



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

Eucilene Gonçalves Antunes

Produção de placas de vedação em gesso com incorporação de rejeitos

Ouro Preto
2017

Eucilene Gonçalves Antunes

Produção de placas de vedação em gesso com incorporação de rejeitos

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto
Co-orientadora: Rosana Márcia de Resende Mol

Ouro Preto
2017

A636p Antunes, Eucilene Gonçalves.
Produção de placas de vedação em gesso com incorporação de rejeitos
[manuscrito] / Eucilene Gonçalves Antunes. - 2017.

37f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto.

Coorientador: MSc. Rosana Márcia de Resende Mol.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.

1. Gesso. 2. Quartzito. 3. Argila Expandida. 4. Fibras de vidro. 5. Vedação (Tecnologia) - Drywall. I. Peixoto, Ricardo André Fiorotti. II. Mol, Rosana Márcia de Resende. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

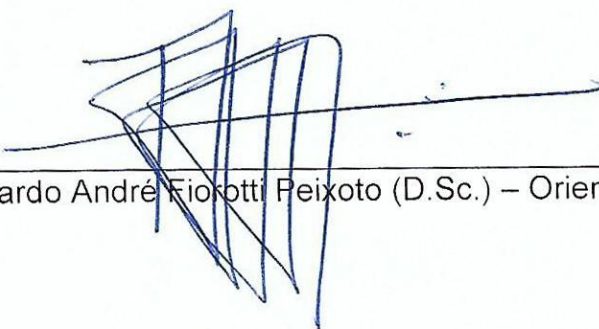
CDU: 624

Catálogo: ficha@sisbin.ufop.br

Eucilene Gonçalves Antunes

Produção de placas de vedação em gesso com incorporação de rejeitos

Monografia de conclusão de curso para obtenção do Grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto, defendida e aprovada em 05 de maio de 2017, pela banca examinadora constituída pelos professores:



Prof. Ricardo André Fiorotti Peixoto (D.Sc.) – Orientador – UFOP



Prof. Guilherme Jorge Brigolini (D.Sc.) – Professor – UFOP



Rosana Márcia de Resende Mol (M.Sc.) – Co-orientadora – UFOP

RESUMO

Diante do grande cenário de industrialização e produção acelerada em que vivemos o aumento da demanda por produtos e a competitividade do mercado, faz com que as grandes empresas extraiam cada vez mais uma maior quantidade de elementos da natureza em um curto espaço de tempo. Como alternativa para retirar esses rejeitos da natureza e torna-los úteis novamente, são desenvolvidas diversas pesquisas no setor da construção civil voltadas à incorporação destes elementos como agregados dentro da própria indústria da construção. Desta forma, este trabalho vem propor uma alternativa para diminuir os impactos causados pelo descarte de rejeitos de quartzito na natureza, o incorporando a uma matriz de gesso juntamente com argila expandida e resíduos de fibra de vidro.

Palavras chave: Gesso, quartzito, argila expandida, fibra de vidro, drywall.

ABSTRACT

In front of the wide stage of industrialization and fast production nowadays, we could realize that the increased demand for products and the market competitiveness has been the cause of the raw material extraction made by the big companies continuously and in a short time. As an alternative to remove those residues from the nature and make them useful again, several research has been developed in the civil construction sector that focus more closely on the incorporation of these elements as aggregates for the construction industry. Therefore, this project proposes a way to decrease the impact caused for the quartzite disposal in nature, incorporating it to a matrix of plaster along with expanded clay and residues of fiberglass.

Keywords: Plaster, quartzite, expanded clay, fiberglass, drywall.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Gesso passante na peneira 200 mesh.....	15
Figura 2 – Quartzito.....	16
Figura 3 – Argila expandida.....	16
Figura 4 – Rejeito de fibra de vidro triturado	17
Figura 5 – Fibra de Vidro Seleccionada	17
Figura 6 – Mistura do Compósito, Água e Fôrma da Placa, respectivamente..	20
Figura 7 – Descanso da Pasta do Compósito	20
Figura 8 – Copos de Prova para ensaio de Compressão: Compósito e Gesso, respectivamente.	21
Figura 9 – Parte dos Corpos de Prova para os demais ensaios	21
Figura 10 – Execução do ensaio	22
Figura 11 – Corpo de prova sujeito à compressão - Compósito.....	23
Figura 12 – Corpo de Prova sujeito ao ensaio de ruptura na flexão - Gesso ...	23
Figura 13 – Consistência Normal: Gesso	28
Figura 14 – Consistência Normal: Compósito	29
Figura 15 – Placa ensaiada: Gesso	31
Figura 16 – Placa ensaiada: Compósito.....	31
Figura 17 - Placa de Gesso ensaiada	33
Figura 18 - Placa do Compósito ensaiada	34
Figura 19 – Seção do Compósito fissurada	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Traços iniciais.....	24
Tabela 2 – Massa Unitária dos Materiais	24
Tabela 3 – Água livre das matrizes	25
Tabela 4 – Água de Cristalização das matrizes	25
Tabela 5 – Consistência Normal do Gesso	28
Tabela 6 – Consistência Normal do Compósito	28
Tabela 7 – Tempo de pega: Gesso	29
Tabela 8 – Tempo de pega: Compósito	29

SUMÁRIO

1. Introdução	9
1.1. Justificativa.....	10
1.2. Objetivo geral	11
1.3. Objetivos específicos	11
2. Revisão bibliográfica	12
2.1. Gesso.....	12
2.2. Quartzito.....	13
2.3. Argila expandida	13
2.4. Fibra de vidro	13
3. Materiais e métodos	15
3.1. Caracterização física dos materiais.....	15
3.1.1. Gesso	15
3.1.2. Quartzito	15
3.1.3. Argila expandida	16
3.1.4. Fibra de vidro.....	17
3.2. Ensaio laboratoriais	18
3.2.1. Determinação da Água livre	18
3.2.2. Determinação da Água de cristalização	18
3.2.3. Determinação da Consistência normal	19
3.2.4. Determinação do Tempo de pega	19
3.2.5. Produção das Placas.....	20
3.2.6. Determinação da densidade superficial de massa	21
3.2.7. Determinação da dureza superficial	21
3.2.8. Determinação da Resistência à Compressão.....	22
3.2.9. Determinação da Resistência à ruptura na Flexão	23
4. Definição do Traço	24
4.1. Massa unitária.....	24
4.2. Água livre	24
4.3. Água de Cristalização	25
4.4. Traço Final	26
5. Resultados.....	28

5.1. Consistência Normal	28
5.2. Tempo de pega	29
5.3. Densidade superficial de massa	29
5.4. Dureza superficial.....	30
5.5. Resistência à Compressão	31
5.6. Resistência à ruptura na Flexão.....	32
6. Conclusão	35
REFERÊNCIAS.....	36

1. Introdução

Diante do grande cenário de industrialização e produção acelerada em que vivemos o aumento da demanda por produtos e a competitividade do mercado, faz com que as grandes empresas extraiam cada vez mais uma maior quantidade de elementos da natureza em um curto espaço de tempo. Estima-se que só o setor da construção Civil chega a ser responsável por até 50% da extração de recursos da natureza, segundo Sjöström apud John (2000). Fatos como este, vêm refletindo no meio ambiente ano após ano e o fato da maioria dos recursos utilizados não serem renováveis, vem acarretando preocupação.

