



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA ACADÊMICA

COORDENAÇÃO GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO

MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AMBIENTAIS

CRISTINA MARIA ALVES MORAIS DE ALBUQUERQUE

**Produção de Gesso de Revestimento Interno
Utilizando Anidrita II**

Recife

2012

CRISTINA MARIA ALVES MORAIS DE ALBUQUERQUE

PRODUÇÃO DE GESSO DE REVESTIMENTO INTERNO UTILIZANDO ANIDRITA II

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento em Processos Ambientais Universidade Católica de Pernambuco como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em **Desenvolvimento de Processos Ambientais**.

Área de Concentração: Desenvolvimento em Processos Ambientais

Linha de Pesquisa: Informática, Modelagem e

Orientador: Valdemir Alexandre dos Santos

Co-orientador: Eliane Cardoso de Vasconcelos

Recife

2012

PRODUÇÃO DE GESSO DE REVESTIMENTO UTILIZANDO ANIDRITA II

Cristina Maria Alves Morais de Albuquerque

Examinadores:

Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Prof. Dr. Emerson Alexandre de Oliveira Lima
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Prof. Dr. Milton Marcos Rolim
Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP

DEDICATÓRIA

*À Deus e
À minha família.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por que sem ele nada é possível.

Ao meu esposo Paulo, minhas filhas Paula, Patrícia e Poliana, genros e netos pelo apoio e compreensão diante das longas horas de ausência na família.

Ao meu orientador Valdemir Alexandre dos Santos pela confiança e por oferecer uma orientação competente, provedora de conhecimentos e paciência nas dúvidas e incertezas durante toda a realização deste.

A minha co-orientadora Eliane Cardoso de Vasconcelos que deu toda dedicação na continuidade da pesquisa, quando da ausência do orientador, e seu grandioso auxílio na confecção deste trabalho.

A coordenadora do Mestrado em Desenvolvimento em processos Ambientais da UNICAP Alexandra Amorim Salgueiro pelo incentivo e colaboração para essa conquista.

Aos professores do Mestrado em Desenvolvimento em Processos Ambientais da UNICAP Antonio Mendes, Arminda Saconi, Emerson Lima, Carlos Alves, Galba Takaki, Sergio Murilo, que me apresentaram novos conhecimentos para alicerçar meu crescimento profissional.

A aluna de Iniciação Científica Gabriela Hellane pela colaboração nos teste de laboratório para a confecção dos ensaios necessários para a realização deste trabalho.

Aos colegas do mestrado pela amizade, ajuda e companheirismo nos momentos de estudos e trabalhos em grupos e pelos momentos inesquecíveis convividos.

Aos colegas: professores, funcionários, laboratoristas da UNICAP que colaboraram direto ou indiretamente para o desempenho e confecção desde documento.

RESUMO

O gesso de projeção foi desenvolvido como um material a mais, para ser incorporado aos sistemas construtivos. Sua aplicação deve abranger o interior das casas e edifícios, tanto comerciais como residenciais, lojas, shopping centers, hospitais, etc. Nesses recintos exige-se uma técnica perfeita para a sua utilização, de forma a se ter qualidade e desempenho que garantam os padrões exigidos pelo mercado atual, principalmente a redução do consumo das reservas naturais, garantindo a menor quantidade possível de resíduos produzidos durante e após o processo de aplicação. A literatura tem dado pouquíssimas informações científicas sobre a produção desse tipo de gesso, em virtude do caráter essencialmente comercial dessa área. Na prática sabe-se que no Polo Gesseiro do Araripe - Pernambuco, esse tipo de gesso tem sido produzido de forma imprópria, com a desidratação inadequada do minério de gipsita (sobreconversão da reação), complementando-se com a incorporação de aditivos - substâncias limitadas, a exemplo do gesso cola; que pelo alto custo agrega valor. Este trabalho, portanto, objetiva mostrar como ocorre o desenvolvimento de um processo básico de produção de gesso de projeção, com o auxílio de gipsita totalmente desidratada (anidrita II). Constituído de semi-hidrato e anidrita II, em percentuais adequados para a fixação de tempos de pega necessários para uma melhor trabalhabilidade da massa. Esse tipo de gesso apresenta vantagens em relação àqueles produzidos por procedimentos atuais praticados no Polo Gesseiro do Araripe, associado a uma significativa redução de rejeitos - preocupação básica que se deve ter em relação à duração das jazidas.

Palavras-chave: Gesso de revestimento, Gipsita, Anidrita II, semi-hidrato, otimização de processos.

ABSTRACT

The plaster projection was developed as a cast material over, to be incorporated into construction systems used in construction. Your application must include interior of the houses and buildings, both commercial and residential, shops, malls, hospitals, etc.. These grounds requires is a perfect technique for use in order to have quality and performance to ensure the standards required by the current market, mainly to reduce the consumption of natural resources, ensuring the least possible amount of waste produced during and after the application process . The literature has given very little scientific information on the production of this type of plaster, due to the essentially commercial nature of this area. In practice it is known that in Plaster Pole of Araripe - Pernambuco, this type of plaster has been made improperly, with inadequate dehydration of the mineral gypsum ore (on conversion reaction), being completed with the incorporation of additives - limited substances, such as the glue plaster; that the high cost adds value. This work, therefore, the objective is to show how the development of a basic projection process of gypsum production, with the aid of totally dehydrated gypsum (anhydrite II). Consisted of hemihydrates and anhydrite II in suitable percentage for fixing setting time required for a better workability of the mass. This type of plaster has advantages in relation to those produced by current procedures practiced in the Plasterer Polo Araripe, associated with a significant reduction of waste - basic concern that one should have in relation to the duration of deposits.

Key Words: Base coat plaster, Gypsum, Anhydrite II, hemihydrate, process optimization.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1 - Tempo de reidratação de uma pasta de gesso (Antunes, 1999)	21
Figura 1.2 - Hidratação e "pega" do gesso (Santos, 2010)	24
Figura 1.3 - Curva de calor de hidratação de uma pasta de gesso (Antunes; John; Andrade, 1999)	26

CAPÍTULO II

Figura 2.1 - Foto da Mufla utilizada para a produção de anidrita II	51
Figura 2.2 - Foto da balança térmica utilizada para determinação de água de cristalização no semi-hidrato comercial	51
Figura 2.3 - Dispersão da TT em função dos tratamentos com anidrita II	53
Figura 2.4 - Dispersão da UM em função dos tratamentos com anidrita II	54
Figura 2.5 - Dispersão da RC em função dos tratamentos com anidrita II	54
Figura 2.6 - Dispersão da DS em função dos tratamentos com anidrita II	54
Figura 2.7 - <i>Box Plot</i> da TT em função dos tratamentos com anidrita II	56
Figura 2.8 - <i>Box Plot</i> da MU em função dos tratamentos com anidrita II	56
Figura 2.9 - <i>Box Plot</i> da RC em função dos tratamentos com anidrita II	57
Figura 2.10 - <i>Box Plot</i> da DS em função dos tratamentos com anidrita II	57

LISTA DE TABELAS e QUADROS

CAPÍTULO I

Tabela 1.1 - Bacias Sedimentares com depósitos de gipsita	18
Tabela 1.2 - Propriedades dos semi-hidratos alfa e beta	22
Quadro 1.1 - Sistematização dos aditivos para gesso	29

CAPÍTULO II

Tabela 2.1- Análise de variância (ANOVA)	58
Tabela 2.2- ANOVA para TT	59
Tabela 2.3- ANOVA para MU	60
Tabela 2.4- ANOVA para RC	60
Tabela 2.5- ANOVA para DS	60
Tabela 2.6- Teste de Tukey para TT	61
Tabela 2.7- Teste de Tukey para MU	61
Tabela 2.8- Teste de Tukey para RC	62
Tabela 2.9- Teste de Tukey para DS	62
Tabela 2.10- Comparação entre gesso comercial e o gesso de anidrita II com as NBR	63

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1.1 Introdução	11
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
1.3 Revisão Bibliográfica	14
1.3.1 Desenvolvimento Sustentável	14
1.3.2 Minério Gipsita	16
1.3.3 Desidratação Térmica da Gipsita	18
1.3.4 Variedades do Gesso	22
1.3.5 Pega do gesso	24
1.3.6 Aditivação de Gesso	27
1.3.7 Gesso de Revestimento	30
1.3.8 Funções do revestimento de argamassa	32
1.3.9 Caracterização das argamassas de gesso	33
1.3.10 Planejamento experimental	34
Referências Bibliográficas	38

CAPÍTULO II – Produção de Gesso de Revestimento Interno Utilizando Anidrita II

2.1 Introdução	47
2.2 Material e Métodos	48
2.2.1 Semi-hidrato do sulfato de cálcio	48
2.2.2 Anidrita II	48
2.2.3 Gesso de revestimento	49
2.2.4 Planejamento do Experimento	50
2.2.5 Análise dos dados	52
2.3 Resultados e discussão	52
2.3.1 Caracterização do gesso obtido de semi-hidrato e anidrita II	52
2.3.2 Comparação entre os gessos de revestimento	63
2.4 Conclusões e sugestões	63
2.5 Referências	65
2.6 Apêndices	67

1.1 INTRODUÇÃO

É muito importante para o desenvolvimento sustentável da indústria de construção civil e à proteção do meio ambiente que a preocupação com o destino e o custo da remoção de rejeitos aumentem a cada ano em todo o mundo. Nos últimos anos, com o crescimento do setor imobiliário, os profissionais de arquitetura e da construção civil estão cada vez mais preocupados com a utilização de materiais menos agressivos ao meio ambiente (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2008).

Para a aceitação desses materiais, é necessário existirem vantagens econômicas, no contexto da competitividade do setor, atendendo também aos requisitos exigidos ao desempenho de sua funcionalidade, bem como aos aspectos ambientais. Diante das inovações tecnológicas que se associam a otimização de materiais para os processos construtivos, torna-se necessário pesquisar alternativas para o uso do gesso como revestimento interno.

A utilização do gesso na construção civil tem sido cada vez maior, tanto na confecção de blocos de alvenaria como no processo de acabamento de paredes, pois sua pasta é vista pelos construtores como um material alternativo de qualidade e de baixo custo (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2008). Nos revestimentos internos de paredes, o gesso permite (além da redução do custo, uma maior produtividade no processo de aplicação devido à rapidez de execução e de bom acabamento final, comparado ao revestimento de argamassa, permitindo a aplicação da pintura diretamente sobre ele, sem a necessidade de aplicação da massa corrida, como ocorre com o uso da argamassa (TAVARES *et al.*, 2010). Contudo um grande entrave ambiental é verificado quando da aplicação do gesso de revestimento. Quando aplicado diretamente sobre a alvenaria gerando um excesso da quantidade de resíduos, devido à velocidade de endurecimento desse material.

Quando um gesso de revestimento é misturado à água, forma uma pasta homogênea, consistente e trabalhável que, após poucos minutos, apresenta uma perda de consistência, ganhando viscosidade e posteriormente com o endurecimento adquirindo, mais resistência. Esse ganho de viscosidade, conhecido como tempo de pega inicial da pasta, e o endurecimento, chamado de incremento da resistência do material, são fenômenos que podem ser explicados pelo mecanismo de hidratação do gesso. A hidratação é um fenômeno químico no qual o material anidro em pó é transformado em hidratado pela reação química do pó com a água (HINCAPIÉ, 2008).

O gesso é um produto complexo que possui diferentes fases dependendo das condições termodinâmicas nas quais se forma. Para o gesso de revestimento produzido no Polo do Araripe a relação entre matéria prima (sulfato de cálcio di-hidratado ou gipsita), o produto calcinado (gesso comercial) e o material endurecido (sulfato di-hidratado) não apresenta um tempo de trabalhabilidade adequado à aplicação da pasta - tempo em que a pasta de gesso pode ser manipulada de forma adequada (MAGALHÃES, 2010).

Este trabalho discute, à luz de resultados experimentais, o aumento desse tempo de endurecimento do gesso de revestimento, reduzindo com isso o volume de resíduos gerados. Com esse propósito, compararam-se as propriedades físicas e mecânicas de amostras de gesso do tipo beta para revestimento interno, obtidas por dois tipos diferentes de processos de fabricação. Num primeiro processo, convencionalmente praticado no Polo Gesseiro do Araripe, por sobreconversão (gesso beta e anidrita III) e, num segundo processo, obtido pela mistura de gesso beta e anidrita II produzida em laboratório.

1.2 OBJETIVOS

O gesso de revestimento existente no mercado brasileiro, obtido atualmente por sobreconversão da desidratação térmica do minério gipsita, dá origem a um material instável, com oscilações nos valores do tempo de pega, necessitando da incorporação de aditivos. Nossa proposta é testar uma mistura de semi-hidratado. A mistura de semi-hidrato e de anidrita II deverá dar origem a um material estável, a anidrita III, adequado para revestimento interno, para redução de resíduos na construção civil, como oferecer material mais estável útil para o mercado.

1.2.1 Objetivo Geral

Determinar condições adequadas em experimentação para a obtenção de um tipo de gesso de revestimento estável, através da mistura de semi-hidrato beta e anidrita II.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral proposto é necessário que os seguintes objetivos específicos sejam atingidos:

- obter anidrita II em laboratório;
- produzir gesso de revestimento pela mistura de gesso comercial com a anidrita II, segundo um planejamento experimental de único fator (tratamento);
- produzir corpos de prova para realizar comparação entre os dois tipos de gesso de revestimento;
- justificar diferenças de propriedades entre os tipos de gesso de projeção (anidrita II e anidrita III).
- Verificar o tipo de estabilidade da anidrita III como produto útil a construção civil por gerar menos resíduos.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A presente revisão bibliográfica aborda a temática do gesso incluindo sua história, mineralogia, processo de produção e prescrições normativas. Os procedimentos para a aplicação da argamassa de gesso, sua produção, propriedades e características e o resíduo gerado também são referenciados, destacando sua importância para a indústria da construção civil e a conscientização do compromisso com o meio ambiente e a sustentabilidade.

1.3.1 Desenvolvimento Sustentável

Após a II Grande Guerra, o mundo experimentou um crescimento econômico explosivo, bem como um processo de urbanização acelerada, o que resultou na utilização inadequada e intensa de recursos naturais e na degradação do meio ambiente. Esta geração tem aprendido a conviver com os reflexos de uma natureza duramente ofendida, seja pelo aquecimento global, alto consumo de energia, destruição da camada de ozônio, poluição por nutrientes, poluição do ar e chuva ácida, consumo de matéria prima não renovável e geração de resíduos. Diante deste quadro, iniciou-se um sério questionamento dos conceitos de progresso, crescimento econômico e qualidade de vida (TAVARES, 2010).

Assim, o conceito de Desenvolvimento Sustentável tornou-se algo indispensável. O termo Desenvolvimento Sustentável foi utilizado pela primeira vez em 1980 no documento Estratégia de Conservação Global, publicado pelo *World Conservation Union*. Contudo, foi a partir da publicação do Relatório Nosso Futuro Comum da “Brundtland Commission” (*Comissão Mundial para Meio Ambiente e Desenvolvimento*), em 1987, que o termo passou a ser mundialmente conhecido (BERNHOEFT, 2010).

Segundo Santos (2003), desenvolvimento sustentável é aquele que permite atender às necessidades de toda população e garante a todos a oportunidade de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor, sem comprometer a habilidade das gerações futuras, diante das ameaças que este vem sofrendo em decorrência do crescimento industrial e todas as suas consequências.

