

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ALEXANDRE ERBS

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO
GESSO RECICLADO PROVENIENTE DAS CHAPAS DE GESSO
ACARTONADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2015

ALEXANDRE ERBS

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO
GESSO RECICLADO PROVENIENTE DAS CHAPAS DE GESSO
ACARTONADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia de Produção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Curitiba, sede Ecoville, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Produção Civil.

Orientador: Prof. Dr. André Nagalli

CURITIBA

2015

FOLHA DE APROVAÇÃO

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO GESSO RECICLADO PROVENIENTE DAS CHAPAS DE GESSO ACARTONADO

Por

ALEXANDRE ERBS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 24 de fevereiro de 2015, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – André Nagalli, Dr.
UTFPR

Prof. Karina Querne de Carvalho Passig, Dr.
UTFPR

Prof. Ronaldo Luis S. Izzo, Dr.
UTFPR

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem seu poder supremo jamais poderia estar sequer presente neste universo de maravilhas e mistérios a serem explorados. Obrigado pelo dom da vida e por tudo mais que tem colocado em minha vida na medida ideal, pois só o Senhor pode compreender a real necessidade de cada ser.

À minha esposa, Márcia de Moraes e à minha filha Rafaela, pois serão sempre meu porto seguro, as duas pessoas que estiveram comigo por toda esta jornada, sempre me incentivando e me dando força para ir mais longe a cada dia, se cheguei até aqui, tenham certeza que foi graças ao o amor e a atenção que vocês me deram todos os dias.

Aos meus pais, Oscar e Evarilda Pecharke Erbs, que infelizmente não puderam avançar muito em seus estudos devido à frágil situação financeira, mas puderam inserir um conceito fundamental em minha mente, onde o estudo é a base do sucesso.

A Maurício Leite, Elias e Adiel da Silveira, que ajudaram diretamente na preparação do material e todo o restante da equipe da Wall Center Casa Gesso, que de uma forma ou outra contribuíram não só para este trabalho de conclusão de curso, mas como para a realização desta graduação.

Ao senhor Astolpho Macedo, pois além de dar oportunidade a um jovem adentrar neste "mundo do gesso", também inseriu dois conceitos muito fortes em minha personalidade: o caráter e o bom senso.

Ao meu orientador, André Nagalli, por ter me dado não só a direção correta, mas também por estar sempre presente nos dias e horários mais inesperados. Por ter acreditado no tema sugerido e abrir portas onde jamais imaginei chegar.

A todos os amigos e colegas onde inúmeras vezes que de uma maneira ou outra deram forças para continuar a jornada e puderam tornar os dias mais agradáveis.

Você pode ter todo o dinheiro do mundo,
mas há algo que jamais poderá comprar: um dinossauro!

SIMPSON, Homer

RESUMO

ERBS, Alexandre. Determinação das propriedades físicas e mecânicas do gesso reciclado proveniente das chapas de gesso acartonado. 2015. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

A busca pela viabilidade técnica e econômica da reciclagem de resíduos na cadeia produtiva da construção civil vem atender às novas necessidades do setor de promover crescimento econômico integrado às necessidades sociais e ambientais. O crescente aumento do consumo das chapas de gesso acartonado carrega consigo o problema da geração dos resíduos de gesso, onde a falta de pesquisa e o descarte incorreto acaba destinando o resíduo gerado, na maioria das vezes, para aterros ou bota-foras irregulares, sem controle ou estimativa de volume. O presente trabalho por meio da adoção de um processo de reciclagem, composto das etapas de moagem e calcinação do resíduo das chapas de gesso acartonado, determinou as propriedades físicas e mecânicas do gesso reciclado proveniente das chapas de gesso acartonado. A análise dos resultados mostrou a viabilidade da reciclagem, pois após a reidratação foi possível moldar corpos de prova. Após estudos mais específicos é possível afirmar que certa percentagem pode ser reincorporada como matéria prima no processo de produção de chapas de gesso acartonado, placas ou molduras de gesso, demonstrando que é possível reciclar um produto que hoje é descartado.

Palavras-chave: Reciclagem. Gesso. Chapa. Acartonado.

ABSTRACT

ERBS, Alexandre. Determination of physical and mechanical properties of recycled gypsum from the plasterboard sheets. 2015. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Federal Technology University - Paraná. Curitiba, 2015.

The search for technical and economic feasibility of waste recycling in the production chain of construction, come meet the changing industry needs to promote an integrated economic growth to social and environmental needs. The increasing consumption of plasterboard sheets carries with it the problem of the generation of gypsum waste, where the lack of research and incorrect disposal just allocating the waste generated, in most cases, to landfills, or irregular dumps without control or estimate of volume. This work through the adoption of a recycling process, comprising the steps of grinding and calcining the residue of plasterboard sheets, determined the physical and mechanical properties of recycled gypsum from the drywall sheets. The results showed the feasibility of recycling, because after rehydration was possible to mold solid specimens using only the gypsum waste. After more specific studies it is clear that certain percentage can be reincorporated as a raw material in the production process of plasterboard sheets, plasterboard or plaster moldings, demonstrating that it is possible to recycle a product that today is merely discarded in the environment.

Keywords: Recycling. Plaster. Plasterboard sheets. Gypsum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Histórico de consumo de chapas <i>drywall</i> no Brasil	18
Figura 2 - Consumo mundial por m ² por habitante / ano	19
Figura 3 - Unidade de reciclagem de chapas de gesso acartonado móvel	21
Figura 4 - Polvilhamento do pó de gesso	26
Figura 5 - Filetes de chapas de gesso coletadas de obras da região de Curitiba	32
Figura 6 - Separação manual da massa de gesso do cartão	33
Figura 7 - Material resultante após a primeira passagem no cilindro manual	34
Figura 8 – Papel descartado após a segunda passagem no cilindro manual ...	34
Figura 9 - Cilindro manual adaptado com motor	35
Figura 10 - Segundo tritramento eletro-mecânico para redução do tamanho das partículas	36
Figura 11 - Armazenamento do material resultante após segunda passagem no cilindro eletro-mecânico	36
Figura 12 - Gesso calcinado repousando para diminuição da temperatura	37
Figura 13 - Gesso calcinado a 160 °C por 1 hora, aguardando ensaio futuros ..	37
Figura 14 - Agitador de peneiras eletromagnético	38
Figura 15 - Recipiente para ensaio da massa unitária	40
Figura 16 - Pasta homogênea de gesso calcinado a 200 °C por 4 h	41
Figura 17 - Instantes após o início de pega, agulha estacionada a 3 mm	42
Figura 18 - Fim de pega do gesso calcinado a 160 °C por 24 h	43
Figura 19 - Molde padronizado pela NBR dimensões 4 x 4 x 16 cm untado com cera	44
Figura 20 - Corpos de prova moldados com gesso reciclado	45
Figura 21 - Corpos de prova armazenados e identificados aguardando data para ensaio	45
Figura 22 - Ensaio de tração na flexão realizado no corpo de prova prismático 200 °C - 24 h	46
Figura 23 - Ensaio de compressão, corpo de prova 160 °C - 4 h sendo comprimido entre 02 placas metálicas	48
Figura 24 - Ensaio de dureza superficial	49
Figura 25 - Marca da esfera de aço do ensaio de dureza superficial sobre os corpos de prova	50
Figura 26 – Curva granulométrica dos gessos reciclados	51
Figura 27 – tempos de início e fim de pega dos gessos reciclados	54
Figura 28 - Amostra de gesso calcinado a 160 °C por 8 h não apresentou início e fim de pega em 72 h	55
Figura 29 - Amostra de gesso calcinado a 200 °C por 8 h não apresentou início e fim de pega em 72 h	56
Figura 30 - Amostras de gesso calcinado de 3 e 7 dias para ensaio de tração a flexão	57
Figura 31 – Resistência à tração na flexão	58
Figura 32 - Amostras de gesso calcinado a 180 °C por 4 h apresentando não homogeneidade	59
Figura 33 – Resistência a compressão dos gessos reciclados	60
Figura 34 – Resistência à dureza superficial dos gessos reciclados	61
Figura 35 - Amostra de gesso calcinado a 180 °C por 4 h apresentando não homogeneidade	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição química das chapas de gesso acartonado	18
Quadro 2 – Temperatura relacionada com tempo de permanência em estufa ..	23
Quadro 3 – Módulo de finura normatizado pela NBR 12127	24
Quadro 4 – Módulo de finura do gesso reciclado	24
Quadro 5 – Massa unitária do gesso comum e do gesso reciclado	25
Quadro 6 – Tempo de pega normatizado pela NBR 12127	28
Quadro 7 – Resistência a compressão em ensaios com gesso comercial e reciclado	30
Quadro 8 – Dureza observada em ensaios com gesso reciclado	31
Quadro 9 – Módulo de finura dos gessos reciclados a 160°C, 180°C e 200°C ..	52
Quadro 10 – Valores aferidos do recipiente para determinação da massa unitária	52
Quadro 11 – Determinação da massa unitária dos gessos reciclados de 160 °C, 180 °C e 200 °C	52
Quadro 12 – Tempo de início e fim de pega dos gessos reciclados de 160 °C, 180 °C e 200 °C.....	54
Quadro 13 – Valores de resistência a tração na flexão	58
Quadro 14 – Valores de resistência a compressão	60
Quadro 15 – Dureza superficial dos gessos reciclados	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ABRAGESSO	Associação Brasileira dos Fabricantes de Blocos e Chapas de Gesso;
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente;
EUA	Estados Unidos da América;
NBR	Norma Brasileira;
NWGR	<i>New West Gypsum Recycling</i>
PRS	Portal Resíduos Sólidos