Juntamente com o setor da construção civil, a mineração também é um grande responsável pela extração de materiais e também de geração de rejeito provenientes de seus processos industriais. Como alternativa para retirar esses rejeitos da natureza, tanto do setor construtivo quanto da mineração, e torná-los úteis novamente, são desenvolvidas diversas pesquisas no setor da construção civil voltadas à incorporação destes elementos como agregados dentro da própria indústria da construção. São estudos que analisam a viabilidade e a quantidade de cada rejeito a ser incorporado em elementos já utilizados nos processos construtivos, sem que o componente final perca suas características necessárias ao desempenho e qualidade.

Desta forma, este trabalho vem propor uma alternativa para diminuir os impactos causados pelos rejeitos de quartzito na natureza, os incorporando a uma matriz de gesso juntamente com argila expandida e resíduos de fibra de vidro.

Segundo Ramirio *et al.* (2008), o quartzito, popularmente conhecido como “pedra mineira”, é normalmente utilizado como revestimento na construção civil e sua extração que muitas vezes é feita de forma clandestina, gera um grande volume de rejeito. A argila expandida é um material proveniente do aquecimento de alguns tipos de argila, que segundo Silva (2002) possui características como: leveza, resistência, inércia química, estabilidade dimensional e incombustibilidade, bom isolamento térmico e acústico. Características como as descritas possibilitam ao material uma vasta aplicação na Construção Civil, inclusive propriedades importantes para a escolha do material como componente do trabalho. Já a fibra de vidro é um material que vem ganhando força no mercado da construção a um bom tempo, pois melhora o desempenho das construções no que diz respeito a

isolamento acústico e térmico, eleva as propriedades mecânicas, é de fácil utilização, entre outros benefícios associados sem perder a leveza do produto.

Baseado nas características principais destes materiais e da utilização deles em trabalhos anteriores, o presente trabalho tem o objetivo de tentar unir estes materiais a fim de obter como produto final uma nova matriz de gesso que não perca consideravelmente a qualidade e o desempenho, aliando a tão importante retirada de rejeitos da natureza.

1.1. Justificativa

Juntamente com o crescimento produtivo, a busca por novas tecnologias para facilitar o dia-a-dia dos trabalhadores também é incansável. Porém, por questões de treinamento ou até mesmo culturais, percebemos que nem toda tecnologia que faz sucesso em outros países consegue ser implantada com facilidade no Brasil. Como exemplo deste fato, temos as chapas de Drywall, que segundo Silva e Almeida (2016), são fortemente usadas em países como Estados Unidos e Austrália, porém a demanda no Brasil ainda é bem pequena em comparação a estes e tantos outros.

Ainda não há garantia que a utilização de Drywall se faça presente no Brasil como vemos em outros países, ainda que seu uso tenha crescido desde a década de 90, porém, não há como negar que suas propriedades são a maioria das vezes benéficas e trariam grande agilidade ao setor construtivo do Brasil. Além da rápida montagem dos painéis que se dão pela fixação das placas de gesso acartonado às guias e montantes em aço galvanizado, ainda segundo Silva e Almeida (2016), são dispostas entre as placas lãs minerais que conferem isolamento térmico e acústico aos ambientes, proteção ao fogo (devido à água retida com a ajuda de aditivos), além da existência de placas especiais resistentes à umidade e ao fogo.

Desta forma, é possível perceber que existem bons motivos para se investir em tecnologias voltadas ao uso de gesso acartonado na construção civil. Aliado aos problemas de disposição de rejeitos na natureza, o uso de placas de gesso acartonado conseguiria diminuir também a geração de resíduos deixados pela alvenaria convencional no setor construtivo.

Sendo assim, como justificativa deste trabalho, quanto mais alternativas para a diminuição de rejeitos e exploração desnecessária de recursos naturais tivermos, mais benefícios retornaremos à toda sociedade.

1.2. Objetivo geral

Produzir placas de vedação do tipo Drywall, utilizando como principal material da matriz, o gesso, tendo adições de rejeito de quartzito, argila expandida e resíduos de fibras de vidro.

1.3. Objetivos específicos

Verificar se a quantidade ideal de quartzito a ser incorporado na matriz de gesso foi alcançada, sem que esta adição comprometa suas características necessárias, bem como a avaliação da adição da argila expandida e da fibra de vidro para o melhoramento do desempenho das placas.

Realizar os ensaios previstos em norma para matriz comum de gesso e para matriz do compósito criado, a fim de avaliar as propriedades do pó, propriedades físicas da pasta e propriedades físicas e mecânicas das placas.

Comparar os resultados obtidos e analisar a viabilidade da produção das placas produzidas com incorporação de rejeitos.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Gesso

O gesso é um aglomerante obtido a partir da calcinação da gipsita. Segundo Baltar *et al.* (2004) a gipsita é um sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que tem como característica a possibilidade de perder e recuperar a água de cristalização. Quando a gipsita é submetida a altas temperaturas (entre 125°C e 180°C) entra em processo de calcinação perdendo parte de sua água de cristalização, tomando assim forma de hemidrato (gesso). Quando o gesso retoma o contato com água, acontece sua re-hidratação que o torna novamente um di-hidrato que lhe confere a resistência mecânica e estabilidade.

As reservas de gipsita são abundantes em diversos países do mundo, havendo maior destaque na produção para China, Estados Unidos e Irã. O Brasil, que é o maior produtor de gipsita da América do Sul tem também o material de melhor qualidade do mundo, que apresenta um teor de pureza de 88% a 98% (Baltar *et al.* 2004).

A produção de gipsita no Brasil que em 2014 ocupava o 13º lugar no mundo (DNPM, 2015) tem como principal produtor o “polo gesseiro do Araripe”, região do extremo oeste pernambucano formado pelos municípios de Araripiana, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade. Os demais produtores de gipsita são os estados do Maranhão, Ceará, Amazonas e Pará, que juntos chegam a uma produção um pouco menor que 16% da produção total do país.

A produção de gesso para a construção civil destina-se basicamente a duas aplicações: gesso acartonado e revestimento. O gesso acartonado é uma placa pré-moldada de gesso revestida de papel acartonado que é fixada a uma estrutura metálica não aparente. Após a instalação, a placa pode receber os demais acabamentos normalmente. Já o revestimento em gesso, consiste em uma pasta de gesso moldada *in loco* e lançada mecanicamente na alvenaria que resulta em uma superfície lisa e pronta para a aplicação dos demais acabamentos. A grande vantagem deste último método no Brasil, é que devido à mão de obra para a execução deste serviço não ser tão escassa e a economia com chapisco e reboco ser considerável, a utilização de gesso é economicamente viável e esteticamente agradável.

