



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS PROPRIEDADES DO
GESSO OBTIDO DE REJEITO DA PRODUÇÃO DE SAL E
GESSOS COMERCIAIS

Juliana Elionara Bezerra Costa

Orientador: Prof. Dr. Marcus Antônio de Freitas Melo

Dissertação n.º /PPGCEM

Natal – RN / Junho de 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE
MATERIAIS

Juliana Elionara Bezerra Costa

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS PROPRIEDADES DO
GESSO OBTIDO DE REJEITO PROVENIENTE DOS
CRISTALIZADORES DA PRODUÇÃO DE SAL E GESSOS
COMERCIAIS

Natal / RN, Agosto de 2013

Juliana Elionara Bezerra Costa

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS PROPRIEDADES DO
GESSO OBTIDO DE REJEITO PROVENIENTE DOS
CRISTALIZADORES DA PRODUÇÃO DE SAL E GESSOS
COMERCIAIS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Antônio de Freitas Melo.

Natal / RN, Agosto de 2013

DEDICATÓRIA

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede
Catalogação da Publicação na Fonte

Costa, Juliana Elionara Bezerra.

Análise comparativa entre as propriedades do gesso obtido de rejeito da produção de sal e gessos comerciais. / Juliana Elionara BezerraCosta. – Natal, RN, 2013.

73 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Antônio de Freitas Melo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.

1. Engenharia de materiais - Dissertação. 2. Resíduos - Dissertação. 3. Gipsita - Dissertação. 4. Gesso – Dissertação. I. Melo, Marcus Antônio de Freitas. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 620.1

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me guiar para o melhor caminho sempre e por todas as bênçãos que tenho recebido;

Aos meus pais, que sempre fizeram de tudo para me proporcionar o melhor. Pelo amor recebido, pelo apoio nas minhas decisões, pela confiança e por torcerem por mim da maneira mais sincera possível;

Aos meus irmãos, sem dúvida nenhuma, meus mais verdadeiros amigos;

Ao meu orientador o professor Dr. Marcus Antônio de Freitas Melo pela oportunidade, incentivo e por todos os ensinamentos durante a realização do trabalho;

Aos professores: Dr^a. Dulce Maria de Araújo Melo e Dr. Júlio César de Oliveira Freitas, por terem aceitado tão gentilmente o convite para participarem da minha banca e por permitirem a realização dos experimentos no LABTAM e LABCIM, respectivamente;

À prof. Dr^a Renata Martins Braga pelas sugestões e participação na banca de defesa;

À professora Dr^a. Fabiana Villela da Motta pela participação na banca de qualificação;

À Rodrigo Melo, que também faz parte do projeto e me ajudou durante todo o mestrado;

Aos amigos do LabTam/LCR; Elania, Fafá, Aline, Alexsandra, Gicélia, Gabi, Maryelzy, Ercília, Asenete, sempre bem dispostos a me ouvir, ajudar e esclarecer minhas dúvidas;

Ao programa de pós-graduação em ciência e engenharia de materiais (PPGCEM) da UFRN, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

A todos não citados, que, de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

COSTA, Juliana Elionara Bezerra – Análise comparativa entre as propriedades do gesso obtido de rejeito proveniente dos cristalizadores da produção de sal e gessos comerciais. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Antônio de Freitas Melo

RESUMO

Os impactos ambientais, ocasionados pela geração de resíduos sólidos, são uma preocupação bastante citada na atualidade. Alguns desses resíduos, provenientes das mais variadas atividades humanas, podem ser totalmente reaproveitados, diminuindo o efeito desses impactos, geralmente ocasionado pela má disposição, no meio ambiente. Durante o processo de produção do sal, os primeiros cristais formados são descartados como resíduo industrial. Este é constituído basicamente por gipsita, um sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). A gipsita em questão pode passar por um processo de calcinação para a produção do gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) e subsequente aplicação na indústria cimenteira. Considerando a necessidade de desenvolvimento e aplicação para estes resíduos industriais, o presente trabalho tem o objetivo de analisar o gesso obtido a partir da gipsita que foi gerada durante o processo de produção do sal, denominado Salgesso, e sua viabilidade de utilização na indústria da construção civil, trazendo benefícios ambientais e econômicos. Para caracterização, foram realizados os experimentos de: Fluorescência de raios X (FRX), Difração de raios X (DRX), análises térmicas (TG/DTG) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com EDS. Foram realizados também ensaios para a obtenção de características físicas como Módulo de finura, Massa unitária, tempo de pega e resistência à compressão. Três gessos comerciais, utilizados na construção civil, foram usados como material de referência. Todos os ensaios foram realizados seguindo a normatização vigente. Foi observado que, apesar de alguns ensaios apresentarem divergência de resultados entre os gessos salino e comerciais em todas as propriedades estudadas, o Salgesso tem valores dentro dos limites impostos pela norma. Entretanto, há uma possibilidade de melhora por meio de um processo de calcinação mais eficaz.

Palavras-Chave: Resíduos, gipsita, gesso

COSTA, Juliana Elionara Bezerra - Análise comparativa entre as propriedades do gesso obtido de rejeito proveniente dos cristalizadores da produção de sal e gessos comerciais. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Antônio de Freitas Melo.

ABSTRACT

The environmental impacts, caused by the solid residues generation, are an often quoted concern nowadays. Some of these residues, which are originated from different human activities, can be fully reused, reducing the effects of the poor waste management on the environment. During the salt production process, the first formed crystals are discarded as industrial waste. This is mainly made of gypsum that is a calcium sulfate dihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). The gypsum in question may go through a calcination process due to the plaster ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) production and then the application on the cement industry. Considering the necessity of development and application for these industrial wastes, this paper aims to analyze the plaster, called Salgesso, from the gypsum that was generated during the salt production, and its use viability on the civil construction industry in order to create environmental and economical benefits. For characterization, the following experiments were performed: X-ray Fluorescence (XRF), X-ray Diffraction (XRD), thermal analysis (TG/DTG) and Scanning Electron Microscopy (SEM) with EDS. The following tests were also performed to obtain the mechanical characteristics: Thinness Modulus, Unit Mass, Setting Time and Compressive Resistance. Three commercial plasters used on civil construction were taken as references. All of these tests were performed according to the current standards. It was noticed that although there were some conflicting findings between the salt and commercial plasters in all of the studied properties, the Salgesso has its values within the standard limits. However, there is the possibility to improve them by doing a more effective calcination process. Three commercial plasters, used in construction, were used as reference material. All tests were performed according to standards in force. It was observed that although some tests present conflicting findings between the salt and gypsum plasters commercial properties in all of the studied Salgesso have values within the limits imposed by the standard, but can be improved simply by calcination process more effective .

Key Words: Residues, gypsum, plaster

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Variedades de gipsita utilizadas na fabricação de gesso	21
Figura 2.2: Processo de obtenção da gipsita.....	23
Figura 2.3: Estrutura do mineral Gipsita.....	24
Figura 2.4: Processos de produção do sal marinho e do Salgesso.....	26
Figura 2.5: Diagrama representando o processo de hidratação do gesso.....	33
Figura 3.1: Fluxograma da metodologia experimental utilizada na dissertação.....	42
Figura 3.2: Especificação do ensaio para determinação do tempo de pega DIN 1168.....	46
Figura 4.1: Difratoograma de Raios X, Gesso BA.....	51
Figura 4.2: Difratoograma de Raios X, Gesso MA.....	52
Figura 4.3: Difratoograma de Raios X, Gesso PE.....	52
Figura 4.4: Difratoograma de Raios X, Gesso Salgesso.....	53
Figura 4.5: Curvas Termogravimétricas TG e DTG para o Gesso BA.....	54
Figura 4.6: Curvas Termogravimétricas TG e DTG para o Gesso MA.....	55
Figura 4.7: Curvas Termogravimétricas TG e DTG para o Gesso PE.....	56
Figura 4.8: Curvas Termogravimétricas TG e DTG para o Gesso Salgesso.....	57
Figura 4.9: Micografias do Gesso BA. A) Aumento 100X. B) Aumento 500X.....	59

Figura 4.10: Micografias do Gesso BA. A) Aumento 100X. B) Aumento 500X.....	60
Figura 4.11: Micografias do Gesso BA. A) Aumento 100X. B) Aumento 500X.....	61
Figura 4.12: Micografias do Gesso BA. A) Aumento 100X. B) Aumento 500X.....	62
Figura 4.13: Resultado da análise de EDS em ponto aleatório, Gesso MA.....	63
Figura 4.14: Resultado da análise de EDS em ponto aleatório, Gesso MA.....	63
Figura 4.15: Resultado da análise de EDS em ponto aleatório, Gesso MA.....	64
Figura 4.16: Resultado da análise de EDS em ponto aleatório, Gesso MA.....	64
Figura 4.17: Bolacha confeccionada para realização do tempo de pega.....	67
Figura 4.18: Tempo de pega inicial e final para as amostras de gesso.....	68
Figura 4.19: Prensa utilizada no ensaio de resistência à compressão.....	69
Figura 4.20: Resultados dos ensaios de Resistência à compressão.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Distribuição das minas de Gipsita no Brasil	18
Tabela 2.2: Complexo gesseiro do Araripe, Expansão territorial e populacional	20
Tabela 2.3: Composição química e propriedades físicas do mineral Gipsita.....	21
Tabela 2.4: Composição teórica dos sulfatos.....	28
Tabela 2.5: Origem e nomenclatura dos gessos residuais.....	29
Tabela 2.6: Exigências do gesso para construção civil.....	37
Tabela 2.7: Exigências químicas do gesso para construção civil.....	38
Tabela 2.8: Especificações relacionadas às propriedades físicas e mecânicas.....	39
Tabela 3.1: Codificação das amostras de gesso.....	41
Tabela 4.1: Massa das amostras peneiradas a 10 #.....	49
Tabela 4.2: Massa das amostras peneiradas a 100#.....	50
Tabela 4.3: Análise química das amostras por FRX.....	50
Tabela 4.4: Perda de massa das amostras durante a análise térmica.....	58
Tabela 4.5: Resultado do ensaio de granulometria das amostras de gesso.....	65
Tabela 4.6: Resultado do ensaio de Massa unitária das amostras de gesso.....	66

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

TG	Thermogravimetric analysis
DTG	Differential of Thermogravimetric Analysis
EDS	Energy Dispersive Spectrometry
DRX	Difracção de raios X
FRX	Fluorescência de Raios-x
ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
MPa	MegaPascal
NBR	Norma Brasileira Registrada
#	Abertura nominal da peneira

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 GIPSITA	17
2.1.1 Indústria da mineração de gipsita.....	18
2.1.2 Mineralogia da gipsita.....	20
2.1.3 Geologia da gipsita.....	22
2.1.4 Microestrutura da gipsita.....	23
2.1.5 Indústria salineira e extração da gipsita	25
2.2 GESSO.....	26
2.2.1 Gesso Natural	27
2.2.2 Gesso Residual	28
2.2.3 Gesso para Construção Civil	29
2.2.4 Processamento	29
2.2.5 Calcinação	30
2.2.6 Hidratação, pega e endurecimento do gesso	31
2.2.7 Usos e funções.....	33
2.2.8 Normas aplicadas ao gesso de Construção Civil.....	36
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	40
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	40
3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL	40
3.2.1 Etapas de tratamento	42
3.2.2 Caracterizações.....	42
3.2.3 Análises físicas	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
4.1 ETAPAS DE TRATAMENTO	48
4.1.1 Peneiramento.....	48
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	49
4.2.1 Fluorescência de Raios X.....	49
4.2.2 Difração de Raios X.....	50
4.2.3 Análises Térmicas	52

4.2.4 Microscopia eletrônica de Varredura (MEV) e Mapeamento Químico (EDS).....	55
4.3. ANÁLISES FÍSICAS	64
4.3.1. Granulometria.....	64
4.3.2 Massa Unitária.....	65
4.3.3 Tempo de Pega.....	65
4.3.4 Resistência à compressão	67
5. CONCLUSÃO.....	71
REFERÊNCIAS	73

Capítulo 1
INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos torna-se atualmente uma problemática cada vez maior, sendo de grande importância a preocupação com a sua reciclagem, reutilização, assim como sua adequada disposição. A conscientização por parte das empresas vem crescendo quando o assunto é minimizar a geração destes resíduos. Já que a geração de resíduos é, algumas vezes, inevitável, tornam-se necessários estudos e pesquisa para a viabilização do seu reaproveitamento.

Levando em consideração este contexto de reutilização de resíduos, pode-se citar o reaproveitamento da gipsita gerada a partir da evaporação da água do mar durante o processo de produção do sal marinho. O beneficiamento dela apresenta grande potencial de utilidade e uso, substituindo o gesso natural – comumente utilizado na construção civil.

De acordo com os dados da Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico (SEDEC), o Rio Grande do Norte é o maior produtor de sal do Brasil, sendo responsável por 90% do sal marinho produzido no país. Tal produto é obtido através de um processo constituído por algumas etapas. A primeira delas é o bombeamento da água do mar e, em seguida, a água é encaminhada para evaporadores nos quais, com o passar do tempo, têm sua densidade aumentada até se obter o produto final.

Os primeiros cristais formados durante a produção do sal marinho são descartados como resíduo industrial que se constitui basicamente por gipsita um sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). O beneficiamento desta gipsita proporciona a obtenção do gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), geralmente utilizado na indústria cimenteira. Se este gesso residual, denominado Salgesso, puder ser utilizado na construção civil, tem-se um produto com um maior valor agregado, o que poderá contribuir para uma construção sustentável, tanto sob o ponto de vista econômico quanto ambiental.

Este trabalho tem como objetivo uma comparação entre as propriedades químicas e físicas do gesso produzido a partir da gipsita oriunda do processo de produção de sal, antes

considerado rejeito industrial, com as propriedades do gesso comercial aplicado na construção civil já comercializado. E através desse estudo viabilizar a produção do gesso pelo salgesso.

A realização deste trabalho ocorreu da seguinte forma: Para a caracterização, foram realizados os experimentos de Fluorescência de Raios X (FRX), Difração de Raios X (DRX), análises térmicas (TG/DTG) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com EDS. Além destes, foram realizados ensaios para a obtenção de características físicas como Módulo de Finura, Massa Unitária, Tempo de Pega e Resistência à Compressão.

Todos os ensaios foram realizados seguindo a normatização vigente para gesso de construção civil, e três gessos comerciais utilizados nessa área foram tomados como material de referência

Capítulo 2
REVISÃO DA LITERATURA

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 GIPSITA

A gipsita é um mineral produzido em vários lugares do mundo. É um sulfato de cálcio di-hidratado de fórmula $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que geralmente ocorre associado à anidrita, sulfato de cálcio anidro CaSO_4 . Possui uma baixa dureza, densidade 2,35 g/cm^3 , índice de refração de 1,53, é bastante solúvel e sua cor varia entre incolor, branca, cinza e amarronzada, dependendo das impurezas contidas nos cristais. É um mineral de baixa resistência que quando recebe calor sofre uma desidratação parcial, originando um semi-hidrato conhecido comercialmente como gesso (Lyra Sobrinho et al, 2004).

De acordo com dados do Departamento Nacional de Produção Mineral, DNPM, 2012, são produzidos mais de 148 (cento e quarenta e oito) milhões de toneladas por ano de gipsita bruta no mundo, sendo mais de três milhões de toneladas, produzidas no Brasil. Por não ser vendida por um valor muito elevado no seu estado bruto, seu comércio internacional é bem limitado e a sua importância é ressaltada quanto temos a sua transformação, ligada principalmente à cadeia da construção civil. O uso deste bem mineral é pequeno no país se comparado ao consumo de países mais desenvolvidos ou de longa tradição no uso do gesso na construção, com isso, pode-se dizer que o seu mercado ainda tem um campo muito vasto no país. O uso do mineral gipsita mostra um crescimento constante ao longo dos anos, podendo aumentar mais ainda com a melhoria do poder aquisitivo da população e com os programas de difusão das vantagens do uso do gesso na construção, junto com a oferta de produtos tecnologicamente certificados.

No Brasil, possuímos muitas reservas de gipsita nas regiões norte, nordeste e centro oeste do país. Segundo o Ministério de Minas e Energia, somos o 16º produtor mundial, mas essa produção supre basicamente o consumo interno. Temos como produtores principais de gipsita os estados de Pernambuco, Ceará, Maranhão, Tocantins, Bahia em algumas regiões do semi-árido nordestino, de escassas oportunidades de negócios, e até nas regiões amazônica e centro oeste, estimulando pólos econômicos em vários interiores do país. Temos dezenas de empresas trabalhando na mineração da gipsita em todo país, divididas em empresas que lavram e ou beneficiam o minério e algumas integradas com a calcinação do gesso. A mineração

neste ambiente onde o mineral ocorre sob forma de horizonte descontínuo, chegando a possuir espessura de cerca de 30mm em alguns lugares, teve início em 1960. (DNPM, 1994)

O beneficiamento da gipsita se restringe à britagem ou moagem, geralmente realizados na própria mina, mas que também pode ser realizado nas instalações do cliente que são representados pelas empresas de calcinação do gesso e seus derivados, atuantes em todo país, pelas fábricas de cimento espalhadas pelas regiões norte e nordeste e pelo setor agrícola das regiões norte, nordeste e centro oeste. A tabela abaixo representa a distribuição das minas de gipsita no Brasil.

Tabela 2.1: Distribuição das minas de Gipsita no Brasil

UF	NÚMERO DE MINAS	ATIVAS	PARALISADAS
AM	1	1	0
BA	3	0	3
MA	11	3	8
PI	2	0	2
PE	55	37	18
CE	4	2	2
TO	2	1	1
PA	0	0	0
TOTAL	78	44	34

Fonte: DNPM, 2009

2.1.1 Indústria da mineração de gipsita

Há algumas décadas o grupo cimenteiro, com intuito de garantir suas fábricas com uma matéria prima essencial no processo de obtenção do cimento, vem estimulando a mineração da gipsita. Desde então, o investimento em pesquisa de jazidas e na implantação da lavra de gipsita, vem atraindo grandes empresas como Votorantim Cimentos, Nassau e Holcim nesse segmento mineral, concentrando uma alta porcentagem da produção nacional.

Segundo dados do DNPM, atuam na pesquisa e extração de gipsita mais de 40 empresas de mineração que se distribuem pelos estados de Pernambuco (possuindo a

maior concentração), Ceará, Bahia, Maranhão, Amazonas, Piauí, Tocantins. A porção da reserva brasileira de gesso que apresenta melhor condição de aproveitamento econômico está situada na bacia sedimentar do Araripe, região fronteira dos estados do Piauí, Ceará e Pernambuco, com destaque para este último (Linhales, 2004). A maioria das minas está também concentrada nas mãos de poucos grupos empresariais.