Uma preocupação cada vez maior é percebida com a ordenação do uso dos recursos naturais do planeta e sua preservação. Isto tem afetado significativamente as estratégias de planejamento em diversos setores e segmentos: desde o planejamento doméstico até o planejamento de grandes instituições, indústrias, empresas e entidades onde se desenvolve qualquer tipo de atividade humana, buscando o desenvolvimento sustentável (TAVARES, 2010).

Diante dos fatos, nações de todo o mundo tem se reunido para discutir as questões ambientais para o nosso planeta. Entre esses encontros, destaca-se a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, celebrada no Rio de Janeiro de 1992 a ECO-92, onde foram lançados os desafios fundamentais que permearão as políticas dos governos das nações no terceiro milênio. Entre os vários documentos emanados na ECO-92, onde o Brasil sediou, destaca-se a “Agenda 21” que apresenta um plano de ação para o desenvolvimento sustentável a ser adotado pelos países, a partir de uma nova perspectiva para a cooperação internacional (BERNHOEFT, 2010).

A Agenda 21, segundo o mesmo autor, constitui um amplo plano de ação visando o desenvolvimento sustentável a médio e longo prazo. A estratégia de atuação estrutura-se a partir de quatro grandes temas: 1) Os desafios ambientais que tratam da conservação e do gerenciamento de recursos para o desenvolvimento; 2) a questão do desenvolvimento sustentável, com suas dimensões econômicas e sociais; 3) o papel dos grupos sociais na organização e fortalecimento da sociedade humana e 4) os meios de implementação dos projetos tendo por base o encaminhamento de iniciativas voltadas à obtenção de melhores condições ambientais e de vida. A Agenda 21 foi elaborada de forma a atender aos níveis: global, nacional e local. O governo brasileiro, baseado na Agenda 21, iniciou o processo de elaboração da “Agenda 21 brasileira” apresentada em 2002. Da mesma forma, estados e municípios discutem a Agenda 21 regionais e locais, com a participação da sociedade visando à educação ambiental, fundamental para conferir consciência ambiental e ética, valores e atitudes, técnicas e comportamentos em consonância com o desenvolvimento sustentável e que favoreçam a participação pública efetiva nas tomadas de decisão.

Dos 48 capítulos da Agenda 21, 12 tem reflexos no setor da construção civil. A cadeia produtiva do setor de construção faz parte do *Construbusiness* brasileiro, que é composta de diversos setores como: material de construção, bens de capital para construção, edificações, construção pesada e serviços diversos, que incluem atividades imobiliárias, serviços técnicos de construção e atividades de manutenção de imóveis. Representa uma cadeia extremamente relevante para a economia do País, representando cerca de 8% do PIB nacional, além de ser a maior geradora de empregos diretos e indiretos (SINDUSCON-SP, 2011).

1.3.2 Minério Gipsita

A gipsita é um mineral abundante na natureza. É um sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que geralmente ocorre associado à anidrita ou sulfato de cálcio anidro (CaSO_4). Essas espécies minerais são encontradas em depósitos evaporíticos originados de antigos oceanos. A formação geológica desses depósitos é explicada pela ocorrência de precipitação seguida de evaporação e conseqüente concentração dos sais (VIEIRA, 2008).

A gipsita tem dureza 2 na escala de Mohs, densidade 2,35, índice de refração 1,53, bastante solúvel de cor que varia entre incolor, branca, cinza, amarronzada, dependendo das impurezas contidas nos cristais. Sua composição química média apresenta 32,5% de CaO, 46,6% de SO_3 e 20,9% de H_2O (BALTAR, et al., 2005). É um mineral pouco resistente que, sob a ação do calor (em torno de 160°C), desidrata-se parcialmente, originando um semi-hidrato conhecido comercialmente como gesso, de estequiometria ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). Em seu estado natural é denominado “gipsita”, enquanto produto calcinado é denominado “gesso”.

É encontrado em granulação fina a média, estratificada ou maciça, coloração que varia em tons claros de amarelo a marrom, constituindo as rochas gipsíferas, das quais fazem parte também outros minerais, como anidrita, calcita, dolomita, halita, enxofre, quartzo e argila (LYRA SOBRINHO, et al., 2001).

São conhecidas três variedades de gipsita:

- Selenita, cristais monoclinicos prismáticos ou tubulares;
- Gipsita fibrosa, agregado de fibras paralelas, mais ou menos longas, e
- Alabastro, forma maciça ou compacta de granulação muito fina (a mais frequente e economicamente importante), apresentada na cor branca translúcida ou suavemente sombreada.

A gipsita é utilizada em sua forma *in natura* ou calcinada. O uso na forma *in natura* vem de civilizações antigas, como a egípcia (3.000 a.C.) e a romana. Hoje é utilizada na indústria de cimento, na fabricação do cimento Portland que requer a adição deste mineral para retardar o tempo de pega. Na agricultura, é utilizada como corretivo de solos, iniciando-se na Europa no início do século XVIII. Desde então essa prática vem sendo utilizada na correção de solos alcalinos e solos deficientes em enxofre.

Na indústria, a gipsita *in natura* ainda é utilizada como carga para papel, na fabricação de tintas, discos, pólvora, botões de fósforos, no acabamento de tecidos de algodão, como

distribuidor e carga de inseticidas, no polimento de chapas estanhadas e como *filler* na construção de estradas asfaltadas. Na fabricação de cerveja esse minério é adicionado à água para aumentar a sua “dureza” (LYRA SOBRINHO, et al., 2001). Ou seja, para proporcionar a densidade desse produto.

Já na sua forma calcinada, a gipsita, agora denominada anidrita, é utilizada na indústria química para obter vários produtos, dentre eles o ácido sulfúrico, enxofre elementar, cimento, barrilha, cloreto de cálcio, sulfato de amônio e carbonato de cálcio.

Também é utilizada na confecção de moldes para as indústrias de cerâmicas, metalúrgica e de plásticos; em moldes artísticos, ortopédicos e dentários; como agente desidratante; como aglomerante do giz e na briquetagem do carvão. Por sua propriedade de resistência ao fogo, é empregada na confecção de portas corta-fogo; na mineração de carvão para vedar lâmpadas, engrenagens e áreas onde há risco de explosão de gases.

São poucos os materiais de construção de qualidade superior ao gesso em relação à proteção contra incêndios. O gesso possui baixa condutividade térmica devido à absorção de uma grande quantidade de calor sem elevação da temperatura além dos 120°C na reação de transformação do di-hidrato a hemidrato pela ação do calor. Estima-se uma absorção de calor da ordem de 165.000 por tonelada de semi hidrato formado. Uma segunda reação endotérmica ocorre reforçando a ação de extinção de chamas, a cerca de 190°C, com a expulsão das moléculas de água finais.

Constata-se sem dúvida, que a aplicação maior do gesso está na indústria da construção civil, constitui-se como um bom isolante acústico, reduzindo ruídos entre as paredes e os tetos de apartamentos (SANTOS, 2003).

Sobre a localização dos minérios de gipsita, depositam-se em bacias sedimentares, por evaporação da fase líquida. No território brasileiro, segundo Lyra Sobrinho (2001), os principais depósitos localizam-se nas bacias sedimentares, como descritas na tabela 1.1 a seguir.

Tabela 1.1- Bacias Sedimentares com depósitos de gipsita

Bacias	Estados
Amazônica	Amazonas e Pará
Parnaíba	Maranhão e Tocantins
Potiguar	Rio Grande do Norte
Sedimentar do Araripe	Piauí, Ceará e Pernambuco
Recôncavo	Bahia

Fonte: Vieira, 2008

Os principais depósitos estão localizados na Bacia Sedimentar do Araripe, onde a gipsita aparece em duas camadas não contíguas, sendo a superior a mais potente, e tem sido explorada no estado de Pernambuco.

As jazidas do Araripe pernambucano – Municípios de Araripina, Bodocó, Exu, Ipubi, Ouricuri e Trindade – geraram um conjunto de atividades empresariais com forte reflexo na economia local, recebendo a denominação de “Polo Gesseiro do Araripe”. Apesar de a Chapada ocupar uma área que incorpora 88 municípios dos estados do Ceará (25), Piauí (46) e Pernambuco (17) nem todos são produtores gesseiros. Desde a década de 60, o estado de Pernambuco assumiu e vem mantendo a posição de maior produtor nacional e um dos grandes responsáveis pela distribuição e fabricação deste precioso material (SINDUSGESSO, 2004).

A produção brasileira de gipsita atinge cerca de 1,63 milhões de toneladas/ano e o país se destaca como o quinto produtor mundial (BALTAR, et al., 2005) sendo Pernambuco responsável por 89% da produção total. O minério dessa região, ainda segundo BALTAR (2005), é considerado de melhor qualidade industrial, apresentando concentração de sulfatos, da ordem de 90 a 95% de pureza, enquanto as impurezas de origem do próprio solo não ultrapassam 5% da rocha total.

1.3.3 Desidratação Térmica da gipsita

O beneficiamento da gipsita é essencial para a obtenção de um gesso com propriedades adequadas ao uso específico. Para sua fabricação a matéria prima utilizada é a gipsita, um sulfato de cálcio com duas moléculas de água, em geral com a presença de impurezas como SO_2 , AlO_3 , FeO , CaCO_3 , MgO , que ultrapassam 6% (VIEIRA, 2008).

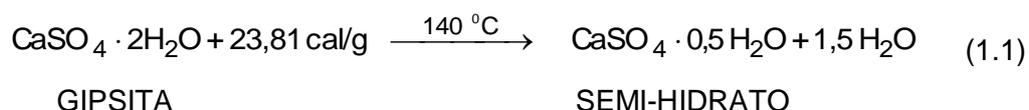
No Araripe, o beneficiamento da gipsita para a produção do gesso envolve as seguintes operações: Catação manual; britagem; rebritagem; peneiramento (usado por algumas empresas); encilamento; calcinação; estabilização térmica em silos; moagem (realizada de acordo com as especificações do mercado); encilamento e ensacamento (BALTAR et al., 2005).

Ainda sob a visão do mesmo autor, após a britagem, com a necessidade de melhorar a qualidade do gesso, é realizada a remoção de minerais de ganga, descartando a fração granulométrica com maior concentração de contaminantes (argilas e areias), antes da calcinação. Em alguns casos, usa-se uma operação de lavagem.

A calcinação é o processo de aquecimento térmico pelo qual a gipsita é desidratada, transformando o di-hidrato em semi-hidrato. Quando se aquece o minério gipsita, de 20 °C a 1400 °C tem-se a oportunidade de alcançar diferentes fases de desidratação do sulfato de cálcio:

i) Na temperatura ambiente o minério é essencialmente sulfato de cálcio di-hidratado.

ii) Ao se alcançar 60 °C, conforme as condições experimentais de desidratação, inicia-se a perda pela gipsita de ε moléculas de água, onde ε pode variar de 0 a 2. É possível, entretanto, admitir a existência de mais de um tipo de semi-hidrato, dependendo da temperatura e pressão do processo, com teor de água que varia entre 0,15 e 0,66 moléculas de água, sendo o hidrato com meia molécula de água uma forma particular intermediária, de grande interesse comercial pela sua estabilidade química:



O grau de hidratação e cristalinidade do produto está associado ao processo de obtenção e condições de tratamento térmico (SANTOS, 2003).

iii) O semi-hidrato β é conhecido como gesso industrial ou gesso de Paris, gesso de fundição ou gesso de estuque. Esta substância é produzida comercialmente pela desidratação térmica da gipsita em atmosfera de vapor d'água a temperaturas acima de 100 °C (CAVALCANTI, 2006), enquanto que o semi-hidrato α é obtido pela desidratação da gipsita em uma suspensão ácido água ou hidrotermicamente na presença de eletrólitos. O gesso beta requer mais água para obtenção de uma consistência adequada (trabalhabilidade da pasta) que o gesso alfa. O gesso beta não é tão duro quanto o gesso alfa em função de sua menor regularidade de formação de cristais (forma atual de produção no Polo Gesseiro), sendo, entretanto igualmente responsável pela capacidade de absorção de água pelos moldes cerâmicos.

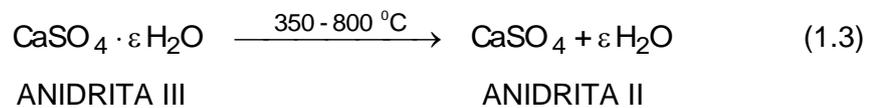
iv) Quando a temperatura de 200 °C é alcançada, o semi-hidrato perde quase toda sua água e obtém-se uma anidrita solúvel e instável, denominada anidrita III. A anidrita solúvel, de fórmula $\text{CaSO}_4 \cdot \varepsilon\text{H}_2\text{O}$, indica que este produto pode conter água de

cristalização, embora em baixo teor (CINCOTTO, 1988), variável entre 0,11 a 0,06 moléculas de água. Este tipo de anidrita confere ao gesso final uma redução em suas propriedades mecânicas, devido às condições adversas em que é formada no processo (excesso de temperatura).



Sendo muito reativa, transforma-se em semi-hidrato com a umidade do ar. Esta hidratação tem sido verificada após 12 horas de armazenamento do produto em atmosferas com umidade relativa de 80%. Industrialmente esta reidratação ocorre após o gesso sair do forno em uma etapa conhecida como estabilização do gesso.

v) Quando a temperatura se eleva a 400 °C, a anidrita III transforma-se em anidrita II, esta última de hidratação lenta e, como o processo de transformação da fase III para a fase II é exotérmica, a transformação é muito rápida e não reversível:



Quando a temperatura de reação aumenta acima de 400 °C, a velocidade de reidratação do produto obtido é cada vez mais lenta. A 500 °C necessita-se de mais de quatro dias, em média, para reidratar metade da anidrita (Figura 1.1). A 600 °C necessita-se de mais de 10 dias para reidratar metade da anidrita e, a 800 °C, o produto é considerado de difícil re-hidratação.

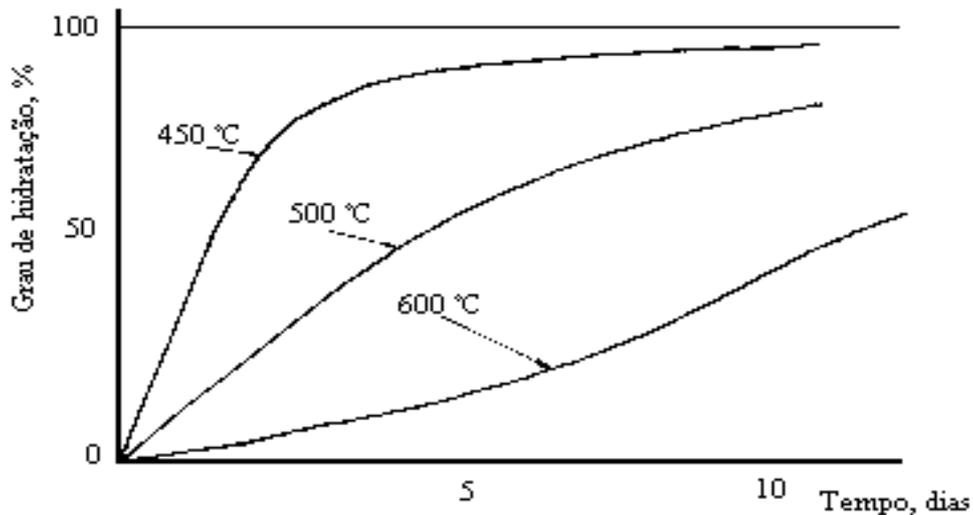


Figura 1.1 - Tempo de reidratação de um gesso anidro

A anidrita II também chamada de anidrita artificial solúvel, ou ainda anidrita super calcinada, de fórmula CaSO_4 , pode ser obtida entre 350 e 800°C. Entre 700 - 800°C é denominada de gesso calcinado à morte. Sua produção controlada entre 400 e 500°C produz uma anidrita utilizada como um dos constituintes dos gessos de construção, principalmente o gesso para revestimento de parede, por conferir resistências especiais à erosão e à compressão para a mistura final.

vi) Quando se calcina o minério de gipsita pouco acima de 800°C, o produto é similar à anidrita natural encontrada em minério de gipsita e conhecida como anidrita I, de hidratação extremamente difícil.

vii) Quando se atinge temperaturas de calcinação acima de 1250°C, a gipsita decompõe-se em óxido de cálcio e anidrido sulfúrico.