2.2. Quartzito

O quartzito é uma rocha ornamental amplamente utilizada como revestimento na construção civil. Segundo Costa, Campello e Pimenta (2000) geralmente sua extração se dá a partir de blocos que podem dar origem a chapas regulares de dimensões pré-estabelecidas com posterior beneficiamento envolvendo polimento e lustro. Apresentam características semelhantes as dos granitos ornamentais, sendo muitas vezes descritos comercialmente como granitos.

Um grande problema oriundo da utilização do quartzito como peça ornamental na construção civil, é a elevada porcentagem de rejeitos gerada por sua extração que segundo Ramirio *et al.* (2008) pode chegar até a 92%. A explicação para um valor tão alto provém do fato que, muitas vezes, a extração é feita de forma clandestina e pelo fato de que as placas já terem medidas pré-estabelecidas de espessura e comprimento, é comum ocorrer o descarte daquelas que não obedecem aos padrões implantados.

2.3. Argila expandida

A argila expandida, segundo Moravia *et al.* (2006) é obtida através do aquecimento de alguns tipos de argila em temperatura próxima a 1200°C. Quando o material se encontra em torno dessa temperatura, parte dele se funde gerando uma massa viscosa e a outra parte se decompõe quimicamente, havendo liberação de gases, fazendo com que a massa se expanda em até sete vezes de seu volume inicial. Como resultado, tem-se uma estrutura porosa de massa unitária final menor que a massa inicial. Essa alta porosidade, traz como consequência uma redução da resistência mecânica, por outro lado, uma característica positiva é sua alta aderência, que traz ao agregado um bom intertravamento mecânico com a pasta.

2.4. Fibra de vidro

A fibra de vidro, segundo Matheus (2010), é um material constituído por substâncias minerais, em uma mistura de quartzo, carbonato de cálcio e carbonato de sódio solidificados, disposto em feixes de espessura extremamente fina, que é obtido através da passagem do vidro em fusão por um pequeno orifício. Comumente o termo fibra de vidro também é usado para se referir a estruturas de plástico reforçadas com fibras de vidro.

A fibra de vidro tem várias vantagens, chegando a substituir materiais como aço, madeira, vidro e alumínio dependendo do fim de sua utilização. Essas possibilidades

se dão pelo fato de suas particularidades estruturais tais como grande resistência à tração, impacto e flexão. A fibra de vidro também permite moldagens de peças de forma inteiriça, visto que seu manuseio e incorporação em matrizes é muito simples. Segundo Okada et al. (2013) que utilizaram resíduos de fibra de vidro em substituição à cal em matrizes cimentícias, foi possível verificar um aumento da resistência mecânica e da trabalhabilidade da matriz, enfatizando as expectativas na utilização desse material.

3. Materiais e métodos

O método para a execução do presente trabalho consiste inicialmente na análise dos materiais selecionados para a mistura (caracterização física dos materiais – item 3.1), sendo definidos cinco traços para análises iniciais. Para estes traços foram feitos ensaios de teor de água livre e teor de água de cristalização, a fim de que os parâmetros obtidos possam auxiliar na escolha do melhor traço final. Os demais ensaios que se seguirão, serão feitos para este traço final (denominado “compósito”) e comparados ao traço de referência (traço de constituído apenas por gesso e água, denominado “gesso”).

3.1. Caracterização física dos materiais

3.1.1. Gesso

O gesso utilizado como aglomerante na matriz foi o gesso da marca Gesso Padrão. O material foi utilizado na forma como chegou do fabricante, apenas passando por peneiramento como indicado na NBR 12128 (ABNT, 1991) na peneira 200 mesh, a fim de evitar a presença de torrões e impurezas, conforme ilustrado na Figura 1.

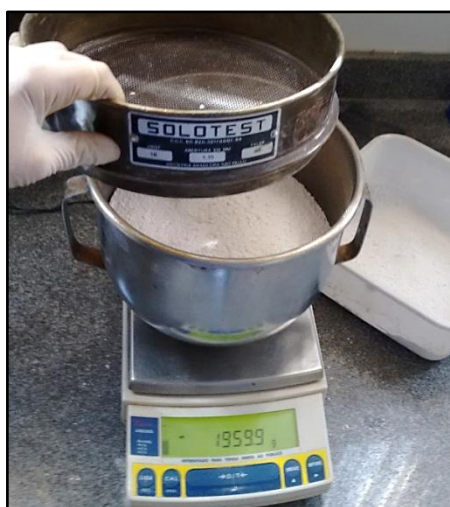


Figura 1 – Gesso passante na peneira 200 mesh

Fonte: Acervo pessoal Rosana Mol

3.1.2. Quartzito

O quartzito utilizado na matriz foi adquirido do estéril de rocha de quartzito extraído por uma mineradora na região metropolitana de Belo Horizonte, armazenado em bombonas plásticas lacradas e identificadas que posteriormente foram levadas ao Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Ouro Preto. O material foi processado e selecionado como o passante na peneira 200 mesh e

seco em estufa em temperatura de aproximadamente 105°C por 24 horas para que pudesse ser utilizado, conforme ilustra a Figura 2.

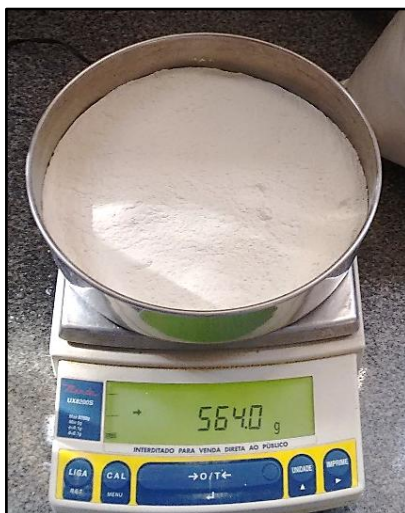


Figura 2 – Quartzito

Fonte: Acervo pessoal Rosana Mol

3.1.3. Argila expandida

A argila expandida utilizada foi doada pela fábrica de argila expandida CINEXPAN, onde foi produzida em pequenas dimensões sendo selecionada granulometricamente pelo material retido entre as faixas de 1,18mm e 2,38mm. Para a utilização, a argila expandida foi saturada e utilizada à condição saturada superfície seca, visando que a argila expandida já contivesse sua própria água e não demandasse da água destinada à mistura. A argila expandida utilizada pode ser ilustrada conforme a Figura 3.



Figura 3 – Argila expandida

Fonte: Acervo pessoal Rosana Mol

3.1.4. Fibra de vidro

A fibra de vidro utilizada foi obtida dos pátios de rejeito da mineradora VALE. O rejeito foi inicialmente triturado por trituradores especiais tipo SHREDDER pela empresa TECSCAN e enviado ao Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Ouro Preto, conforme ilustrado pela Figura 4.