A produção na região, que recebeu o nome de pólo gesseiro do Araripe, teve início graças ao espírito empreendedor de alguns empresários da região sudeste do país, que identificaram uma demanda reprimida do material e anteviram na possibilidade de calcinar a gipsita utilizando os fornos das casas que produziram farinha de mandioca.

O Pólo gesseiro do Araripe constitui hoje um arranjo produtivo local de base mineral. Esse arranjo liderado pelo sindicato da Indústria do gesso envolve segundo informações recentes, além das mineradoras, em torno de 153 unidades de calcinação que transformam a gipsita num hemidrato de cálcio, o gesso, e mais 443 unidades de pré- moldados, preparadoras de artefatos de gesso. Grande parte destas empresas caracteriza-se como de micro e pequeno porte, com muita informalidade, sendo muito dinâmico o número de empreendimentos que entram e saem do mercado (SINDUGESSO, 2004).

Em consequência dessa organização, foram atraídas para essa região, empresas de distribuição do gesso, de construção civil, de máquinas e ferramentas, de explosivos, transportadoras, oficinas mecânicas e metalúrgicas, indústrias químicas, de embalagens, e centros de tecnologia. Atitudes proativas têm sido tomadas pelas lideranças locais no que se refere às reivindicações aos órgãos governamentais, dando assim claros sinais de passagem do estágio de arranjo para um sistema produtivo. A incidência de certificação na série 9001 já acontece em algumas empresas (MME, 2009).

No ano de 2006 foi implantado no município de Araripina o Centro Tecnológico do gesso, com apoio de parceria entre os governos federal, estadual e municipal. O objetivo se volta para a formação profissional, inovação tecnológica e empreendedorismo, podendo ser uma ferramenta eficaz na melhoria do padrão organizacional/gerencial e na formalização do segmento, bem como no aumento do grau de incidência de certificação.

O polo de Araripe está situado no estado de Pernambuco, distante 700 quilômetros da capital, Recife, e inclui os municípios de Araripina, Bodocó, Ouricuri e

Trindade, Ipubi, que representam 8,69% do território do estado e 2,98% da população, como está demonstrado na tabela 2.

Tabela2.2: Complexo gesseiro do Araripe, Expansão territorial e populacional

CIDADE	EXPANSÃO TERRITORIAL (Km ²)	POPULAÇÃO
Araripina	1.906,3	70.898
Bodocó	1.598,1	31.731
Exu	1.493,9	32.423
Ibupi	968,0	23.042
Ouricuri	2.373,9	56.733
Trindade	228,3	21.930
Total	8.568,5	238.757
Pernambuco	98.525,7	7.918,344

Fonte: IBGE no CONDEPE – Base de dados do estado (BDE)

2.1.2 Mineralogia da gipsita

Os minerais de sulfato de cálcio podem ocorrer na natureza nas formas di-hidratada (gipsita: $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), desidratada (anidrita: CaSO_4) e, raramente, semi-hidratada (bassanita: $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$). Esta é de difícil identificação e representa apenas cerca de 1% dos depósitos minerais de sulfato de cálcio (Jorgensen, 1994). A gipsita cristaliza no sistema monoclinico e pode se apresentar sob formas variadas: Espato Acetinado - variedade com aspecto fibroso e brilho sedoso; Alabastro - variedade maciça, microgranular e transparente, usada em esculturas; Selenita - cristais com clivagens largas, incolores e transparentes. A Composição química do mineral gipsita e suas propriedades físicas, são demonstradas na tabela 2.3.

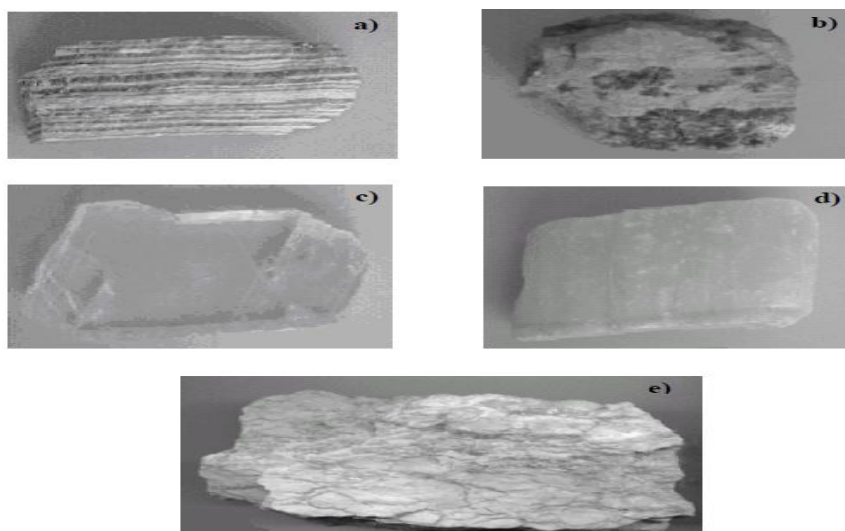
Tabela 2.3: Composição química e propriedades físicas do mineral Gipsita.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	CaO	32,5
	SO ₃	46,6
	H ₂ O	20,9
PROPRIEDADES FÍSICAS	Cor	Variável
	Brilho	Vítreo, Nacarado ou Sedoso
	Dureza	2 Mohs
	Densidade	2,5 g/cm ³
	Hábito	Prismático
	Clivagem	Em quatro direções
	Morfologia e Tamanho de Cristais	Variável

Fonte: Baltar, 2005

Nas jazidas do Araripe, em Pernambuco, ocorrem cinco variedades mineralógicas de gipsita, conhecidas na região com os nomes de: Cocadinha, rapadura, Johnson, estrelinha, alabastro e selenita, além da anidrita, demonstrado na figura 2.1. A variedade de gipsita utilizada na fabricação do gesso para construção civil, foco desta dissertação é conhecida como cocadinha.

Figura 2.1: Variedades de gipsita utilizadas na fabricação de gesso (a) cocadinha (b) Jonhson e estrelinha (c) alabastro (d) alabastro (e) anidrita



Fonte: Baltar *et al* (2003)

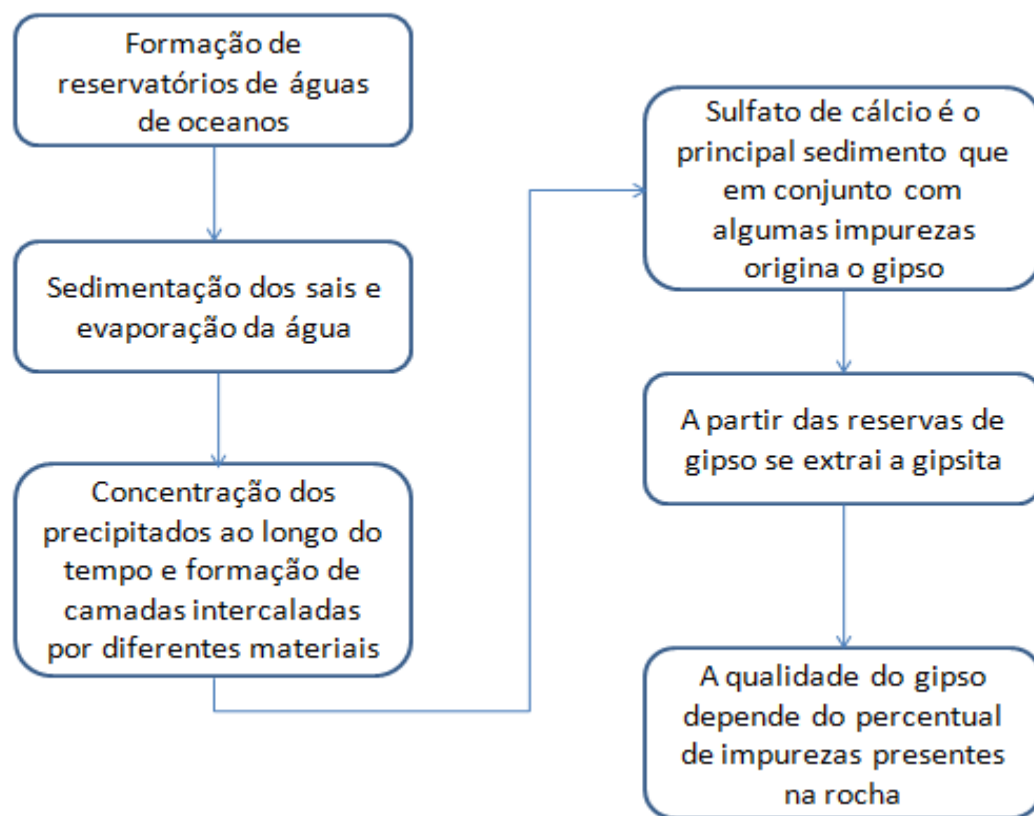
2.1.3 Geologia da gipsita

Os minerais gipsita e anidrita ocorrem em várias regiões do mundo, sendo encontrados em depósitos de origem evaporítica, cuja formação resulta da precipitação de sulfato de cálcio a partir de soluções aquosas concentradas e condições físicas favoráveis. A evaporação e, conseqüente, concentração do sal é favorecida em ambiente quente e seco. Os depósitos de gipsita costumam apresentar, além da anidrita, contaminantes como: argilas, quartzo, carbonatos de cálcio e magnésio, cloretos e outros sulfato. Em geral, a produção é obtida a partir de minério com 80 a 95% de pureza (Baltar, 2005).

As jazidas costumam apresentar camadas intercaladas de argilas, carbonatos, sílex e minerais evaporíticos tais como, halita e anidrita. Em Pernambuco, as jazidas estão inseridas em domínios da Formação Santana, do Cretáceo Inferior, formada por siltitos, margas, calcários, folhelhos e intercalações de gipsita. Devido à instabilidade da gipsita e da anidrita, as espécies inicialmente formadas podem sofrer transformações em sua composição e textura quando submetidas a diferentes condições de pressão e temperatura. A gipsita acumulada na superfície terrestre pode desidratar a determinada profundidade e transformar-se em anidrita. Por sua vez, a ocorrência de fenômenos geológicos, como movimento tectônico ou erosão, pode levar o depósito de anidrita a situar-se mais próximo à superfície, onde pode experimentar uma re-hidratação em contato com águas meteóricas e voltar à forma de gipsita, denominada secundária, com formas cristalinas distintas da anidrita e da gipsita original (Calvo, 2002).

A gipsita também pode ser encontrada em regiões vulcânicas, especialmente, onde o calcário sofreu ação dos vapores de enxofre. Nesse tipo de ocorrência, a gipsita aparece como mineral de ganga, nos veios metálicos, podendo estar associado a diversos minerais, sendo os mais comuns a halita, anidrita, dolomita, calcita, enxofre, pirita e o quartzo. A figura 2.2 demonstra de maneira sucinta, o processo de obtenção da gipsita.

Figura 2.2: Processo de obtenção da gipsita



2.1.4 Microestrutura da gipsita

Em Engenharia de Materiais, o termo microestrutura ajuda a descrever as características estruturais dos materiais. Podemos caracterizar as microestruturas pelo tipo, proporção e composição das fases presentes, e pela forma, tamanho, distribuição e orientação dos grãos (BRAGANÇA e BERGMANN apud CANUT, 2006).

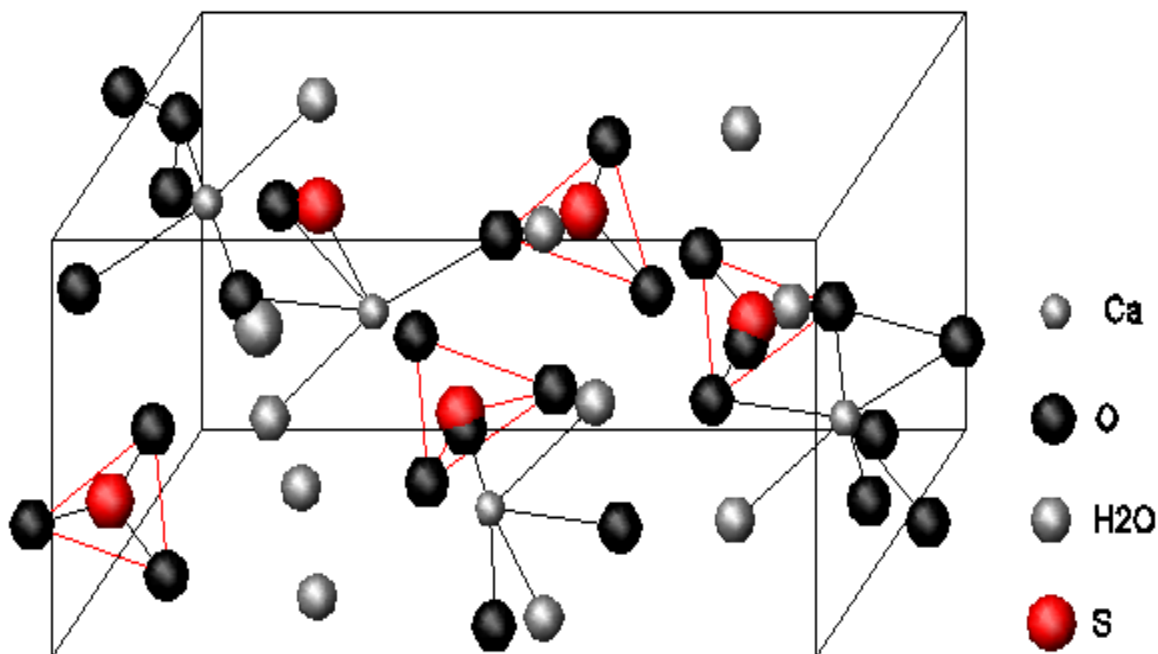
No estudo de materiais, a microestrutura de um material está diretamente ligada às propriedades dele, por exemplo: se tivermos um caso em que seja observado alguma mudança na microestrutura de um material, ocasionada pela mudança no processo de fabricação, suas propriedades também irão mudar (CALLISTER, 2008).

Podemos citar também quando duas amostras de um material com mesma composição química, sendo que uma delas pode apresentar uma resistência à compressão bem superior à outra, mesmo que ambas tenham se submetido, aparentemente ao mesmo processamento. Este fato bastante comum em análise dos materiais, quase sempre encontra explicação quando estudamos a microestrutura,

observando, por exemplo, o tamanho e a forma dos grãos e o volume dos poros (CANUT, 2006).

A microestrutura da gipsita, em seu estado natural, é constituída de cristais geminados de sistema monoclinico (DANA, 1969). A célula unitária da gipsita é cúbica de face centrada (CFC), composta por quatro moléculas de SO_4^{2-} , quatro átomos de Ca^{2+} e duas moléculas de água, demonstrado na figura 2.3.

Figura 2.3: Estrutura do mineral Gipsita



Fonte: Canut, 2006

A estrutura do sulfato de cálcio di-hidratado é essencialmente composta por duas camadas de grupos SO_4 . Estas estão unidas entre si fortemente por íons de cálcio formando um estrato. Estes estratos estão por sua vez, devidamente unidos por uma camada de moléculas de água, cada uma das quais une um íon de cálcio com um oxigênio do seu mesmo estrato e com outro oxigênio do estrato vizinho (Altaba, apud Gomes, 2012).

2.1.5 Indústria salinera e extração da gipsita

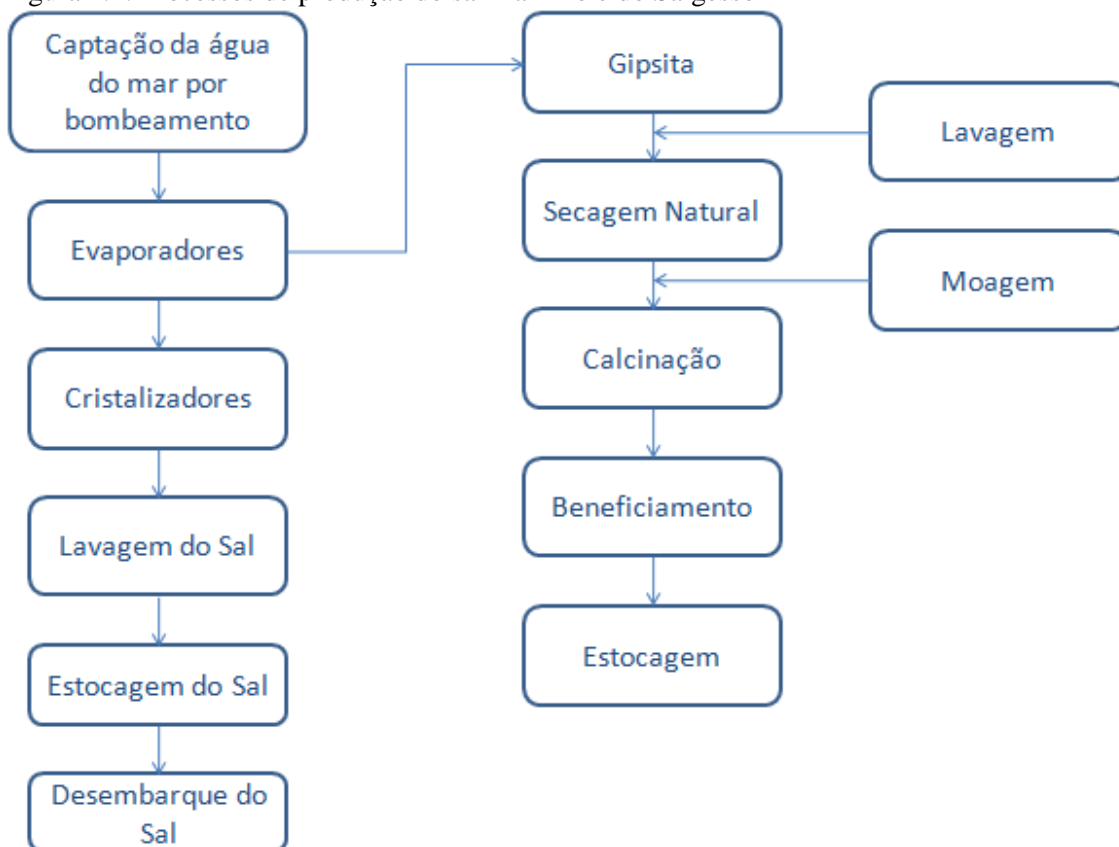
De acordo com dados obtidos pela Secretaria do estado de desenvolvimento econômico – SEDEC, O Rio Grande do Norte é o maior produtor de sal do mundo e possui atualmente mais de 55 empresas salineiras cadastradas, respondendo por uma produção anual de 4,8 milhões de toneladas de sal, numa área de 40.000 hectares, o que corresponde a 90% da produção de sal marinho no Brasil. Os municípios de Macau e Mossoró são responsáveis por 75% da produção total do estado. Essa produção se distribui para três segmentos principais: Consumo humano, animal e uso industrial.

Localizadas geralmente em municípios de pequeno porte, as indústrias salineiras movimentam a economia dessas cidades, gerando em torno de 15 mil empregos diretos (Gomes, 2012).