Não é simples a diferenciação experimental entre os semi-hidratos alfa e beta, suas propriedades são muito semelhantes como pode ser observado na Tabela 1.2. Esta dificuldade é maior quando não se tem amostras para referência de ambos os semi-hidratos e apenas testes com auxílio de raios-X e análise térmica diferencial são apresentados como solução para o problema (HOLDRIDGE, 1965; SAITO, 1961).

Tabela 1.2 - Propriedades dos semi-hidratos alfa e beta

Propriedade	Gesso alfa	Gesso beta
Calor específico, cal / °C ⁻¹ mol ⁻¹	28,6	29,6
Entalpia de formação, kcal / mol	-376,47	-375,97
Energia livre de formação, kcal / mol	-343,02	-442,78
Entropia, cal / °C ⁻¹ mol ⁻¹	31,2	32,1
Densidade em xileno, g / cm ³	2,75	2,6

Fonte: Holdridge, 1965.

1.3.4 Variedades de gessos

Diferentes categorias de gessos respondem às diferentes exigências dos usuários. Os produtos comercializáveis a base de gesso são diferenciáveis em função de (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2008):

- granulometria: gesso grosso e gesso fino;
- modo de aplicação: manual ou por projeção mecânica;
- tempo de pega: gesso de pega rápida, de pega normal ou de pega lenta.

Dentro da classificação acima se pode ainda se fazer a classificação:

- gesso grosso para revestimento manual;
- gesso fino para revestimento manual;
- gesso fino de alta dureza para revestimento manual e;
- gesso fino para projeção.

Categorias auxiliares podem ainda ser identificadas, por certo, dentro de propriedades particulares como:

- gesso de proteção contra incêndio;
- gesso para estruturas pré-fabricadas como divisórias, placas, etc.;
- gesso para moldes cerâmicos e para artes;
- gessos cirúrgicos e odontológicos;
- gesso para cargas nas indústrias de papel, borracha, plásticos, etc.

Atualmente o processo de aplicação manual de gesso no revestimento de paredes e teto, encontra grande desvantagem pela sua condição de operação dispendiosa, tanto na quantidade desperdiçada de material aplicado, quanto no momento em que se vai aplainar o gesso. Para melhorar essa aplicação do gesso de revestimento, diminuindo tais dispêndios, existe hoje uma máquina que projeta o material do gesso em formato de pasta, no local desejado.

Nos dois casos de aplicação do gesso de revestimento, continua a existir o problema de manuseio e o escoamento da pasta, pois a questão se encontra na equação entre a consistência da pasta de gesso e o “tempo de pega” da mesma, que com a máquina de projeção de gesso, foram diminuídas quantidades desperdiçadas de material. Além disso, o uso da pasta de gesso através da máquina de projeção, exige que se aplique o gesso em tempo hábil para que o mesmo não venha causar entupimento na máquina.

Nesse sentido em que se coloca a problemática do processo de aplicação do gesso a partir da máquina de projeção, faz necessário pensar um tipo de material cuja consistência esteja adequada para ampliar o “tempo de pega” do gesso existente hoje no mercado. Um novo tipo de gesso aqui proposto por nós, objetiva alterar a composição para que o tempo de endurecimento do gesso se faça mais tardio.

O gesso também pode ser utilizado na redução de ruídos externos com a eliminação de frequências audíveis de amplitudes indesejáveis. Neste caso seu emprego volta-se para revestimentos acústicos de estúdios de radiodifusão, salas de concertos, cinemas, etc. As argamassas para este tipo de revestimento são compostas de gesso e materiais granulares porosos como argila expandida, vermiculita, entre outros.

Os gessos cerâmicos ou gessos de modelagem são compostos de semi-hidrato alfa puro ou de semi-hidrato beta puro, ou por uma mistura dos dois. Em quaisquer dos casos seu teor de semi-hidrato deve ser o mais alto possível. Industrialmente o gesso é empregado em confecção de moldes e composição de massas cerâmicas, carga para papel convencional ou reciclado, moldes para fundição, moldes para proteção de peças de museu, molduras, ataduras cirúrgicas e moldes odontológicos. A escolha da matéria prima tem grande importância uma vez que as espécies finais após a pega são submetidas a trabalhos envolvendo abrasão e pressão.

1.3.5 Pega do gesso

Após mistura com água o gesso se combina com a mesma para voltar ao di-hidrato original através de uma reação de hidratação rápida, acompanhada de forte elevação de temperatura (Equação 1.4) e de ligeiro aumento de volume (gonflement) acompanhando um fenômeno conhecido como “pega”.



O mecanismo de pega pode ser explicado da seguinte maneira: após seu contato com a água, uma parte do semi-hidrato contido no gesso se dissolve rapidamente. Sua combinação com uma e meia moléculas de água, para formar di-hidrato, o qual é cerca de cinco vezes menos solúvel que o semi-hidrato (2,3 a 2,65 g/L), resulta na formação de uma solução supersaturada. A cristalização do di-hidrato é muito rápida (Figura 1.2). A mistura adquire uma consistência pastosa que permite sua trabalhabilidade por alguns minutos. Desta forma, parte do semi-hidrato cristalizado libera certa quantidade de água que age sobre a outra parte ainda não cristalizada e assim por diante. A consistência da pasta aumenta pouco a pouco e quando a cristalização finaliza o gesso é “preso”.

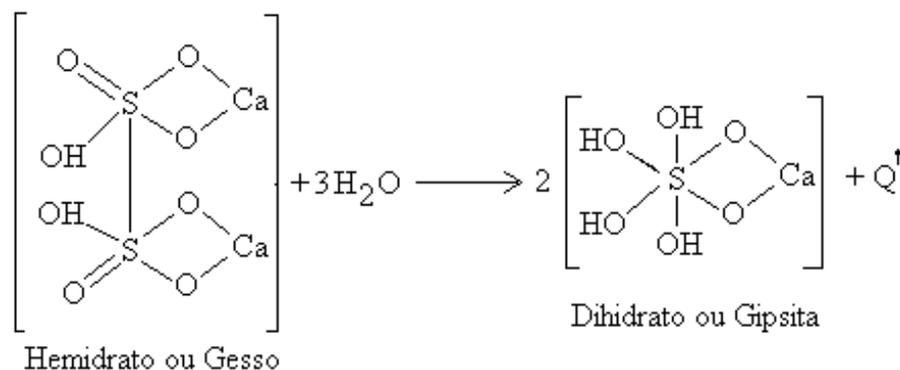


Figura 1.2 - Hidratação e "pega" do gesso

Fonte: Santos (2003)

Para melhor entender a ação das substâncias modificadoras do tempo de pega, aceleradoras ou retardadoras, deve-se notar que quando um gesso faz pega, a mesma o faz em presença de três fenômenos distintos e básicos (SANTOS, 2003):

Fase I - Dissolução do semi-hidrato de sulfato de cálcio - o qual pode ser considerado em um fenômeno de dissolução de um corpo em água com a penetração de moléculas desses corpos entre as moléculas da água. As moléculas da água defendem-se contra esta penetração, a qual é proporcional à tensão superficial da água. Partindo então deste

princípio, deve-se entender que todo aumento da tensão superficial da água diminui a velocidade de dissolução do gesso e, portanto, provoca um retardamento da pega. Ao contrário, toda redução da tensão superficial provoca a aceleração da dissolução e, conseqüentemente, a aceleração da pega.

Fase II - Hidratação do semi-hidrato - esta permanecerá constante na solução até que haja gesso ainda não dissolvido no sistema. No momento em que não houver mais gesso para dissolver é que a velocidade de hidratação poderá ser avaliada. Pode-se então estimar a referida velocidade média dentro de um intervalo de tempo muito pequeno em relação ao tempo total de hidratação. A partir deste momento a concentração de semi-hidrato na solução vai diminuindo porque haverá hidratação do mesmo, até que não haja mais para ser dissolvido.

Fase III - Cristalização do semi-hidrato - cuja pobre solubilidade em água provoca sua precipitação ao estado de cristais. Como toda cristalização pode ser iniciada pela presença de cristais na solução, no caso do gesso são os cristais de gipsita que aceleram este processo. Infelizmente isto acontece muitas vezes pela presença de material não reagido no gesso produzido. Uma solução para problemas como estes é o controle severo da granulometria do material à entrada do forno (compatível com a condição de tiragem) ou de um cozimento suficientemente lento para a obtenção de uma conversão mais satisfatória.

Um dos fatores que mais influenciam a reação de hidratação e, conseqüentemente, o tempo de pega é a relação água/gesso. Quanto maior for essa relação, menor será a cinética da reação de hidratação e maior o tempo de pega, devido à grande quantidade de água que aumenta o intervalo de tempo necessário para saturar a solução (ANTUNES, 1999). Os cristais de di-hidrato, segundo o referido autor, crescem a partir de núcleos de cristalização ou núcleos. A quantidade de núcleos presentes na solução influencia a taxa de crescimento da microestrutura e o tamanho dos cristais. Quando existem muitos núcleos, o crescimento é rápido e os cristais formados são menores e mais numerosos por unidade de volume. Quando há formação de poucos núcleos, o crescimento é lento e são formados cristais maiores em menor quantidade. Esses fatores influenciam as propriedades mecânicas da pasta de gesso endurecida, pois microestruturas formadas por cristais grandes são menos resistentes (mais porosas) que as formadas por cristais pequenos. A quantidade de impurezas e de gipsita contidas no gesso acelera a reação de hidratação e o tempo de pega por atuarem como núcleos de cristalização (NITA, 2004).

O mecanismo de hidratação pode ser explicado por meio da calorimetria. A curva de calor de hidratação de uma pasta de gesso é apresentada em três etapas (Figura 1.3) (ANTUNES, et al 1999), em que, na primeira etapa, ocorre uma pequena hidratação, seguida pelo período de indução. Essa etapa é finalizada quando a taxa de elevação da temperatura ultrapassa

0,1°C/min, caracterizando o início de pega. A segunda etapa é caracterizada pela rápida elevação da temperatura, ou seja, a hidratação está evoluindo mais rápido. A terceira etapa é o instante em que a reação atinge a temperatura máxima que corresponde à conclusão da hidratação, sendo assim caracterizado o fim de pega.

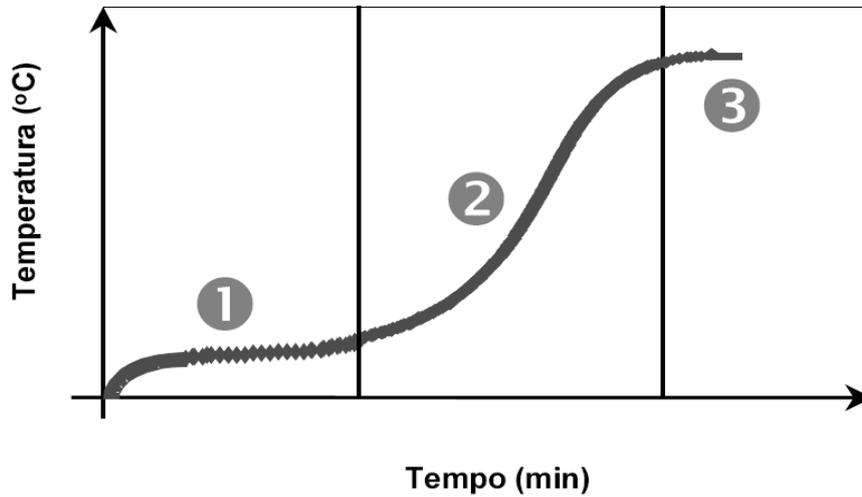


Figura 1.3 – Curva de calor de hidratação de uma pasta de gesso

Fonte: Antunes; John; Andrade (1999)

A curva apresentada pela Figura 1.3 é obtida através de um calorímetro pseudoadiabático de fácil confecção e, por meio dela, é possível obter o tempo útil do gesso (em torno de 20min a 30min), ou seja, a faixa de consistência adequada para sua utilização.

1.3.6 Aditivação de gessos

Denomina-se aditivo a substâncias empregadas para modificação de propriedades de outras substâncias de interesse comercial. No caso de pastas, argamassas e concretos, esses aditivos são utilizados como retardadores ou redutores da pega, plastificantes, retentes de água, etc. O uso de aditivos vem de época muito antiga, sendo citado, por exemplo, o emprego de aditivos provenientes de proteínas de animais como a caseína (proteína do leite) e a queratina. Atualmente a maioria dos aditivos é adicionada em pequenas quantidades (recomendável < 2,5 %), e permitem melhorar as propriedades das argamassas e pastas de gesso; neste último caso a um gesso com teor de semi-hidrato não inferior a 85 % (MOISSET, 1997).

Os aditivos controladores de pega interferem na velocidade da reação de hidratação, acelerando-a ou retardando-a. Os aceleradores aumentam a solubilidade do semi-hidrato. Os retardadores dividem-se em dois grupos, os que ampliam o período de indução (bórax, por exemplo) e os que interferem na cinética da formação da microestrutura do di-hidrato (caseína, por exemplo) (HINCAPIÉ, 1997).

A velocidade de re-hidratação de um gesso é inversamente proporcional à sua temperatura de calcinação. Assim, os semi-hidratos re-hidratam mais rápido que as anidritas. Para modificar as propriedades de um gesso comercial, de modo a facilitar seu manuseio na obra, é então necessário considerar importantes aspectos como (SANTOS, 2003):

- O semi-hidrato re-hidrata rapidamente e esse processo de re-hidratação dar início aos três minutos e termina em um tempo de quinze a vinte minutos, desprendendo calor. Portanto, o tempo disponível para o manuseio deste material é demasiadamente curto sendo necessário, para aumentá-lo, da adição de substâncias retardadoras de hidratação.

- Aplicando-se a pasta de gesso sobre uma superfície porosa, o gesso se separa porque parte da água necessária à recristalização (re-hidratação) é absorvida pela superfície. Desta forma, é necessário o emprego de retentores de água, para garantir que a recristalização seja homogênea e correta.

- Em determinadas formulações ou sistemas de aplicação o material tem tendência a formar aglomerados ao ser amassado com água, sendo necessário melhorar sua trabalhabilidade. Para isto devem-se adicionar substâncias aerantes ou umectantes.

- A aderência do gesso sobre certos suportes é, às vezes, demasiadamente fraca, permitindo desagregações. O emprego de reforçadores de aderência permite sanar tais deficiências.

- Em algumas ocasiões é necessário aumentar a fluidez da pasta de gesso, ou aumentar as suas resistências à flexão e à compressão. Neste caso é necessário o emprego de fluidificantes.

Existem muitos produtos que podem retardar a pega, tais como: ácido cítrico, ácido tartárico, fosfato sódico, bórax, queratina, etc. Porém, o verdadeiramente importante é não enfatizar exclusivamente este retardamento, uma vez que se devem também objetivar uma recristalização homogênea, um intervalo de trabalhabilidade adequado e que o final do processo não seja brusco.