Figura 4 – Rejeito de fibra de vidro triturado

Fonte: Acervo pessoal Rosana Mol

Por se tratar de um resíduo, para sua utilização foi necessária separação do material de outros componentes estranhos. O resíduo separado foi levado a um moinho de facas adaptado e posteriormente selecionado granulometricamente entre as faixas de 0,075mm e 0,30mm, conforme ilustra a Figura 5.

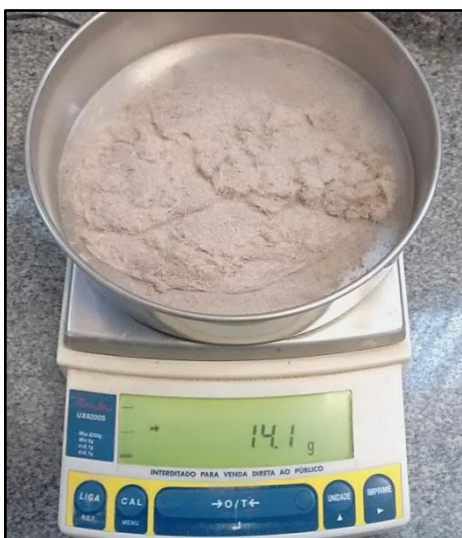


Figura 5 – Fibra de Vidro Selecionada

Fonte: Acervo pessoal Rosana Mol

3.2. Ensaios laboratoriais

Foram feitos ensaios para caracterização dos materiais, do pó, da pasta, ensaios estes que ajudaram na determinação do traço a ser utilizado. Após a definição do traço final, foram feitos ensaios para obtenção dos limites da resistência mecânica das placas e caracterização das mesmas, como poderá ser visto na sequência. Todos os ensaios de resistência e caracterização foram feitos para a matriz de gesso e para a matriz do compósito (gesso, quartzito, argila expandida e fibra de vidro), a fim de obtermos parâmetros sobre as particularidades que os elementos incorporados poderiam agregar à nova matriz.

3.2.1. Determinação da Água livre

O ensaio foi baseado em adaptação da norma NBR 12130 (ABNT, 1991). O processo consistiu em pesar com a precisão de 0,01g, cerca de 50g de cada amostra dispostas em cápsulas previamente taradas. Os materiais foram secos em estufa a $(40\pm 4)^\circ\text{C}$ até obterem massa constante e foram pesados assim que retirados da mesma, possibilitando com estas informações calcular o teor de água livre de cada amostra, conforme equação a seguir:

$$\text{água livre} = \frac{M - M_1}{M} \times 100 \quad (3.1)$$

Onde:

M = massa da amostra (em gramas);

M_1 = massa da amostra seca a 40°C (em gramas)

3.2.2. Determinação da Água de cristalização

O ensaio também foi baseado em adaptação da norma NBR 12130 (ABNT, 1991). O processo consistiu em pesar cerca de 2g das amostras secas, dispostas em cápsulas previamente taradas. Os materiais foram levados à mufla e aquecido a uma taxa de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ até atingir temperatura de 230°C , onde permaneceu até obter massa constante. Após este processo, cada amostra foi retirada e pesada, permitindo com estas informações calcular o teor de água de cristalização das amostras, conforme equação a seguir:

$$\text{água de crist.} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (3.2)$$

Onde:

M_1 = massa da amostra seca a 40°C (em gramas);

M_2 = massa da amostra seca a 230°C (em gramas)

3.2.3. Determinação da Consistência normal

A Consistência normal consiste em determinar a relação água/gesso onde se obtém uma fluidez da pasta adequada à manipulação, conforme procedimentos descritos na norma NBR 12128 (ABNT 1991).

Para o ensaio, foi dissolvido 20g de solução de citrato de sódio em 1000 ml de água destilada e desta mistura, utilizar 10 ml para adição de água destilada até 150g. A superfície da placa de vidro e o molde que foram utilizados foram lubrificados com uma fina camada de óleo, com o objetivo de evitar vazamentos durante a execução do ensaio. Foi determinada a quantidade de amostra a ser polvilhada por 1min sobre a solução de água e retardador. Após o polvilhamento, a massa permaneceu em repouso por 2 min e em seguida foi misturada por meio de movimentos circulares (1 movimento circular por segundo) por 1 min. A pasta foi então transferida para o molde, evitando formação de bolhas de ar e o topo do molde foi rasado ao fim do despejo do material. A sonda cônica foi baixada até a superfície da pasta, no centro do molde para então que se fizesse a leitura e deixasse que a haste descesse lentamente. Ao final da penetração os valores foram lidos novamente e o resultado da consistência normal foi atingido quando houve a penetração de (30 ± 2) mm.

3.2.4. Determinação do Tempo de pega

O ensaio de tempo de pega consiste em determinar o tempo de início e fim de pega e os procedimentos seguiram as descrições conforme NBR 12128 (ABNT 1991).

Os tempos são estipulados a partir do instante em que o pó entra em contato com a água até o momento em que a agulha de Vicat não mais penetra no fundo da base (início da pega) ou não deixa mais impressão na superfície da pasta (fim da pega).

Para o ensaio, foram tomadas as quantidades de água e amostra encontradas no ensaio de Consistência normal, porém sem o retardador. A preparação da amostra seguiu o mesmo procedimento da Consistência normal, sendo acionado o cronômetro no instante em que a amostra entra em contato com a água no polvilhamento. Foi ajustado o marcador e a agulha para que ela penetrasse na pasta lentamente. Após cada penetração, limpou-se a agulha e movimentou-se a base

ligeiramente, de forma que as tentativas tiveram uma distância mínima de 5mm uma da outra e a 10mm do contorno da face exterior. O início de pega é caracterizado pelo momento em que a agulha estaciona a 1mm da base, e o fim de pega é atingido quando a agulha não mais penetrar na pasta, deixando apenas uma leve impressão na mesma.

3.2.5. Produção das Placas

Para a produção das Placas, inicialmente todos os materiais eram preparados e dispostos conforme as quantidades definidas, para que na sequência fossem misturados à água e se seguissem os processos conforme descrição da norma NBR 12128 (ABNT, 1991). Parte dos processos podem ser ilustrados pela Figura 6 e Figura 7 abaixo:



Figura 6 – Mistura do Compósito, Água e Fôrma da Placa, respectivamente



Figura 7 – Descanso da Pasta do Compósito

Fonte: Acervo pessoal Rosana Mol

Foram produzidos corpos de prova com dimensões de 40x40x160mm, conforme ilustrados na Figura 8 e 300x300x20mm conforme mostra a Figura 9 para que fossem feitos os ensaios de determinação da densidade superficial de massa, dureza superficial, resistência à compressão e resistência à ruptura na flexão.



Figura 8 – Copos de Prova para ensaio de Compressão: Compósito e Gesso, respectivamente.