LISTA DE SÍMBOLOS

- R - material retido em percentagem;
- m - resíduo na peneira em gramas;
- Mi - massa inicial em gramas;
- MF - módulo de finura;
- $\sum Ra$ - somatório do percentual retido acumulado em cada peneira da série padrão;
- M_u - massa unitária;
- M - massa do gesso em gramas;
- V - volume do recipiente;
- f_{ctM} - resistência à tração na flexão;
- P - carga máxima aplicada;
- l - distância entre os cutelos de suporte;
- b - largura média do corpo de prova na seção de ruptura;
- d² - altura média do corpo de prova na seção de ruptura;
- R - resistência à compressão;
- P - carga que produziu a ruptura do corpo de prova;
- S - área de seção transversal de aplicação da carga;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVO GERAL	15
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2.2 JUSTIFICATIVA	16
3. REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1 CHAPAS DE GESSO ACARTONADO	17
3.1.1 Composição das chapas de gesso acartonado	17
3.1.2 Mercado do <i>drywall</i>	18
3.1.3 Perdas na construção com gesso acartonado	20
3.1.4 Reciclagem do resíduo de gesso acartonado	20
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO GESSO	22
3.2.1 Propriedades físicas do pó	22
3.2.1.1 Temperatura e tempo de calcinação do resíduo de gesso moído	22
3.2.1.2 Granulometria	23
3.2.1.3 Módulo de finura	24
3.2.1.4 Massa unitária	25
3.2.2 Propriedades no Estado Fresco	25
3.2.2.1 Preparação da argamassa de gesso	26
3.2.2.2 Relação água / gesso	26
3.2.2.3 Tempo de pega	27
3.2.3 Propriedades da pasta no estado endurecido	28
3.2.3.1 Resistência à tração na flexão	29
3.2.3.2 Resistência à compressão	29
3.2.3.3 Dureza superficial	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 Preparação da amostra	32
4.2 Trituramento Manual	33
4.3 Trituramento eletro-mecânico	35
4.4 Calcinação do resíduo de gesso	37
4.5 Granulometria	38
4.6 Módulo de Finura	39
4.7 Massa unitária	40
4.8 Preparação da pasta	41
4.9 Tempos de Início e Fim de Pega	41
4.10 Moldagem dos corpos de prova	44
4.11 Resistência à tração na flexão	46
4.12 Resistência à Compressão	48
4.13 Dureza	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 Propriedades físicas do pó	51
4.1.1 Granulometria	51
4.1.2 Módulo de Finura	52
4.1.3 Massa Unitária	52
5.2 Propriedade no estado fresco	54
5.2.1 Tempo de pega	54
5.3 Propriedades da pasta no estado endurecido	57
5.3.1 Resistência à tração na flexão	57

5.3.2 Resistência à compressão	60
5.3.3 Dureza Superficial	61
6. CONCLUSÕES.....	64
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65
REFERÊNCIAS	66
9. ANEXOS	69
9.1 Granulometria.....	69
9.2 Módulo de Finura	73
9.3 Massa Unitária.....	73
9.4 Início e fim de pega	74
9.5 Tração na flexão	75
9.6 Compressão	81
9.7 Dureza Superficial	87

1. INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento utilizado até o momento tem como base a exploração dos recursos naturais para fabricação dos mais diversos tipos de produtos. Porém, é ilusório imaginar que os recursos naturais são eternos, pois o ser humano habita um sistema finito chamado planeta Terra. Inúmeros são os recursos onde cada vez mais é necessário despender energia para extração ou exploração destes insumos.

Outro viés que merece análise é o desperdício de materiais nas construções, onde o problema é, não só a geração de resíduos sólidos, mas também a não reutilização dos mesmos.

Diante deste panorama a palavra sustentabilidade deixou de ser utilizada apenas por ambientalistas e se transformou em um tema essencial, evoluindo a um patamar que se tornou uma necessidade, não só de grandes grupos empresariais como também do indivíduo em sua singularidade.

Como forma de amenizar este problema de desperdício de matéria-prima, utiliza-se o processo da reciclagem, que visa não só a redução dos resíduos já existentes como também a diminuição do uso de recursos naturais para fabricação de novos produtos.

A reciclagem de produtos monofásicos é uma realidade entre a população, como o reaproveitamento de metais, plásticos, papéis e vidros. Insumos como gesso ainda demandam estudos para melhor aproveitamento de suas características. Produtos compostos, isto é, que resultam da associação de vários tipos de materiais, necessitam de linhas de estudo ainda mais abrangentes, seja separação das matérias-primas ou análise do reuso, como por exemplo, podem ser citadas as chapas de gesso acartonado, também conhecidas como chapas de *drywall*.

A reciclagem do resíduo de gesso demanda metodologia adequada para obtenção da matéria prima e desenvolvimento de pesquisas que avaliem o material resultante de sua reciclagem, para que este possa ser corretamente utilizado.

Este trabalho, cujos objetivos serão dispostos a seguir, procura colaborar para isso.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo do trabalho é investigar as propriedades físicas e mecânicas da argamassa de gesso reciclado, oriundas das placas de gesso acartonado, observando as propriedades no estado fresco e endurecido, utilizando resíduos gerados na execução de paredes e forros de gesso acartonado.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do estudo, necessários para alcançar o objetivo geral são:

- Simular o processo de reciclagem do gesso constituído das etapas de moagem e calcinação do resíduo de gesso das chapas de gesso acartonado;
- Avaliar a diferença entre os produtos calcinados em diferentes temperaturas e em diferentes tempos de permanência em estufa;
- Determinar a massa unitária, granulometria e módulo de finura do pó proveniente da reciclagem do resíduo de gesso;
- Estudar o tempo de início e fim de pega em argamassas de gesso acartonado reciclado;
- Avaliar as propriedades mecânicas de resistência à compressão, resistência à flexão na tração e dureza superficial de corpos de prova moldados com gesso acartonado reciclado.

2.2 JUSTIFICATIVA

O estudo foi realizado com o intuito de se tornar parte dos fundamentos básicos para conhecimento das propriedades do material reciclado, tendo em vista que a avaliação das propriedades, físicas e mecânicas do gesso reciclado permite o desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas à produção de futuros componentes no mercado da construção.

A viabilidade de utilização do gesso reciclado em diferentes mercados pode incentivar a instalação de usinas de reciclagem específicas. Já a simulação em laboratório com equipamentos de moagem e calcinação do resíduo, pode vir a incentivar empresas do ramo a procurarem soluções não só para destinação do resíduo como para sua reciclagem.

Apontar alternativas para o descarte dos resíduos de gesso, seja ele proveniente da indústria, de novas ou antigas construções, evitando assim o acúmulo em aterros e também prolongar o ciclo de exploração das jazidas fornecedoras de insumos para fabricação do gesso.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são abordados a partir da literatura estudada os diversos assuntos onde o tema principal do trabalho está inserido. Nele são vistos algumas tecnologias de reciclagem das chapas de gesso acartonado assim como as características físicas e mecânicas do gesso.

3.1 CHAPAS DE GESSO ACARTONADO

Gesso acartonado ou *drywall* é o sistema para construção de paredes e forros mais utilizado na Europa e nos Estados Unidos. Na parte externa a parede é similar a alvenaria. Porém, internamente combina estruturas de aço galvanizado com chapas de gesso de alta resistência mecânica e acústica, produzidas com rigoroso padrão de qualidade (SINIAT, 2012).

Segundo dados da Placo do Brasil (2013), o *drywall* é um sistema para forro ou parede constituído por placas de gesso pré-fabricadas, parafusadas em uma estrutura metálica leve de aço galvanizado, sobre as quais são fixadas as placas de gesso, em uma ou mais camadas, gerando uma superfície apta a receber o acabamento final (PLACO DO BRASIL, 2013).

3.1.1 Composição das chapas de gesso acartonado

A composição típica do gesso acartonado é complexa. A parcela predominante é de gesso natural hidratado (gipsita), papel, fibras de vidro, vermiculita, argilas, amido, potassa cáustica (KOH), agentes espumantes e dispersantes (CINCOTTO; e JOHN, 2007).

Cincotto; e John (2007) apresentam a composição química das chapas de gesso acartonado, mostrada no Quadro 1.

Caracterização Química	Quantidade (%)	Caracterização Química	Quantidade ppm
Material seco	96,19	Sódio	161,2
Cinzas	82,89	Manganês	114,4
Nitrogênio	0,15	Fósforo	85,5
Enxofre	17,6	Boro	48,1
Cálcio	23,0	Zinco	40,2
Magnésio	7,4	Cromo	21,7
Potássio	0,1	Cobre	10,3
		Chumbo	3,6
		Mercúrio	1,2

Quadro 1 - Composição química das chapas de gesso acartonado.
Fonte: Cincotto; e John (2007).

3.1.2 Mercado do *drywall*

De acordo com dados da Associação Brasileira do *Drywall* (2013) houve consumo de cerca de 44 milhões de m² de chapas de gesso no Brasil, frente a 39 milhões de m² em 2012, (Figura 1).