Aceleradores são substâncias que aumentam a saturação, além da capacidade de germinação e a velocidade de cristalização. São aceleradores de hidratação, agindo sobre a saturação e a cristalização do hemidrato:

- Os ácidos HCl, H₂SO₄, HNO₃;
- Os sais de ácidos KCl > NaCl > MgCl₂ > AlCl₃;
- Os sais de sódio F⁻ > Cl⁻ > Br⁻ > NO₃⁻ > SO₄⁻;
- Os sulfatos de K > NH₄ > Na > Ca > Cu > Al.

São aceleradores de hidratação, agindo sobre a germinação: o gesso fino, os sulfatos de cálcio e os cristais ultrafinos.

Os retardadores que agem sobre cristalização do hemidrato são sais que adicionados ao gesso dão origem a materiais insolúveis ou pouco solúveis, os quais envolvem os cristais de di-hidrato com a formação de uma película insolúvel. A esta categoria de retardadores podem ser incluídos o bórax, os fosfatos alcalinos ou de amônio, os ácidos orgânicos e seus sais, silicato de sódio onde, os sais que por dupla troca dão, respectivamente, o borato, o fosfato, o carbonato e o silicato de cálcio, todos pouco solúveis. São retardadores de pega agindo sobre a dissolução e germinação do hemidrato: as proteínas degradadas, os gelificantes orgânicos, os poliacrilatos, os fosfatos ou ácidos orgânicos, etc.

O comportamento dos retardadores de pega depende do pH do sistema. Alguns desses retardadores atuam em meio neutro e outros que só são efetivos em meio alcalino. Alguns fabricantes desenvolveram uma gama de retardadores de pega, em função do tipo de formulação e do pH do sistema. O quadro 1.1 a seguir resume algumas das características dos retardadores e aceleradores do tempo de pega.

Quadro 1.1 – Sistematização dos aditivos para gesso

Aditivo	Efeito		Observações
	Principal	Secundário	
Gipsita finamente moída (0,1 a 1,0 %)	Acelerador de pega	- Diminui o diâmetro dos poros - Produz queda nas resistências quando em dosagens fortes	- Degrada-se a 60°C - Perde rapidamente seu efeito devido ao envelhecimento
Sulfato de Potássio (0,1 a 0,5 %)	Acelerador de pega muito potente	- Riscos de efluorescência - Diminui o aumento de volume durante a pega. - Aumenta o diâmetro dos poros.	- Faz cair rapidamente as resistências. - Efeito acelerador fortemente ampliado em presença de gipsita. - Deve ser usado em solução (pouco solúvel).
Fosfato Monocálcico (0,02 a 0,2%) + Cal (0,0 a 0,5%)	Retardador de pega (final de pega)	- Faz cair as resistências. - Aumenta o diâmetro dos poros	- Ação sobre a cinética da pega está fortemente ligada ao pH - pH>12, eficiência Reduzida
Ácido Cítrico (0,02 a 0,2 %) Citrato de Na e K (0,03 a 0,3%)	Retardador de pega muito potente	- Faz cair as resistências - Aumenta o diâmetro dos poros	- necessita de um pouco de cal para ter eficiência plena (0,1% Ac para 0,1% de cal) - perde sua eficiência em presença de fortes doses de cal (0,5 % de cal reduz o TP em 40%)
Ácido Tartárico (0,01 a 0,1 %) Tartarato de Na e K + cal(0,5 a 3,0%)	Retardador de pega muito potente	- Faz cair as resistências (menos que o Cítrico). - Aumenta o diâmetro dos poros	- Não age bem em presença de cal (máximo de eficiência para 0,5 % de cal para 0,025% de AT).
Retardan P (Proteína degradada) (0,01 a 0,1%)	Retardador de pega muito potente	- Faz cair pouco as resistências - Modifica pouco o diâmetro dos poros	- Necessita ser bem misturado no gesso - Perda rápida de sua eficiência em presença de gipsita - Sensível ao envelhecimento - Resiste até 120 °C - Pouco solúvel em água Fria
Poliacrilatos	Retardador de pega extremamente forte: bloqueia a germinação	- Pode ter um efeito dispersante - Pode Ter um efeito engrossante da pasta	- Utilizado como inibidor de cristalização

Fonte: Santos (2003)

1.3.7 Gesso de Revestimento

Entende-se por argamassas, as misturas plásticas obtidas com um aglomerante (gesso, cal ou cimento), areia e água, que servem para ligar entre si as pedras naturais e artificiais das construções de alvenarias, e às revestir com camadas protetoras e/ou decorativas. As argamassas mais comuns são constituídas por cimento, areia e água. Em alguns casos é adicionado aditivos como cal, saibro, barro e outros, para a obtenção de propriedades especiais (Miranda, 2009).

O revestimento, segundo o mesmo autor, é a camada externa de uma superfície lisa ou áspera com uma ou mais camadas sobrepostas de argamassa, em espessura normalmente uniforme, apto a receber um acabamento final. O revestimento tradicional de argamassa é composto por três camadas:

- Chapisco - camada inicial para aumentar a aderência ao substrato.
- Emboço - camada intermédia que ajuda a cobrir as irregularidades do substrato.
- Reboco - camada final de acabamento.

Para a classificação dos revestimentos de paredes, segundo Miranda (2009), podem ser usados vários tipos de critérios, com base, por exemplo, no material constituinte, na natureza do ligante, na técnica de execução ou na trabalhabilidade do revestimento. Um tipo de classificação para os revestimentos é o seguinte:

- Revestimentos de estanqueidade

São revestimentos com capacidade de garantir por si só a estanqueidade (o não vazamento) da água, exigível em geral, ao conjunto tosco mais revestimentos. Estes revestimentos devem manter as suas características de estanqueidade mesmo no caso de ocorrência de fissuração limitada do suporte. Os revestimentos mais correntes deste tipo são: revestimentos por elementos descontínuos (de fixação direta ao suporte ou independentes), revestimentos de ligantes hidráulicos armados e independentes e revestimentos de ligantes sintéticos armados com rede de fibra de vidro.

- Revestimentos de impermeabilização

São revestimentos que conferem o complemento de impermeabilidade à água necessária para que o conjunto parede revestimento seja estanque. Este revestimento deve limitar a quantidade de água que atinge o suporte, mas será o conjunto parede revestimento que assegurará a estanqueidade requerida. Porém não reúnem condições para conservarem essa capacidade quando ocorre degradação significativa do suporte, como por exemplo, a fissuração.

- Revestimentos de isolamento térmico pelo exterior

O isolamento térmico de edifícios é fundamental para garantir o conforto térmico, durante todo o ano. Para além do conforto e da redução dos consumos energéticos com equipamentos de aquecimento/arrefecimento e a conservação das construções. Os revestimentos de isolamento térmico não são mais do que isolantes térmicos aplicados nas paredes exteriores, sendo quatro os principais sistemas:

- Sistemas de isolamento térmico com revestimento delgado sobre o isolante;
- Sistemas de isolamento térmico com revestimento espesso sobre isolante;
- Sistemas de isolamento térmico por revestimento de elementos descontínuos de fixação mecânica (revestimento estanque) com isolante na caixa de ar;
- Sistemas de isolamento térmico com revestimento à base de ligantes hidráulicos armados e independentes com isolante na caixa de ar.

- Revestimentos de acabamento

A função principal de um revestimento de acabamento consiste em proporcionar às paredes um aspecto agradável, proporcionando um comportamento de regularização e, a maior parte deles, reúne ainda condições para conferir às paredes o aspecto agradável requerido pelas exigências de conforto visual. Poderão necessitar da aplicação de um revestimento do tipo decorativo ou resistente à água, por razões de ordem estética ou para que a aparência das paredes adquira resistência a determinadas ações específicas da utilização de alguns dos espaços dos edifícios.

- Revestimentos resistentes à ação da água

Os revestimentos cerâmicos, de vidro opaco (mosaicos), de pedra natural ou de pedra artificial, tintas ou vernizes epoxídicos e vernizes especiais de dispersões aquosas de polímeros sintéticos, são os tipos mais correntes de revestimentos que se consideram não deterioráveis pela água. Constituirão a camada de acabamento das paredes dos locais dos edifícios onde seja frequente a presença da água (casas de banho, cozinhas, lavanderias) e ainda das zonas das paredes de outros locais que devem ser submetidas à limpeza por via úmida (lambris).

- Revestimentos decorativos

Estes revestimentos proporcionam aos paramentos o aspecto agradável pretendido pelos usuários ou requerido pelas exigências de conforto visual, quando as camadas de revestimento subjacentes não o tenham conseguido, como exemplo de revestimentos decorativos temos o revestimento de papel, plástico, cortiça ou têxteis comercializados, revestimentos de rede de fibra de vidro pintados em obra e o amplo domínio das tintas correntes.

1.3.8 Funções do revestimento de argamassa

O reboco, sendo a camada final do revestimento de argamassa, é talvez, dentre todos os componentes da construção, o mais vulnerável, por se tratar de uma camada delgada (com uma grande superfície exposta em relação ao volume de material) que protege o edifício dos elementos externos e tem de conferir em simultâneo um aspecto agradável ao mesmo. Os revestimentos de paredes têm essencialmente três funções: i) a função de proteger contra a ação de agentes agressivos, melhorar a impermeabilização e a resistência mecânica; ii) a função de conferir planura à superfície da parede e iii) a função de proporcionar suporte para pintura ou outro tipo de revestimento (Miranda, 2009).

A principal propriedade das argamassas, segundo o mesmo autor, é a trabalhabilidade que está relacionada principalmente com a consistência. Uma argamassa é trabalhável quando se distribui facilmente ao ser assentada (fácil manuseio), não se cola na ferramenta quando está para ser aplicada, não segrega ao ser transportado, não endurece em contato com superfícies absorventes e permanece plástica por tempo suficiente para que a operação seja finalizada. A característica da argamassa que permite a sua boa aplicação, incluindo a sua compacidade e rendimento, a sua capacidade de aderir ao suporte e a possibilidade de trabalho da superfície das argamassas para lhe conferir um acabamento.

1.3.9 Caracterização das argamassas de gesso

O emprego de argamassas de gesso está consolidado na normatização internacional. As normas ASTM C 28-92 (ASTM, 1992) e ASTM C 842-85 (ASTM, 1990) estabelecem que as argamassas de gesso para aplicação em alvenaria deverão apresentar um traço, em volume, de aproximadamente 1:1 (gesso: agregado), independentemente se o agregado utilizado for perlita, vermiculita ou areia, ou, no caso da areia, 1:3 em massa. Estes traços são recomendados especificamente para argamassa de base, a ser acabada com argamassa de gesso e cal (*gypsum gauging plaster for finish coat*). Adicionalmente, esta norma especifica uma resistência à compressão superior a 2,8 MPa (ASTM, 1992) e um tempo de pega maior que 1,5 hora e menor que 4 horas para argamassa de gesso.

Já o DTU 25.1 (CSTB, 1975) recomenda argamassas de gesso para a primeira camada, sendo o acabamento superficial efetuado em pasta de gesso. Para este caso específico, o consumo de gesso especificado está entre 300 e 350 kg por metro cúbico de areia seca, equivalente a um traço em massa entre 1:4,3 e 1:5.

A norma DIN 18550 Part 2 (DIN, 1985) prevê a utilização de argamassas de gesso nos traços entre 1:1 a 1:3, gesso: agregado, em volume, bem como argamassas de gesso e cal, com as proporções entre estes aglomerantes variando de 1:20 e 1:0,5 e os teores de agregado entre 3 e 4.

A antiga versão da NBR 7200 (ABNT, 1982) especificava a utilização de argamassa de cal hidratada e gesso com traços cal hidratado: gesso, em volume, entre 1:0,1 e 1:0,2 para 3 ou 4 partes de agregado.

1.3.10 Planejamento experimental

O planejamento ou delineamento experimental foi desenvolvido por RAFISHER na Inglaterra por volta de 1920. Nessa época o planejamento experimental era utilizado, principalmente, em pesquisas agrícolas. Mas foi partir de do ano de 1950, que o planejamento experimental começou a ser amplamente utilizado em estudos tecnológicos, na indústria, em biologia, em medicina, em química etc. Atualmente, ele é amplamente considerado como uma das mais importantes técnicas utilizadas para o desenvolvimento de novos produtos. Esses planejamentos foram desenvolvidos inicialmente para estudo de funções polinomiais de resposta na indústria, onde o erro experimental, em geral, é bem pequeno, e as condições do experimento são mais facilmente controláveis (BOX; 1951).

Muitos pesquisadores e profissionais discutiram como analisar e usar o planejamento experimental na prática (LIM, 1990). No entanto, existe de fato uma diferença entre a técnica de planejamento experimental e sua prática. A conscientização, o conhecimento e o uso de modelos de planejamentos experimentais ainda eram muito pouco, mesmo nas empresas mais bem sucedidos.

Um planejamento experimental é uma estratégia utilizada por empresas concorrentes nas batalhas da concepção de novos produtos, reduzindo tempo, melhorando a qualidade e confiabilidade e reduzindo os custos dos ciclos de vida desses produtos (MATEUS, 2001). A principal vantagem para a adoção de um planejamento experimental é a obtenção de uma grande quantidade de informações sobre um novo produto com um número limitado de experimentos (RODRIGUES, 2005). Através da análise das informações obtidas a partir desses experimentos, diversos parâmetros relativos a um novo produto podem ser facilmente determinados com considerável precisão.

Os principais passos para a utilização de um planejamento experimental para desenvolvimento de um novo produto podem ser resumidos da seguinte forma:

- identificação de fatores que possam influenciar no desempenho de um novo produto;
- seleção adequada dos níveis fatoriais;
- desenvolvimento da matriz de delineamento experimental;
- realização de experimentos e coleta dos dados experimentais;
- análise das variâncias dos dados experimentais;
- determinação dos valores ótimos dos fatores.

Na análise de resultados obtidos de ensaios experimentais, esses devem ser submetidos a um planejamento de experimentos e, posteriormente a métodos estatísticos, possibilitando a

elaboração de conclusões objetivas. O planejamento experimental deve ser baseado numa metodologia também estatística, que é a única forma efetiva de avaliar os erros experimentais que afetam esses resultados (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2002).

Existem três técnicas básicas para a definição dos ensaios num planejamento experimental: uso de aleatorização, ou “randomização”, uso de blocos e uso de réplicas.

A **aleatorização** é uma técnica de planejamento experimental puramente estatística em que a sequência dos ensaios é aleatória e a escolha dos materiais que serão utilizados nesses ensaios também é aleatória (MEYERS; MONTGOMERY, 2002; MONTGOMERY, 1991). Uma das exigências do uso da metodologia estatística para o planejamento experimental e para a análise dos resultados é que as variáveis estudadas e os erros experimentais observados apresentem um caráter aleatório, o que é conseguido pelo emprego desta técnica.

A **técnica dos blocos**, conforme Montgomery (1991) permite que se realize a experimentação com uma maior precisão, reduzindo a influência de variáveis incontroláveis. Um bloco é uma quantidade do material experimental que tem como característica o fato de ser mais homogêneo que o conjunto completo do material analisado. O uso de blocos envolve comparações entre as condições de interesse na experimentação dentro de cada bloco. Na análise com blocos, a aleatorização é restringida à seqüência de ensaios interna dos blocos e não ao conjunto total de ensaios.