Durante o processo de produção do sal, os primeiros cristais formados são descartados como resíduo industrial nos rios, mares ou aterros. Esse resíduo é constituído basicamente por sulfato de cálcio di-hidratado $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, conhecido e denominado pelos operários das salinas como “carago cru” ou “malacacheta”. Podemos dizer que em aproximadamente 100 partes de água há 3,5 minerais em solução, 100 partes destes sais contem 3,6 de gipsita. São necessárias 2.857 partes de água do mar para a produção de 3,6 de gipsita. (Rosado, Vinght-un. Série B, Coleção Mossoroense, 2004).

Na figura 2.4 é apresentado um fluxograma com do processo de produção do sal marinho, juntamente com a extração da gipsita, e o demonstrativo do beneficiamento da mesma.

Figura 2.4: Processos de produção do sal marinho e do Salgesso



2.2 GESSO

O gesso é o mais antigo aglomerante de que se tem notícia. Foi encontrado em construções no Egito, onde suas técnicas de calcinação já eram amplamente conhecidas. É um dos mais antigos materiais de construção utilizado pelo homem. Já que possui uma facilidade de obtenção, que consiste num simples aquecimento a uma temperatura não muito elevada do mineral gipsita. Atualmente conhecemos três variações do gesso: O gesso natural, o gesso residual e o gesso de construção (Antunes, 1999).

2.2.1 Gesso Natural

A produção do gesso natural, extraído do minério de gipsita, consiste basicamente em quatro etapas: Extração do gipso, preparação, calcinação e seleção (Antunes, 1999).

a. Extração do Gipso

Na composição do gipso, que é uma rocha sedimentar, há a presença de basicamente gipsita, anidrita e algumas impurezas. A gipsita que tem fórmula química $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, é a matéria-prima para a produção do gesso. A qualidade do gipso é avaliada pelo teor de gipsita presente (Hincapié et al. 1996).

b. Preparação para Calcinação

Após ser extraído o gipso, passa por alguns processos de beneficiamento de adequação ao tipo de forno que será calcinado. As etapas geralmente são: Seleção manual, britagem, moagem e composição granulométrica. O ideal é que nesta etapa toda matéria-prima fique com uma uniformidade na distribuição granulométrica, evitando a desidratação desigual das partículas (Antunes, 1999).

c. Calcinação do gipso

De acordo com o beneficiamento aplicado na gipsita a sua estrutura vai sofrer modificações. A Tabela 2.4 ilustra a composição teórica destes sulfatos. Estão destacados os teores de SO_3 , CaO e H_2O . O teor de água combinada diferencia as massas moleculares e os teores respectivos de cada um desses constituintes, permanecendo constante a relação CaO/SO_3 .

d. Seleção

Para atender os requisitos da norma brasileira para gesso de construção civil (NBR 13207), nesta última etapa o produto da calcinação é moído, selecionado e classificado.

Tabela 2.4: Composição teórica dos sulfatos

Sulfato	Fórmula	Massa Molecular (g)	Composição (%)			Relação CaO/SO3
			H2O	CaO	SO3	
Anidrita	CaSO ₄	136,14	0	41,19	58,81	0,7
Hemidrato	CaSO ₄ .0,5H ₂ O	145,15	6,20	38,63	55,15	0,7
	CaSO ₄ .0,66H ₂ O	148,02	8,03	37,88	54,08	0,7
Dihidrato	CaSO ₄ .2H ₂ O	172,17	20,99	32,57	46,50	0,7

2.2.2 Gesso Residual

Uma outra maneira de se obter gesso, é quando ele é subproduto de uma síntese, neutralização de alguns ácidos e efluentes ou resíduo de processos industriais, como demonstrado na tabela 2.5.

Tabela 2.5: Origem e nomenclatura dos principais gessos residuais

ORIGEM	NOME GENÉRICO
Produção de ácido fosfórico	Fosfogesso
Produção de ácido fluorídrico	Fluorogesso, fluoroanidrita
Produção de ácido bórico	Borogesso, borohemidrato
Produção de ácidos orgânicos	Organogesso
<u>Extração de cloreto de sódio</u>	<u>Salgesso</u>
Neutralização de ácidos	Gesso de neutralização de resíduos Ácidos
Neutralização de efluentes da produção	Titanogesso

dedióxido de titânio	
Produção de soda	Sodogesso
Neutralização de gases de combustão contendo óxido de Enxofre	Sulfitogesso

2.2.3 Gesso para Construção Civil

O gesso é um material utilizado em áreas bastante variadas, tais como na saúde, indústria cerâmica e na construção civil. Para não ser confundido com os variados tipos, a norma brasileira adotou termos para diferenciar um gesso do outro, no caso estudado, “gesso de construção”. Vários autores já falaram sobre gesso de construção civil, assim, temos vários conceitos explicando este material.

Segundo John e Cicontto, 2007, o gesso de construção civil é um material produzido por calcinação do minério natural gipso, de sulfato de cálcio hidratado residual, constituído essencialmente de sulfatos de cálcio – Hemidrato, anidritas solúvel e insolúvel – e a gipsita procedente da matéria prima. A proporção dessas diferentes fases é controlada por condições de processo que, junto com a eventual presença de inertes e sua finura, vai determinar as propriedades do gesso no estado fresco e endurecido, incluindo tempo de pega e resistência mecânica. Assim, a composição do produto comercializado vai depender da sua aplicação, constando da formulação teores controlados de cada um desses sulfatos e da sua finura. (John e Concotto, 2007).

2.2.4 Processamento

A obtenção de um gesso com as propriedades adequadas para um uso específico desde aglomerantes até o uso na medicina vai depender do processo de beneficiamento da gipsita. Para a sua fabricação a única matéria prima utilizada é a gipsita (Sulfato de cálcio Di-hidratado), geralmente acompanhado de impurezas como SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , CaCO_3 , MgO , num total não ultrapassando 8% (Vieira, 2008).

2.2.5 Calcinação

Como preparação da calcinação, a gipsita moída pode ser submetida a uma secagem em secadores rotatórios, a uma temperatura de no máximo 49°C, com objetivo de remover o excesso de umidade e facilitar o manuseio da gipsita. (Velho, et al., 1998)

Quando existe a necessidade de obtenção de um produto final com melhor qualidade, indica-se a lavagem da gipsita, eliminando a fração granulométrica com maior concentração de contaminantes, em geral, as argilas ou areia.

A gipsita tem a propriedade de perder e recuperar a água de cristalização. Dependendo da temperatura que é aplicada no processo de calcinação do mineral, podem-se produzir vários tipos de materiais como os hemidratos α e β , e as anidritas I, II e III (Barbosa, 2012).

Quando submetida a temperaturas entre 125 e 160°C, a gipsita perde parte da água de cristalização e assume a forma de hemidrato equação (2.1). O hemidrato β , é obtido quando calcinado sob pressão atmosférica, e o hemidrato α , quando a calcinação ocorre em uma pressão superior à pressão atmosférica.

Como demonstrado na equação 2.2, entre 160 e 250°C, forma-se a anidrita III, também conhecida como anidrita solúvel. É um produto instável e ávido por água, que pode absorver umidade atmosférica e passar à forma de hemidrato. Essa propriedade torna a anidrita III um produto com características apropriadas para o uso como acelerador do tempo de pega. (Baltar et al., 2005). Neste patamar pode-se conter água de cristalização em baixo teor. (Benhoeft, 2010).

Na faixa de temperatura de 250 a 800°C, obtém-se a anidrita II equação (2.3), um produto totalmente desidratado, insolúvel, com natureza mineralogia semelhante à anidrita natural. Esse produto possui velocidade de hidratação lenta. (Gomes, 2012)

Acimade 800°C, forma-se a anidrita I equação (2.4).



Gipsita

Bassanita



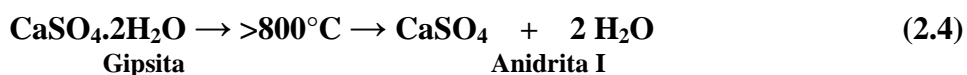
Gipsita

Anidrita III



Gipsita

Anidrita II



O processo de calcinação produz mudanças físicas e químicas nas matérias primas (Callister, 2008). A calcinação pode ser realizada em diferentes tipos de fornos, os quais devem principalmente assegurar uma distribuição e desidratação regular do material. Podemos ter esse procedimento sendo realizado por via seca ou via úmida, e pode também de maneira direta (quando os gases de combustão entram em contato com a gipsita) ou indireta (em fornos tubulares dotados de cilindros concêntricos, onde os gases quentes circulam no cilindro interno e o minério no cilindro externo). O funcionamento pode ser intermitente (batelada) ou contínuo (Gomes, 2012).

Um dos principais problemas da calcinação em reatores industriais é a falta de homogeneidade do produto calcinado. Este problema é causado pela não uniformidade de aquecimento da gipsita, assim, é normal que tenhamos como produto final uma mistura de hemidrato e gipsita. É preciso considerar-se ainda as diferentes geometrias dos reatores industriais. O fluxo de calor aportado durante o processo de calcinação, em reatores de diferentes geometrias, gera diferentes condições para homogeneização da temperatura no volume de gipsita em decomposição (Silva I.A., 2003).

2.2.6 Hidratação, pega e endurecimento do gesso

O processo de hidratação do gesso inicia-se a partir do momento que o mesmo entra em contato com a água. Este dissolve-se e forma uma solução supersaturada de íons SO_4^{2+} e Ca^{2+} , ocorrendo uma reação química exotérmica, formando assim, os cristais de dihidrato. O processo de Hidratação do gesso pode ser descrito na equação (2.5).

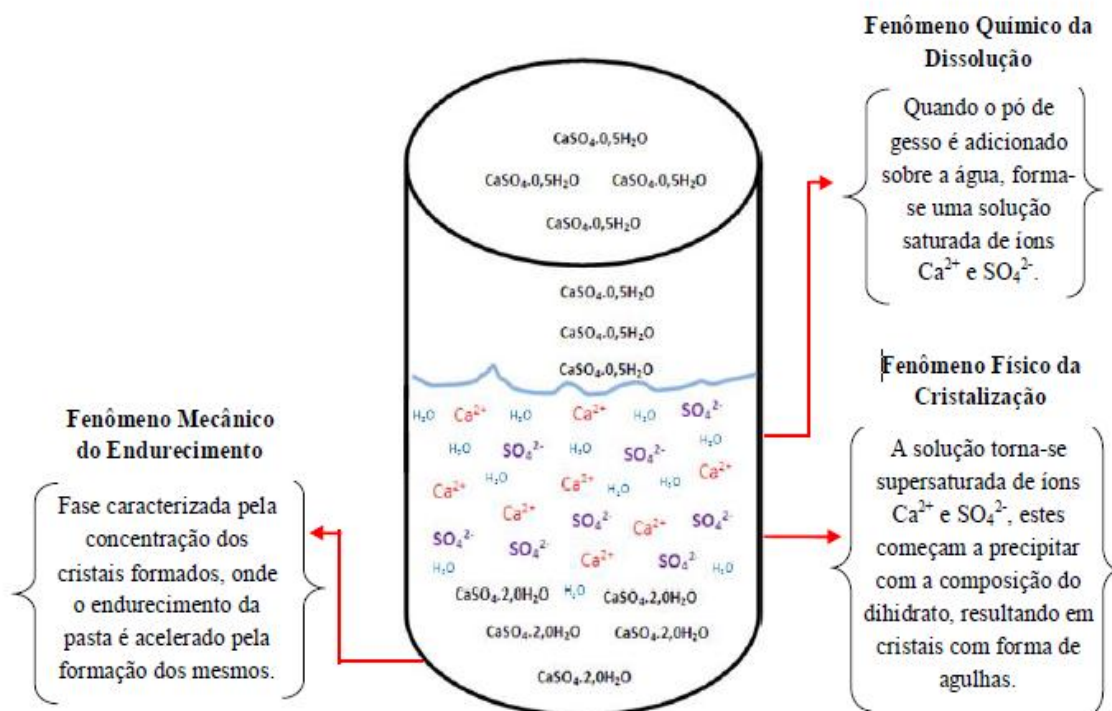


Os cristais dihidratados crescem em forma de agulhas entrelaçadas. Com o entrelaçamento dos cristais que precipitaram da solução saturada, começa o

endurecimento da pasta e esta passa a ganhar resistência mecânica (Hincapié e Cincotto, 1997)

Os primeiros trabalhos publicados sobre a hidratação do gesso são de Lavoisier, em 1798 e Le Chatelier, em 1887. Este último explica o mecanismo de hidratação através da teoria da cristalização, passando por três etapas explicadas na figura 2.5.

Figura 2. 5: Diagrama representando o processo de hidratação do gesso.



Fonte: Barbosa , 2012

O fenômeno de pega e o ganho de resistência são os resultados da redução do volume de água líquida que se combina com os anidros, formando o sulfato de cálcio hidratado em volume superior ao volume de sólidos originais. As partículas ficam progressivamente mais próximas e se aglomeram, fazendo com que a viscosidade aparente da pasta aumente. O prosseguimento da hidratação leva a formação de um sólido contínuo com porosidade progressivamente menor (e resistência progressivamente maior) pelo aumento do grau de hidratação (Gomes, 2012).

O tempo para cura da pasta é um fator de bastante importância no estudo do gesso, pois o domínio do seu controle permite aplicações específicas do material (Antunes, 1999).

Alguns parâmetros exercem influência sobre a trabalhabilidade da pasta, ou seja, período em que o material permite sua moldagem, dentre eles estão:

a. Relação água/gesso:

Este parâmetro é o de maior influência, onde quanto maior a quantidade de água adicionada na pasta, maior será sua trabalhabilidade, pois um menor número de núcleos de cristalização de dihidrato por volume é formado. Para uma menor proporção de água, há um aumento na velocidade de saturação do dihidrato (Barbosa 2012).

b. Temperatura:

Um aumento de temperatura de até 50°C favorece a elevação do tempo de trabalhabilidade, no entanto para valores superiores, a solubilidade do hemihidrato diminui com isso, o processo torna-se inverso, e o tempo é reduzido (Antunes, 1999).

c. Utilização de aditivos:

Quando se faz necessário o controle do tempo de trabalhabilidade, são adicionadas substâncias químicas que agem acelerando ou retardando o processo. Estas atuam na solubilidade do hemihidrato e também nos núcleos de cristalização.

d. Tamanho de partícula:

O tempo de trabalhabilidade do material é acelerado pela redução do tamanho da partícula, isto se deve ao aumento da área superficial específica do material (Soares, 2005).

Um fator não citado anteriormente, mas não menos importante, é o teor de gipsita (não calcinado) no produto final, pois de acordo com Barbosa, 2012, a gipsita não calcinada presente no produto final; atua como núcleo de cristalização, aumentando a taxa de dissolução do hemidrato. É na prática um acelerador de pega. Adicionalmente, ele reduz a porosidade do sistema para uma dada relação água/gesso (incluindo a massa da gipsita), pois essa fase não colabora para a expansão.

2.2.7 Usos e funções

A gipsita pode ser utilizada em uma série de atividades industriais, pelo fato de ter características peculiares. Em sua forma natural, a gipsita é bastante utilizada na indústria de cimento e na agricultura. Na primeira, é geralmente adicionada ao Clínquer durante a moagem para retardar o tempo de pega do cimento. Na segunda pode ter

várias aplicações como: agente corretivo de solos, fertilizante, condicionador de solos, etc. (Baltar et al., 2005).

O campo de utilização do gesso está dividido em dois grande grupos: O gesso para construção civil, que será mais abordado nesta dissertação, e o gesso industrial.

O gesso empregado na construção civil é obtido a partir de um minério com grau de pureza superior a 75% (Dominguez e Santos, 2001). A calcinação produz um hemidrato β que, dependendo do processo, pode ser do tipo A (gesso de fundição) ou do tipo B (gesso de revestimento). A partir desses tipos de gesso são obtidos diferentes produtos:

- a) Gesso de fundição utilizado para a confecção de pré-moldados (fabricados simplesmente com gesso ou como placas de gesso acartonado);
- b) Placas para rebaixamento de tetos, com produção artesanal ou em plantas modernas com máquinas automáticas com sistemas de alimentação de pasta;
- c) Blocos para paredes divisórias;
- d) Gesso para isolamento térmico e acústico (produto misturado com vermiculita ou perlita);
- e) Gesso para portas corta fogo;
- f) Gesso de revestimento de aplicação manual, utilizado para paredes e tetos, geralmente em substituição de rebocos e/ou massas para acabamento;
- g) Gesso de projeção, para aplicação mecanizada de revestimento de parede;
- h) Gesso com pega retardada, para aplicação de revestimento manual;
- i) Gesso cola, para rejunte de pré-moldados em gesso;

O gesso industrial é um produto de maior pureza e valor agregado, podendo ser obtido a partir dos hemidratos α ou β , dependendo da aplicação (Baltar et al. 2005)

- a) Cerâmica: A pasta obtida a partir da rehidratação do hemidrato α (ou mistura de hemidratos α e β) tem importante uso na produção de moldes e matrizes para enchimento com barbotinas na produção de porcelana, cerâmica sanitária, grés etc. Na preparação dos moldes costuma-se formar uma mistura com 78 a 90 partes de água para 100 partes de gesso;

- b) Indústria do Vidro: O gesso é utilizado como fonte de cálcio e de enxofre em substituição ao sulfato de sódio;
- c) Carga Mineral: O gesso tem sido utilizado como carga de alta qualidade ou diluente na fabricação de papel, plásticos, adesivos, tintas, madeira, têxteis e alimentos entre outros materiais.
- d) Indústria Farmacêutica: O gesso possui características favoráveis ao uso farmacêutico, como facilidade de compressão e desagregação. Por isso, é utilizado como diluente em pastilhas prensadas e cápsulas ou na preparação de moldes (Velho *et al.*, 1998). O gesso para uso farmacêutico tem elevado valor comercial, devendo atender às normas e especificações exigidas para produtos de alimentação e remédios (Fernández, 1997);
- e) Decoração: Utilizado para confecção de elementos decorativos como estatuetas e imagens, sendo obtido a partir do gesso beta de fundição;
- f) Escolar (giz): Utilizado em salas de aula e produzido a partir do gesso β de fundição, com o uso de aditivos;
- g) Ortopédico: Obtido a partir do gesso α , após a adição de produtos químicos;
- h) Dental: Usados para confecção de moldes e modelos. Pode ser dos tipos III e IV. Ambos obtidos a partir do gesso α , após a adição de produtos químicos. O gesso dental do tipo IV constitui-se no produto mais nobre do gesso, apresentando elevada resistência mecânica, excelente trabalhabilidade, baixa consistência e menor expansão;
- i) Bandagens de alta resistência: Produto obtido a partir do gesso alfa;
- j) Outros Usos: Indústria automobilística, fabricação de fósforos, fabricação de cerveja, indústria eletrônica etc.