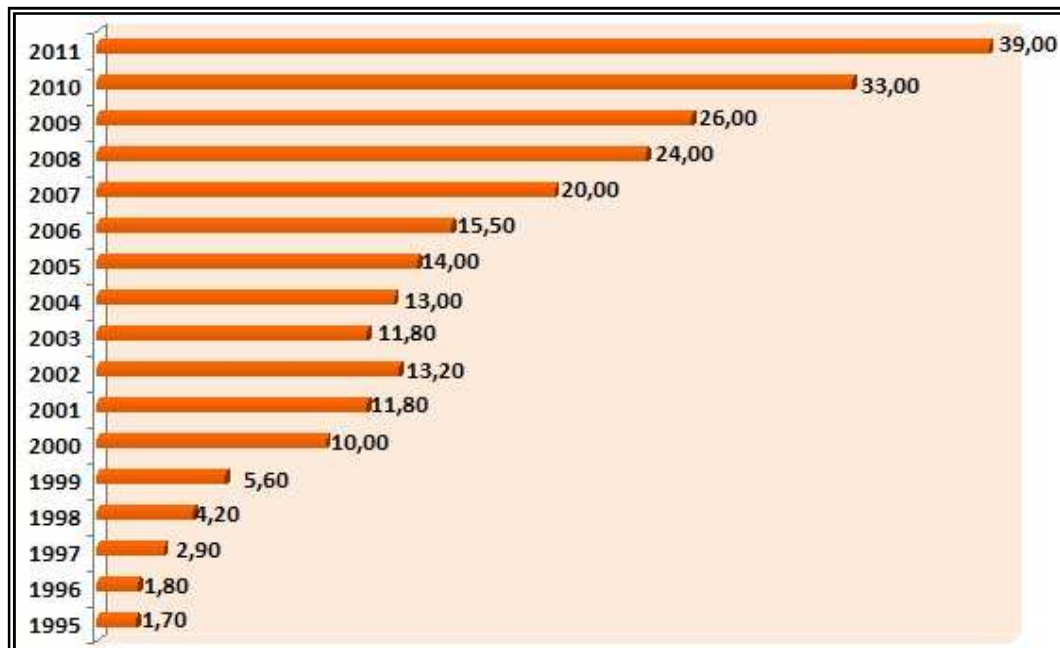


Figura 1 - Histórico de consumo de chapas *drywall* no Brasil (em milhões)
Fonte: Associação Brasileira do *Drywall* (2013)

De acordo com a Associação Brasileira do *Drywall* (2013), há grande mercado a ser explorado, se comparado ao consumo americano, Figura 2.

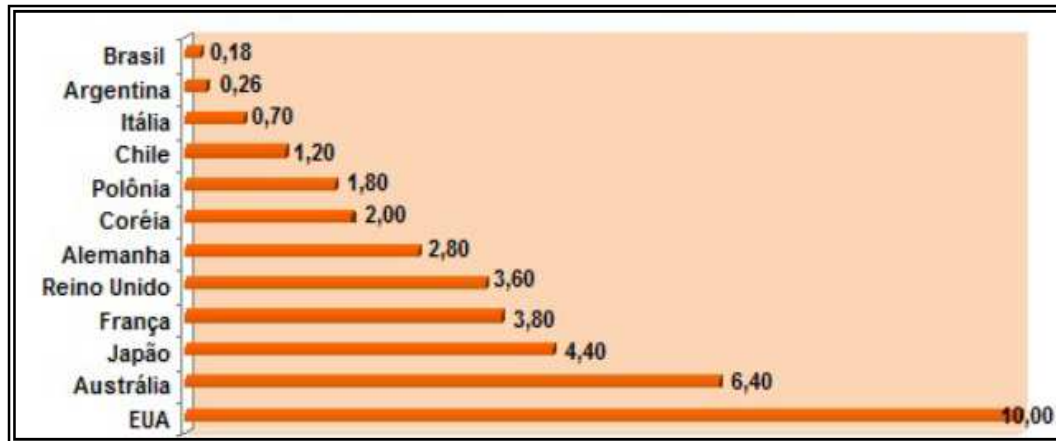


Figura 2 - Consumo mundial por m² por habitante / ano
Fonte: Associação Brasileira do *Drywall* (2013)

Segundo a Placo do Brasil (2013) as regiões Sudeste e Sul dominam o mercado de *drywall*, respondendo por mais de 80% do consumo nacional, ficando o restante distribuído entre as regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte. O estado de São Paulo lidera esse segmento com 44% do consumo, seguido dos outros estados do Sudeste com 21% do consumo e a região Sul com 16% do consumo nacional. As regiões Centro-Oeste, Nordeste e Norte, com participações de 11%, 6% e 2 %, respectivamente.

Através de processos industrializados tem-se observado a elevação do nível de qualidade e de produtividade nas obras. O *drywall* tem destaque particular não só na rapidez de execução da sua montagem, o que favorece muito o cronograma físico-financeiro das obras, mas também nas vantagens que oferece no que diz respeito ao isolamento térmico e acústico (SINIAT, 2012).

Tem-se a favor do *drywall* também a sua baixa geração de resíduos na obra, com aproximadamente 5% de perdas, além de ser um sistema totalmente reciclável (SINIAT, 2012).

Bauer (2012) expõe que em 2010 foram fabricados 26,8 bilhões de m² de gesso acartonado pela rede de fabricantes americana.

3.1.3 Perdas na construção com gesso acartonado

Cincotto; e John (2007) *apud* Campbell (2002) apontam as perdas na construção do *drywall*, que se apresentam elevadas devido às atividades de corte da chapa. Estima-se que entre 10 a 12 % do gesso acartonado é transformado em resíduos durante a instalação das chapas de *drywall* nos EUA. No Brasil a estimativa de descarte é de 5% (SINIAT, 2012).

3.1.4 Reciclagem do resíduo de gesso acartonado

Cincotto; e John (2007) *apud* Campbell (2003); Marvin (2000); Hummel (1997) relatam que é possível reciclar gesso acartonado, produzindo aglomerantes, desde que sejam removidos contaminantes incorporados no processo de geração de resíduos.

De acordo com dados da Associação Brasileira do *Drywall* (2013) quando o gesso é segregado dos demais resíduos da construção civil, é viável a reinserção do material nos seus processos de fabricação, já que o gesso volta a possuir as características químicas da sua matéria prima, a gipsita. Entretanto, os resíduos devem estar completamente livres de quaisquer outras impurezas para que sua reutilização seja possível.

A reciclagem do gesso acartonado pode ser dividida em duas partes. Em primeiro lugar, o revestimento de papel é removido do núcleo de gesso. Em segundo lugar, o núcleo de gesso é triturado através de um picador mecânico até que o material apresente a granulometria desejada (BAUER, 2012).

Cincotto; e John (2007) *apud* Campbell (2003) relata que uma das primeiras empresas que utilizou gesso acartonado reciclado em sua produção é a BPB do Canadá, que afirma utilizar até 22% de gesso reciclado sem qualquer prejuízo no desempenho. A Knauf possui central de reciclagem em Iphofen na Alemanha, com capacidade de 20 ton/h (CINCOTTO; e JOHN, 2007 *apud* HUMMEL, 1997). A empresa dinamarquesa *Gipsrecycling* também opera neste mercado e desenvolveu containers especiais onde o resíduo fica protegido da chuva (MARVIN, 2000).

Cavalcanti, (2006) cita a empresa canadense *New West Gypsum Recycling*, que desde 1986 recicla placas de gesso acartonado. Esse processo foi desenvolvido

na Dinamarca e desde 2001 é amplamente utilizado no país (PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS, 2011).

Alguns países da Escandinávia obtiveram taxa recorde mundial de até 80% de reciclagem de chapas *drywall*, tanto para construção novas ou resíduos de demolição (NEW WEST GYPSUM RECYCLING, 2001).

A unidade de reciclagem é móvel e compacta, Figura 3. Várias instalações de processamento de pequeno porte situadas perto do local de geração ou o usuário final podem assim ser atendidos pela mesma unidade de reciclagem (NWGR, 2001).

A unidade de reciclagem remove eficazmente todos os tipos de contaminantes, como pregos, parafusos e outras impurezas, para então produzir gesso reciclado que será incorporado nas chapas *drywall* com qualidade, tornando possível aos fabricantes de placas de gesso acartonado substituírem cerca de 30 % da matéria prima pelo material reciclado (NWGR, 2001).



Figura 3 - Unidade de reciclagem de chapas de gesso acartonado móvel
Fonte: NWGR (2001).

3.2 CARACATERIZAÇÃO DO GESSO

3.2.1 Propriedades físicas do pó

3.2.1.1 Temperatura e tempo de calcinação do resíduo de gesso moído

A recuperação da capacidade aglomerante do gesso ocorre através do processo de calcinação. Através da calcinação, o resíduo de gesso que se apresenta como di-hidrato de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é convertido em gesso reciclado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O} + 0,5\text{H}_2\text{O}$). A calcinação é feita submetendo-se o resíduo de gesso a queima com temperaturas controladas (SAVI, 2012).

A temperatura teórica para que a reação de desidratação ocorra é de 106°C , porém a velocidade da reação será razoável, considerando a produção industrial, indica temperaturas superiores na faixa de 145 a 170°C (RIBEIRO, 2006).

Os resíduos de gesso aquecidos a 150°C durante 30 minutos readquirem as propriedades do gesso comercial, especialmente o tempo de pega (HERMES, 2011).

Fiano; e Pimentel (2009) destacam que o gesso reciclado calcinado a 180°C por 24 h atende as especificações de gesso fino para fundição.

Bardella (2011) obteve tempo de início e fim de pega satisfatório para temperatura de calcinação de 200°C por 24 h, encontrando partículas de menores dimensões, apresentando granulometria mais próxima a do gesso comercial.

Savi (2012) *apud* Gregg; e Willing (1951) realizaram experimentos de reciclagem do gesso, observando que as maiores resistências foram obtidas com calcinação do gesso a temperaturas de 180°C a 190°C .