A **réplica** consiste na repetição de um ensaio sob condições preestabelecidas. Seguindo ainda orientações de Meyers e Montgomery (2002), essa técnica permite obter-se uma estimativa de como o erro experimental afeta os resultados dos ensaios e se esses resultados são estatisticamente diferentes. Ela também permite verificar qual a influência de uma determinada variável sobre o comportamento de um processo, quando a comparação é feita pela média das amostras.

Além de dominar a metodologia estatística necessária para o planejamento e para a análise dos dados, deve-se conhecer exatamente o que se deseja estudar, como obter os dados e como ter uma estimativa qualitativa de como esses dados serão analisados (RODRIGUES; IEMMA, 2005). Um procedimento para o planejamento e para a análise dos resultados é relacionado a seguir:

- reconhecimento e definição do problema, que em grande parte depende da experiência já adquirida no estudo de processos semelhantes;

- escolha das variáveis (fatores de influência) e das faixas de valores em que essas variáveis serão avaliadas, definindo-se o nível específico (valor) que será empregado em cada ensaio;
- escolha adequada da variável de resposta, de modo que se garanta a objetividade na análise dos resultados obtidos, minimizando o erro experimental de medida dessa variável de resposta, permitindo a análise estatística dos dados, com um número mínimo de réplicas;
- delineamento dos experimentos como tamanho da amostra (número de réplicas), sequência de execução dos ensaios, necessidade de aleatorização ou do uso de blocos;
- execução dos experimentos, monitorando-os e controlando-os, o que exige do pesquisador um conhecimento profundo dos instrumentos, equipamentos e métodos de controle e monitoração;
- análise dos resultados, com o uso de métodos estatísticos, a fim de que as conclusões estabelecidas sejam objetivas e;
- elaboração das conclusões e recomendações a partir da análise dos resultados, geralmente com auxílio de gráficos e tabelas, bem como a indicação de futuras repetições do procedimento empregado.

Ainda vale ressaltar as recomendações de Meyers e Montgomery (2002) sobre o uso de métodos estatísticos para o planejamento experimental:

- o conhecimento técnico específico, não estatístico sobre o problema deve ser usado;
- o delineamento experimental deve ser o mais simples possível;
- o reconhecimento da diferença entre o que é significativo estatisticamente e o que é significativo na prática e,
- o reconhecimento de que a experimentação é um processo iterativo.

Quando é feita a análise de variância de um experimento com apenas dois tratamentos, pode-se visualizar apenas pela média qual o melhor tratamento. Porém, quando há mais de dois tratamentos, aplica-se apenas o teste de “F” (teste que mostra se existe diferença entre as médias dos tratamentos), porém, não se pode indicar qual o melhor tratamento. Neste caso, é necessário aplicar um teste de comparação de médias dos tratamentos, podendo-se então concluir qual o melhor tratamento.

Os testes de comparação de média servem como um complemento para o estudo da análise de variância. Há vários testes de comparação de médias, entre os quais podemos citar: teste de **Tukey**, teste de **Duncan**, teste de **Scheffé**, teste de **Dunnet** e teste de **Bonferroni** (MEYERS; MONTGOMERY, 2002).

O **teste de Tukey** permite testar qualquer contraste, sempre, entre duas médias de tratamentos, ou seja, não permite comparar grupos entre si. O teste baseia-se na Diferença Mínima Significativa (DMS) Δ . A estatística do teste de Tukey é dada da seguinte forma:

$$\Delta = q_{(\alpha, r, N-r)} \sqrt{\frac{QM_{Res}}{r}} \quad (1.5)$$

Onde:

q - é a amplitude total studentizada,

com $q = \frac{w}{s}$ (ANJO *et al.*, 2009);

$w = \max(Y_i) - \min(Y_i)$, chamado de amplitude para o conjunto de observações

S = desvio padrão da estimativa

QM_{Res} = ao quadrado médio do resíduo;

r = é o número de repetições.

$(N-r)$ – é o grau de liberdade;

N – o total de observações, e

α = nível de significância.

O valor de q depende do número de tratamentos e do número de graus de liberdade do resíduo. Também, em um teste de comparações de médias, deve-se determinar um nível de significância α para o teste. Normalmente, utiliza-se o nível de 5% de significância para estudos em Engenharia. O valor $q_{(\alpha, r, N-r)}$ é um valor tabelado (tabela para o teste de Tukey).

Como o **teste de Tukey** é, de certa forma, independente do **teste F**, é possível que, mesmo sendo significativo o valor de $F_{calculado}$, não se encontrem diferenças significativas entre contrastes de médias.

Para tamanhos de amostra iguais (dados balanceados), o teste de Tukey declara duas médias significativamente diferentes se o valor absoluto de suas diferenças amostrais ultrapassarem Δ . Em outras palavras, rejeitamos a igualdade da média de dois níveis se

$$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > \Delta, \quad i \neq j \quad (1.6)$$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM C 28-92*: Standard specification for gypsum plasters. Pennsylvania, 1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM C 842-85*: Standard specification for application of interior gypsum plasters.. Pennsylvania, 1990.

ANJO, A; GIOLO, S. R.; CAMARINHA FILHO, J. A.; MATUDA, N. S.; WINTER, E. M. W. **Notas de Aulas de Estatística II**. Departamento de Estatística da UFPR. Curitiba, 2009.

ANTUNES, R. P. N. **Estudo da Influência da Cal Hidratada nas Pastas de Gesso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil), 1999 – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M.; ANDRADE, A. C. Produtividade dos Revestimentos em Gesso: influência das propriedades do material. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**, 1999. Recife, I Simpósio Brasileiro de gestão da qualidade e organização do trabalho, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Revestimento de paredes e tetos com argamassas materiais, preparo, aplicação e manutenção. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: Apresentação de citações em documentos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12127**: gesso para construção civil: determinação de propriedades físicas do pó: método de ensaio -. Rio de Janeiro, 1991.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12129**: gesso para construção: determinação das propriedades mecânicas: método de ensaio - Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: gesso para construção. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: Informação e documentação – Trabalhos Acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro, 2005.

BADENS, E.; LIEWELLYN, P.; FULCONIS, J. M.; JOURDAN, C.; VEESLER, S.; BOISTELLE, R. and ROUQUEROL, F. Study of Gypsum Dehydration by Controlled Transformation Rate Thermal Analysis (CRTA). **Journal of Solid State Chemistry**. Vol. 139, p. 37-44, August 1998.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. **Gipsita**. Rio de Janeiro/RJ: CETEM-MCT, 2005.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F. e LUZ, A. B. Rochas & minerais industriais: gipsita. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.989, 2008.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E.; **Como fazer experimentos**: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria, 2. ed., Unicamp, 2002.

BERNHOEFT, L. F. Caracterização de propriedades físicas e mecânicas de argamassa com gesso reciclado. Mestrado em Engenharia civil, UPE, Escola Politécnica, 2010.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, Madison, n. 9, 1973.

BOX, G. E. P.; WILSON K. B. On the experimental attainment of optimum conditions. **J. R. Statist. Soc.**, B. 13 1, p. 45, 1951.

CARR, J. and MUNN, D. A. Agricultural Disposal Method of Construction Site Gypsum Wallboard Waste. **Journal of Construction Education**. Spring 2001, v. 6, n. 1, p. 28-33, 2001.

CAVALCANTI, L. B., *Condições Operacionais de Produção de um Gesso Beta Reciclável*. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco, Abril, 2006.

CENTER SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂMMENT (CSTB). DTU 25,1: D'Enduits Intérieurs en Plâter. Paris, 1975

CINCOTTO, M. A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. **Tecnologia das Edificações**, Ed. PINI, São Paulo, 1988;

CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M. C. O Gesso como Material de Construção, parte II. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tecnologia de Edificações**. São Paulo: IPT-PINI, 1988.

CONAGIN, A. et al. Sensibilidade dos delineamentos fatoriais 33 , $(\frac{1}{2})43$ e $(\frac{1}{5})53$ na definição dos pontos crítico. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999. **IAC, Boletim Científicos** n. 39, Campinas, 1999.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. DIN 18550: Plasters made of mortars containing mineral bingres: application part. 2. Berlin, 1985.

FOLLNER, S.; WOLTER, A.; HELMING, K.; SILBER, C.; BARTELS, H. and FOLLNER, H. On the Real Structure of Gypsum Crystals. **Cryst. Res. Technol.** v. 37, n. 2-3, 2002.

FOLLNER, S.; WOLTER, A.; PREUSSER, A.; INDRIS, S.; SILBER, C. and FOLLNER, H. The Setting Behaviour of α - and β -CaSO₄ × 0,5 H₂O as a Function of Crystal Structure and Morphology. **Cryst. Res. Technol.** v. 37, n. 10, p.1075-1087, 2002.

HINCAPIÉ, A. M. **Efeito de Substâncias Retardadoras de Pega nas Propriedades do Gesso de Construção**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.

HINCAPIÉ, A. M e CINCOTTO, M. A., Efeito de retardadores de pega no mecanismo de hidratação e na microestrutura do gesso de construção. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, 2008.

LIM. T. E. Quality Improvement Using Experimental Design, **International Journal of Quality e Reliability Management**, v. 7, n. 1, pp. 70 e 76, 1990.

LOGOTHETIS, N.; WYNN, H. P., **Quality Through Design: experimental design**. Oxford: Clarendon Press, 1989.

LYRA SOBRINHO, A. C. et al, Gipsita – **Balanço Mineral Brasileiro**, 2001

MAGALHÃES, A. V. E ALMEIDA, J.G. O uso da mucilagem de cacto em pastas de gesso: efeitos na absorção de água e na resistência à flexão, estática. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 139-151, mar 2010.

MATEUS, N. B. **O delineamento composto central e sua viabilidade de uso em algumas áreas de pesquisa**. 98 p. 2001. Dissertação de (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

MENOR, E. B.- Projeto Gipsita – Etapa I. Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros. Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM/4º Distrito – PE/ SGPM. **Rel. Técn**, n. 214 59/ C. Recife, 1995.

MEYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C.; **Response surface methodology**, Wiley: New York, 2002.

MIRANDA, L. M. C., Estudo comparativo entre argamassa de revestimento à base de cimento com adição de cal hidráulica e da cal hidratada. Dissertação de Mestrado em engenharia civil, 2009 - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2009.

MOISSET, J. Review of the Main Processes Used for Plaster Production. **Anais da Gypsum Fair 97**, Recife, Abril, 1997.

MONÇÃO JÚNIOR, A. R. *Otimização das condições experimentais na desidratação do minério de gipsita para obtenção de um gesso beta reciclável*. 2007, 98 p. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia da Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2007.

MONTGOMERY, D. C.. **Design and analysis of experiments**. 3 ed. P. 649. New York: J. Wiley & Sons, 1991.

MONTGOMERY, D. C.; BETTENCOURT JR, V. M.. Multiple response surface methods in computer simulation. **SIMULATION**, 29(4), p. 113 – 121, October 1, 1977.

MUNHOZ, F. C. e RENOFIO, A. , Uso da gipsita na construção Civil e adequação para a P+L. **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Foz de Iguaçu, 2007.

NITA, C. *et al.* Estudo da Reciclagem do Gesso de Construção. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1; **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 10., São Paulo, 2004. Anais... São Paulo: Antac, 2004. 1 CD-ROM.

OLEGARI, P. J.; PACHECO, J. A., **Análise estatística usando o Statistica 6.0.**

Departamento de Informática e Estatística do Centro de Tecnologia da UFSC, Florianópolis, 2004.

PERES, L. S.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. “**Gesso: Produção e Utilização na Construção Civil.**”, 2. ed., SEBRAE, v. 1, p.119, Recife, 2008.

RODRIGUES, M. I. e IEMMA, A. F. Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos, Campinas, SP. Casa do Pão Editora – 2005.

SANTOS, V. A., **Análise cinética da reação de desidratação térmica da gipsita na obtenção do gesso beta.** Tese de Doutorado.170 p. 1996. Departamento de Engenharia de Sistemas Químicos e Informática. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1996.

SANTOS, V. A. **Propriedades e característica do gesso.** Apostilha de Tecnologia do Gesso. UNICAP, Recife, 2003.

SINDUSGESSO. **Polo Gesseiro.** Disponível em: <<http://www.sindusgesso.org.br/>>. Acesso em: 08 mai. 2011.

TAVARES, Y.V. P.et. al., Reaproveitamento do resíduo de gesso na execução de revestimento interno de vedação vertical. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.10 n.1 p103-119, 2010. Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco.

TURLEY, W. What’s happening in gypsum recycling. **C&D Debris Recycling**, v. 5, n. 1, January-February 1998.

VIEIRA, A. L. **Propriedades dos microconcretos fabricados com agregados contaminados por resíduos de gesso.** Dissertação de mestrado, 148 p, 2008. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

CAPÍTULO II

Produção de Gesso de Revestimento Interno Utilizando Anidrita II

Resumo

Produziu-se um gesso de revestimento a partir da mistura adequada de semi-hidrato de sulfato de cálcio e anidrita II. O gesso de revestimento pode ser aplicado manual ou mecanicamente, mas nesse último tipo de aplicação o tempo final de pega, que representa o principal parâmetro da trabalhabilidade, tem fundamental importância para evitar entupimentos na máquina utilizada para projeção. Apesar das dificuldades apresentadas pela falta de literatura especializada no assunto, foi utilizado um planejamento experimental de um fator, composto de cinco tratamentos, através de diferentes percentuais de anidrita II incorporados ao (semi-hidrato) gesso. As variáveis respostas abordadas foram: tempo de trabalhabilidade, massa unitária, resistência à compressão e dureza Shore. Um percentual de 30 % em anidrita foi escolhido como adequado à produção de um gesso de revestimento com propriedades dentro de especificações determinadas por normas utilizadas pela construção civil. Mantidas as condições mecânicas desejadas, um gesso com tempo de trabalhabilidade adequado facilita o trabalho do operador da máquina de projeção, diminui a fadiga, aumenta a produtividade e permite um maior retorno financeiro, uma vez que deve reduzir significativamente a produção de rejeitos nos canteiros de obras, contribuindo assim com o meio ambiente.

Palavras-chave: Gesso de revestimento, tempo de pega, anidrita II, trabalhabilidade, resistência mecânica.

Abstract

There has been a plaster coating from the appropriate mixture of hemihydrate and calcium sulphate anhydrite II. The plaster coating may be applied manually or mechanically, but this latter type of application time of the end handle, which is the main parameter of workability, it is highly important to avoid clogging in the machine used for projection. Despite the difficulties presented by the lack of literature on the subject, we used an experimental design of a factor, making five types of treatments, using different percentages of anhydrite II incorporated into the hemihydrate. The response variables addressed were: length of workability, unit weight, compressive strength and Shore hardness. A percentage of 30% anhydrite was chosen as suitable for the production of a plaster coating properties within specifications set by the standards employed by construction. Maintaining the desired mechanical conditions, with a cast time of workability facilitates the work of the projection operator of the machine, reduces fatigue, increases productivity and allows a greater financial return, because it should significantly reduce the production of waste at the construction works, thus contributing to the environment.

Keywords: plaster coating, takes time, anhydrite II, workability, mechanical strength.

2.1 Introdução

Desde épocas remotas existe uma prática de revestir paredes com materiais como cimento, cal e gesso, os quais, uma vez misturados com água, ou com areia e água, formam pastas do tipo argamassas, permitindo um fácil manuseio durante a aplicação. Após o endurecimento desse revestimento preliminar as superfícies ficam prontas para a aplicação de pinturas ou mesmo acentamento de materiais cerâmicos, dando um excelente efeito estético às edificações.