A obtenção de cada uma dessas variedades de produto requer condições específicas com relação ao tipo de gipsita, tipo de forno, condições de calcinação e tratamento posterior.

2.2.8 Normas aplicadas ao gesso de Construção Civil

Após fazer um estudo sobre as normas brasileiras aplicadas ao gesso da construção civil, observou-se que o fato de o gesso brasileiro ser extraído de várias jazidas e, sobretudo, a partir de diferentes métodos de extração, é definido como um material que possui diferentes características e propriedades. As prescrições normativas brasileiras, propostas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Não estabelecem um critério definido para a classificação do gesso, e comumente focam apenas nos ensaios e testes relativos às seguintes propriedades cotadas abaixo. E descritas da tabela 2.6 à tabela 2.8.

A norma que regulamenta a utilização do gesso empregado na construção civil é a NBR 13207: Gesso para construção Civil de 2008. Para aplicação dessa norma é necessário consultar:

- tempo de pega à realizar segundo NBR 12128 - Gesso para construção: determinações das propriedades físicas da pasta (ABNT, 1991b);
- módulo de finura conforme NBR 12127 - Gesso para construção: determinação das propriedades físicas do pó (ABNT, 1991a);
- composição química segundo a NBR 12130 – Gesso para construção: determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrito sulfúrico (ABNT, 1991d);
- propriedades físicas através da NBR 12127 – Gesso para construção: determinação das propriedades físicas do pó (ABNT, 1991a);
- propriedades mecânicas segundo a NBR 12129 – Gesso para construção: determinação das propriedades mecânicas (ABNT, 1991c).

A norma define gesso para construção como: “Material moído em forma de pó, obtido da calcinação da gipsita, constituído predominantemente de sulfato de cálcio, podendo conter aditivos controladores de tempo de pega”.

A Tabela 2.6 apresenta as exigências da NBR – 13207, com relação às propriedades físicas do gesso para uso em construção.

Tabela 2.6: Exigências do gesso para construção civil

CLASSIFICAÇÃO DO GESSO	TEMPO DE PEGA		MÓDULO DE FINURA
	INÍCIO	FIM	
Gesso grosso para revestimento	>10	>45	< 1,1
Gesso fino para revestimento	>10	>45	>1,1
Gesso grosso para Fundição	4-10	20-45	<1,1
Gesso fino para fundição	4-10	20-45	>1,1

Para a realização do tempo de pega na norma NBR 12128 (ABNT,1991) é determinado com a pasta na consistência normal, sem o retardador, em aparelho de Vicat provido de haste de (300 + 0,5) g e de agulha com diâmetro de (1,13 + 0,02) mm. O início de pega é considerado quando a agulha estaciona a 1 mm da base, e o final, quando a agulha não mais penetra na pasta, deixando uma leve impressão.

De acordo com experimentos realizados por Antunes, 1999, foi observado que além da norma brasileira, outros métodos podem ser empregados em diferentes países como medida para avaliação do tempo de pega. O método da norma alemã DIN 1168 (DIN, 1975) no trabalho de Antunes, 1999, foi realizado em conjunto com o método da NBR, 12128 (ABNT, 1991) para comparação dos resultados obtidos para o tempo de pega.

O método da norma DIN 1168 (DIN, 1975) consiste em colocar uma bolacha de pasta de gesso sobre a superfície de um vidro; a bolacha é cortada com uma lâmina de aço. O início de pega é definido como o momento em que o corte não mais se fecha quando a lâmina deixa impressão de corte na pasta. O fim de pega foi determinado quando não aparece impressão digital na pasta por pressão do dedo indicador.

As Tabelas 2.7 e 2.8, apresentam as especificações relacionadas às propriedades químicas, físicas e mecânicas do gesso para construção civil.

Tabela 2.7: Exigências químicas do gesso para construção civil

DETERMINAÇÕES	LIMITES (%)
Água livre	1,3 (Max)
Água de cristalização	4,2 – 6,2
Óxido de cálcio (CaO)	39,0 (min.)
Anidrido Sulfúrico (SO ₃)	53,0 (min.)

Tabela 2.8: Especificações relacionadas às propriedades físicas e mecânicas

DETERMINAÇÕES FÍSICAS E MECÂNICAS	NORMA	LIMITE
Resistência à compressão (MPa)	NBR- 12129	>8,40
Dureza (MN/m ²)	NBR- 12129	>30
Massa unitária (Kg/m ²)	NBR- 12127	>700

Capítulo 3
METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Neste capítulo são descritas as etapas realizadas, bem como as especificações das técnicas utilizadas para a caracterização dos materiais avaliados.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para realização do trabalho, foram utilizadas amostras de quatro tipos de gesso, sendo três delas provenientes de minas nordestinas e a quarta amostra proveniente da gipsita extraída da água do mar em uma salina localizada no município de Grossos no Rio Grande do Norte. Para uma melhor compreensão as amostras de gesso foram nomeadas e apresentadas na tabela 9 abaixo.

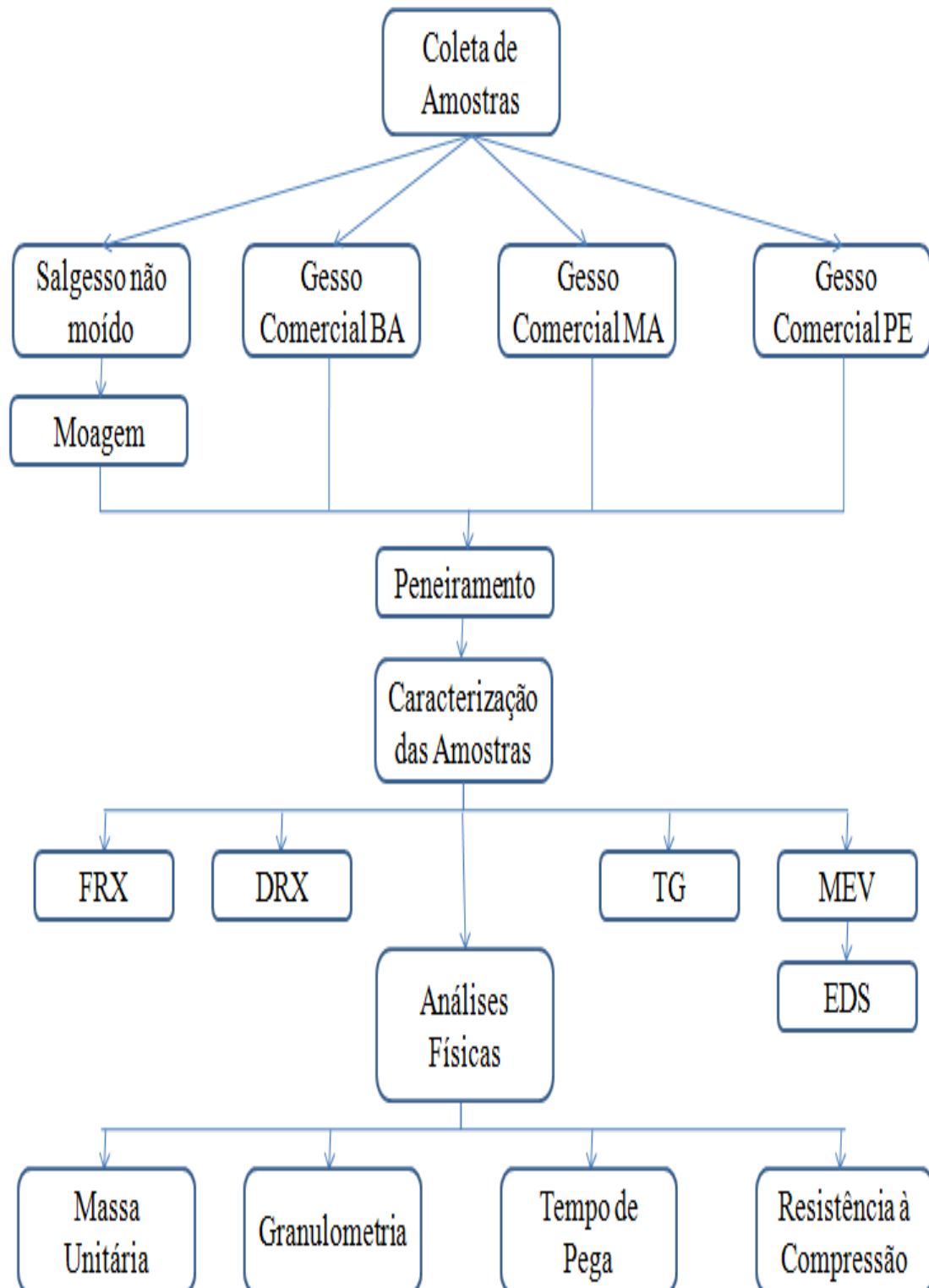
Tabela 3.1: Codificação das amostras de gesso

LOCALIZAÇÃO	CODIFICAÇÃO
Bahia	Gesso BA
Maranhão	Gesso MA
Pernambuco	Gesso PE
Salina	Salgesso

3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

As amostras foram submetidas, previamente, a algumas etapas de tratamento antes de serem realizadas as devidas caracterizações físicas e químicas, como pode ser observado no fluxograma da figura 3.1.

Figura 3.1: Fluxograma da metodologia experimental utilizada na dissertação



3.2.1 Etapas de tratamento

3.2.1.1 Moagem e Peneiramento

Antes de serem realizadas as análises de caracterização das amostras e os ensaios físicos e mecânicos, 1500g de salgesso passou por um processo de moagem com objetivo de diminuir sua granulometria. Tal processo foi realizado em um moinho de roletes da marca TECNAL, numa rotação de 200 rpm em dois cilindros com capacidade de 500g cada um, no tempo de moagem de duas horas.

Todas as amostras de gesso passaram por uma peneira com abertura de 10 mesh (2,0mm), o que serviu para garantir a homogeneidade do tamanho das partículas. Foram utilizados 1000g de cada gesso no peneiramento.

3.2.2 Caracterizações

As amostras foram caracterizadas por análise térmica (TG), difração de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV) com EDS e as análises físicas.

3.2.2.1 Fluorescência de Raios X (FRX)

A técnica de fluorescência de raios X, foi realizada neste trabalho, com o objetivo de determinar a composição química elementar das amostras de gesso, identificando principalmente os percentuais de CaO e SO₃, e observar se os mesmos estão presentes dentro dos limites propostos pela norma.

As amostras de gesso em estudo foram analisados através de fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDX) em um equipamento Shimadzu modelo EDX-720.

Os espectros de fluorescência de raios X foram obtidos utilizando-se cerca de 300 mg de gesso, depositado em um porta-amostra formado por um filme mylar que apresenta baixa absorção de raios X na faixa de energia de interesse. Este é um método semi-quantitativo.

3.2.2.2 Difração de raios X (DRX)

As amostras foram caracterizadas por difração de raios X (DRX) em um equipamento da Shimadzu, modelo XRD-7000, utilizando-se uma fonte de radiação de $\text{CuK}\alpha$ com voltagem de 30kV. Os dados foram coletados na faixa de 2θ de 10 a 80 graus.

O objetivo desta técnica é fornecer informações sobre a estrutura e composição de sólidos cristalinos, para isso, é obtido um difratograma, que possibilita a interpretação das fases cristalinas presentes no material analisado; sendo assim, a análise qualitativa pode ser efetuada.

3.2.2.3 Análises Térmicas

As análises térmicas foram representadas por duas técnicas: Análise termogravimétrica (TG) e Análise térmica diferencial (DTG).

A termogravimetria (TG) consiste em aquecer (ou resfriar) uma amostra a uma taxa relativamente constante e medir a variação da sua massa. As curvas TG fornecem informações a respeito da composição e estabilidade tanto da amostra inicial, como de produtos que podem ser formados. Dos dados da curva TG pode-se obter a curva DTG, que é a derivada primeira da curva TG em função do tempo ou da temperatura. A representação gráfica da DTG facilita a percepção visual dos eventos térmicos ocorridos, uma vez que substitui os degraus da TG por picos que delimitam áreas proporcionais a variação de massa decorrente do aquecimento da amostra (Canut, 2006).

As análises foram realizadas no LabTam/LCR, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), com um equipamento de marca Shimadzu no modelo TGA Q500, a uma taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ até 900°C , em atmosfera de N_2 , com vazão de 100 mL/min.

3.2.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

Na análise de superfície por microscopia eletrônica de varredura (MEV), um feixe fino de elétrons de alta energia incide na superfície da amostra. A interação entre os elétrons deste

feixe e o sólido em análise gera uma variedade de sinais, os quais são coletados por um detector que converte estes sinais em imagem (Skoogy et al., 1998).

No presente trabalho, a morfologia das amostras de gesso, foram observadas através de micrografias obtidas em um microscópio eletrônico de varredura da Shimadzu SSX- 550, no LabTam/LCR da UFRN. As amostras foram revestidas com uma camada de ouro para evitar o surgimento de cargas na superfície que poderiam levar a distorção na imagem. Análise por EDS (Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X), também foi realizada para determinação da composição química pontual da amostra.

3.2.3 Análises físicas

3.2.3.1 Granulometria

O ensaio de granulometria foi feito seguindo a NBR 12127, este ensaio consiste em passar uma quantidade de gesso por peneiras com aberturas pré-determinadas pela norma. Na preparação do ensaio as peneira foram organizadas de maneira que a peneira com menor abertura fique no fundo e a com maior abertura no topo. A seqüência de peneiras padronizadas pela ABNT é: 0,84mm (20#), 0,420mm(#), 0,210mm (40#), 0,105mm (140#). Depois disso, tomou-se 210g e a deixou sob agitação mecânica por 12min. Por fim, foi pesada a massa retida em casa peneira.

O valor do módulo de finura é calculado pela divisão do somatório do percentual retido acumulado em cada peneira da série padrão por 100.

3.2.3.2 Massa Unitária

Os ensaios para obtenção da massa unitária foram realizados de acordo com a NBR 12127, sendo executados em todas as amostras de gesso.

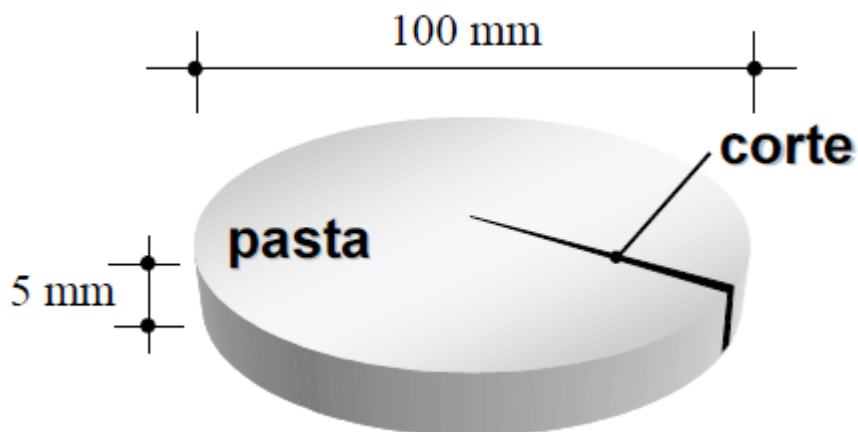
Para realização do ensaio de massa unitária, foram utilizados: um recipiente cilíndrico não corrosivo com capacidade de 1000cm³, um funil e uma peneira. O gesso a ser analisado foi colocado sobre a peneira, até que houvesse o completo preenchimento do recipiente cilíndrico. Depois disso, o material foi pesado e a massa unitária foi obtida pela relação entre a massa do material que estava no recipiente e o volume do mesmo.

3.2.3.3 Tempo de pega

Para este ensaio, foi adotado o método de espátula, proposto pela norma alemã DIN 1168 (1975). Este método foi utilizado devido sua facilidade de aplicação em obra, não necessitando o uso de equipamentos mais elaborados. Consiste em moldar uma “bolacha” de pasta com 5mm de espessura e 100mm de diâmetro, como mostrado na figura 3.2. Utilizando-se uma espátula reta, fazem-se cortes na “bolacha”. O início do tempo de pega é o momento em que o corte aberto pela espátula não mais se fecha. O final do tempo de pega é determinado como o momento em que o polegar, quando pressionado sobre a bolacha, não mais deixa impressões sobre ela. De acordo com a norma, a razão água/gesso utilizada pode ser de 0,5 a 0,9.

Neste trabalho foi realizado o ensaio de tempo de pega com razão a/g de 0,5; 0,7 e 0,9. Obtidos os resultados do tempo de pega para as três razões estudadas, foi observado o comportamento do tempo de pega em relação à razão a/g.

Figura 3.2: Especificação do ensaio para determinação do tempo de pega DIN 1168



3.2.3.4 Resistência à Compressão

Os ensaios de Resistência à compressão, foram realizados através de corpos de prova cúbicos (50x50)mm, de acordo com a norma NBR 12129 – Gesso para construção: Determinação das propriedades mecânicas.

O ensaio foi realizado a temperatura ambiente. A água destilada foi utilizada no processo. Após a fabricação dos corpos de prova os mesmos foram identificados e ficaram sob ar circulante até se obter a constância da massa. Em seguida, foram colocados em dessecador por 24h e só retirados no momento da ruptura, conforme critérios exigidos pelas prescrições normativas brasileiras.

A fabricação dos corpos de prova, assim como, os ensaios de resistência à compressão e a ruptura dos mesmos, foram realizados no Laboratório de tecnologia de Cimentos(LABCIM), localizado na UFRN. O ensaio de resistência à compressão foi realizado em uma máquina universal de ensaios mecânicos, Modelo AG-I 9, da marca Shimadzu Autograph.

Capítulo 4
RESULTADOS E DISCUSSÕES

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nas caracterizações química, física e estrutural dos gessos estudados. Além disso, o Salgesso foi comparado com gessos já comercializados. Por fim, foi possível observar se o gesso produzido com a gipsita tem propriedades semelhantes aos gessos de referência e se ele está dentro dos limites impostos pelas normas regulamentadoras do gesso de construção civil.

4.1 ETAPAS DE TRATAMENTO

4.1.1 Peneiramento

De acordo com a NBR 12129 (ABNT, 1991), as amostras de gesso devem passar por peneira com abertura de 2mm (10#) antes da realização dos ensaios mecânicos. Após o peneiramento, a massa retida na peneira 10# foi avaliada, não havendo retenção significativa da amostra nesta peneira. A tabela 4.1 apresenta os valores de massa retida e passante na peneira de 10# das amostras de gesso estudadas.