Estudos realizados por Lima; e Camarini (2011), com calcinação do gesso a temperatura de 120°C , 150°C , e 200°C , com tempos de permanência em estufa por períodos de 1, 5, 8, 16 e 24 h, demonstram que a calcinação a temperatura de 150°C e 200°C , com períodos de permanência de uma hora, apresentam bons resultados, equiparando-se aos parâmetros do gesso comercial.

Harada; e Pimentel (2009) obtiveram bons resultados na reciclagem de gesso de fundição, calcinando-o a temperatura de 160 °C com tempo de queima de 24 h. No Quadro 2 são apresentas resumidamente as temperaturas, tempo de permanência na estufa, fator água/gesso e tempos de início e fim de pega.

Fonte	Calcinação	
	Temperatura (°C)	Tempo (h)
Ribeiro (2006)	145 °C a 170 °C	-
Harada; e Pimentel (2009)	160 °C	½ h
Fiano; e Pimentel (2009)	180 °C	24 h
Hermes (2011)	150 °C	½ h
Bardella (2011)	200 °C	24 h
Lima; e Camarini (2011)	120 °C 150 °C 180 °C	1, 5, 8, 16 e 24 h
Savi (2012)	180 °C 190 °C	-

**Quadro 2 – Temperatura relacionada com tempo de permanência em estufa.
Fonte: Autoria própria (2014).**

3.2.1.2 Granulometria

A granulometria de um material representa a distribuição dos tamanhos de seus grãos, sendo um indicador da plasticidade da pasta e da lisura na superfície de acabamento (BARDELLA, 2011 *apud* CINCOTTO; e JOHN, 2007).

A NBR 12.127 (ASSOCIAÇÃO..., 1991a) descreve o procedimento para execução do ensaio de granulometria, utilizando peneiramento mecânico sequencial, em peneiras normatizadas com aberturas das malhas de 0,840 mm, 0,420 mm, 0,210 mm e 0,105 mm. Segundo Bardella (2011), os gessos comerciais apresentam granulometria menor que os gessos reciclados, logo a taxa de hidratação aumenta com a diminuição do tamanho das partículas, pois há aumento na área específica do material.

3.2.1.3 Módulo de finura

De acordo com a NBR 12.127 (ASSOCIAÇÃO..., 1991a), a determinação do módulo de finura, um indicador da distribuição dos tamanhos dos grãos, representa a soma das porcentagens retidas nas peneiras de série normal, acumuladas em massa, dividida por 100.

As peneiras de série normal, fazem parte de um conjunto que possuem as aberturas das malhas, 0,840 mm, 0,420 mm, 0,210 mm e 0,105 mm, a classificação é atribuída conforme valores descritos no Quadro 3.

O valor do módulo de finura quantifica se o agregado é mais grosso ou mais fino, e guarda a relação de proporcionalidade. Assim, quanto maior o módulo de finura, mais grosso é o material (SAVI, 2012).

Classificação do gesso	Módulo de finura
Gesso fino para revestimento	< 1,10
Gesso grosso para revestimento	> 1,10
Gesso fino para fundição	< 1,10
Gesso grosso para fundição	> 1,10

Quadro 3 – Módulo de finura normatizado pela NBR 12127 (ASSOCIAÇÃO..., 1991a)
 Fonte: Adaptado de NBR 12127 (1991).

Bardella (2011) realizou ensaios e tabelou o módulo de finura dos gessos comerciais e gessos reciclados a 150 °C, 180 °C, 200 °C conforme mostrado no Quadro 4.

Gesso	Temperatura (°C)	Módulo de finura
Gesso comercial		0,26
Gesso Reciclado 1	150 ° C	1,31
Gesso Reciclado 2	180 ° C	1,17
Gesso Reciclado 3	200 ° C	0,92

Quadro 4 – Módulo de finura do gesso reciclado
 Fonte: Adaptado de Bardella (2011).

3.2.1.4 Massa unitária

A massa unitária é definida pela NBR 12.127 (ASSOCIAÇÃO..., 1991a) como relação entre a massa não compactada do material e o volume, verificada por meio dos procedimentos e equipamentos definidos nesta norma.

A massa unitária é definida por Savi (2012 *apud* CARNEIRO *et al.*, 1997) como a quantidade de massa possível de ser acomodada em recipiente de volume unitário, segundo condições padronizadas de adensamento e que pode representar ao mesmo tempo a distribuição granulométrica, formas dos grãos e capacidade de empacotamento.

Para massa unitária, o limite mínimo determinado pela NBR 13207 (ASSOCIAÇÃO..., 1994) é de 700 kg/m³. No entanto, a massa unitária do gesso reciclado é inferior à massa unitária do gesso comercial (PINHEIRO, 2011).

Savi (2012) destaca uma grande variabilidade nos valores, tanto para o gesso comercial, quanto para o reciclado, os resultados estão apresentados no Quadro 5.

Tipo	Temperatura (° C)	Massa Unitária (kg/m³)
Gesso comercial 1		646,18
Gesso comercial 2		630,00
Gesso comercial 3		655,00
Gesso Reciclado 1	150 °C	614,86
Gesso Reciclado 2	180 °C	549,57
Gesso Reciclado 3	200 °C	531,40

Quadro 5 – Massa unitária do gesso comum e do gesso reciclado
Fonte: Adaptado de Savi (2012).

3.2.2 Propriedades no Estado Fresco

Durante a hidratação da pasta de gesso são, geralmente, observadas características de trabalhabilidade, tempo de pega e variação dimensional das pastas (PINHEIRO, 2011).

3.2.2.1 Preparação da argamassa de gesso

Segundo Hermes (2011) *apud* Ribeiro (2006), a pasta de gesso deve ser preparada em quantidades suficiente para ser aplicada antes do início da pega. Pois, a pasta estando em estado de endurecimento não se tornará novamente utilizável com adição de água.

Para preparar o gesso é necessário utilizar água e recipientes limpos, colocar primeiro a água no recipiente e só depois juntar o gesso misturando lentamente. Essa mistura deverá ser feita polvilhando o gesso sobre a água, conforme pode ser observado na Figura 4 (RIBEIRO, 2006).

A quantidade de pó utilizada é a necessária para que praticamente toda quantidade de água da superfície seja absorvida pelo pó. Seguindo um período de descanso em torno de 2 min., para a dissolução do hemidrato. Após esta etapa foi feita mistura da pasta por mais 1 min., atingindo consistência mínima (PRS, 2011 *apud* ANTUNES *et al.* 1999; Pinheiro, 2011; CAVALCANTI, 2006).



Figura 4 - Polvilhamento do pó de gesso
Fonte: Ribeiro *apud* Chaverria (2004).

3.2.2.2 Relação água / gesso

A relação água/gesso é a proporcionalidade da água que fornece trabalhabilidade necessária a seu manuseio. Em geral, quanto menor a relação água/gesso, mais rápida é a pega do material (PINHEIRO, 2011).

A quantidade de água, necessária para que a pasta de gesso adquira consistência adequada à sua utilização, depende da superfície específica, da finura, da forma e da distribuição dos grãos de gesso. Quanto maior a superfície específica, maior a área de reação, mais rápida a dissolução e menor o período de indução do material conseqüentemente, mais rápido o início de pega do material (PINHEIRO, 2011).

Bardella (2011) *apud* HINCAPIE et al. (1996) relata que o aumento da relação água/gesso altera a distribuição dos poros, ou seja, a adição de água faz com que a pasta passe a ter mais poros, relativamente, maiores. Essa quantidade de água excedente evapora e confere porosidade ao gesso, o que aumenta a sua capacidade de deformação.

Para Savi (2012) *apud* Petrucci (1998), a quantidade de água normalmente utilizada na produção da pasta de gesso varia entre 50 e 70%, devendo ser evitado o uso de água de amassamento em taxas acima de 80%. Observa-se também que a quantidade de água utilizada em obra, em relação à massa de gesso, está na faixa de 0,60 kg/L a 0,80 kg/L (BARDELLA, 2011 *apud* KARNI, 1995; HINCAPIE et al.,1996b; DE MILITO, 2001).

Porém as pastas de gesso comercial e reciclado apresentam características distintas. As pastas de gesso comercial com fator a/g de 0,80 ou superior apresentam aspecto líquido, as pastas de gesso reciclado, nas mesmas condições de mistura, apresentam aspecto cremoso. A melhor trabalhabilidade para o gesso reciclado é observada para fatores de água/gesso acima de 0,90 (SAVI, 2012).

Pinheiro (2011); Ribeiro (2006) e Savi (2012) utilizaram a relação água / gesso 0,7 em seus estudos com o gesso reciclado, semelhante à relação com o gesso comercial.

2.2.2.3 Tempo de pega

O tempo de início de pega deve ser entendido como o intervalo de tempo entre a mistura do gesso com a água e o instante em que começa o processo de endurecimento do material. A partir deste instante a pasta não deve ser manuseada (RIBEIRO, 2006).

Ribeiro (2006); Pinheiro (2011) e Bardella (2011), citam que a relação água/gesso, é o parâmetro de maior influência na cinética da reação de hidratação e conseqüentemente, na pega do gesso. Quanto maior a quantidade de água de amassamento, maior o período de indução e retardamento no início da precipitação dos cristais de di-hidrato, pois as distâncias entre as partículas aumentam com o aumento da relação água/gesso e, portanto, os cristais de di-hidrato vão ter mais espaço para crescer; assim, o tempo de pega aumenta, pois o crescimento dos cristais vai ser mais lento (BARDELLA, 2011).