Quando aplicadas sobre alvenarias tanto internas quanto externas, os revestimentos devem apresentar requisitos mínimos de desempenho como: estabilidade mecânica, capacidade de absorver deformações da base, segurança em caso de incêndio e estanqueidade à água, boa aparência e boa resistência ao choque. Contudo, nos dias atuais, onde a utilização do gesso como revestimento de parede ganha adeptos, em função dos processos de sua aplicação através de máquinas de projeção, outra propriedade desse revestimento ganha a devida importância - o tempo de trabalhabilidade (BERTOLDI, 1976). O tempo entre o início da aplicação da pasta, ou gesso de revestimento, e o tempo de endurecimento dessa pasta (tempo de trabalhabilidade) deve ter um valor acima de 35 minutos, conforme as normas brasileiras (NBR 19291, 1991). Entretanto, a prática industrial no Polo Gesseiro do Araripe - Pernambuco, tem sido a de produzir gesso de revestimento através da sobreconversão da gipsita, dando origem a uma mistura de semi-hidrato e anidrita III, mistura pouco estável e que dificulta a produção de uma pasta com tempo de trabalhabilidade de duração definida dentro das normas.

É comum na literatura trabalhos sobre a influência de retardadores de tempo de pega nas propriedades do gesso para produção de pasta de revestimento, uma vez que algumas das propriedades tanto no estado de fluidez como após o endurecimento (resistência) são alteradas (BOURMAN, 1997). No estado endurecido existe um consenso de que há uma redução das propriedades mecânicas atribuídas a uma mudança na microestrutura do material.

A produção de gesso de revestimento utilizando uma mistura de anidrita II e semi-hidrato de sulfato de cálcio voltou a ganhar interesse em função da dificuldade de regular o tempo de trabalhabilidade e da perda de importantes propriedades mecânicas com o uso de retardadores químicos. O presente trabalho caracteriza e compara um gesso de revestimento obtido com a adição de anidrita II a um gesso de fundição com teor de semi-hidrato acima de 85% (MOISSET, 1997) e um gesso de revestimento obtido por sobreconversão.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Semi-hidrato do sulfato de cálcio

O minério gipsita ou sulfato de cálcio di-hidratado pode ser convertido em gesso, ou semi-hidrato, pela perda de água quimicamente combinada. O aquecimento da gipsita por cerca de uma hora, em reatores comerciais, denominados de fornos calcinadores, leva à produção de semi-hidrato com a remoção de três quartos da água de cristalização.

Dois tipos distintos de semi-hidratos industriais podem ser obtidos da desidratação térmica da gipsita. Um tipo especial de gesso, denominado de semi-hidrato alfa, produzido hidrotermicamente em suspensão água-ácido ou em presença de eletrólitos (FOLNER et al., 2002). Um segundo tipo, semi-hidrato beta, obtido em atmosfera de vapor d'água a temperaturas acima de 100 °C. O gesso- β requer mais água para produzir uma pasta que permitirá a aplicação posterior do gesso, devido à sua estrutura cristalina mais irregular que a do gesso- α .

Comercialmente, não se faz uso de semi-hidrato alfa quando se deseja utilizar a adição de substâncias que possam encarecer ainda mais o material final, uma vez que o custo do gesso- α é em torno de dez vezes maior que o do gesso- β . Dessa forma o semi-hidrato beta é considerado o tipo de gesso ideal para ser um dos componentes básicos do gesso de revestimento, seja por adição de anidrita ou pelo uso de aditivos químicos.

2.2.2 Anidrita II

A química da água do mar moderna é dominada pelos íons Na^+ e Cl^- , e quantidades menores de Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^+ , CO_3^{-2} , SO_4^{-2} e HCO_3^- . Quando a água do mar é evaporada, uma suíte de minerais é precipitada em ordem previsível. O primeiro mineral é um carbonato, comumente aragonita ou calcita, quando a solução alcança a concentração equivalente a duas vezes à da água do mar. Em seguida ocorre a precipitação do sulfato, geralmente na forma de gipsita ou anidrita, quando a salmoura se encontra em uma concentração equivalente a cinco vezes àquela da água do mar. (SILVA et al., 2000).

A gipsita é um mineral abundante na natureza, é um sulfato de cálcio di-hidratado cuja fórmula química é $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$, que geralmente ocorre associado à anidrita, sulfato de cálcio anidro (CaSO_4) , essa última em pequeníssimas quantidades e tem pouca expressão econômica em virtude desse tipo de ocorrência.

Quando a anidrita é de interesse comercial (anidrita II), sua obtenção tem sido preferencialmente realizada em fornos de calcinação do tipo contínuo rotativo para gesso supercalcinado utilizando-se um fluxo de gás quente em contracorrente à carga de sólidos do forno compreendida essencialmente por gipsita (SANTOS, 2008). Isto dá possibilidades de se ajustar a temperatura de supercalcinação pelo ajuste do fluxo de gipsita e da temperatura do gás de entrada do forno. O consumo de combustível é alto: 40 kg de óleo combustível por tonelada de gesso supercalcinado a 400 °C, 49 kg a 600°C e 58 kg a 800°C.

2.2.3 Gesso de revestimento

A velocidade de re-hidratação de um gesso é inversamente proporcional à sua temperatura de calcinação. Assim, os semi-hidratos re-hidratam mais rápido que as anidritas. Para modificar as propriedades de um gesso comercial, de modo a facilitar seu manuseio na obra, faz-se necessário considerar que o semi-hidrato re-hidrata ao tempo de três minutos e termina em um tempo de quinze a vinte minutos, desprendendo calor. Esse tempo disponível para o manuseio do semi-hidrato é demasiadamente curto, para aumentá-lo é necessário a adição de substâncias retardadoras de hidratação.

Existem muitas substâncias que podem retardar a pega, tais como: ácido cítrico, ácido tartárico, fosfato sódico, bórax, queratina, etc. Porém, o verdadeiramente importante é não enfatizar exclusivamente este retardamento, uma vez que se deve também objetivar uma recristalização homogênea, um intervalo de trabalhabilidade adequado e que o final do processo não seja brusco.

2.2.4 Planejamento dos experimentos

Para se analisar e comparar as características do gesso de revestimento produzido à base de semi-hidrato e anidrita II foram aplicados tratamentos, onde a variável independente foi a concentração percentual de anidrita, com conseqüentes variações dos percentuais de anidrita II: 20%; 25%, 30%, 35% e 40%. O gesso comercial utilizado apresentou uma água de cristalização de 7,2% e uma pureza de minério de 92%, o que correspondeu a um teor de semi-hidrato, ou conversão de minério de gipsita, estimado pela expressão de cálculo (SANTOS, 2003):

$$\alpha = \frac{\left\{ \frac{P_{URG}}{100} \cdot 0,2093 + 0,062 - \left[\frac{P_{URG}}{100} \left(2 - \frac{P_{URG}}{100} \right) \right] \cdot 0,062 - \frac{GH}{100} \right\}}{\left\{ \left[\left(0,2093 - \left(2 - \frac{P_{URG}}{100} \right) \cdot 0,062 \right) \right] \cdot \frac{P_{URG}}{100} \right\}} \cdot 100 \% \quad (2.1)$$

Onde:

P_{URG} - pureza do minério gipsita em %

0,2093 - teor de água no minério gipsita em kg/kg-mol

0,062 - teor de água no gesso para uma conversão de 100 % em kg/kg-mol

GH - grau de hidratação no gesso produzido em %

Para os valores de P_{URG} de 92% e de GH de 7,2%, o valor de conversão obtido foi de:

$$\alpha = \frac{\left\{ \frac{92}{100} \cdot 0,2093 + 0,062 - \left[\frac{92}{100} \left(2 - \frac{92}{100} \right) \right] \cdot 0,062 - \frac{7,2}{100} \right\}}{\left\{ \left[\left(0,2093 - \left(2 - \frac{92}{100} \right) \cdot 0,062 \right) \right] \cdot \frac{92}{100} \right\}} \cdot 100 = 92,36\% \quad (2.2)$$

A anidrita II foi produzida em escala de laboratório com auxílio de uma mufla fabricada pela QUIMIS, modelo Q318M21, com dimensões da câmara de calcinação de 10 cm x 12 cm x 15 cm (Figura 2.1), a uma temperatura de 500°C, programada para operar por 3 horas. A faixa de trabalho da referida mufla varia a uma temperatura entre 300 e 1200 °C, com controlador eletrônico de temperatura e microprocessador para programação tempo/temperatura e precisão de +/- 7°C.

No final de cada batelada esperou-se a temperatura da mufla cair para a temperatura ambiente, antes de se produzir a mistura desejada para os testes de caracterização.



Figura 2.1 - Foto da mufla utilizada para a produção de anidrita II

O semi-hidrato beta comercial utilizado foi caracterizado em função do teor de água de hidratação com auxílio de uma balança térmica que usa a técnica de infravermelho, produzida pela GEHAKA, modelo IV 200 (Figura 2.2).



Figura 2.2 - Foto da balança térmica utilizada para determinação de água de cristalização no semi-hidrato comercial

A incorporação de anidrita II ao gesso beta para obtenção da pasta de revestimento foi considerada uma ação de aditivção, tendo dessa forma seguido a metodologia de controle do produto final utilizada na literatura (BURMAN, 1997; MURAT; ATTARI, 1991; MALLON, 1988; MOISSEY, 1987; KOSCOWSKI; LUDWIG, 1983). Como variáveis de resposta foram então analisados os comportamentos de: tempo de Trabalhabilidade (min), a Massa unitária (g/L), a Resistências à tração na compressão (MPa) e a dureza Shore (MPa).

2.2.5 Análises dos dados

Às análise do tempo de pega, cujos resultados permitiam os cálculos dos tempos de trabalhabilidade, de massa unitária, de resistência à tração na compressão, e de dureza Shore foram realizadas obedecendo as seguintes normas:

NBR 12127 Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas do pó

NBR 12128 Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas da pasta

NBR 12129 Gesso para construção - Determinação das propriedades mecânicas

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Caracterização do Gesso Obtido de Semi-hidrato e Anidrita II

Os tratamentos correspondentes às adições de percentuais de anidrita de 20%, 25%, 30%, 35% e 40%, na obtenção de gesso de revestimento para projeção, foram submetidos a testes gráficos e estatísticos para identificação de condições adequadas de produção. As propriedades analisadas para os tratamentos aplicados foram: tempo de trabalhabilidade (diferença entre os tempos de pega inicial e final), massa unitária, resistência à compressão e dureza Shore. Os resultados foram agrupados em Tabelas (anexos A1 a A4) envolvendo as variáveis respostas em função dos tipos de tratamento.

Inicialmente foram obtidos gráficos do tipo dispersão para os tratamentos aplicados. As Figuras 2.3 a 2.6 ilustram os resultados obtidos. Observa-se nos referidos gráficos que:

- o tempo de trabalhabilidade (TT) aumenta com o teor de anidrita II (Figura 2.3) e isso pode ser justificado porque a anidrita é um material inerte em relação à reação de hidratação;

- a massa unitária (UM) aumenta com o teor de anidrita II (Figura 2.4) e isso pode ser explicado uma vez que a anidrita II não tem água em sua molécula, enquanto o semi-hidrato possui meia molécula de água por mol;

- a resistência à compressão (RC) diminui, mesmo se mantendo acima das normas, com a adição de anidrita II (Figura 2.5), uma vez que este componente não se hidrata, enfraquecendo as ligações intermoleculares;

- a dureza Shore (DS) aumenta com o aumento do teor de anidrita II (Figura 2.6), pois a ausência de água neste componente fortalece a natureza do material final.

