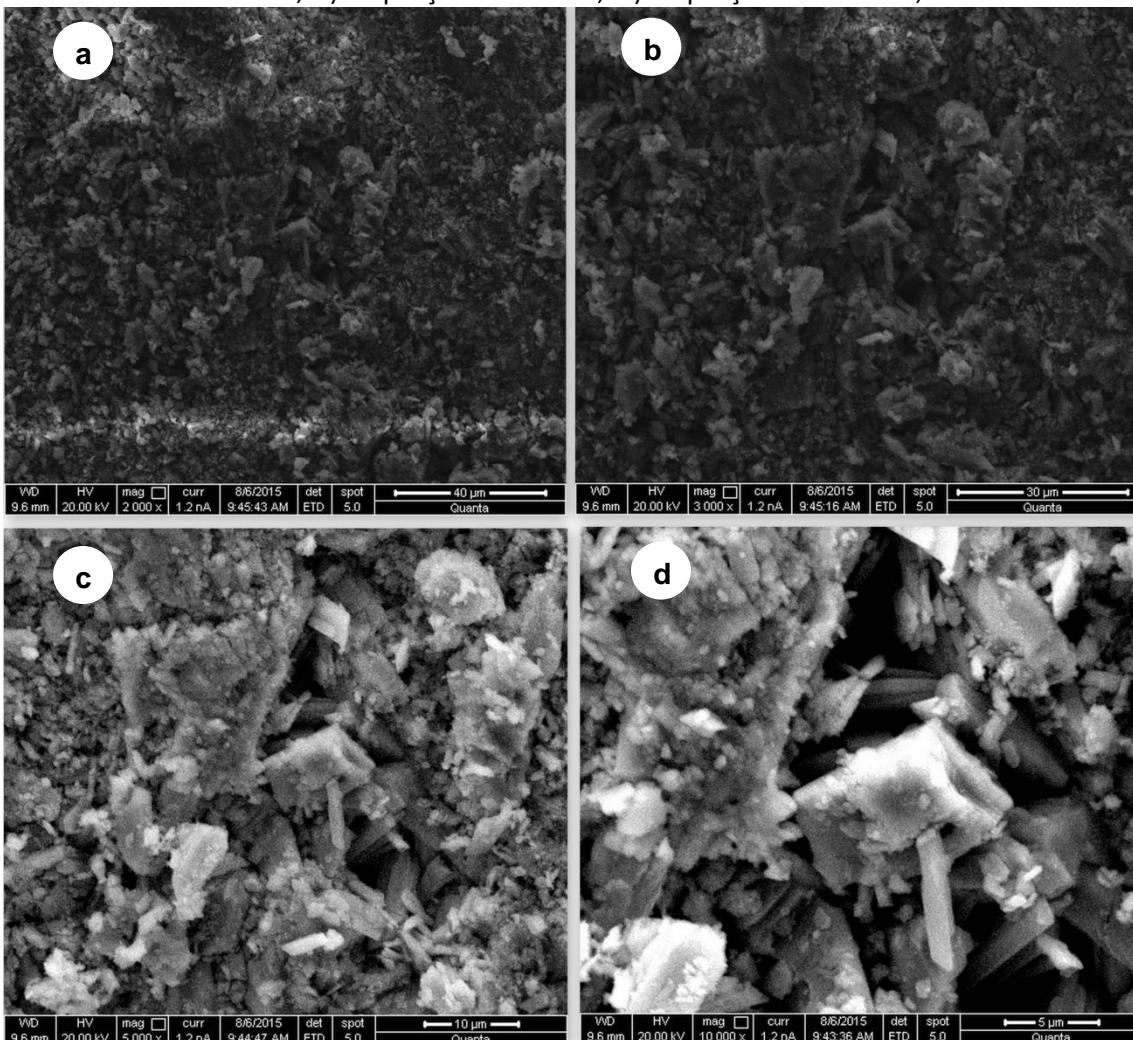


Figura 48: Microestrutura do gesso com aditivo; a) ampliação de 1.000 x; b) ampliação de 1.000 x; c) ampliação de 2.000 x; d) ampliação de 3.000 x; e) ampliação de 5.000 x; f) ampliação de 10.000 x;