Na NBR 13207 (ASSOCIAÇÃO..., 1994) são descritos valores para o tempo de pega para pastas de gesso fino e grosso para revestimento e fundição, estes valores são demonstrados no Quadro 6.

Classificação do gesso	Tempo de pega (min) (NBR 12128)	
	Início	Fim
Gesso fino para revestimento	> 10	> 45
Gesso grosso para revestimento	> 10	> 45
Gesso fino para fundição	4 - 10	20 - 45
Gesso grosso para fundição	4 - 10	20 - 45

Quadro 6 – Tempo de pega normatizado pela NBR 12127 (ASSOCIAÇÃO..., 1991a)
Fonte: Adaptado de NBR 12127 (1991).

Deve-se destacar que, em estudos realizados em pastas de gesso reciclado calcinado na temperatura de 200 °C foram observados resultados similares entre os tempos de pega obtidos para os gessos reciclados e os obtidos para o gesso comercial (BARDELLA, 2011).

3.2.3 Propriedades da pasta no estado endurecido

As propriedades físicas e mecânicas do gesso, no estado endurecido, são influenciadas diretamente pela formação de sua microestrutura, em particular, pela porosidade e pela forma de entrelaçamento dos cristais (BARDELLA, 2011 *apud* MIKHAIL; e MALEK, 1971).

3.2.3.1 Resistência à tração na flexão

A resistência à flexão é outro indicador de resistência mecânica, representando a capacidade que um determinado corpo possui de resistir a esforços transversais. Os gessos nacionais, apresentam resistência à tração na flexão que variaram de 4,40 a 10,50 MPa, porém os reciclados apresentam valores de resistências à tração entre 0,7 e 3,5 MPa (SAVI, 2012).

Os ensaios de resistência à flexão, com aplicação de carga de ruptura no centro de corpos de prova prismáticos, apoiados nas extremidades, são realizados em conformidade com a NBR 12775 (ASSOCIAÇÃO..., 1992), na qual é descrito o método para executar o ensaio, porém não apresenta valores mínimos de resistência a serem alcançados.

3.2.3.2 Resistência à compressão

Para Savi (2012) *apud* Bauer (2001), a resistência à compressão é um dos indicadores da resistência mecânica e representa a capacidade que um determinado corpo tem para resistir aos esforços de compressão axial. As pastas de gesso endurecidas podem atingir resistências à compressão entre 5 e 15.

Na NBR 13207 (ASSOCIAÇÃO..., 2004) são estabelecidos valores maiores do que 8,40 MPa para a resistência à compressão do gesso.

Bardella (2011) *apud* Carvalho (2005), ao estudarem o reaproveitamento do entulho de gesso para a sua reutilização na forma de pasta, também observaram que as propriedades dos gessos comerciais e reciclados foram semelhantes, destacando somente que a resistência mecânica obtida pelo gesso reciclado foi inferior à do gesso natural.

Essa diferença encontrada nos resultados é atribuída ao tamanho das partículas que compõem os gessos. Como os gessos reciclados são bem mais grossos do que os gessos comerciais, constata-se conformidade com a literatura técnica que trata do assunto para justificar a maior resistência à compressão alcançada pelos gessos comerciais (BARDELLA, 2011 *apud* (WITKAMP; VAN DER ERDEN; e VAN ROSMALEN, 1990; HAND, 1994; KARNI, 1995; RIDGE, 196).

Pinheiro (2011) *apud* Cincotto; e John (2007) descreve sobre a porosidade do gesso reciclado devido à água de amassamento, que tem sua origem na evaporação do excesso de água que não consumida durante o processo de hidratação.

Para alcançar trabalhabilidade satisfatória da pasta de gesso, é necessária utilização de teores de água superiores a 50% da massa do gesso. Como a água consumida durante a reação é da ordem de 0,186 g/g de gesso, resulta em uma estrutura altamente porosa e, conseqüentemente, com resistência mecânicas reduzida (CINCOTTO; e JOHN, 2007).

Bardella (2011) cita o aspecto da estrutura cristalina, afirmando que o desenvolvimento da resistência mecânica está relacionado ao entrelaçamento da estrutura cristalina e aos macro-defeitos dos cristais de gipsita, influenciando nas propriedades mecânicas, pois cristais de gesso bem formados são mais favoráveis para a obtenção de valores mais elevados para os resultados das propriedades mecânicas nas pastas de gesso.

Savi (2012) dentro de seus estudos encontrou algumas resistências à compressão que foram listadas e apresentadas no Quadro 7.

	Material	Temperatura de calcinação	Fator água / gesso	Resistência a compressão (MPa)
Ribeiro (2006)	Gesso comercial		0,90	12,80
	Gesso reciclado		0,90	13,00
Nascimento & Pimentel (2010)	Gesso comercial		0,80	2,33
	Gesso reciclado	160 °C	0,48	2,33
	Gesso reciclado	180 °C	0,47	2,51
	Gesso reciclado	200 °C	0,46	2,43
Lima & Camarini (2011)	Gesso comercial		0,70	6,60
	Gesso comercial		0,80	5,10
	Gesso reciclado	150 °C	0,70	10,00
	Gesso reciclado	150 °C	0,80	7,50
	Gesso reciclado	200 °C	0,70	8,20
	Gesso reciclado	200 °C	0,80	7,70

Quadro 7 – Resistência a compressão em ensaios com gesso comercial e reciclado
Fonte: Adaptado de Bardella (2011).

3.3.3.3 Dureza superficial

A dureza é uma propriedade do material que permite qualificá-lo em diversos aspectos quanto à sua resistência, trabalhabilidade e durabilidade. É caracterizada como a resistência que os corpos possuem de serem riscados (SAVI, 2012 *apud* BAUER, 2001).

Na NBR 13207 (ASSOCIAÇÃO..., 2004) são estabelecidos valores maiores que 30 N/mm² para a dureza.

Ribeiro (2006) também obteve bons resultados de dureza analisando o gesso reciclado calcinado a temperatura de 140 °C pelo período de 30 min., atingindo valores de 34,50 a 41,30 N/mm².

Os resultados dos ensaios de dureza, obtidos por Lima & Camarini (2011), indicam que as pastas com fator água/gesso de 0,70 obtiveram valores dentro dos limites mínimos da NBR 13:207 (ASSOCIAÇÃO..., 2004) e pastas com fator de 1 resultaram valores abaixo do valor mínimo estipulado pela norma.

Savi (2012) tabela valores obtidos para o gesso reciclado apontando que alguns são inferiores aos especificados pela norma técnica, Quadro 8.

	Temperatura de calcinação	Fator água / gesso	Dureza (N/mm²)
Ribeiro (2006)	140 °C		34,50
	160 °C		41,30
Fiano; e Pimentel (2009)		0,90	12,80
		0,90	13,00
Nascimento; e Pimentel (2010)	160 °C	0,48	57,05
	180 °C	0,47	39,94
	200 °C	0,46	27,27
Lima; e Camarini (2011)	150 °C	0,70	30,99
	150 °C	1,00	11,97
	200 °C	0,70	31,20
	200 °C	1,00	11,08
Harada; e Pimentel	160 °C	0,60	38,80
	180 °C	0,60	39,37
	200 °C	0,60	41,77

Quadro 8 – Dureza observada em ensaios com gesso reciclado
Fonte: Adaptado de Savi (2012).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para preparação do material para ensaio foram coletados 150 kg de resíduos de chapas de gesso acartonado descartados em obras de Curitiba no dia 20 de abril de 2014. Em posse deste resíduo adotou-se a metodologia para produção do material na forma de pó.

4.1 Preparação da amostra

Os resíduos das chapas de gesso acartonado foram recortadas em filetes de aproximadamente 3 cm pelo comprimento total do resíduo, (Figura 5) com a utilização de estiletes retráteis para facilitar o processo de trituração manual.



**Figura 5 - Filetes de chapas de gesso coletadas de obras da região de Curitiba.
Fonte: Autoria própria.**

4.2 Trituramento Manual

Foi utilizado um cilindro para massas manual da marca Malta, modelo Mini Doro 2, com distância entre os cilindros ajustada para 10 mm, realizando assim uma pressão sobre os filetes de chapas com espessura de 12,5 mm, (Figura 6) para separar o papel da massa de gesso. Após a separação, o cilindro foi ajustado para 3 mm e novamente prensada a massa de gesso para redução da dimensão das partículas, Figura 7. Os 150 kg de resíduos produziram 82 kg de massa de gesso prensada, sendo 68 kg correspondentes a papel e uma quantidade de material ainda aderida no cartão da chapa, Figura 8.



Figura 6 - Separação manual da massa de gesso do cartão.
Fonte: Autoria própria.



**Figura 7 - Material resultante após a primeira passagem no cilindro manual.
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 8 – Papel descartado após a segunda passagem no cilindro manual.
Fonte: Autoria própria.**

4.3 Trituramento eletro-mecânico

Após a segunda passagem do material no cilindro manual, utilizou-se o mesmo modelo de cilindro descrito no item 3.2, porém com modificação da instalação de um motor de tanquinho com potência de 240 W instalado com correias de borracha ligadas diretamente no eixo principal do cilindro, elevando a rotação para 350 rpm, Figura 9. Utilizou-se o espaçamento de 1 mm entre os cilindros, desta forma, colocava-se o material na cuba de contenção onde o material descia por gravidade até os cilindros paulatinamente através de uma abertura no fundo da cuba, onde a própria vibração da máquina regia a descida do material pela cuba até os cilindros, Figura 10.

O material caía diretamente em sacos plásticos e era armazenado para então ocorrer a repetição deste processo, isto é, a segunda passagem do material pelo cilindro eletro-mecânico. O material foi pesado e embalado em sacos plásticos com capacidade de 5 kg, Figura 11.