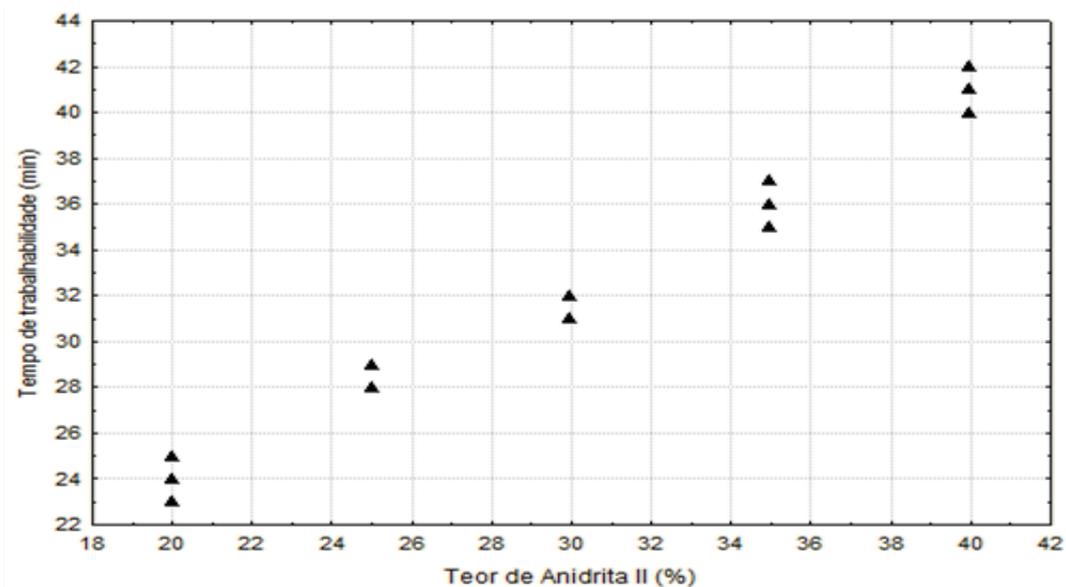


Figura 2.3 – Dispersão do TT em função dos tratamentos com Anidrita II

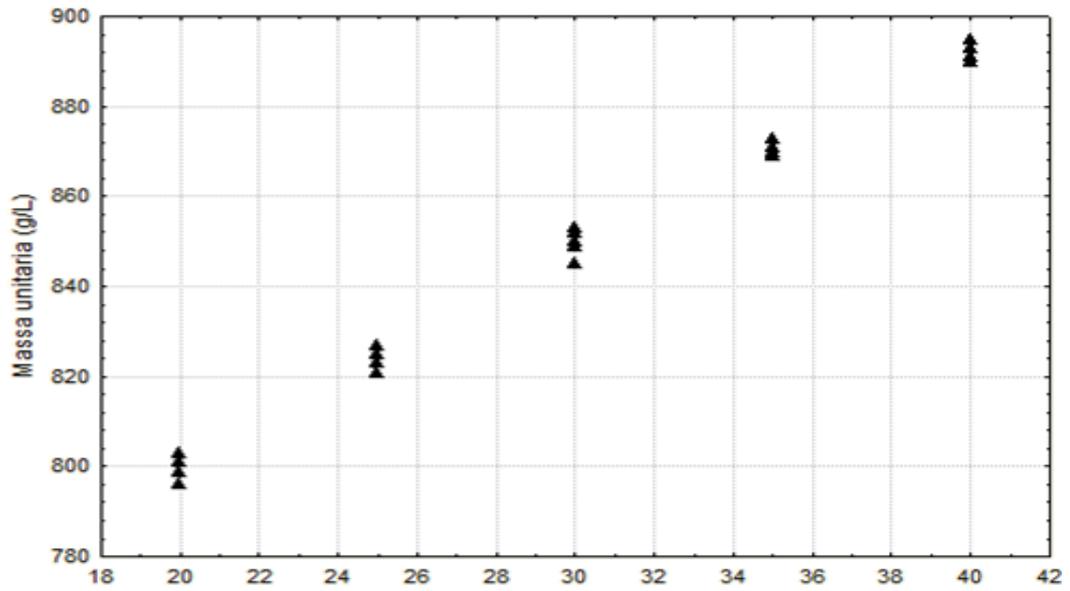


Figura 2.4 – Dispersão da MU em função dos tratamentos com Anidrita II

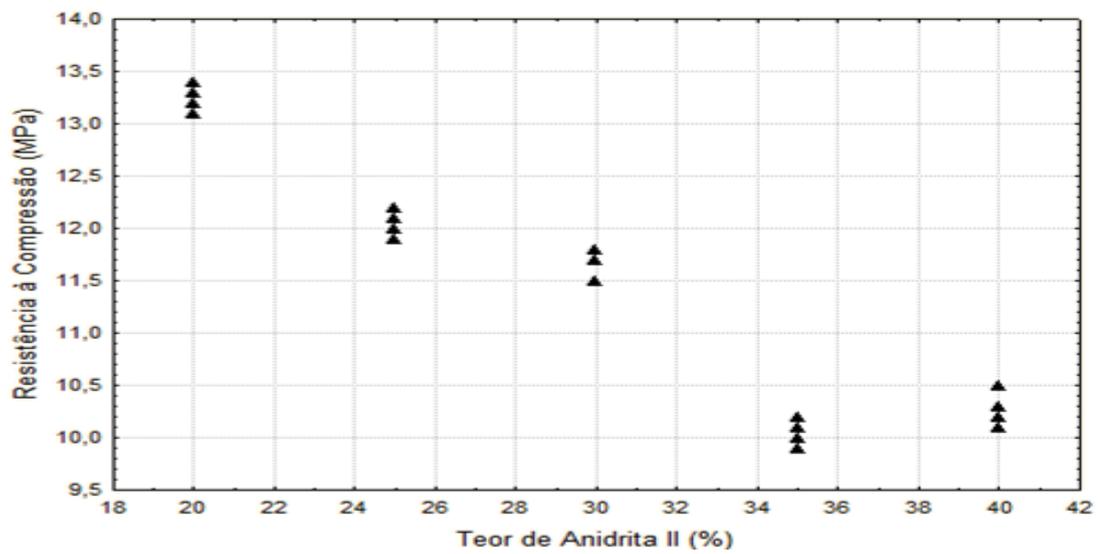


Figura 2.5 – Dispersão da RC em função dos tratamentos com Anidrita II

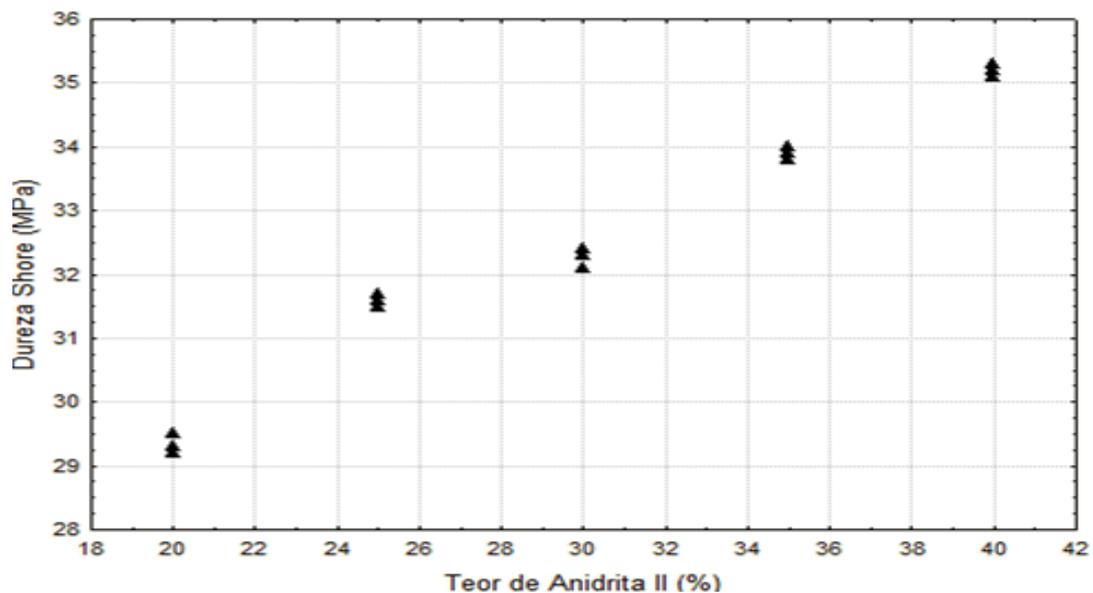


Figura 2.6 – Dispersão da DS em função dos tratamentos com Anidrita II

As Figuras 2.7 a 2.10 apresentam os gráficos tipo *box plot* relativos aos dados utilizados nas análises das figuras anteriores (2.3 a 2.6). Os gráficos desse tipo dão informações sobre as diferenças entre os tratamentos aplicados. Caso os pontos extremos dos tratamentos não apresentem valores internos aos pontos extremos de outro tratamento, então esses dois tratamentos são diferentes entre si; caso contrário, são semelhantes. Dessa forma, observa-se que nas referidas figuras:

- os tratamentos apresentaram-se diferenciados entre si e tiveram efeitos também diferenciados sobre o tempo de trabalhabilidade (Figura 2.7);
- os tratamentos apresentaram-se diferenciados entre si provocando efeitos também diferenciados sobre a massa unitária (Figura 2.8);
- os tratamentos com 35% e 40% de anidrita II, na composição do gesso de projeção, comportaram-se como um único tratamento, divergindo, ou diferenciando, dos demais tratamentos para a resistência à compressão (Figura 2.9) e;
- os tratamentos apresentaram-se diferenciados para a dureza Shore (Figura 2.10).

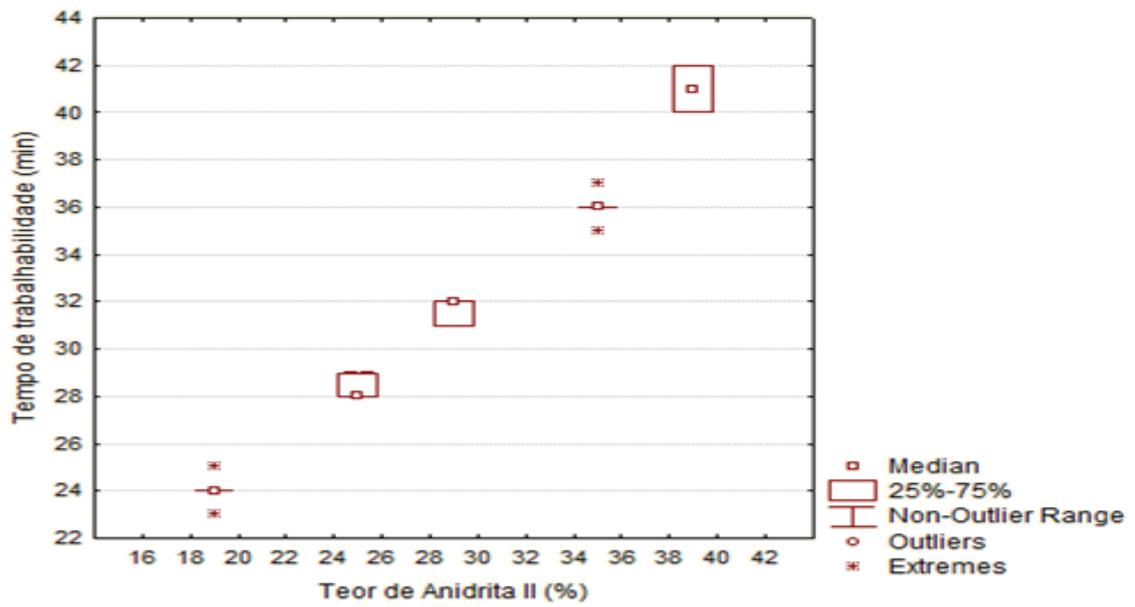


Figura 2.7 – Box Plot do TT em função dos tratamentos com anidrita II

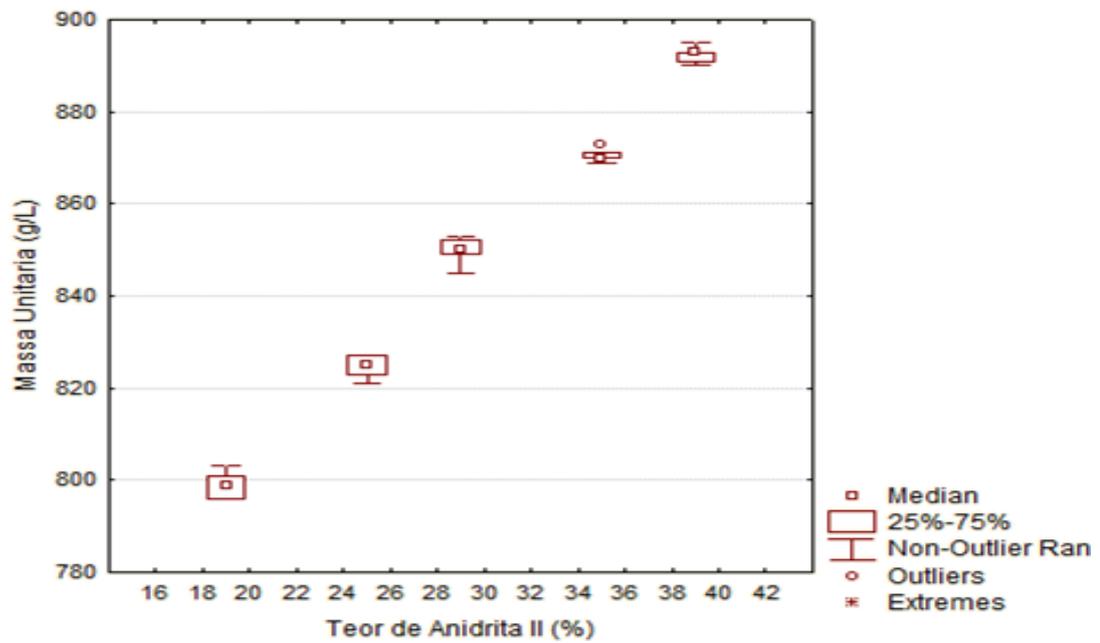


Figura 2.8 – Box Plot da MU em função dos tratamentos com anidrita II

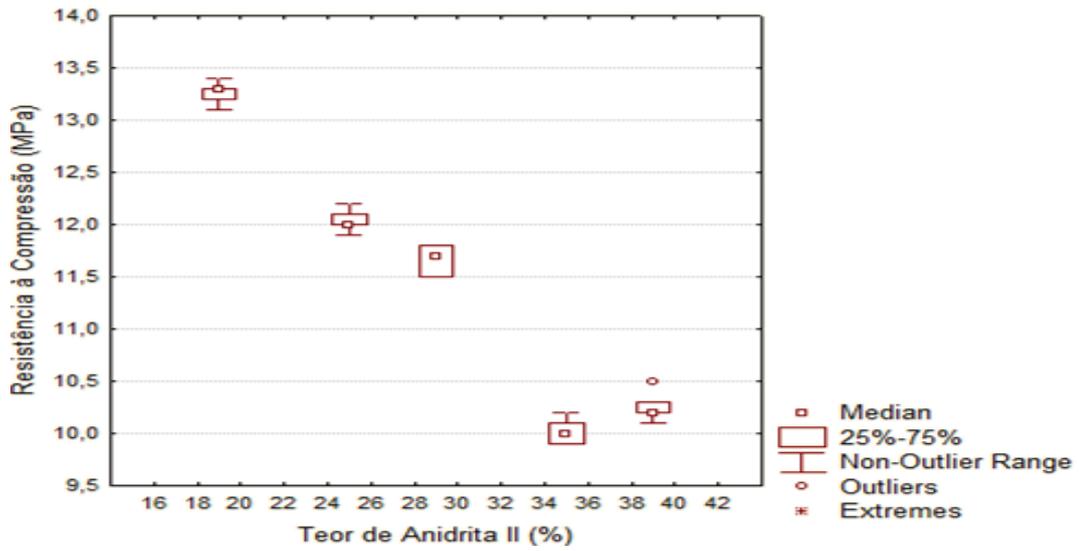


Figura 2.9 – Box Plot da RC em função dos tratamentos com anidrita II

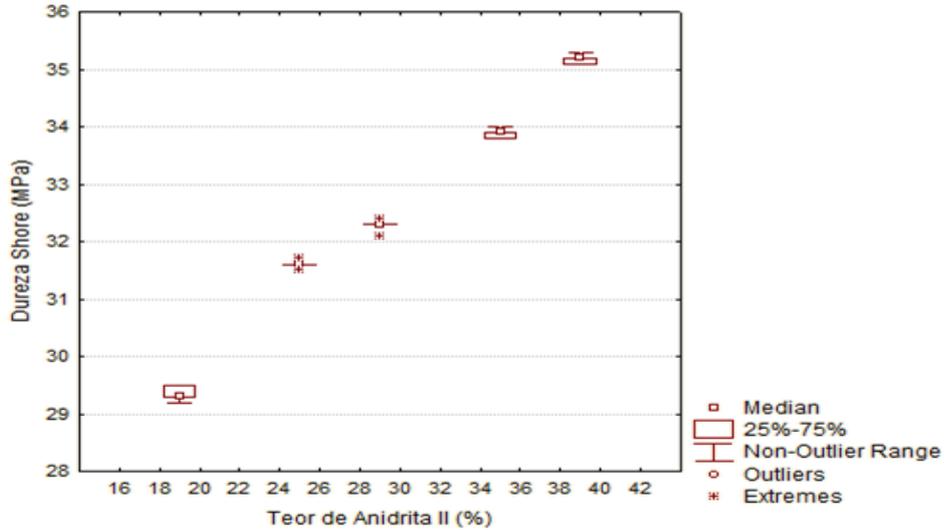


Figura 2.10 – Box Plot da DS em função dos tratamentos com anidrita II

Em um experimento, existe o interesse em testar se há diferenças entre as médias dos tratamentos, o que equivale a testar as hipóteses:

$$\begin{cases} H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_l \\ H_1: \tau_i \neq \tau_j \text{ para pelo menos um par } (i,j) \text{ com } i \neq j \end{cases} \quad (2.3)$$

Note que, se a hipótese nula for verdadeira, todos os tratamentos terão uma média comum μ .