Tabela 4.1: Massa das amostras de gesso peneiradas a 10 #

Amostra	Massa inicial (g)	Massa retida (g)	Massa Passante (g)
Gesso BA	1000	0,032	999,968
Gesso MA	1000	0,049	999,951
Gesso PE	1000	0,057	999,943
Salgesso	1000	0,061	999,939

Para realização dos demais ensaios foi necessário o peneiramento das amostras por uma abertura menor (0,149mm), equivalente a 100#, a massa inicial foi 1000g e a massa retida é mostrada na tabela 4.2. Os resultados do peneiramento mostram que as amostras analisadas apresentam granulometria, predominantemente, menor que 0,149mm.

Tabela 4.2: Massa das amostras de gesso peneiradas a 100 #

Amostra	Massa inicial (g)	Massa retida (g)	Massa Passante (g)
Gesso BA	1000	0,568	999,432
Gesso MA	1000	0,472	999,568
Gesso PE	1000	0,494	999,506
Salgesso	1000	0.834	996.166

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

4.2.1 Fluorescência de Raios X

As análises químicas das amostras foram realizadas por Fluorescência de Raios X com o objetivo de identificar qual a composição da amostra.

As especificações químicas para o gesso de construção, segundo a NBR 13207, mostram que o gesso de construção precisa ter o somatório de percentual de anidrido sulfúrico (SO_3) e óxido de cálcio (CaO) num mínimo de 92%. A tabela 4.3 mostra o resultado da análise de FRX para as amostras estudadas. Ao ser interpretado o resultado do ensaio, observa-se que o gesso salino segue o padrão da norma já citada neste item, pois ele possui 54.594% de SO_3 e 37.700% de CaO , somando 92.294%, valor compatível com o indicado pela norma.

Comparando os gessos estudados, percebeu-se que eles têm composição química bem semelhante. O único diferencial foi o fato de o Salgesso ter um contaminante diferente dos demais, o óxido de potássio (K_2O), o qual, apesar de estar presente em uma quantidade bem pequena, é proveniente do potássio existente na água do mar.

Tabela 4.3: Análise química das amostras por FRX

Material	$\text{SO}_3\%$	$\text{CaO}\%$	$\text{P}_2\text{O}_5\%$	$\text{Fe}_2\text{O}_3\%$	$\text{SiO}_2\%$	$\text{K}_2\text{O}\%$	Total%
Gesso BA	52.1	44.0	2.7	0.128	1.071	0	100
Gesso MA	52.8	39.8	7.3	0.158	0	0	100
Gesso PE	51.3	44.8	2,7	0.112	1,102	0	100
SALGESSO	54.6	37.7	5.6	0.172	1.758	0.152	100

4.2.2 Difração de Raios X

A partir da difração de raios X, foi possível efetuar uma análise mineralógica das amostras de gesso, cujo resultado pode ser observado nas figuras 4.1 a 4.4. Pode-se observar, através dos difratogramas que, todas as amostras analisadas caracterizam-se pela presença de fases cristalinas, originando assim, picos bem definidos dos minerais presentes.

Nos difratogramas dos gessos comerciais, foram identificados difrações referentes a um único mineral, Bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), utilizando-se o software X'Pert High Plus e a biblioteca International Center for Diffractional Data. Na amostra de Salgesso, foram identificados além do pico referente bassanita, picos cristalinos de Gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

O Salgesso apresentou um pico diferente dos demais gessos provavelmente devido a calcinação não uniforme, no qual a gipsita bruta não foi completamente transformada na Bassanita.

O fato de nenhum dos gessos terem formado picos referentes aos óxidos apontados na análise química demonstra que esses elementos estão presente nas amostras como materiais amorfos.

Figura 4.1: Difratograma de raios X, gesso BA

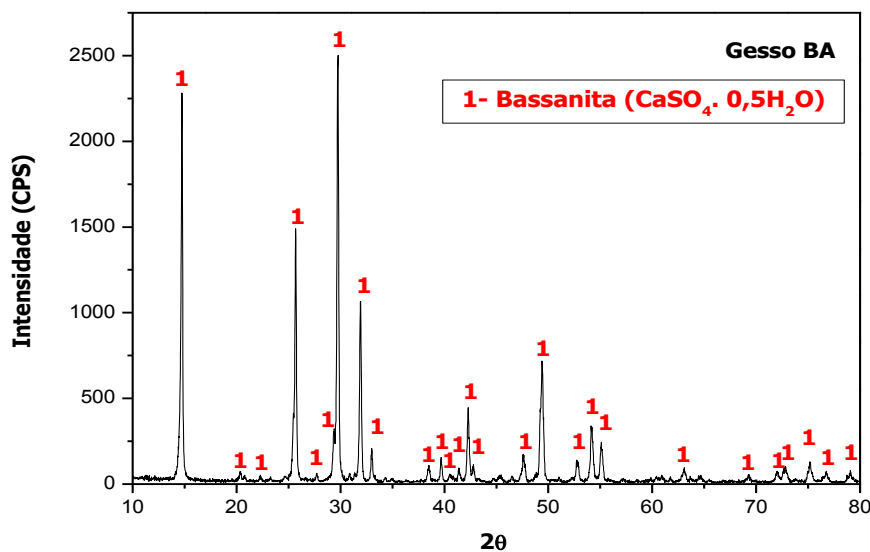


Figura 4.2: Difratoograma de Raios X, Gesso MA

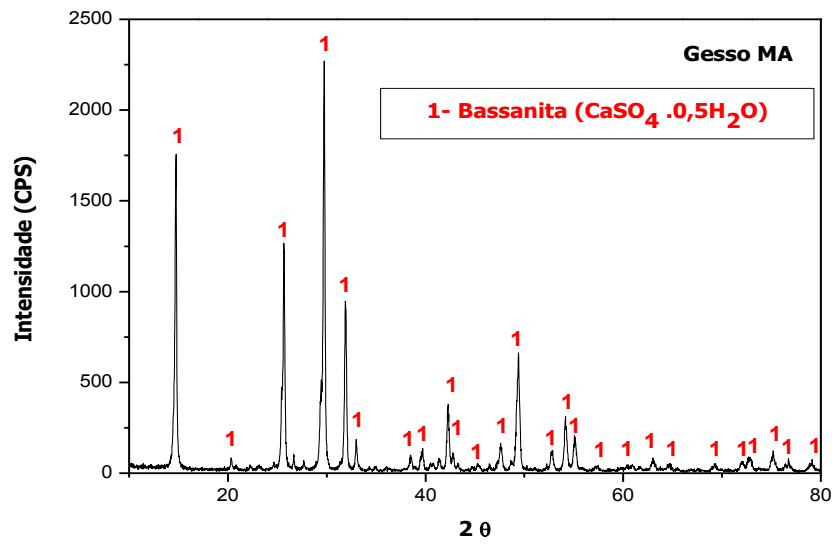


Figura 4.3: Difratoograma de Raios X, Gesso PE

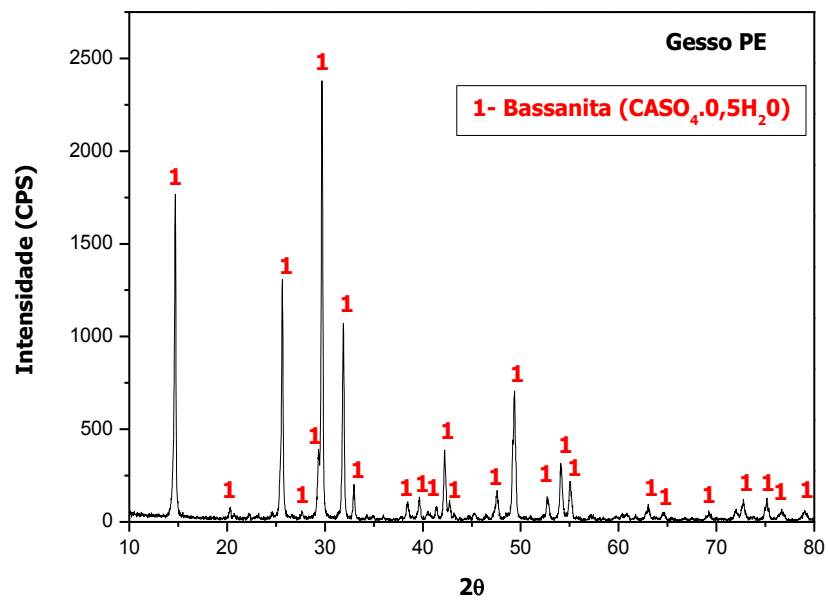
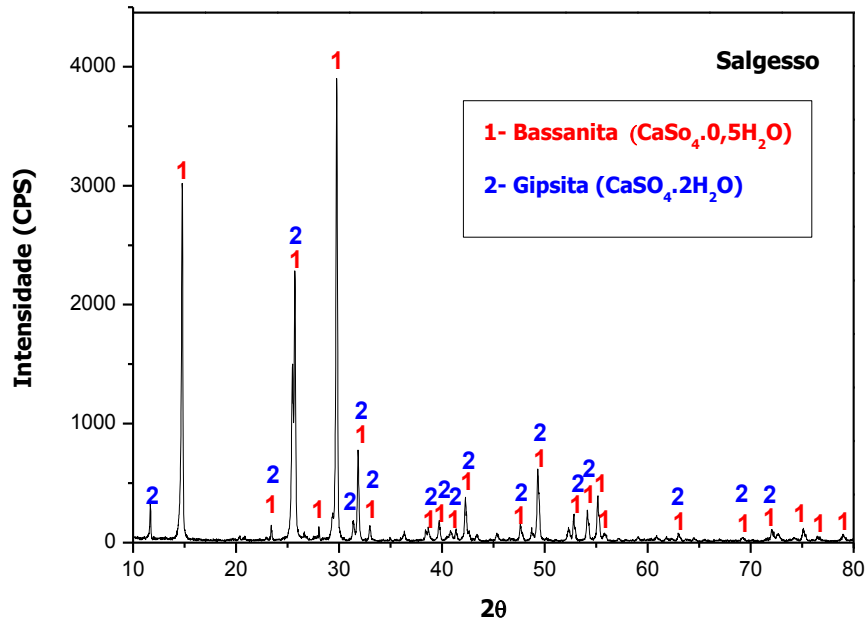


Figura 4.4: Difratoograma de Raios X, Salgesso



4.2.3 Análises Térmicas

As análises termogravimétricas das amostras estão representadas nas figuras 4.5, à 4.8, respectivamente (Gesso BA, Gesso MA, Gesso PE e Salgesso).

Canut, 2006, fez uma análise detalhada sobre o comportamento térmico dos gessos, observando que, quando a DTG do gesso apresenta eventos com temperatura final até 160°C, referente à perda de água de cristalização nesta faixa de temperatura, característica da formação do Hemidrato β , e quando ocorre algum evento a temperaturas maiores que 160°C, caracteriza a perda da água de cristalização referente à formação das anidritas.

De acordo com os resultados da análise térmica, as amostras de gessos comerciais (BA, MA e PE) apresentaram comportamento térmico semelhante. Nas curvas termogravimétricas, mostradas nas figuras 4.5 a 4.8, observa-se a presença de três eventos de perda de massa (DTG). O primeiro, que ocorre na região entre 19,28°C e 62,72°C, representando uma perda de água livre ainda existente na amostra. O segundo evento, entre 56,74°C e 151,67°C, é referente à perda de água de cristalização, característica da formação

do hemidrato β . O ultimo evento ocorre entre 586,3°C e 719,92°C, típico da formação da anidrita II (Cannut, 2006).

Figura 4.5: Curvas Termogravimétricas TG e DTG para o Gesso BA

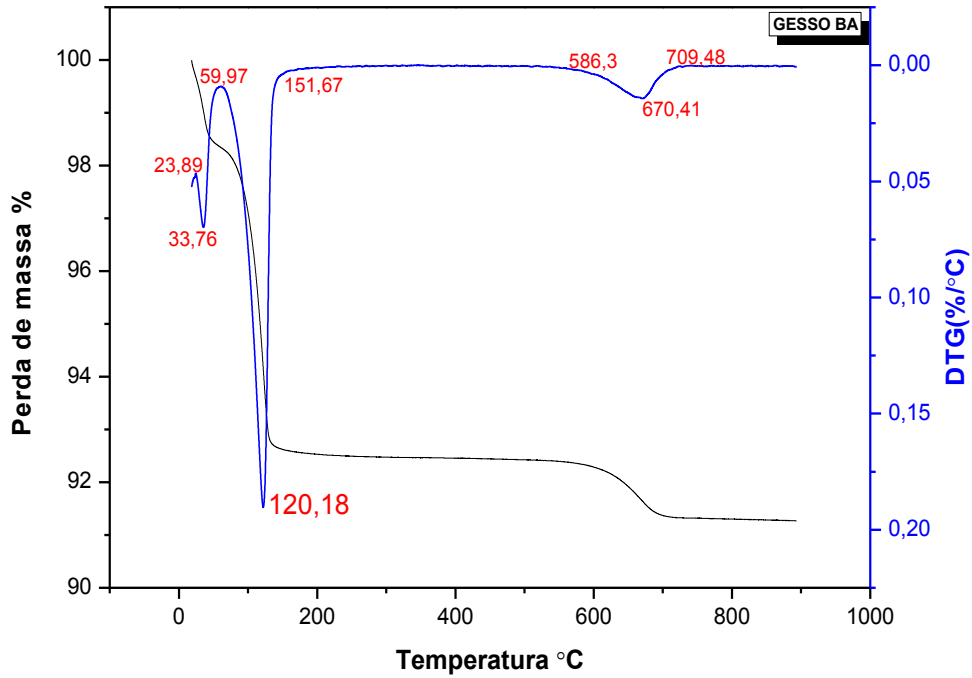


Figura 4.6: Curvas Termogravimétricas TG e DTG para o Gesso MA

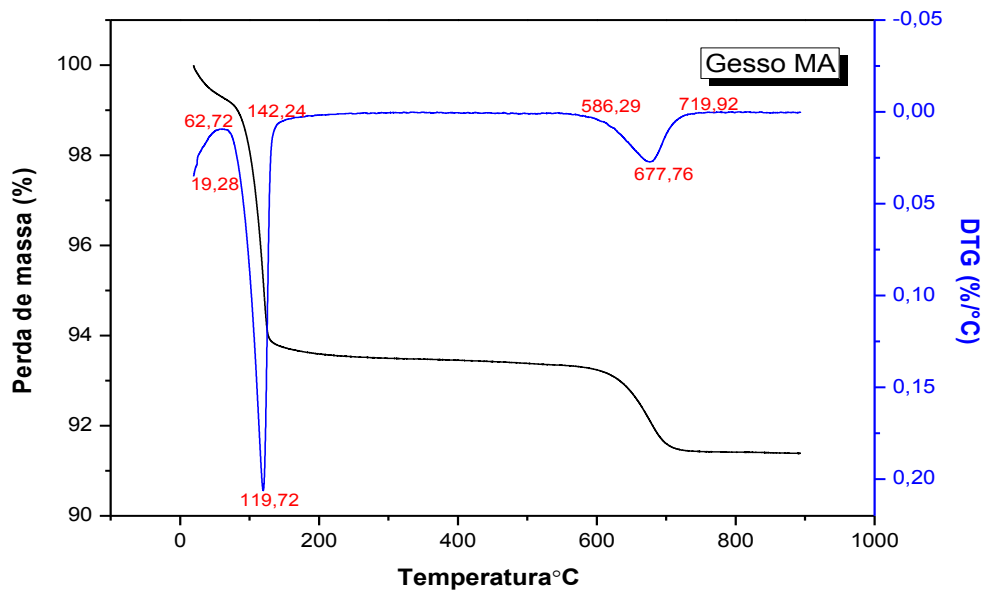
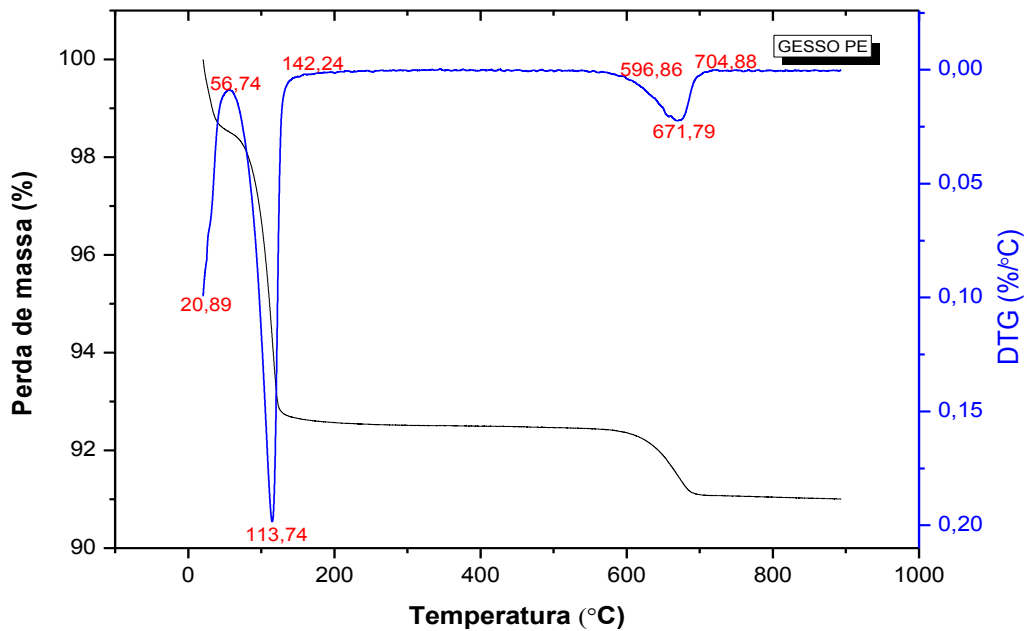


Figura 4.7: Curvas Termogravimétricas TG e DTG para o Gesso PE



Diferente dos gessos comerciais analisados, o Salgesso apresentou os dois eventos de perda de massa com picos evidentes; O primeiro, entre 29,7°C e 80,2°C que representa a perda da água livre e um segundo que representa uma desidratação típica da formação do Hemidrato β , o terceiro evento, referente à anidrita II, não formou pico, apesar de ter tido uma pequena perda de massa (0,87%).

A tabela 4.4, mostra o percentual de perda de massa das amostras durante a análise térmica. Na tabela, vemos que os gessos comerciais tiveram uma perda de massa maior que o Salgesso, confirmando a menor intensidade do terceiro evento no mesmo.

Já que o objetivo do trabalho foi comparar o Salgesso com gessos utilizados atualmente na construção civil, podemos dizer que, apesar de o DRX ter mostrado que o Salgesso está mais hidratado que os gessos comerciais estudados, não perdeu toda água de cristalização durante a análise térmica, o que não impede a sua utilização como gesso de construção Civil.