Figura 9 - Cilindro manual adaptado com motor.
Fonte: Aatoria própria.



Figura 10 - Segundo tritramento eletro-mecânico para redução do tamanho das partículas.

Fonte: Aatoria própria.



Figura 11 - Armazenamento do material resultante após segunda passagem no cilindro eletro-mecânico.

Fonte: Aatoria própria.

4.4 Calcinação do resíduo de gesso

O conteúdo de cada embalagem com 5 kg de material era então colocado na fôrma de alumínio, (Figura 12) e inserido na estufa elétrica de esterilização e secagem com renovação e circulação de ar forçado com termostato digital, da marca Biopar cedida pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, para execução do processo de calcinação. Cada amostra de aproximadamente 5 kg foi calcinada nas temperaturas de 160 °C, 180 °C e 200 °C pelo período de 1, 2, 4, 8 e 24 h. Após este período, o gesso era colocado em repouso por 10 minutos, armazenado em sacolas plásticas e identificado, Figura 13.



Figura 12 - Gesso calcinado repousando para diminuição da temperatura.
Fonte: Autoria própria.

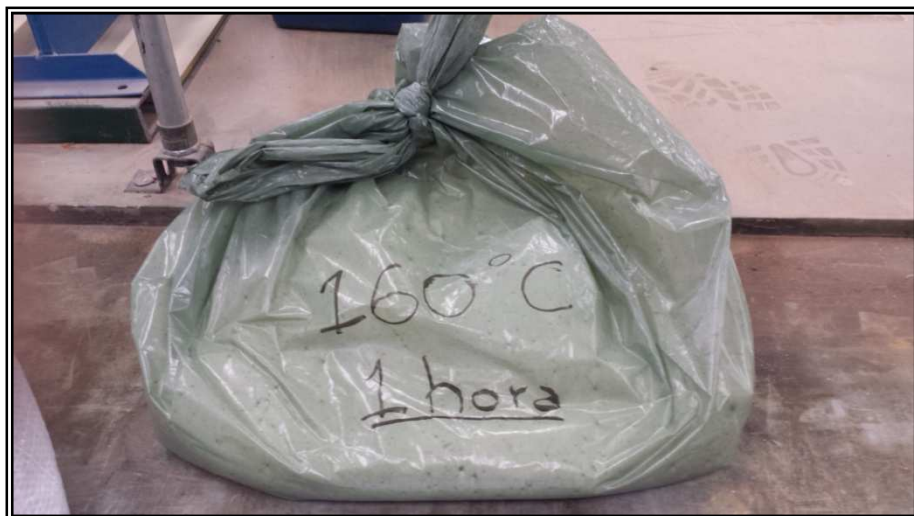


Figura 13 - Gesso alcinado a 160 °C por 1 hora, aguardando ensaio futuros.
Fonte: Autoria própria.

4.5 Granulometria

O ensaio de granulometria foi realizado segundo as prescrições da NBR 12.127 - Gesso para construção: determinação das características físicas do pó (ABNT, 1991a) onde o material seco em estufa de 160 °C, 180 °C e 200 °C, foi submetido ao peneiramento mecânico sequencial, em peneiras normatizadas com aberturas de malha de 1,18 mm, 0,59 mm, 0,42 mm, 0,297 mm, 0,149 mm e 0,075 mm. Foram realizadas 3 amostragens, onde uma massa de 100 g era depositada no conjunto de peneiras com o fundo. Após colocar a tampa, o conjunto foi inserido sobre um agitador de peneiras eletromagnético cedido pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por 10 minutos, Figura 14. Após este período o material de cada peneira foi pesado em uma balança digital da marca Digimed modelo KN 5000 com precisão de 0,1 g para realização da média aritmética percentual retida através da utilização da Equação 1.

$$R = \frac{m}{M} \times 100, \text{ em que} \quad (\text{Eq. 1})$$

R = material retido em percentagem;

m = resíduo na peneira em gramas;

Mi = massa inicial em gramas.



Figura 14 - Agitador de peneiras eletromagnético.
Fonte: Autoria própria.

4.6 Módulo de Finura

O módulo de finura foi determinado utilizando os valores encontrados no ensaio de granulometria pela Equação 2 abaixo.

$$MF = \frac{\sum Ra}{100}, \text{ em que} \quad (\text{Eq. 2})$$

MF = módulo de finura;

$\sum Ra$ = somatório do percentual retido acumulado em cada peneira da série padrão.

4.7 Massa unitária

O ensaio de massa unitária foi realizado em conformidade com as prescrições da NBR 12.127 - Gesso para construção: determinação das características físicas do pó (ABNT, 1991^a), onde o material seco em estufa foi depositado em um recipiente de volume e peso conhecidos até seu transbordamento e nivelamento final, Figura 15. Foram realizadas 5 amostragens para cada temperatura. A massa unitária foi determinada segundo a Equação 3.

$$M_u = \frac{M}{V} \times 1000, \text{ em que} \quad (\text{Eq. 3})$$

M_u = massa unitária, em quilogramas por metro cúbico;

M = massa do gesso em gramas;

V = volume do recipiente, em centímetro cúbico.



Figura 15 - Recipiente para ensaio da massa unitária.
Fonte: Autoria própria.

4.8 Preparação da pasta

A pasta de gesso reciclado foi preparada através da mistura homogênea de gesso reciclado e água, utilizando a relação água / gesso de 0,7, em massa, valor característico utilizado em obras, conforme citado por Bardela (2011).

Para preparação da pasta foi utilizado o processo de polvilhamento do pó de gesso sobre a água por um período de tempo de 1 min. A solução era deixada em repouso por mais 1 min e então era homogeneizada manualmente com a utilização de uma espátula por 1 min para obtenção de uma pasta isenta de grumos, Figura 16.



**Figura 16 - Pasta homogênea de gesso calcinado a 200 °C por 4 h.
Fonte: Autoria própria.**

4.9 Tempos de Início e Fim de Pega

Os tempos de início e fim de pega da pasta de gesso reciclado foram determinados segundo a norma NBR 12128 – Gesso para construção: determinação das propriedades físicas da pasta (ABNT, 1991a). Para determinação do tempo de pega foi utilizado o aparelho de Vicat, onde a agulha do aparelho penetrou na pasta sobre a ação do peso próprio.

O início de pega foi cronometrado a partir do momento em que o gesso reciclado entrou em contato com a água e onde a agulha do aparelho estacionou a 1 mm da base, Figura 17.



Figura 17 - Instantes após o início de pega, agulha estacionada a 3 mm da base.
Fonte: Autoria própria.

O fim de pega foi apontado a partir do momento em que a agulha não deixava mais impressão sobre a pasta de gesso reciclado, Figura 18.

Foram realizadas 3 medições para cada temperatura e para cada tempo de permanência na estufa.



Figura 18 - Fim de pega do gesso calcinado a 160 °C por 24 h.
Fonte: Autoria própria.

4.10 Moldagem dos corpos de prova

Para moldagem dos corpos de prova foram utilizados moldes metálicos padronizados, onde era possível moldar 03 corpos de prova de 4 x 4 x 16 cm. Os moldes foram posicionados sobre a bancada e untados com cera líquida para facilitar a remoção posterior dos corpos de prova, Figura 19.



Figura 19 - Molde padronizado pela NBR dimensões 4 x 4 x 16 cm untado com cera.
Fonte: Autoria própria.

Os moldes foram preenchidos com pasta de gesso reciclada, em 03 camadas, pressionando a pasta sobre as paredes do molde para evitar o aprisionamento de ar.

Foram moldados 15 corpos de prova para cada temperatura e para cada tempo em permanência em estufa, sendo 05 para os ensaios de 03 dias, 05 para 07 dias e 05 para 28 dias, Figura 20.



Figura 20 - Corpos de prova moldados com gesso reciclado.
Fonte: Autoria própria.

Decorridas 2 h após a moldagem, os moldes eram desmontados e os corpos de prova identificados e armazenados em local seco a temperatura ambiente, Figura 21.



Figura 21 - Corpos de prova armazenados e identificados aguardando data para ensaio.
Fonte: Autoria própria.

4.11 Resistência à tração na flexão

A resistência à flexão foi determinada utilizando os corpos de prova seguindo as recomendações da NBR12142 (ABNT, 1991) – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.

Cinco corpos de prova de cada temperatura e de cada tempo em permanência em estufa foram colocadas na prensa denominada Máquina Universal de Ensaio, eletromecânica e microprocessada da marca EMIC modelo DL100T e rompidos com utilização de um dispositivo para ensaios de flexão em corpos de prova prismáticos, da marca Solotest, específico para o ensaio, Figura 22.



Figura 22 - Ensaio de tração na flexão realizado no corpo de prova prismático 200 °C - 24 h.

Fonte: Autoria própria.

Os corpos de prova foram rompidos e os resultados foram obtidos segundo a Equação 4.

$$f_{ctM} = \frac{P \times l}{b \times d^2} \text{ em que} \quad (\text{Eq. 4})$$

f_{ctM} = resistência à tração na flexão, em MPa;

P = carga máxima aplicada, em Newton;

l = distância entre os cutelos de suporte, em mm;

b = largura média do corpo de prova na seção de ruptura, em mm ;

d^2 = altura média do corpo de prova na seção de ruptura, em mm.

4.12 Resistência à Compressão

A resistência à compressão da amostra de gesso reciclado determinada pelo ensaio descrito na norma NBR 12129 – Gesso para construção: determinação das propriedades mecânicas (ABNT, 1991b).