Figura 9 – Parte dos Corpos de Prova para os demais ensaios

3.2.6. Determinação da densidade superficial de massa

O ensaio foi realizado conforme descrição da Norma NBR 14717 (ABNT, 2001), onde as atividades consistiram em medir os corpos de prova com exatidão de 1 mm, bem como medição da massa com exatidão de 1 g. Estas informações, nos permitem calcular a densidade superficial de massa, conforme equação à seguir:

$$\text{dens. sup. de massa} = \frac{m}{x.y} \times 10^3 \quad (3.3)$$

Onde:

m= massa do corpo de prova (em gramas);

x= comprimento do corpo de prova (em milímetros);

y= largura do corpo de prova (em milímetros).

A densidade superficial de massa é expressa em kg/m².

3.2.7. Determinação da dureza superficial

O ensaio foi realizado conforme a NBR 14717 (ABNT, 1991), sofrendo adaptação das características da esfera utilizada. A esfera descrita na norma tem massa de 510±10g com diâmetro de 50mm, sendo a utilizada no presente trabalho com massa de 430,2g e diâmetro de 47,35mm. O procedimento consistiu em escolher três pontos aleatórios sobre a face da frente de cada placa ensaiada, deixando cair sobre cada ponto uma esfera de aço a 50 cm de altura, sem velocidade inicial e evitando

repiques, conforme ilustrado na Figura 10. Em seguida foi medido o diâmetro da moossa causada pela esfera de aço no corpo-de-prova, com exatidão de 1 mm.



Figura 10 – Execução do ensaio

Como a esfera utilizada tem características diferentes da esfera descrita nos procedimentos da norma, foram feitos cálculos para aproximar os resultados exigidos na NBR com as condições reais do ensaio. A norma estipula que a moossa causada pela queda não deve ser superior a 20mm. Desta forma, considerando que a força da gravidade e a altura permanecem constantes, tomamos que a Energia potencial varia linearmente com a massa da esfera ($E=m.g.h$). Desta forma, podemos corrigir o valor máximo da moossa de 20mm para 16,87mm para utilização neste trabalho.

3.2.8. Determinação da Resistência à Compressão

O ensaio foi baseado conforme descrição da norma NBR 12129 (ABNT, 1991). O procedimento consistiu em aplicar carga de 550 N/s no corpo de prova de dimensões 40x40x160mm até o rompimento do mesmo, conforme ilustra a Figura 11. A resistência à compressão é dada pela relação da carga que produziu a ruptura pela área da seção transversal que sofreu o esforço, conforme equação abaixo:

$$\text{resist. à comp.} = \frac{P}{S} \quad (3.4)$$

Onde:

P= carga que produziu a ruptura do corpo de prova (em Newtons);

S= área da seção transversal que sofreu o esforço (em milímetros quadrados);

O resultado obtido é expresso em MPa.



Figura 11 – Corpo de prova sujeito à compressão - Compósito

Fonte: acervo pessoal Rosana Mol

3.2.9. Determinação da Resistência à ruptura na Flexão

Para a realização do ensaio foram tomadas as descrições da Norma NBR 14717 (ABNT, 2001). O ensaio consistiu em posicionar o corpo de prova em forma de placa com dimensões de 300x300x20mm em dispositivo adequado, conforme ilustra a Figura 12, com carregamento posicionado no meio do vão, aplicando carga à velocidade de (250 ± 50) N/min, até a ruptura. Os resultados foram expressos em N.



Figura 12 – Corpo de Prova sujeito ao ensaio de ruptura na flexão - Gesso

3.3. Definição do Traço

Inicialmente foram feitos ensaios para a caracterização dos materiais a serem utilizados nos experimentos de forma a conhecer suas propriedades e poder aproveitá-los nos melhores teores possíveis. Sendo assim, foram adotados inicialmente cinco traços diferentes que foram posteriormente modificados para o traço final conforme conclusões obtidas através dos resultados dos ensaios pertinentes. Os traços iniciais foram descritos na Tabela 1 – Traços iniciais:

Tabela 1 – Traços iniciais

Denominação	Traço
I	100% Gesso
II	89,5% gesso; 10% argila expandida; 0,5% fibra de vidro
III	89% gesso; 0,5% quartzito; 10% argila expandida; 0,5% fibra de vidro
IV	84,5% gesso; 5% quartzito; 10% argila expandida; 0,5% fibra de vidro
V	39,5% gesso; 50% quartzito; 10% argila expandida; 0,5% fibra de vidro

3.3.1. Massa unitária

Foram determinadas todas as massas unitárias dos materiais utilizados seguindo os procedimentos da norma NM 52/02 e os resultados obtidos estão explícitos na Tabela 2:

Tabela 2 – Massa Unitária dos Materiais

Material	Massa Unitária (g/cm ³)
Gesso	0,60
Quartzito	0,97
Argila Expandida	0,63
Fibra de Vidro	0,17

3.3.2. Água livre

Foram determinados os teores de água livre para cada traço, conforme os ensaios pertinentes e os resultados obtidos foram expressos em porcentagem e estão explícitos na

Tabela 3:

Tabela 3 – Água livre das matrizes

Traço	Água livre
I	1,40%
II	2,84%
III	2,74%
IV	2,44%
V	1,86%

Segundo a norma NBR 13207 (ABNT, 1994), para qualquer que seja a finalidade do gesso na construção, a água livre da matriz deve ser no máximo de 1,30%. Ao analisarmos os resultados da água livre para as tentativas de traços, é possível notarmos que até mesmo a matriz de gesso (Traço I) se encontra acima do limite estabelecido, o que pode ter ocorrido devido à qualidade do gesso ou interferências do ensaio. Desta forma, o traço que mais se aproxima da faixa permitida é o Traço V, constituído por 39,5% de gesso; 50% de quartzito; 10% de argila expandida; 0,5% de fibra de vidro.

3.3.3. Água de Cristalização

Foram determinados os teores de água de cristalização para cada traço, conforme os ensaios pertinentes e os resultados obtidos foram expressos em porcentagem e estão explícitos na Tabela 4:

Tabela 4 – Água de Cristalização das matrizes

Traço	Água de cristalização
I	13%
II	12%
III	10%
IV	9%
V	6%

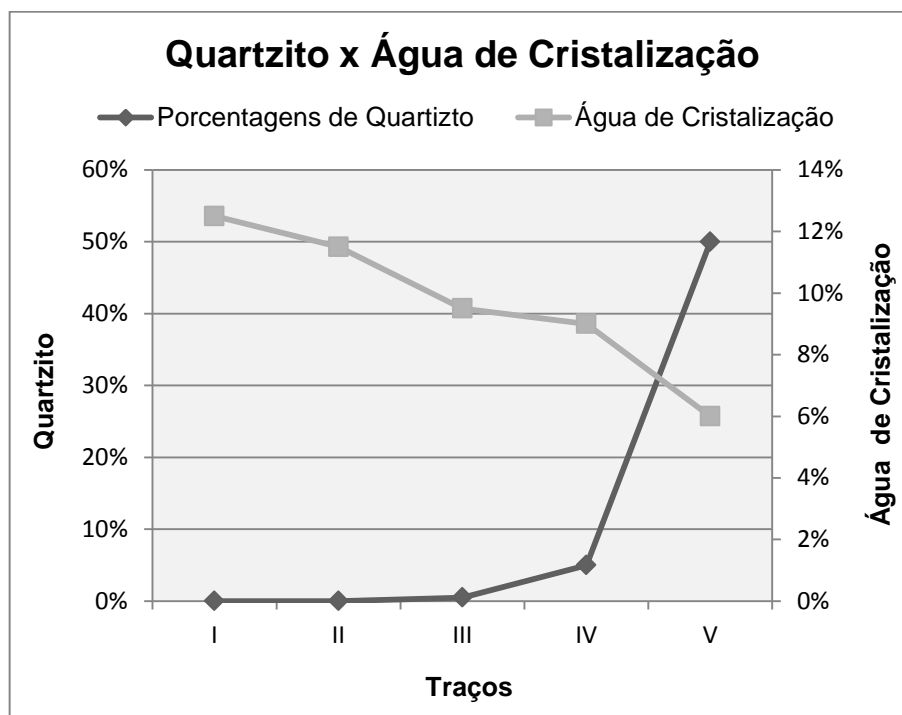
Conforme especificações da norma NBR 13207 (ABNT, 1994), para qualquer que seja a finalidade do gesso na construção, a água de cristalização da matriz deve estar na faixa de 4,20% a 6,20%. Sendo assim, apenas um dos valores encontrados

nos traços atende essa especificação, sendo mais uma vez o Traço V que é constituído por 39,5% de gesso; 50% de quartzito; 10% de argila expandida; 0,5% de fibra de vidro.

3.3.4. Traço Final

Depois de feitos os ensaios de massa unitária, água livre e água de cristalização, optou-se por fixar um dos parâmetros para a definição do traço final, sendo ele o teor de água de cristalização da amostra. Como foram feitos ensaios para os cinco traços iniciais e o teor de água de cristalização foi variando conforme a porcentagem de quartzito nas amostras foi possível o traçado do Gráfico 1, onde podemos visualizar que o teor ótimo de quartzito e água de cristalização que fica em torno de 32% de quartzito na amostra.

Gráfico 1 – Teores de quartzito e água de cristalização dos traços



Porém se analisarmos a quantidade de quartzito para um valor de 30%, o teor de água de cristalização fica acima do recomendado pela norma NBR 13207 (ABNT, 1994), como já citado anteriormente sendo entre 4,20% a 6,20%. Desta forma, se optarmos por um valor de 20% de quartzito, teremos cerca de 4,5% de água de cristalização na amostra, sendo um valor mais adequado.

Além da quantidade de quartzito, foi analisado também o teor de gesso utilizado comercialmente em placas de gesso, sendo este valor entre 70% a 90% (FISPQ

Knauf, 2016) da matriz. Para que fosse possível a incorporação da argila expandida e da fibra de vidro à matriz, foi tomado então como Traço Final a seguinte composição:

Gesso: 69,5%

Argila expandida: 10,0%

Quartzito: 20,0%

Fibra de Vidro: 0,5%

Desta forma, todos os ensaios e verificações que se seguirão, foram feitos baseados no Traço Final com o qual foram feitos os compósitos e comparados com o Traço I (100% de Gesso).

4. Resultados

4.1. Consistência Normal

O procedimento do ensaio de consistência normal utilizado foi descrito anteriormente no item 3.2.3 e os resultados obtidos estão explícitos na Tabela 5 e Tabela 6 abaixo:

Tabela 5 – Consistência Normal do Gesso

Gesso	Água (g)	Pó (g)	CN (-)
	150	352	0,43

Tabela 6 – Consistência Normal do Compósito

Compósito	Água (g)	Pó (g)	CN (-)
	150	400	0,38

A consistência normal de ambos os materiais resultaram em uma aproximação considerável, sendo a quantidade de material utilizado no compósito maior que a do gesso devido à menor quantidade de aglomerantes existentes no compósito. Após a definição da Consistência Normal, ilustradas pelas Figura 13 e Figura 14, foram utilizados os valores encontrados para os demais ensaios.



Figura 13 – Consistência Normal: Gesso

Fonte: acervo pessoal Rosana Mol



Figura 14 – Consistência Normal: Compósito

Fonte: acervo pessoal Rosana Mol

4.2. Tempo de pega

O procedimento do ensaio de consistência normal foi descrito anteriormente no item 3.2.4 e os resultados encontrados estão descritos na sequência:

Tabela 7 – Tempo de pega: Gesso

Gesso	Corpo de Prova	Início	Média Início	Fim	Média Fim
	I	5'10"	5'20"	8'10"	8'12"
	II	5'30"		8'14"	

Tabela 8 – Tempo de pega: Compósito

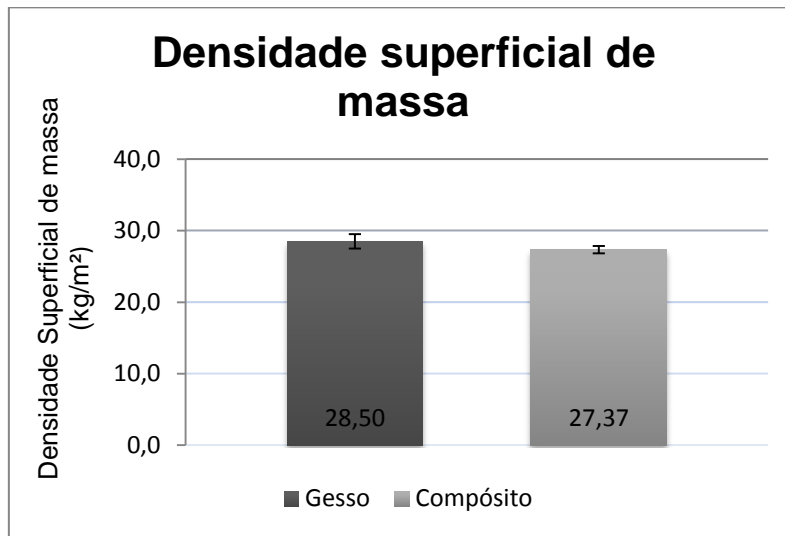
Compósito	Corpo de Prova	Início	Média Início	Fim	Média Fim
	I	6'00"	6'15"	9'45"	9'47"
	II	6'30"		9'49"	

O tempo de pega de ambos os materiais resultaram em uma aproximação considerável, sendo o tempo de compósito um pouco maior que a do gesso devido à menor quantidade de aglomerantes existentes no compósito.