Figura 4.8: Curvas Termogravimétricas TG e DTG para o Salgesso

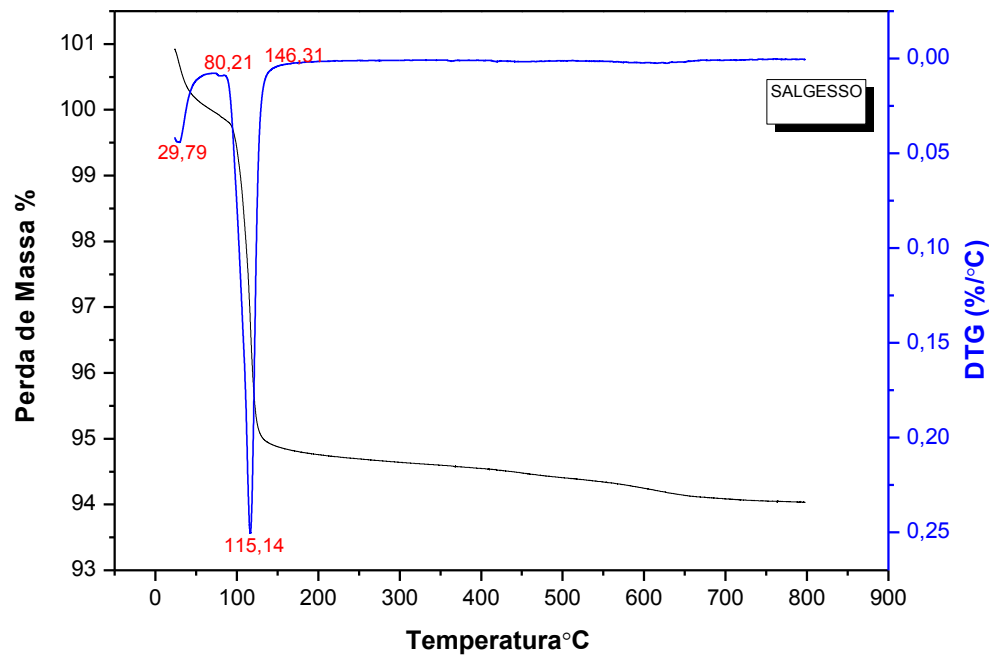


Tabela 4.4: Perda de massa das amostras durante a análise térmica

AMOSTRA	Pm (%) Água livre	Pm (%) Água de cristalização	Pm (%) Formação da anidrita	Pm (%) Total
Gesso BA	1,54	5,79	1,36	8,7
Gesso MA	0,83	5,37	2,35	8,55
Gesso PE	1,64	5,68	1,57	8,89
Salgesso	0,18	4,86	0,87	5,91

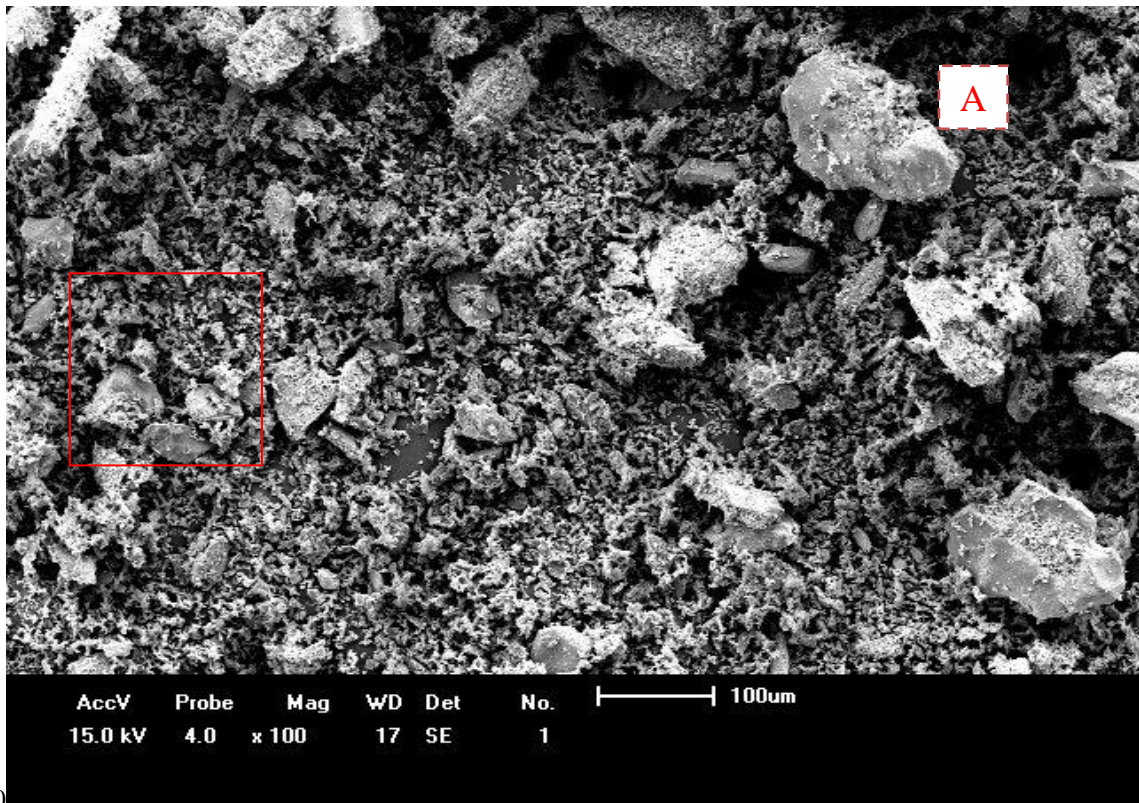
4.2.4 Microscopia eletrônica de Varredura (MEV) e Mapeamento Químico (EDS)

A partir da Microscopia Eletrônica de Varredura, foi possível observar a morfologia dos gessos estudados, através das fotomicrografias demonstradas nas figuras 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, as quais representam, respectivamente, o Gesso BA, Gesso MA, Gesso PE e Salgesso. Comparando-se as micrografias apresentadas nas figuras citadas acima, percebe-se que a micrografia do salgesso difere das micrografias que representam os outros gessos.

Sobrinho, 1997, afirmou que os cristais de gipsita têm predominantemente forma de agulha e que, à medida que ela desidrata, eles crescem e perdem este formato.

A microestrutura do gesso salino, representado na figura 4.12, tem a presença de agulhas características da microestrutura da gipsita. Isso indica que o gesso salino não é formado somente pela bassanita. Entretanto, nos outros gessos estudados que, provavelmente tiveram uma calcinação mais uniforme e conseguiram fazer a total transformação de gipsita em bassanita, é perceptível que a microestrutura já não possui o formato de agulhas.

Figura 4.9: Micografias do Gesso BA. A) Aumento 100X. B) Aumento



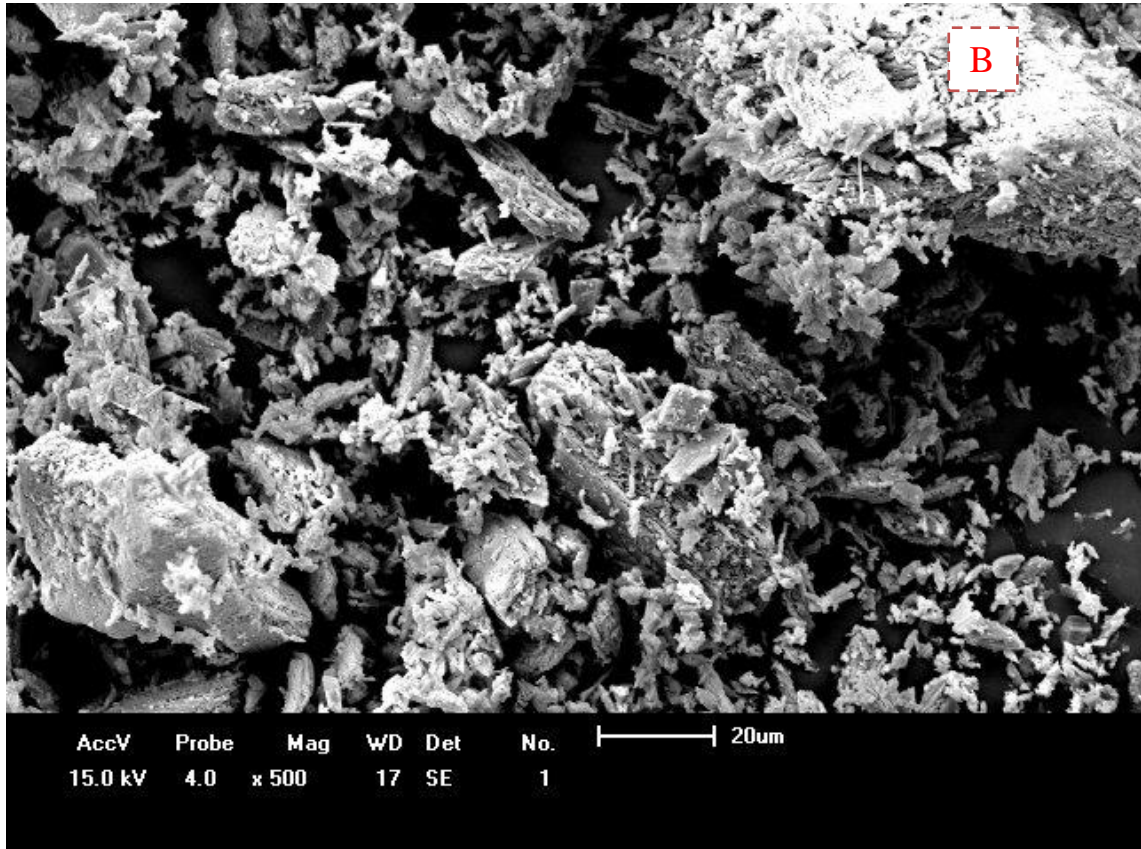
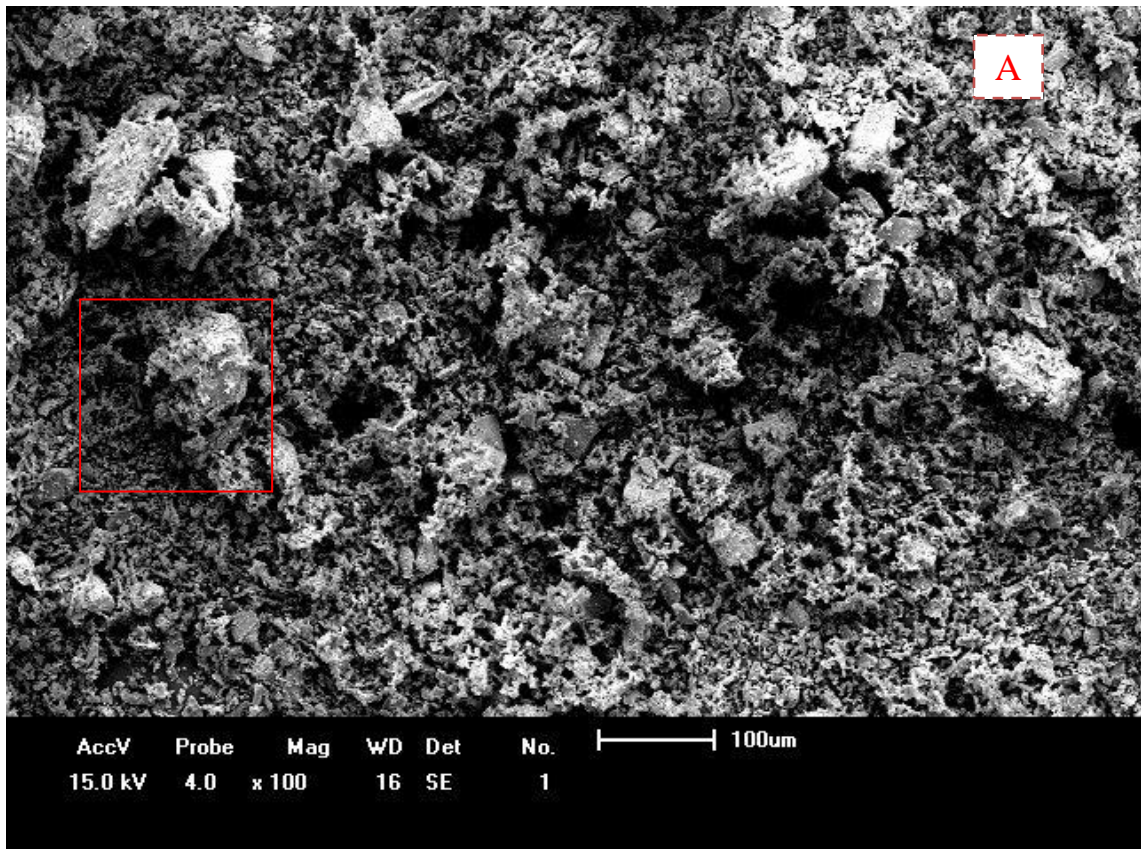


Figura 4.10: Micrografias do Gesso MA. A) Aumento 100X. B) Aumento 500X



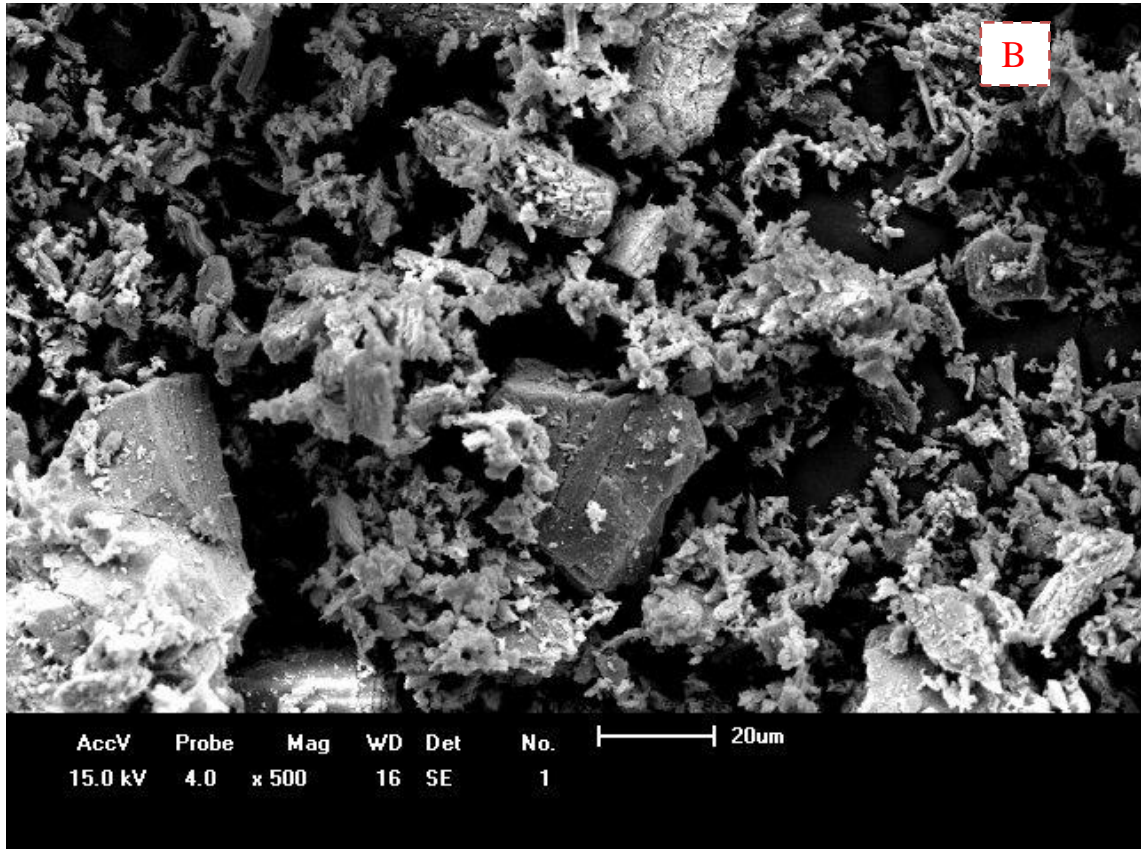
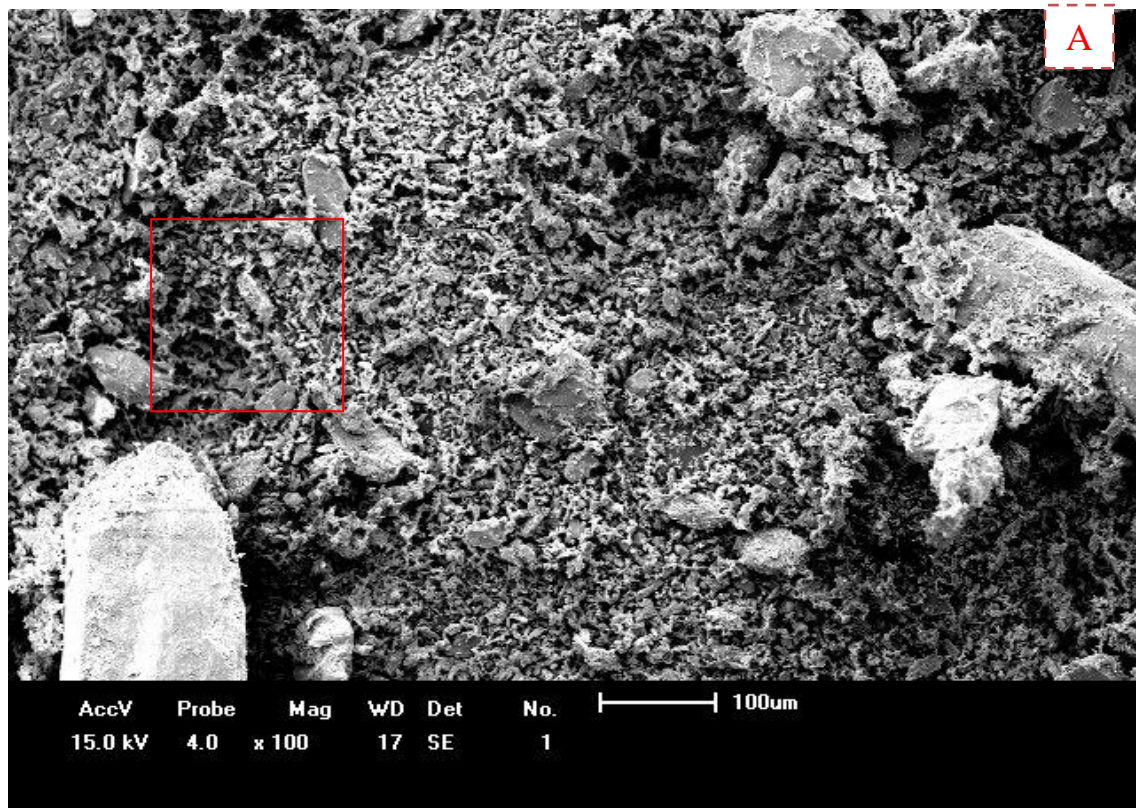