A análise de variância baseia-se na decomposição da variação total da variável resposta em partes que podem ser atribuídas aos tratamentos (variância entre) e ao erro experimental (variância dentro). Essa variação pode ser medida por meio das somas de quadrados definidas para cada um dos componentes da série de medida (ANJO et al., 2009). Essas somas de quadrados podem ser organizadas em uma tabela, denominada tabela da análise de variância (ANOVA), como apresentado na Tabela 2.1 a seguir:

Tabela 2.1 - Análise de variância – ANOVA

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios	Estatística F
Tratamento	I-1	SQ_{Trat}	QM_{Trat}	QM_{Trat}/QM_{Res}
Resíduo	I(J-1)	SQ_{Res}	QM_{Res}	
Total	IJ-1	SQ_{Total}		

Onde:

SQ_{Total} = Soma dos quadrados totais;

SQ_{Res} = Soma dos quadrados dos resíduos;

SQ_{Trat} = Soma dos quadrados dos tratamentos;

QM_{Trat} = Quadrados médios dos tratamentos;

QM_{Res} = Quadrados médios dos resíduos

$$SQ_{Total} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2 \quad (2.4)$$

$$SQ_{Trat} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (x_{i.} - \bar{x}_{..})^2 \quad (2.5)$$

$$SQ_{Res} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (x_{ij} - \bar{x}_{i.})^2 = SQ_{Total} - SQ_{trat} \quad (2.6)$$

e

$$\bar{x}_{i.} = \frac{\sum_{j=1}^J x_{ij}}{J} \quad x_{..} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ij} \quad (2.7)$$

$$QM_{Trat} = \frac{SQ_{trat}}{(I-1)} \quad (2.8)$$

$$QM_{Res} = \frac{SQ_{Res}}{I(J-1)} \quad (2.9)$$

$$F = \frac{QM_{Trat}}{QM_{Res}} \quad (2.10)$$

Se $F_{CALCULADO} > F_{TABELADO}$, rejeita-se a hipótese de nulidade H_0 , ou seja, existem evidências de diferença significativa entre pelo menos um par de médias de tratamentos, ao nível α de significância escolhido. Caso contrário, não se rejeita a hipótese de nulidade H_0 , ou seja, não há evidências de diferença significativa entre tratamentos, ao nível α de significância escolhido.

Outra maneira de avaliar a significância da estatística F é utilizando o p -valor. Se o p -valor $< \alpha$, rejeita-se a hipótese de nulidade H_0 . Caso contrário, não se rejeita a hipótese de nulidade H_0 , ou seja, não há evidências de diferenças significativas entre os tratamentos, ao nível α de significância escolhido.

Comparando os valores de F ($F_{Calc} = 418,5$ e $F_{Tabelado} = 2,87$), podemos dizer que o efeito do Teor de Anidrita II é significativo no tempo de pega (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - ANOVA para a trabalhabilidade

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	Estatística F	P-value
Tratamento	4	869,60	217,40	418,08	0,00
Resíduo	20	10,40	0,52	-	-
Total	24	880,00			

Valor de critico de F com $\alpha = 5\%$, $\alpha = 0,05$, $v_1 = 4$ e $v_2 = 20$, é de $F = 2,87$

Considerando o valor da estatística F -Snedecor igual a 2,87, e comparando com o encontrado na tabela 2.3, podemos afirmar que o efeito do Teor de Anidrita II é significativo ao nível de 5% para a Massa Unitária.

Tabela 2.3 – ANOVA para a Massa Unitária

Efeito	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	de Quadrados Médios	Estatística F	P-value
Tratamento	4	27.156,64	6.789,16	1.057,50	0,00
Erro	20	128,40	6,42		
Total	24	27.285,04			

Considerando o valor da estatística *F-Snedecor* igual a 2,87, para $\alpha=5\%$ e comparando com o encontrado na tabela 2.4, podemos afirmar que o efeito do Teor de Anidrita II é significativo para a Resistência à compressão.

Tabela 2.4 - ANOVA para a Resistência à compressão

Efeito	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	de Quadrados Médios	Estatística F	P-value
Tratamento	4	35,646	8,9115	500,7	0,00
Erro	20	0,356	0,0178		
Total	24	36,002			

Também para a Dureza Shore, comparando os valores da estatística *F-Snedecor*, é possível afirmar que o efeito do Teor de Anidrita II é significativo ao nível de 5% (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - ANOVA para a Dureza Shore

Efeito	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	de Quadrados Médios	Estatística F	P-value
Tratamento	4	98,98	24,75	2475	0,00
Erro	20	0,20	0,01		
Total	24	99,18			

Diante dos resultados apresentados podemos dizer que existem evidências de diferenças significativas entre pelo menos um par de médias de tratamentos, ao nível de significância escolhida, ($\alpha = 0,05$).

Verificada a existência de diferença significativa entre tratamentos, por meio do **teste F**, foi avaliada a magnitude destas diferenças utilizando o **teste de Tukey**. As observações sobre a aplicação do referido teste com os respectivos valores dos deltas (Δ) foram:

- existem diferenças entre todos os tratamentos em relação à trabalhabilidade;
- Existem diferenças entre todos os tratamentos em relação a Massa Unitária;
- os tratamentos 35% e 40% são iguais entre si para a resistência à compressão e;
- os tratamentos são diferentes entre si para a dureza Shore do gesso de revestimento produzido neste trabalho.

Tabela 2.6 - Teste de Tukey para a trabalhabilidade

Cell No.	Tratamento (%)	{1} 24,000	{2} 28,400	{3} 31,600	{4} 36,000	{5} 41,000
1	20	-	0,000132	0,000132	0,000132	0,000132
2	25	0,000132	-	0,000136	0,000132	0,000132
3	30	0,000132	0,000136	-	0,000132	0,000132
4	35	0,000132	0,000132	0,000132	-	0,000132
5	40	0,000132	0,000132	0,000132	0,000132	-

$$\Delta = q_{[\alpha,r,(N-r)]} \sqrt{\frac{QM_{res}}{r}} = 4,232 \sqrt{\frac{0,52}{5}} = 1,36 \quad (2.11)$$

Tabela 2.7 - Teste de Tukey para a Massa Unitária

Cell No.	Tratamento (%)	{1} 799,00	{2} 824,60	{3} 849,80	{4} 870,60	{5} 892,40
1	20	-	0,000132	0,000132	0,000132	0,000132
2	25	0,000132	-	0,000132	0,000132	0,000132
3	30	0,000132	0,000132	-	0,000132	0,000132
4	35	0,000132	0,000132	0,000132	-	0,000132
5	40	0,000132	0,000132	0,000132	0,000132	-

$$\Delta = q_{[\alpha,r,(N-r)]} \sqrt{\frac{QM_{res}}{r}} = 4,232 \sqrt{\frac{6,42}{5}} = 4,80 \quad (2.12)$$

Tabela 2.8 - Teste de Tukey para a resistência à compressão

Cell No.	Tratamento (%)	{1} 13,260	{2} 12,040	{3} 11,660	{4} 10,020	{5} 10,260
1	20	-	0,000132	0,000132	0,000132	0,000132
2	25	0,000132	-	0,001919	0,000132	0,000132
3	30	0,000132	0,001919	-	0,000132	0,000132
4	35	0,000132	0,000132	0,000132	-	0,067502
5	40	0,000132	0,000132	0,000132	0,067502	-

$$\Delta = q_{[\alpha,r,(N-r)]} \sqrt{\frac{QM_{res}}{r}} = 4,232 \sqrt{\frac{0,0178}{5}} = 0,2525 \quad (2.13)$$

Tabela 2.9 - Teste de Tukey para a dureza Shore

Cell No.	Tratamento (%)	{1} 29,360	{2} 31,600	{3} 32,280	{4} 33,880	{5} 35,180
1	20	-	0,000132	0,000132	0,000132	0,000132
2	25	0,000132	-	0,000132	0,000132	0,000132
3	30	0,000132	0,000132	-	0,000132	0,000132
4	35	0,000132	0,000132	0,000132	-	0,000132
5	40	0,000132	0,000132	0,000132	0,000132	-

$$\Delta = q_{[\alpha,r,(N-r)]} \sqrt{\frac{QM_{res}}{r}} = 4,232 \sqrt{\frac{0,0098}{5}} = 0,1873 \quad (2.14)$$

2.3.2. Comparação entre os gessos de revestimento

Para comparação entre o gesso obtido pelo método proposto no presente trabalho e o gesso de revestimento comercial, foram realizados testes de caracterização em amostras de ambos os tipos. Ao material de origem comercial foi mantido o anonimato de marca. Foram realizados testes de tempo de trabalhabilidade (min), massa unitária (g/L), resistência à compressão (MPa), e dureza (MPa). A Tabela 2.10 a seguir apresenta valores necessários a essa comparação.

TABELA 2.10 – Comparação em gesso comercial e o gesso de anidrita II com as normas brasileiras.

Item	Gesso Comercial	Gesso de Anidrita II	Especificações NBR
Tempo de pega (min)	10,5	41,6	> 35 min
Massa unitária (g/L)	679	849,8	> 700
Resistência à compressão, (MPa)	12,3	11,7	> 8,4
Dureza (MPa)	30	32,3	> 30

Foi produzido um gesso de revestimento de forma diferente da tecnologia convencionalmente utilizada no Polo Gesseiro do Araripe, ou seja, mistura de semi-hidrato de sulfato de cálcio e anidrita II em vez de sobreconversão da gipsita. A aplicação de um planejamento experimental de um único fator foi a metodologia de análise utilizada, permitindo um diagnóstico estatístico científico para os referidos testes.

Fica provado que é possível a obtenção de um gesso de revestimento com propriedades bem definidas e uma trabalhabilidade adequada, permitindo um uso de máquinas de projeção, sem riscos de tempos de trabalhabilidade que comprometam o funcionamento das mesmas.

De acordo com os resultados obtidos para os cinco níveis da mistura de anidrita II optamos pela combinação de 30% do produto por atender as especificações da NBR, como apresentado na Tabela 2.10.

2.4 Conclusões e Sugestões

Foi obtido um gesso com características para aplicação em revestimento interno pela incorporação de percentuais de anidrita II a um gesso comercial, com teor de semi-hidrato de sulfato de cálcio de cerca de 92%. As propriedades desse gesso de revestimento mantiveram-se acima das especificações normatizadas para gessos em construção civil, principalmente pela obtenção de uma trabalhabilidade estável, afastando a possibilidade de entupimento caso tenha sua aplicação efetuada por máquina de projeção, uma vez que a incorporação de uma massa equivalente a 30% de anidrita II é bem mais prático que 0,25 % de aditivos, por tonelada do produto final.

Fica como sugestão para trabalho posterior uma avaliação financeira dos benefícios técnicos e ambientais trazidos pela formulação proposta, em relação à prática de produção corrente.

Fica também como sugestão futura, avaliar a possibilidade de reciclagem do produto, comprometida com a adição de aditivos químicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJO, A; GIOLO, S. R.; CAMARINHA FILHO, J. A.; MATUDA, N. S.; WINTER, E. M. W. **Notas de Aulas de Estatística II**. Departamento de Estatística da UFPR. Curitiba, 2009. 146 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *ASTM C 28-92*: Standard specification for gypsum plasters. Pennsylvania, 1992.

ANTUNES, R. P. N. **Estudo da influência da Cal Hidratada nas Pastas de Gesso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil), 1999. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M.; ANDRADE, A. C. Produtividade dos Revestimentos em Gesso: influência das propriedades do material. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO DA QUALIDADE E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**, Recife, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12127** Gesso para construção civil: determinação de propriedades físicas do pó: método de ensaio - Rio de Janeiro, 1991. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12129**. Gesso para construção civil: determinação de propriedades mecânicas: método de ensaio - Rio de Janeiro, 1991. 5p.

BADENS, E.; LIEWELLYN, P.; FULCONIS, J. M.; JOURDAN, C.; VEESLER, S.; BOISTELLE, R.; ROUQUEROL, F. Study of Gypsum Dehydration by Controlled Transformation Rate Thermal Analysis (CRTA). **Journal of Solid State Chemistry**. v. 139, August 1998.

BERTOLDI, A. G. Research on modifying the initial and final set of plaster of Paris. *Zement-Kalk - Gips*, 5, p. 223-226, 1976.

BOURMAN, A. Mecanisme du retarmement et l'acceleration da la prise du plâtre. **Revue des Matérioux de Construction**. 497, p. 142-151, 1997.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. *Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function*. University of Wisconsin Technical Report, Madison, n. 9, 1973.

CARR, J.; MUNN, D. A. Agricultural Disposal Method of Construction Site Gypsum Wallboard Waste. **Journal of Construction Education**. Spring, v. 6, n. 1, 2001.

CAVALCANTI, L. B., *Condições Operacionais de Produção de um Gesso Beta Reciclável*. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco. 135 p. Abril de 2006.

FOLLNER, S.; WOLTER, A.; HELMING, K.; SILBER, C.; BARTELS, H. and FOLLNER, H. On the Real Structure of Gypsum Crystals. **Cryst. Res. Technol.** v. 37, n. 2-3, p. 207-218, 2002.

FOLLNER, S.; WOLTER, A.; PREUSSER, A.; INDRIS, S.; SILBER, C. and FOLLNER, H. The Setting Behaviour of α - and β -CaSO₄ × 0,5 H₂O as a Function of Crystal Structure and Morphology. **Cryst. Res. Technol.** v. 37, n. 10, p. 1075-1087, 2002.

KOSŁOWSKI, T.; LUDWIG, U. Retardation of gypsum plasters with citric acid: mechanism and properties. *Chemistry and Technology of Gypsum*, p. 97-104, 1893.

MALLON, I. Retarding action of gypsum plaster retarders of various chemical composition in relation to the pH value of plaster. *Zement-Kalk-Gips*, n. 6, p. 309-311, 1988.

MONÇÃO JUNIOR, A. R. *Otimização das condições experimentais na desidratação do minério de gipsita para obtenção de um gesso beta reciclável*. 2007, 98 f. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia da Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2007.

MURAT, M.; ATTARI, A. Modification of some physical properties of gypsum plaster by addition of clay minerals. [Cement and Concrete Research](#), *Volume 21, Issues 2–3*, March–May 1991, Pages 378–387.

MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C. *Response surface methodology*, Wiley: New York, 2002.

SANTOS, V.A., *Propriedades e características do gesso*. Apostilha de tecnologia do gesso, Recife, 2003.

SILVA, M. A. M. da; SCHREIBER, B. C.; SANTOS, C. L. dos. Evaporitos como recursos minerais. *Rev. Bras. Geof.*, v. 18, n. 3, São Paulo, 2000.

TURLEY, W. What's happening in gypsum recycling. **C&D Debris Recycling**, v. 5, n. 1, p. 8-12, January-February, 1998.

APÊNDICE

Tabela A1 – Valores referentes ao tempo de trabalhabilidade em função do tratamento dos dados

Teor de Anidrita II (%)	Dados					TT (min)
	1	2	3	4	5	
20	24	23	24	25	24	24,0
25	28	29	28	28	29	28,4
30	32	32	31	31	32	31,6
35	36	36	37	35	36	36,0
40	40	41	40	42	42	41,0

Fonte: Resultado em laboratório

Tabela A2 – Valores referentes à massa unitária em função do tratamento dos dados

Teor de Anidrita II (%)	Dados					MU (g/l)
	1	2	3	4	5	
20	799	796	801	803	796	799
25	825	823	827	827	821	824
30	850	853	845	849	852	850
35	871	873	870	870	869	871
40	890	891	893	895	893	892

Tabela A3 – Valores referentes à resistência à Compressão em função do tratamento dos dados

Teor de Anidrita II (%)	Dados					RC (MPa)
	1	2	3	4	5	
20	13,3	13,2	13,3	13,4	13,1	13,3
25	12,0	12,1	11,9	12,0	12,2	12,0
30	11,8	11,5	11,5	11,7	11,8	11,7
35	10,1	10,0	9,9	9,9	10,2	10,0
40	10,2	10,5	10,3	10,2	10,1	10,3

Tabela A4 – Valores referentes à dureza Shore em função do tratamento dos dados

Teor de Anidrita (%)	Dados					Dureza Shore (MPa)
	1	2	3	4	5	
20	29,3	29,5	29,5	29,3	29,2	29,4
25	31,5	31,6	31,7	31,6	31,6	31,6
30	32,1	32,3	32,3	32,4	32,3	32,3
35	33,9	34,0	33,8	33,8	33,9	33,9
40	35,2	35,1	35,1	35,3	35,2	35,2