4.3. Densidade superficial de massa

O procedimento para o ensaio de densidade superficial de massa foi descrito anteriormente no item 3.2.6 e a média dos resultados foi ilustrado pelo Gráfico 2:

Gráfico 2 – Resultados densidade superficial de massa



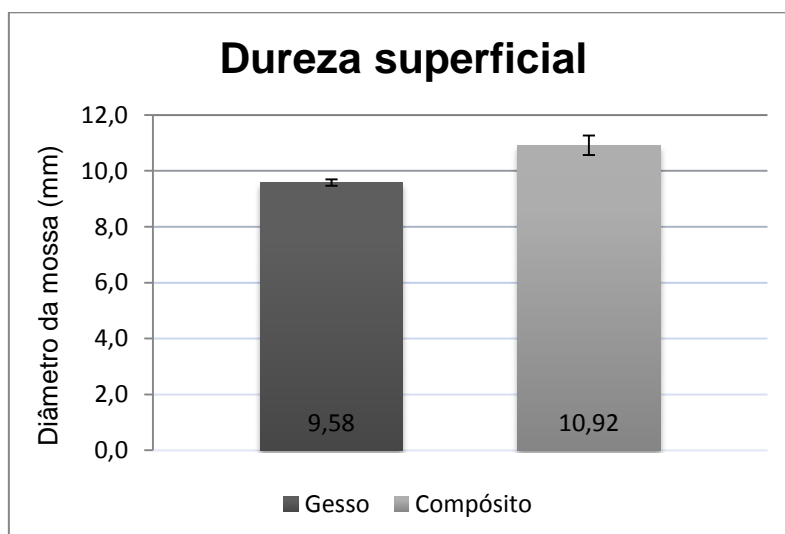
Os resultados obtidos mostram a densidade superficial do gesso maior que a densidade superficial do compósito, mesmo com a alta densidade do quartzito. Isso mostra que a incorporação da argila expandida à mistura para atribuir leveza ao compósito, acarretou em um resultado satisfatório.

4.4. Dureza superficial

Foram realizadas três quedas em cada corpo de prova, conforme descrito anteriormente no item 3.2.7 onde foram ensaiados dois corpos de prova para o gesso e dois corpos de prova para o compósito.

Os resultados expressos no gráfico a seguir consistem na média geral de cada um dos dois tipos de placas ensaiadas.

Gráfico 3 – Resultados - Dureza Superficial das placas



Ao analisar os resultados do ensaio, observa-se que a moossa causada pela queda nas placas do compósito foram maiores que as das placas de gesso, mas ainda assim ambas se encontram dentro do limite estabelecido pela norma e o corrigido para o presente trabalho (16,87mm).

Apesar do diâmetro médio da moossa causada nas placas de gesso terem sido menores, elas apresentaram degradação mecânica por ruptura, diferente das placas do compósito que permaneceram inteiras, conforme mostram a Figura 15 e a Figura 16.

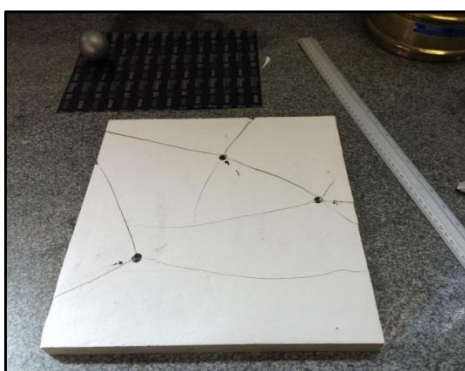


Figura 15 – Placa ensaiada: Gesso



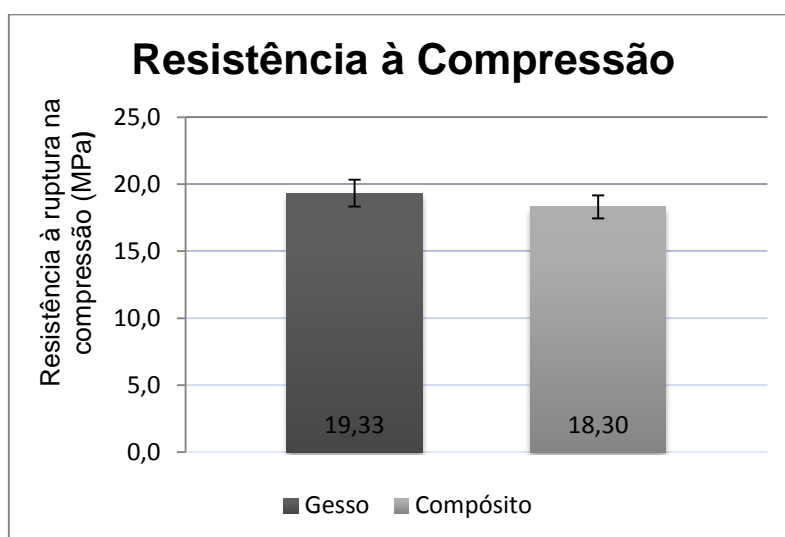
Figura 16 – Placa ensaiada: Compósito

A explicação para a diminuição da fragilidade da placa do compósito em relação à placa de gesso, possivelmente vem da contribuição na resistência causada pela presença do quartzito, da argila expandida e de fibra de vidro nas placas que foram incorporadas.

4.5. Resistência à Compressão

Para o ensaio de resistência à Compressão, foram utilizados os corpos de prova de dimensões 40x40x160mm. Os resultados obtidos foram expressos no Gráfico 4 abaixo:

Gráfico 4 - Resultados da Resistência à Compressão



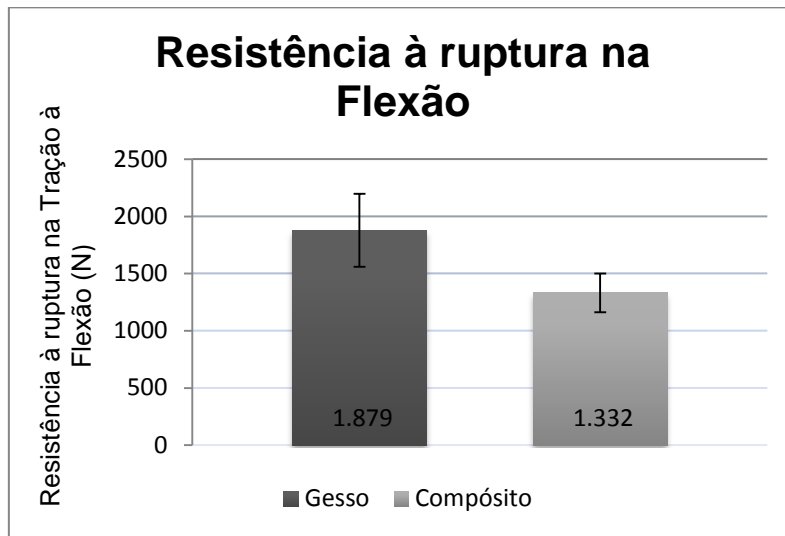
Apesar da adição dos materiais ao compósito, sua resistência à compressão se manteve próxima à resistência à compressão do gesso (aproximadamente 1MPa) e consideravelmente acima da resistência mínima exigida pela norma, que define o valor mínimo como maior de 8,4 MPa.