5 corpos de prova de cada temperatura e de cada tempo em permanência em estufa resultantes da sobra rompida no ensaio de tração na flexão foram submetidas ao ensaio de compressão, onde o corpo de prova era posicionado na prensa entre 2 placas de metal transversais aos corpos de prova, atribuindo assim uma seção de ruptura com dimensões de 4 x 4 cm em cada face, Figura 23.



Figura 23 - Ensaio de compressão, corpo de prova 160 °C - 4 h sendo comprimido entre 2 placas metálicas.

Fonte: Autoria própria.

Os corpos de prova foram rompidos e os resultados foram obtidos segundo a Equação 05.

$$R = \frac{P}{S}, \text{ em que} \quad (\text{Eq. 5})$$

R = resistência à compressão, em MPa;

P = carga que produziu a ruptura do corpo de prova, em Newton;

S = área de seção transversal de aplicação da carga, em milímetros quadrados.

4.13 Dureza

A dureza foi determinada segundo procedimento descrito na norma NBR 12129 – Gesso para construção: determinação das propriedades mecânicas (ABNT, 1991b).

Uma esfera metálica de 12 mm foi colocada sobre 4 amostras de cada temperatura e de cada tempo em permanência em estufa resultantes da sobra rompida no ensaio de tração na flexão. Estes corpos de prova foram submetidos a carga de 500 N por 2 segundos na prensa, Figura 24.



Figura 24 - Ensaio de dureza superficial.
Fonte: Autorial própria.

Após este período a carga era retirada e efetuada a medição da profundidade da impressão que a esfera de aço deixava sobre os corpos de prova, Figura 25.



**Figura 25 - Marca da esfera de aço do ensaio de dureza superficial sobre os corpos de prova.
Fonte: Autoria própria.**

A dureza foi determinada pela média entre os valores obtidos e utilizando a Equação 6.

$$D = \frac{F}{\pi \times \phi \times t}, \text{ em que} \quad (\text{Eq. 6})$$

D = Dureza;

F = carga, em Newton;

t = média da profundidade, em milímetros.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em posse dos materiais previamente calcinados em estufa nas temperaturas de 160 °C, 180 °C e 200 °C foram determinadas as propriedades físicas do pó, utilizando os ensaios de granulometria, módulo de finura e massa unitária. Foi ensaiado o material em forma de pasta, através do ensaio do tempo de início e fim de pega. Os ensaios do material no estado enrijecido realizados foram o de resistência à tração na flexão, compressão e dureza superficial.

4.1 Propriedades físicas do pó

4.1.1 Granulometria

A granulometria foi determinada em laboratório e os valores calculados para os gessos reciclados calcinados em estufa às temperaturas de 160 °C, 180 °C e 200 °C, mostrados na Figura 26.

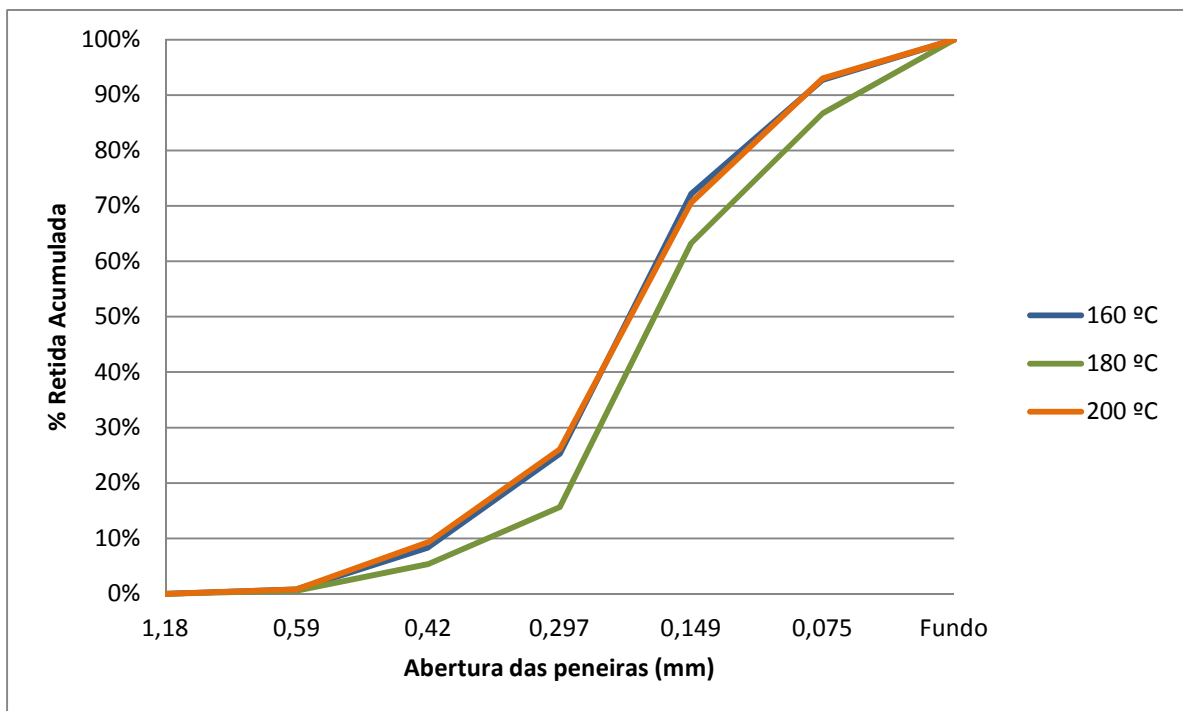


Figura 26 – Curva granulométrica dos gessos reciclados.
Fonte: Autoria própria.

Foi possível verificar que a granulometria entre as amostras é similar, não ocorrendo grande variação em função da temperatura.

5.1.2 Módulo de Finura

Os resultados do módulo de finura estão dispostos no Quadro 9.

Módulo de Finura	Temperatura		
	160 °C	180 °C	200 °C
Σ % retida acumulada peneiras 0,59 / 0,42 / 0,297 / 0,149	1,07	0,85	1,06

Quadro 9 – módulo de finura dos gessos reciclados a 160 °C, 180 °C e 200 °C.
Fonte: Autoria própria.

De acordo com a NBR 13207/1994 um dos critérios para classificação do gesso leva em conta o módulo de finura. Os valores obtidos foram inferiores a 1,10, logo o gesso reciclado pode ser classificado como gesso fino para revestimento ou como gesso fino para fundição. Para realizar uma classificação mais precisa é necessária a determinação do tempo de pega demonstrado adiante no item 4.4.

O módulo de finura obtido foi similar ao encontrado por Bardela (2011) em seus ensaios com gesso reciclado, obtendo o valor de 1,17 para calcinação a 180 °C e 0,92 para calcinação a 200 °C.

5.1.3 Massa Unitária

Os valores da massa unitária são apresentados nos Quadros 10 e 11.

Dimensões	Valores (cm)
altura (cm)	15,1
largura (cm)	15,1
profundidade (cm)	15,1
volume (cm ³)	3442,95

Quadro 10 – Valores aferidos do recipiente para determinação da massa unitária.
Fonte: Autoria própria.

	Temperatura		
	160 °C	180 °C	200 °C
Massa do recipiente cheio (g)	15590,4	15559	15594
Massa do recipiente vazio (g)	13770	13770	13770
Massa de gesso (g)	1820,4 ± 9,24	1829 ± 18,51	1824 ± 15,57
Massa Unitária (kg/m ³)	528,73	531,23	529,78

Quadro 11 – Determinação da massa unitária dos gessos reciclados de 160 °C, 180 °C e 200 °C.
Fonte: Autoria própria.

Desta forma pôde-se mensurar a massa unitária para os gessos reciclados calcinados em estufa as temperaturas de 160 °C, 180 °C e 200 °C, sendo estes 528,73 kg/m³, 531,23 kg/m³ e 529,78 kg/m³, respectivamente.

Savi (2012) apresenta os valores de 549,57 kg/m³ para calcinação a 180 °C e 531,40 kg/m³ para calcinação a 200 °C, ou seja, valores próximos dos encontrados no ensaio.

Nenhum dos valores obtidos atende o requisito da massa unitária da NBR 13207/1994, na qual a exigência é de 700 kg/m³. Portanto o gesso reciclado proveniente das chapas de gesso acartonado não atende os requisitos da classificação como gesso fino para revestimento.

É possível afirmar que a massa unitária não varia em função da temperatura, pois a diferença de valor entre elas não ultrapassa 0,5%.

Supõe-se que seria possível obter a massa unitária sugerida pela NBR 13207/1994, caso fosse utilizado mecanismo próprio para redução do tamanho das partículas, como um moinho de cilindros industrial.

5.2 Propriedade no estado fresco

5.2.1 Tempo de pega

Para determinação da propriedade no estado fresco foi realizado o ensaio de início e fim de pega. Os valores aferidos estão dispostos no Quadro 12 e representados graficamente na Figura 27.

Pastas	início de pega (min)	fim de pega (min)
160° C - 4 h	00:06:00	00:08:45
160° C - 24 h	00:33:59	00:54:39
180° C - 4 h	00:47:24	01:38:31
180° C - 24 h	00:26:34	00:55:50
200° C - 4 h	00:09:31	00:14:36
200° C - 24 h	00:05:09	00:08:08

Quadro 12 – Tempo de início e fim de pega dos gessos reciclados de 160 °C, 180 °C e 200 °C.
Fonte: Autoria própria.