Figura 4.11: Micrografias do Gesso PE. A) Aumento 100X. B) Aumento 500X



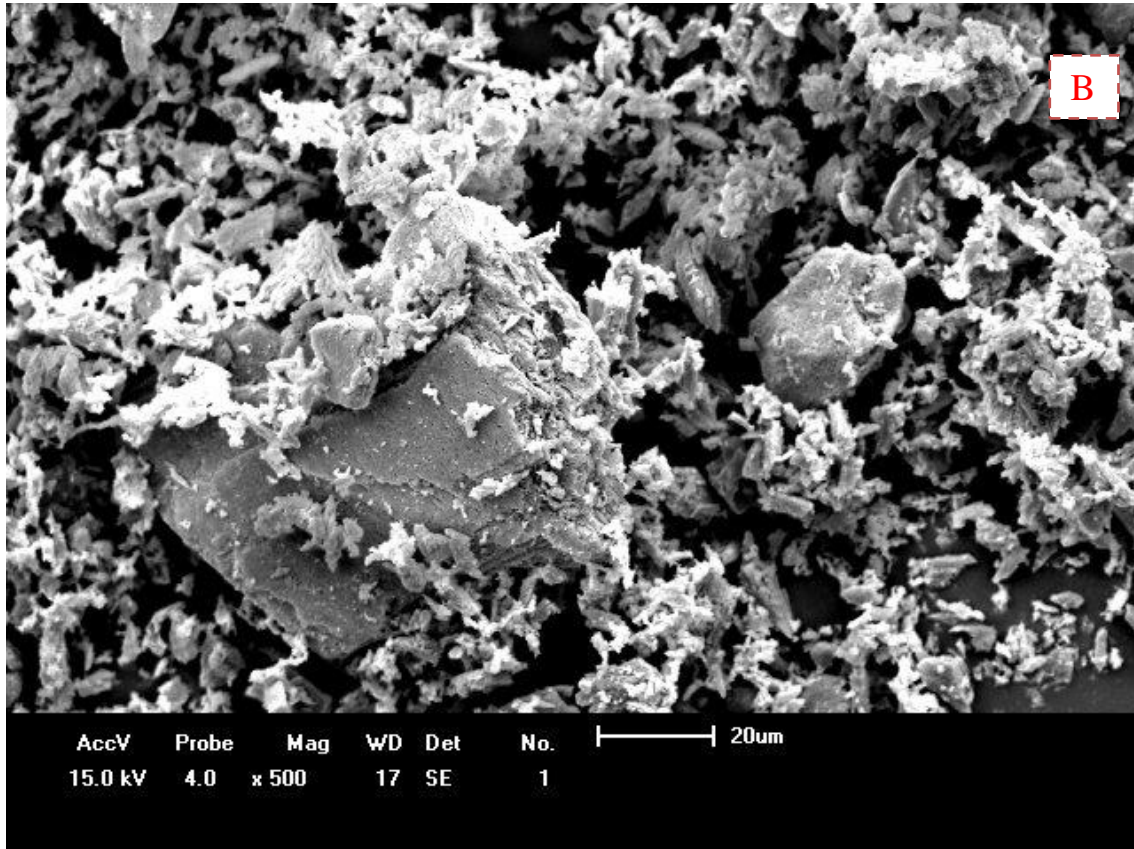
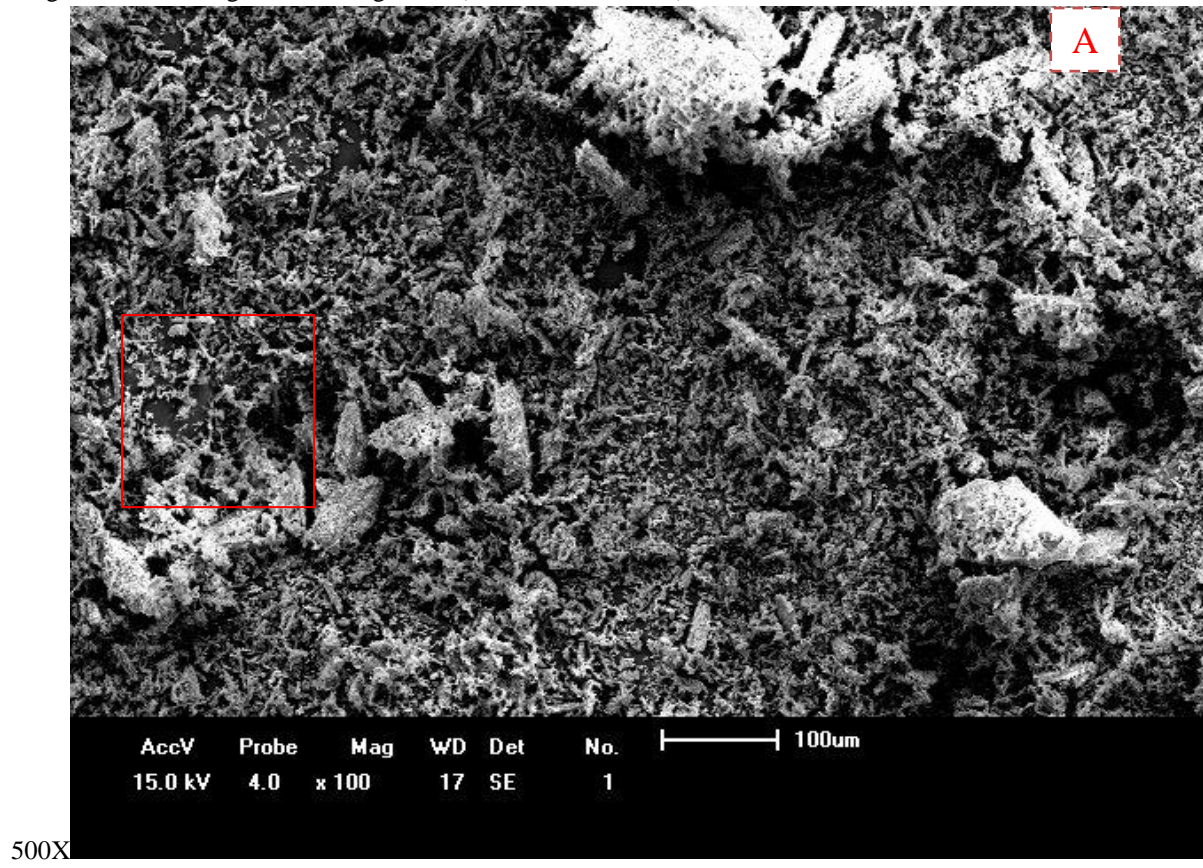
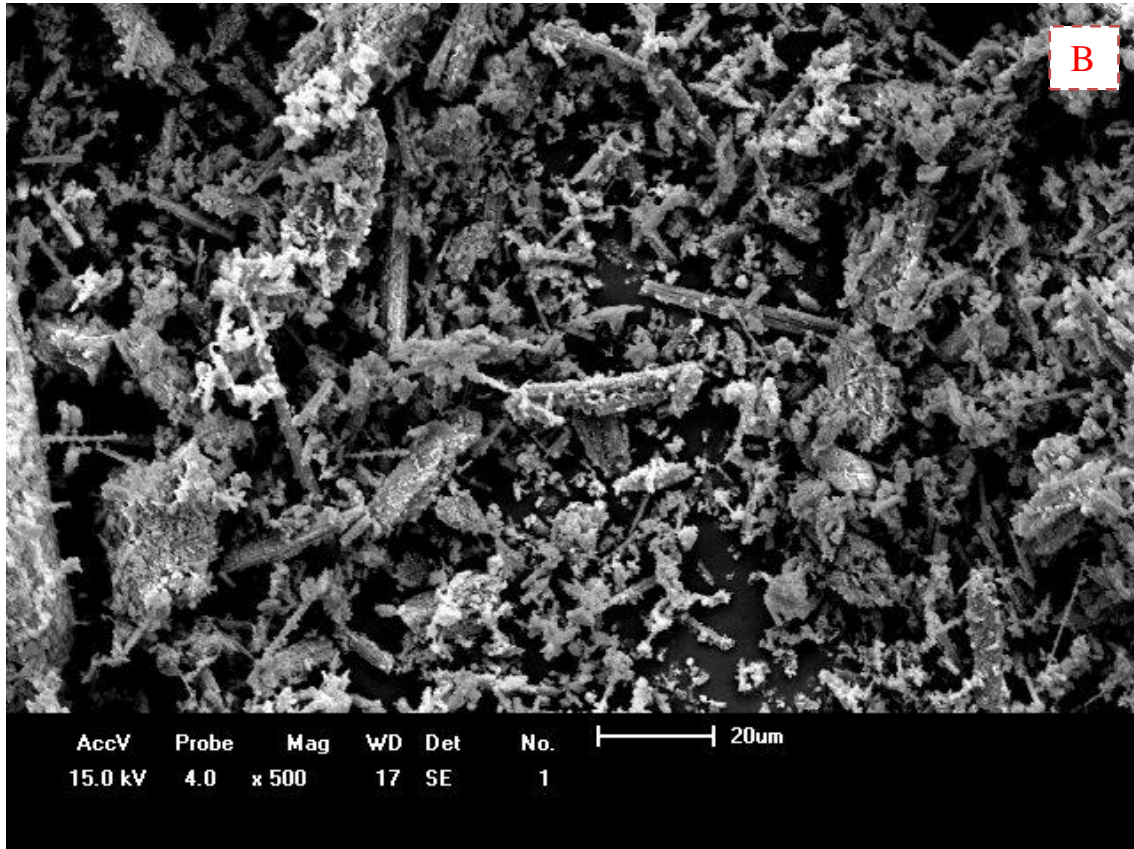


Figura 4.12: Micrografias do Salgesso A) Aumento 100X. B) Aumento





Os resultados das análises de EDS, realizadas em região aleatória, estão representados nas figuras 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16 obedecendo à mesma ordem de análises. O EDS confirmou a análise química realizada pelo FRX, na qual todas as amostras estudadas tiveram composição química equivalentes. Nesta análise, foram identificados os elementos S, Ca e O. Isso já era previsível, uma vez que os demais elementos que apareceram no FRX estão em uma quantidade muito pequena.

Figura 4.13: Resultado da análise de EDS em ponto aleatório, Gesso BA

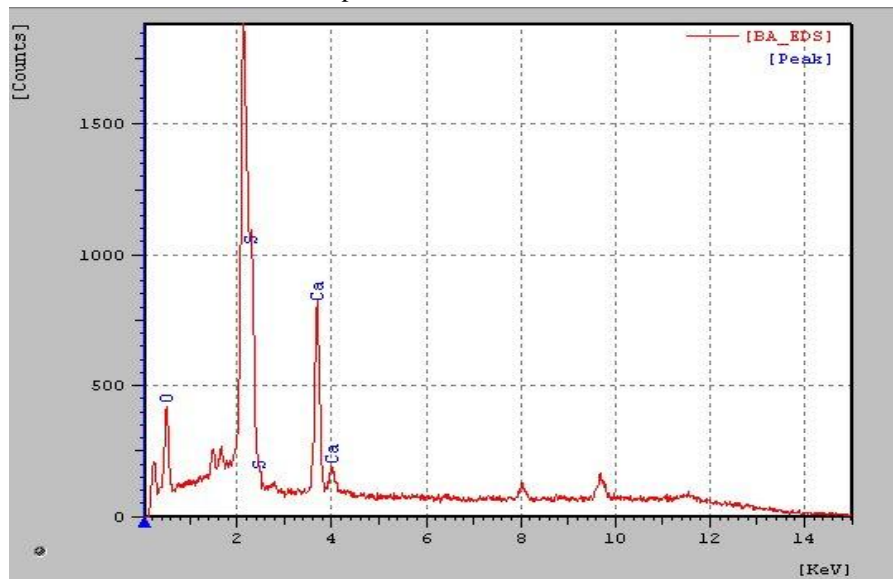


Figura 4.14: Resultado da análise de EDS em ponto aleatório, Gesso MA

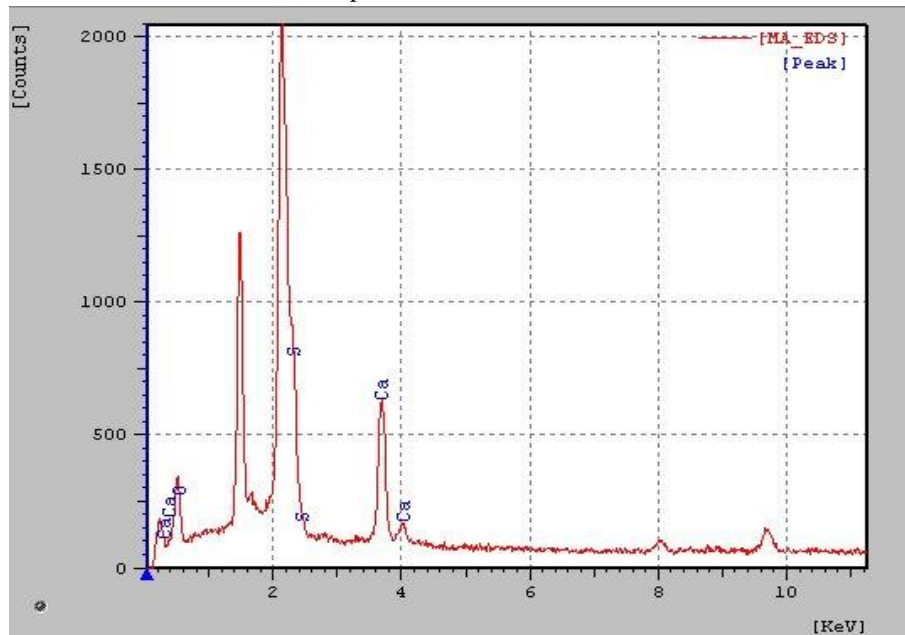


Figura 4.15: Resultado da análise de EDS em ponto aleatório, Gesso PE

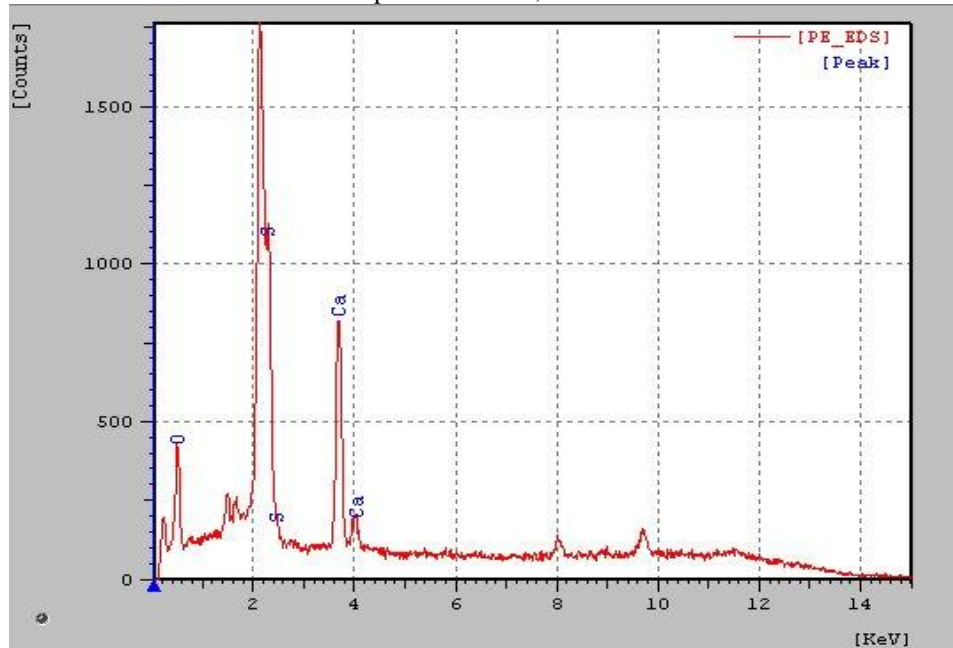
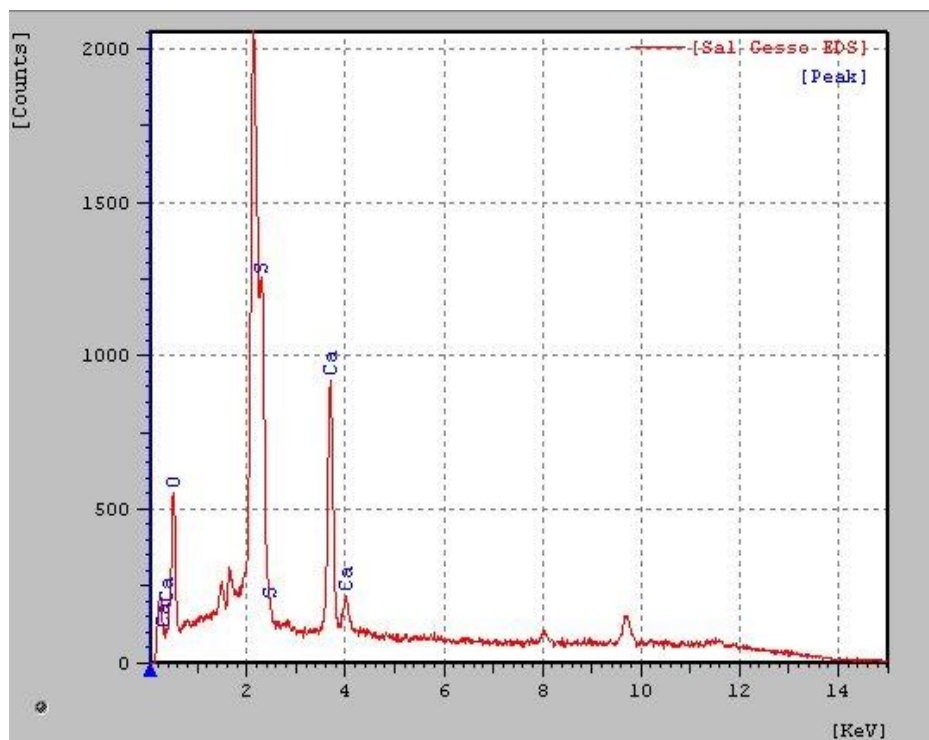


Figura 4.16: Resultado da análise de EDS em ponto aleatório, Salgesso



4.3. ANÁLISES FÍSICAS

4.3.1. Granulometria

A granulometria dos gessos é uma característica de grande importância, pois ela é uma das propriedades que mostra a melhor aplicação para o gesso estudado.

A maioria dos gessos comerciais produzidos no Brasil, tanto os para revestimento quanto os para fundição, são compostos predominantemente do hemidrato β , diferindo apenas na sua granulometria. (Cincotto, 1988).