4.6. Resistência à ruptura na Flexão

Para a realização do ensaio, foram utilizados quatro corpos de prova de dimensões iguais a 300x300x20mm.

Para a realização dos ensaios, foram executados para cada tipo de placa, dois corpos de prova ensaiados com a face voltada para cima e dois corpos de prova com a face voltada para baixo. Ao analisarmos os resultados obtidos, foi possível perceber que em cada tipo de placa havia um resultado muito discrepante dos demais, sendo ele ignorado. Desta forma, os resultados obtidos foram expressos no Gráfico 5 a seguir:

Gráfico 5 - Resultados da Resistência à ruptura na Flexão



Ao analisar os resultados, é possível concluir que o compósito perdeu muita resistência se comparado ao gesso puro. Isto se deu provavelmente pela presença da argila expandida incorporada ao compósito, que na flexão por tração não se comportou suficientemente como um elo na estrutura da placa, causando a fissura. Foi possível notar também que apesar das placas do compósito terem menor resistência, o comportamento da fissura se diferiu das placas de gesso comum. As placas de gesso comum se fragmentaram, como mostra a Figura 17, enquanto as do compósito se mantiveram apenas trincadas no local da aplicação da força, como mostra a Figura 18.



Figura 17 - Placa de Gesso ensaiada

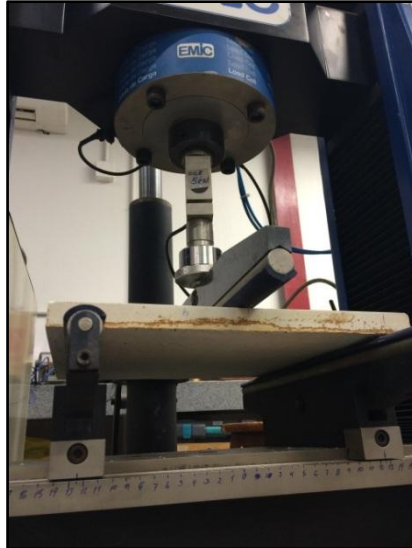


Figura 18 - Placa do Compósito ensaiada

Ao analisarmos as placas do Compósito ensaiadas, foi possível observar a presença da fibra de vidro ao longo da seção fissurada, comprovando que houve homogeneidade na pasta, conforme mostra a Figura 19.

Figura 19 – Seção do Compósito fissurada



Estima-se que a presença das fibras de vidro além de atribuir certa resistência ao compósito, tenham também sido as responsáveis pelo comportamento diferenciado das placas no ensaio de resistência à ruptura na flexão.

5. Conclusão

Ao término deste trabalho é possível mais uma verificação de que incorporação de rejeitos em matrizes a serem utilizadas no setor da construção civil, é possível. Atitudes como esta conseguem mitigar os impactos causados por outros setores em expansão e até o próprio setor da construção civil.

Ao analisarmos os resultados dos ensaios, podemos perceber que em termos de consistência normal e tempo de pega, obtivemos resultados bem parecidos. Fazendo a análise da densidade superficial de massa, verificamos que objetivo inicial da incorporação de argila expandida no compósito foi atingido, visto que o peso por metro quadrado das placas do compósito foram ainda menores que as placas de gesso puro, mesmo o quartzito sendo um componente de massa unitária mais elevada que o gesso. Em termos de dureza superficial, apesar da moosa causada pela esfera nas placas do compósito terem sido maiores, as placas de gesso se quebraram por completo, diferente das placas do compósito que permaneceram inteiras. Já na resistência à compressão e resistência à ruptura na flexão, obtivemos valores menores para o compósito em relação ao gesso puro. Estima-se que estes valores seriam ainda menores sem a presença das fibras de vidro, que têm grande resistência a esforços, e que provavelmente atribuíram um aumento dessa característica ao compósito.

Desta forma, conclui-se que o objetivo do presente trabalho foi atingido, visto que foi possível a produção das placas de gesso para revestimento com a incorporação de rejeitos, sem que houvesse perda das características necessárias do produto.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se que fossem feitos ensaios de resistência com dosagens diferentes, a fim de se obter parâmetros mais expressivos sobre a influência de cada componente do compósito na mistura, e baseado nos resultados propor um traço que beneficiasse mais este quesito.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13207 – Gesso para construção civil**, 1994.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12127 – Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas do pó**, 1991.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12128 – Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas da pasta**, 1991.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12129 - Gesso para construção - Determinação das propriedades mecânicas**, 1991.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12130 - Gesso para construção civil – Determinação da Água livre e de cristalização**, 1991.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14715 - Chapas de gesso acartonado – Requisitos**, 2001.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14717 – Chapas de gesso acartonado – Determinação das características físicas**, 2001.

AMN. Associação Mercosul de Normalização. **NM 52 - Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente**, 2002

BALTAR, C.A.M.; BASTOS, F.F.; BORGES, L.E.P. **Variedades mineralógicas e processos utilizados na produção dos diferentes tipos de gesso.**

Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Anais. Florianópolis, 2004.

COSTA, A. G., CAMPELLO, M. S., PIMENTA, V. B. **ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO DE MINAS GERAIS: PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL.** Geonomos 8 (1): 9 -13, 2000.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral 2015.** Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>>. Acessado em: 20 de Out. de 2016.

FISPQ – FICHA DE INFORMAÇÃO E SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS. NOME DO PRODUTO: CHAPAS DE GESSO PARA DRYWALL. Disponível em: <http://www.knauf.com.br/sites/default/files/Ficha%20de%20Seguran%C3%A7a%20de%20Produtos_chapas_15.03.2016rev.03_1.pdf>. Acessado em: 04 de Mar. De 2017.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2000.

MATHEUS, Marco Antônio. **FIBERGLASS APRENDA FIBRA DE VIDRO**. Editora: não consta. 2010.

MORAVIA, W. G.; OLIVEIRA, A. G.; GUMIERI, A. G., VASCONCELOS, W. L. **Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve**. Cerâmica 52, p. 193-199, 2006.

OKADA, E. M.; CHILIBI, P. A.; BASTOS, L. A. C.; ELIANE R. F.; FONTES, W. C.; PEIXOTO, R. A. F. **Produção de argamassa aditivada com resíduo de fibra de vidro pós-processada**. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Argamassa, 2013.

RAMIRIO, R. F.; PAMPLONA, D. R. P.; JUNIOR, I. F. e COLLARES E. G. **Estudo comparativo de rejeitos de quartzito com outros agregados comercialmente utilizados como materiais de construção no Sudoeste de Minas Gerais**. Ciência et Praxis v. 1, 2008.

SILVA, A. P., ALMEIDA P. C. **Tecnologia Drywall: principais características e localização no cenário brasileiro**. XIV Jornada Científica das Faculdades Integradas de Cacoal – UNESC, 2006.

SILVA, C. E. **Comparação de painéis evaporativos de argila expandida e celulose para sistema de resfriamento adiabático do ar em galpões avícolas com pressão negativa em modo túnel**. Tese – Universidade Federal de Viçosa, 2002.