A NBR 13207 mostra os valores de granulometria aceitos para gesso de construção, de acordo com a sua aplicação. Nesta dissertação, estudam-se gessos finos, mas não se sabem a aplicação indicada para eles, se gesso de fundição ou gesso para revestimento. Assim, a norma indica uma granulometria menor que 1,1, tanto para o gesso que é utilizado como gesso fino para fundição, como o gesso fino utilizado como gesso para revestimento. Os resultados dos ensaios de módulo de finura realizados estão na tabela 4.5. Nela, é possível ver que os gessos comerciais têm a granulometria dentro do imposto pela norma. Enquanto isso, o Salgesso, principal foco deste estudo, apresentou módulo de finura igual a 1,05, menor que todos os outros gessos ensaiados.

Tabela 4.5: Ensaio de granulometria realizado com todas as amostras de Gesso

	GESSO BA	GESSO MA	GESSO PE	SALGESSO
Peneira 20# (%retido)	4,9	2,7	6,3	22,7
Peneira 40# (%retido)	85,38	83,12	86,68	72,65
Peneira 70# (%retido)	19,1	22,92	13,46	7,92
Peneira 140# (%retido)	0,65	1,24	0,75	1,59
Fundo (%retido)	0,24	0,18	0,50	0,238
Granulometria	1,10	1,10	1,08	1,05

4.3.2 Massa Unitária

A massa unitária foi calculada de acordo com o indicado pela NBR 12127, 1991. A tabela 4.6 mostra o resultado do ensaio de massa unitária realizado com os materiais estudados.

Ao analisar os resultados, percebe-se que o Salgesso está dentro do valor imposto pela NBR, 13207, 1991. De acordo com a mesma, o gesso de construção deve possuir massa unitária maior que 700 Kg/m³ para poder ser comercializado. Na tabela, é mostrado também, que os demais gessos ensaiados, como previsto, estão dentro dos limites.

Tabela 4.6: Resultado do ensaio para determinação da massa unitária

AMOSTRA	MASSA DO GESSO (kg)	VOLUME DO RECIPIENTE (m ³)	MASSA UNITÁRIA (kg/m ³)
GESSO BA	0,35754	5x10 ⁻⁴	715,08
GESSO MA	0,35467	5x10 ⁻⁴	709,34
GESSO PE	0,37516	5x10 ⁻⁴	750,32
SALGESSO	0,36654	5x10 ⁻⁴	733,08

4.3.3 Tempo de Pega

Na determinação do tempo de pega das pastas de gesso estudadas, foram confeccionadas três bolachas para cada tipo de gesso. Com os resultados obtidos para os tempos inicial e final de pega, foi feita uma média entre os valores obtidos, de acordo com a norma alemã DIN 1168, 1975, como mostra a figura 4.17.

Figura 4.17: Bolacha confeccionada para realização do tempo de pega

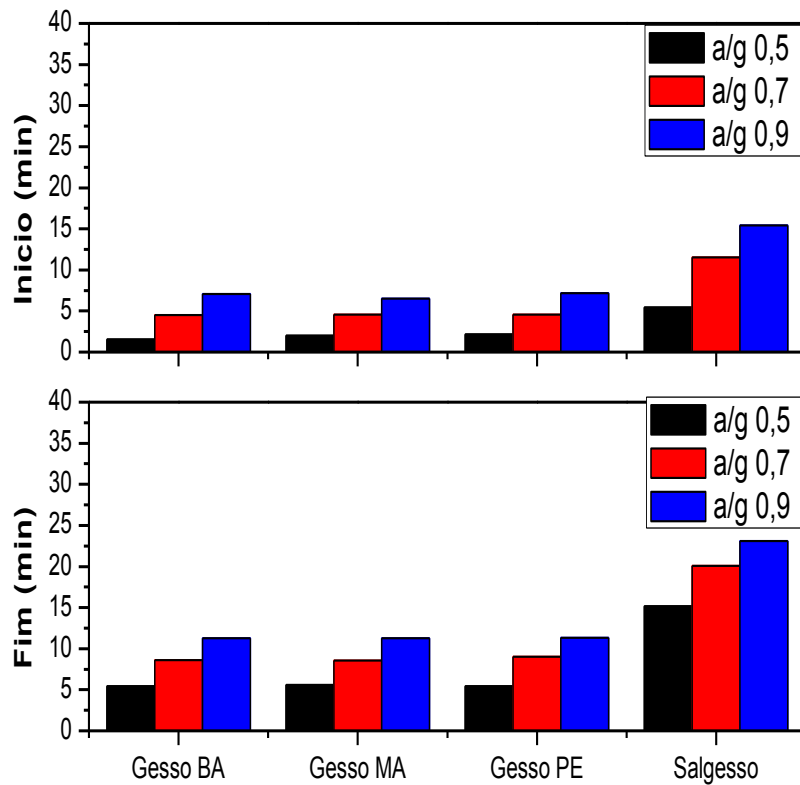


Como já mencionado no item 3.2.3.3, neste trabalho foram realizados ensaios de tempo de pega com três razões água/gesso diferentes, assim, podemos confirmar o comportamento de cada amostra com a variação da quantidade de água em relação ao aglomerante.

Nolhier, 1986 afirmou que a relação água gesso é o parâmetro de maior influência na cinética da reação de hidratação, conseqüentemente, na pega do gesso. Quanto maior a quantidade de água de amassamento, maior o intervalo de tempo necessário para saturar a solução, causando a ampliação do tempo de pega. Isso se confirma nos resultados obtidos, onde tem-se um claro aumento do tempo de pega conforme a razão água/gesso vai aumentando (figura 4.18).

Ao observar os gráficos abaixo, nota-se que os valores de tempo inicial e final de pega para o Salgesso em todas as razões a/g realizadas diferem dos valores encontrados para os gessos comerciais, sendo maior em ambos os casos. Podemos ter como explicação para esta diferença de resultado o fato de sido detectado no DRX do Salgesso, além da bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), a presença de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), enquanto que nos gessos comerciais, só obtivemos a presença de Bassanita nos ensaios de DRX. Ou seja, o gesso salino possui uma maior presença de água na sua composição, o que atua como um ponto retardador do tempo de pega.

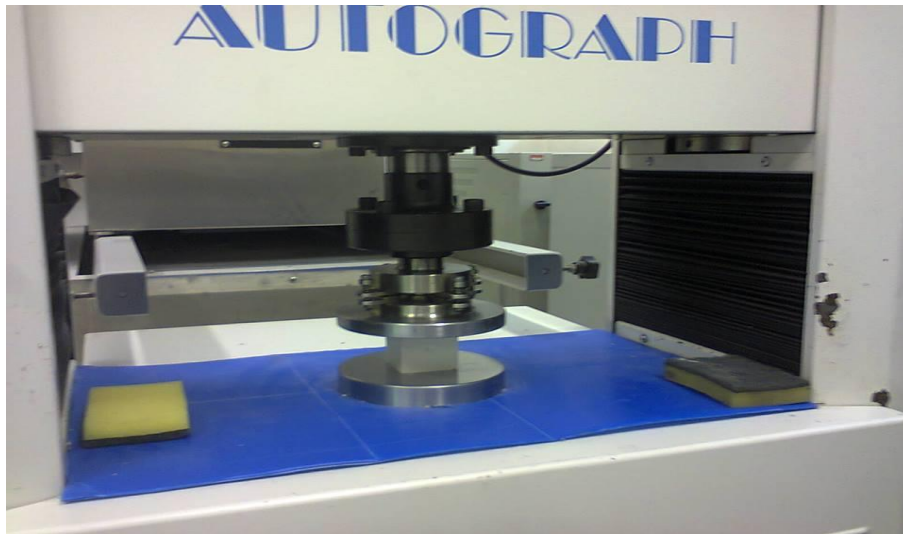
Figura 4.18: Tempo de pega inicial e final para as amostras de gesso variando a razão a/g



4.3.4 Resistência à compressão

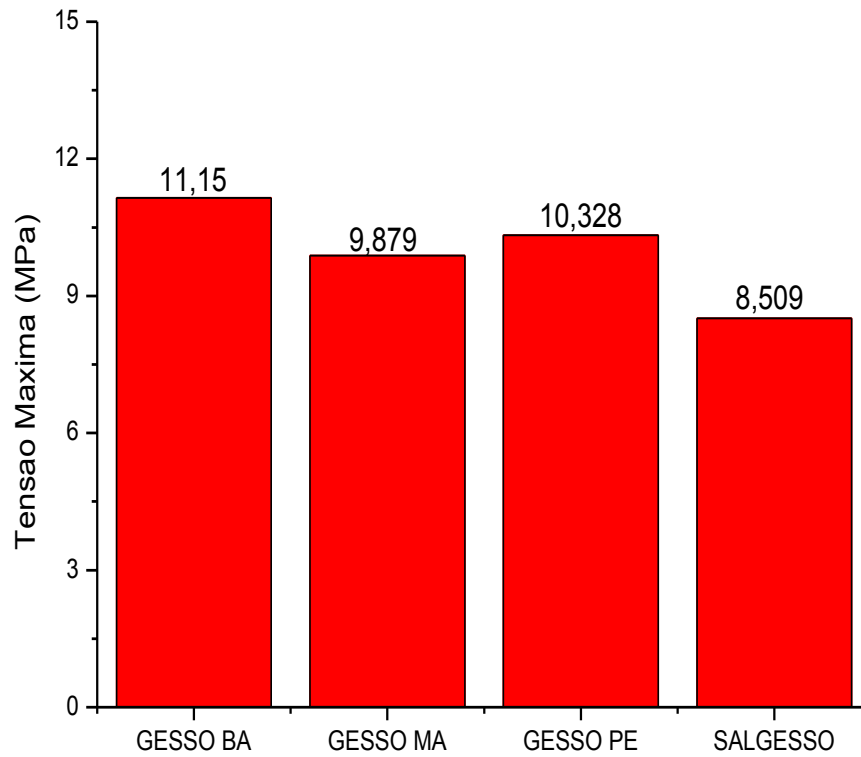
Os ensaios de resistência à compressão foram realizados seguindo a norma 12129, 1991, que estabelece a fabricação de corpos de prova cúbicos (50x50)mm, a partir dos materiais estudados. Na figura 4.19, podemos observar a prensa onde foram realizados os ensaios.

Figura 4.19: Prensa utilizada no ensaio de resistência à compressão



De acordo com Canut, 2006, a resistência mecânica do gesso é diretamente proporcional à quantidade de água existente nele. A figura 4.20 mostra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão através de um diagrama de blocos. Na figura 4.19, observa-se que apesar de o valor da resistência à compressão do Salgesso, ser maior que 8,40 MPa e estar dentro do limite imposto pela NBR 13207, é o menor dentre os gessos estudados. Pode-se afirmar que essa diminuição da resistência à compressão pode ter a mesma justificativa utilizada nos ensaios de tempo de pega: o fato de o Salgesso, diferentemente dos gessos comerciais estudados, não ser composto apenas de Bassanita.

Figura 4.20: Resultados dos ensaios de Resistência à compressão



Capítulo 5
CONCLUSÕES

5. CONCLUSÃO

A utilização do Salgesso como gesso para construção civil é uma maneira de mostrar a preocupação em reutilizar resíduos produzidos de modo a não impactar o ambiente.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, podemos dizer que a gipsita obtida durante o processo de produção de sal pode gerar um gesso com qualidade semelhante a dos gessos comercializados no Brasil.

As análises térmicas (TG/DTG) mostraram que apesar de não possuir comportamento idêntico aos gessos de referência, apresentou característica equivalente a formação do Hemidrato β , utilizado na construção civil.

A análise química por fluorescência de raios X dos gessos estudados nos mostraram que a composição química é praticamente a mesma em todas as amostras. O EDS confirmou o resultado do FRX.

O resultado das análises por Difração de Raios x, mostrou que o salgesso possui, além da bassanita $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, que foi a única fase encontrada nos gessos comerciais, a fase $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, predominante na gipsita. Isso pode ter sido resultado de um processo de calcinação não uniforme.

As análises físicas evidenciaram semelhança entre o Salgesso e gessos comerciais tomados como referência neste trabalho.

A granulometria e a massa unitária apresentaram valores dentro dos limites impostos pela norma para Gesso de construção civil. Os valores encontrados nesses ensaios foram bem próximos entre si.

Nos ensaios para determinação do tempo de pega que o Salgesso apresentou tempos de início e fim de pega, maiores que os valores encontrados para os gessos comerciais estudados. Podendo assim, ser utilizado como gesso para construção civil. Também observou-se que, quanto maior a razão água /gesso, maior o tempo de pega.

Nos ensaios de Resistência à compressão, o Salgesso obteve tensão de ruptura menor que os gessos estudados, mas com valor maior que 8,4 MPa, estando assim, dentro do limite imposto pela NBR 13209.

A gipsita obtida durante o processo de produção de sal pode gerar um gesso com qualidade semelhante a dos gessos comercializados no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS

ALTABA, M.F. *Atlas da mineralogia*. Edição especial revisada para livro Ibero-Americano, Ltda. 5º ed. Ediciones. 1980. ISBN 84-7093-172-5.

ANTUNES, P.P.N. *Estudo da cal hidratada nas pastas de gesso*. Dissertação de mestrado em Construção Civil. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ARAÚJO, N.G.C.; SOUSA, D.S.S.; MUSSE, N.S.; *Sal marinho: o ouro branco do Rio Grande do Norte*. VII CONNEPI. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Gesso para construção- Determinação das propriedades mecânicas*. NBR 12129, Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Gesso para Construção- Determinação da água livre de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidro sulfúrico*. NBR 12130, Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Gesso para Construção Civil*. NBR 13207, Rio de Janeiro, 1994.

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

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

BALTAR, C.A.M.; BASTOS, F. de F e LUZ, A. B.(2004). *Diagnóstico do pólo gessoso de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento*. In.: IV Jornadas IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, Anais. Tegucigalpa, Honduras.

BALTAR, C.A.M.; BASTOS, F.F. e BORGES, L.E.P. *Variedades mineralógicas e processos utilizados na produção dos diferentes tipos de gesso*. In.: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Anais. Florianópolis. 2004

BALTAR, C.A.M.; BASTOS, F.F.; LUZ, A.B. *Diagnóstico gessoso de Pernambuco com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento*. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia de Minas. 2003.

BALTAR, C.A.M.; BASTOS, F.F.; LUZ, A.B. *Rochas e Minerais industriais: usos e especificações*. Centro de tecnologia mineral-CETEM. 2005.

BARBOSA, A.A.; *Estudo Ca conversão química de compósitos a base de gesso em hidroxiapatita*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Vale do São Francisco. 2012.

BERNHOEFT, L.F.; *Caracterização de propriedades físicas e mecânicas de argamassas com gesso reciclado*. Dissertação de mestrado. Universidade de Pernambuco. 2010.

BEZERRA, David Batista; BRITO, Luis Pereira de. *Avaliação dos Impactos Ambientais Produzidos pela Indústria Salineira do Rio Grande do Norte*. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa. Anais. Rio de Janeiro: ABES 2001.

CALLISTER JUNIOR, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**, 7 ed., Rio de Janeiro: LTC 2008.

CALVO, J.P. Yeso.. Curso Internacional de Técnico Especialista em Rocas y Minerales Industriales. Ilustre Colégio Oficial de Geólogos, Madrid, p.16,2003.

CANUT, M.M.C. *Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção*. Trabalho do curso de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. P.154.

CANUT, M.M.C.; *Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Civil. 2006.

CASTRO, A.P.D.; *Incorporação de gesso residual na produção de blocos cerâmicos: Estudo da resistência à compressão, das características físico-químicas e da toxicidade ambiental*. Universidade do Vale do Itajaí. 2010.

DANA – HURLBUT. **Manual de Mineralogia**. Editora da Universidade de São Paulo, 1976.

DNPM. Departamento Nacional de produção Mineral. **Balanço Mineral Brasileiro**, 2012.

FERNÁNDEZ, L.R. (1997). Boletín de La sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 36,6, p. 591-598.

GOMES, M.F.; *Otimização do tempo e temperatura no processamento da gipsita oriunda dos cristalizadores da produção de sal para obter gesso de uso na construção civil*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Departamento de Engenharia Química. 2012.

HINCAPIÉ, A.M.; CINCOTTO, M.A. *Efeito de retardadores de pega no mecanismo de hidratação e na microestrutura do gesso de construção*. Ambiente construído, v.1. São Paulo. P. 7-17. 1996

JOHN, V.M.; CINCOTTO, M. A. Gesso de Construção Civil, Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. Vol 1. Ed. G. C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2007. P. 727-760.

JORGENSEN, D.B. Gypsum and Anhydrite. In.: Industrial Minerals and Rocks, 6ª Edição. Carr, D.D. (Editor). *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration*, 1994.p.571-581.

LIMA, S.Y.V.; *Propriedades físicas mecânicas de compósitos à base de gesso contendo fibras e resíduos*. Trabalho do curso de ciência e tecnologia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 2011

LINHALES, F. *Caracterização do gesso*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.

LINHALES, F. *Caracterização do gesso*. Trabalho curso de pós-graduação em Engenharia de Minas e Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

LIRA SOBRINHO, A.C.P.; AMARAL, A.J.R. e DANTAS, J.O.C. *Gipsita*. Sumário Mineral DNPM, P. 80-81, 2004.

LUZ, A.B.; BALTAR, C.A.M.; FREITAS, E.J.G. e SILVA, A.P. *Mineração São Jorge*. In: *Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil*. Sampaio, J.A.; Luz, A.B. e Lins, F.A.F. (Editores). P.241-249, 2001.

MONTEIRO, C.M.O.L.; *Influência da gipsita na eflorescência em telhas cerâmicas*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2009.

REAL, J.C.C.; *Determinação de condições operacionais adequadas para produção de pré-moldados de gesso de alta resistência mecânica*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2009.

SANTOS, V. A.; *Análise térmica da reação de desidratação térmica da gipsita na obtenção do hemidrato beta*. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. 1996.

SAVI, O; *Produção de placas de forro com reciclagem do gesso*. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Maringá. Pós graduação de engenharia urbana. 2012.

SILVA, J.B.; *Avaliação da potencialidade dos resíduos de gesso de revestimento incorporado em formulações de massas cerâmicas*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2008.

SILVA. I.A - *Estudo da decomposição da gipsita para otimização da produção de gesso beta*. Tese de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

SOARES, J.P.; *Estudo microestrutural do gesso-alfa produzido pelo processo hidrotérmico e calcinação a seco em sua influência nas propriedades mecânicas pós hidratação*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2005

SOUSA, D.A.P.; *Condicionamento do gesso proveniente da neutralização do licor de lixiviação da casca de arroz para utilização na construção civil*. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena. 2009

TAVARES, C.M.; NÓBREGA, A.C.V.; *Reutilização de resíduo de gesso gerado na indústria hidrosanitária do agreste de Pernambuco na construção civil*. Universidade Federal de Pernambuco. 2011.

VELHO, J.; GOMES C. e ROMARIZ, C.; *Minerais Industriais*. Universidade de Aveiro, 591p. 1998

VINGT-UN ROSADO. *Coleção mossoroense, série b. Território e gente de São Sebastião*. 2004