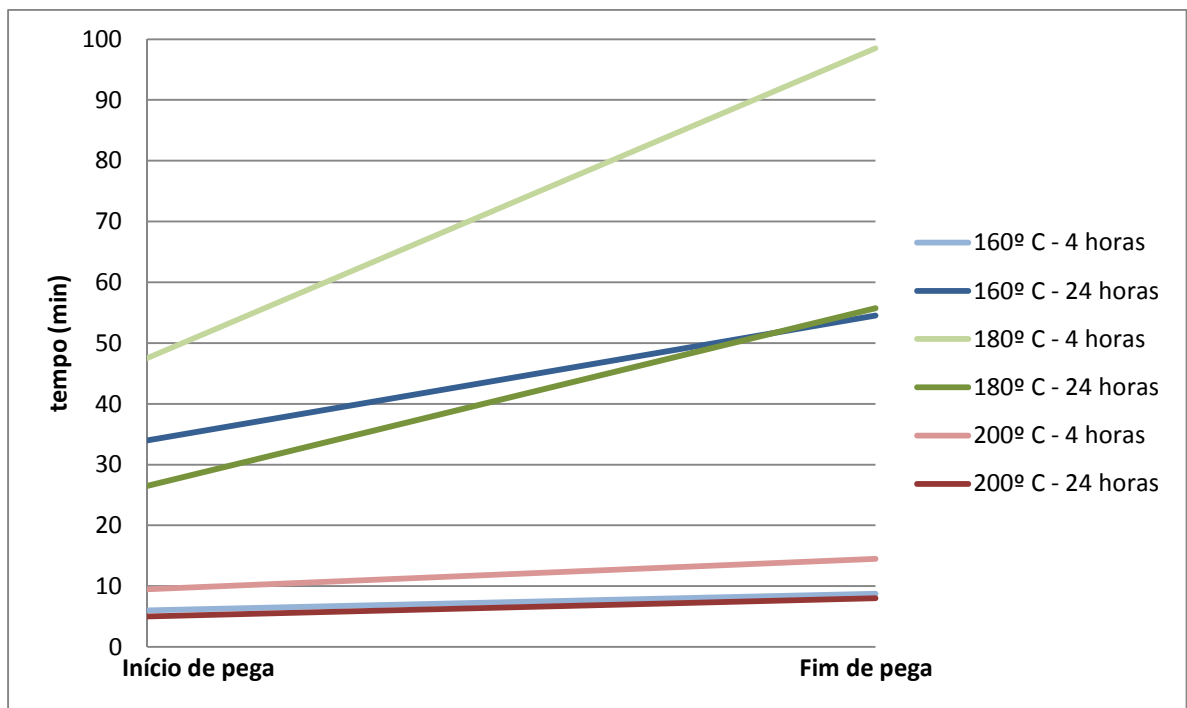


Figura 27 – tempos de início e fim de pega dos gessos reciclados.
Fonte: Autoria própria.

Comparando os valores obtidos com o Quadro 6 do item 2.2.2.3 pode-se afirmar que os gessos a 160 °C - 24 h, 180 °C - 4 h e 180 °C - 24 h atendem às exigências físicas do gesso para construção civil, atingindo a classificação como gesso fino para revestimento conforme NBR 13207/1994.

As pastas a 160 °C - 1 hora, 180 °C - 1 hora e 200 °C - 1 hora apresentaram endurecimento instantâneo após inserção na água, com formação de grumos que não puderam ser homogeneizados, apresentando um falso início de pega, e não apresentaram fim de pega em 72 h.

As pastas a 160 °C - 2 h, 180 °C - 2 h e 200 °C - 2 h não puderam ser homogeneizadas com a relação a/g 0,7, sendo que apresentaram caráter muito seco após polvilhamento sobre a água.

As pastas a 160 °C - 8 h, (Figura 28), 180 °C - 8 h e 200 °C - 8 h, (Figura 29) proporcionaram misturas muito homogêneas, apresentado um estado quase liquefeito, porém estas amostras não apresentaram início, tampouco fim de pega.



Figura 28 - Amostra de gesso calcinado a 160 °C por 8 h.
Fonte: Autoria própria.



**Figura 29 - Amostra de gesso calcinado a 200 °C por 8 .
Fonte: Autoria própria.**

5.3 Propriedades da pasta no estado endurecido

5.3.1 Resistência à tração na flexão

Com base nas informações obtidas no item 4.3, foram moldados corpos de prova apenas com as amostras de gesso reciclado 160 °C - 4 h, 160 °C - 24 h, 180 °C - 4 h, 180 °C - 24 h, 200 °C - 4 h e 200 °C - 24 h. Os corpos moldados ficaram em repouso por 3, 7 e 28 dias e após este período foi feito o rompimento dos corpos de prova na prensa hidráulica com utilização do suporte para corpos de provas prismáticos, Figura 30.



**Figura 30 - Amostras de gesso calcinado de 3 e 7 dias para ensaio de tração a flexão.
Fonte: Autoria própria.**

Os resultados da resistência média à tração na flexão estão dispostos na Figura 31 e no Quadro 13.

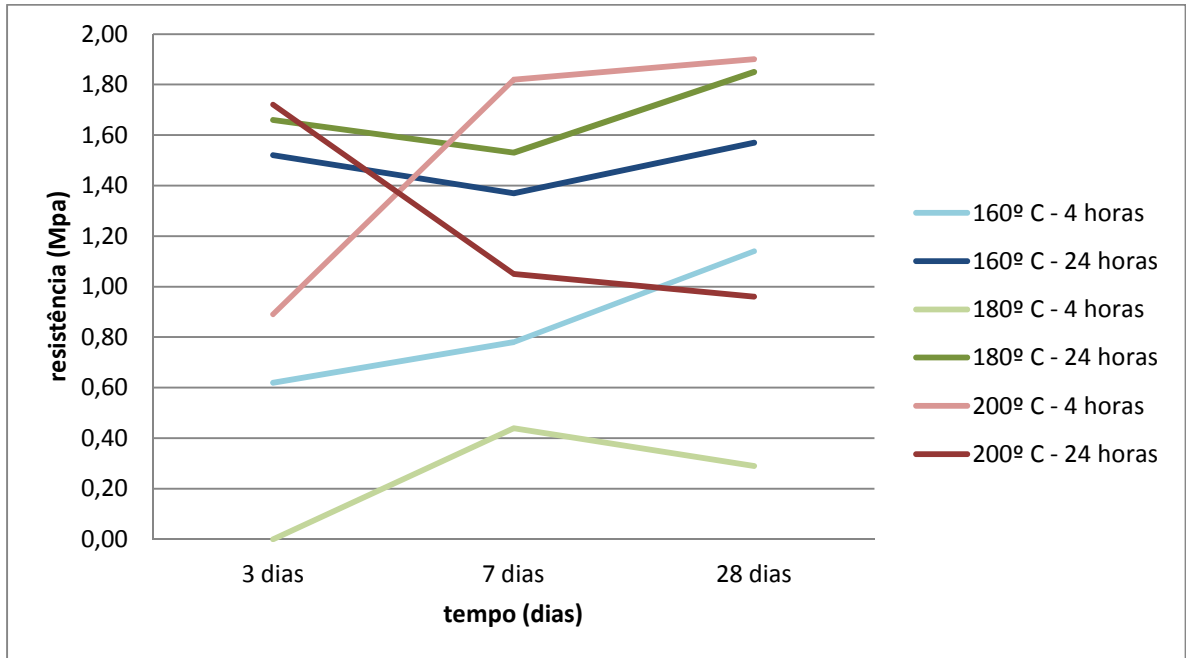


Figura 31 – Resistência à tração na flexão dos gessos reciclados.
Fonte: Autoria própria.

Resistência a tração na flexão (MPa)			
Amostras	3 dias	7 dias	28 dias
160° C - 4 h	0,62 ±0,10	0,78±0,04	1,14±0,35
160° C - 24 h	1,52±0,07	1,37±0,11	1,57±0,16
180° C - 4 h	-	0,44±0,01	0,29±0,06
180° C - 24 h	1,66±0,08	1,53±0,06	1,85±0,29
200° C - 4 h	0,89±0,11	1,82±0,24	1,90±0,10
200° C - 24 h	1,72±0,06	1,05±0,08	0,96±0,19

Quadro 13 – valores de resistência a tração na flexão.
Fonte: Autoria própria.

As amostras de gesso reciclado obtiveram resultados dentro do intervalo sugerido por Savi (2012), isto é, entre 0,7 e 3,5 MPa, com exceção da amostra 180° C - 4 h e a amostra 160 °C - 4h - 3 dias.

Das amostras ensaiadas nota-se que os maiores valores alcançados foram as amostras de 160 °C - 24 h, 180 °C - 24 h e 200 °C - 4 h.

Algumas amostras tiveram decréscimo em seu valor de resistência à tração na flexão para 7 e 28 dias, em relação à resistência para 3 dias, ou seja, não

necessariamente o valor de resistência à tração na flexão aumenta com o passar dos dias, como observado nas amostras 180 °C - 4 h e 200 °C - 24 h, onde o valor foi decrescendo ao longo do tempo.

A amostra 180 °C - 4 h - 3 dias não pode ser ensaiada pois os corpos de prova desmanchavam antes mesmo de sua colocação na prensa, isto é, a pasta não estava homogênea e formou um corpo de prova frágil, Figura 32.



Figura 32 - Amostras de gesso calcinado a 180 °C por 4 h apresentando não homogeneidade.

Fonte: Autoria própria.

5.3.2 Resistência à compressão

Os corpos de prova foram colocados diretamente sob a prensa hidráulica e calculado seu valor de resistência à compressão, os valores obtidos estão representados na Figura 33 e descritos no Quadro 14.

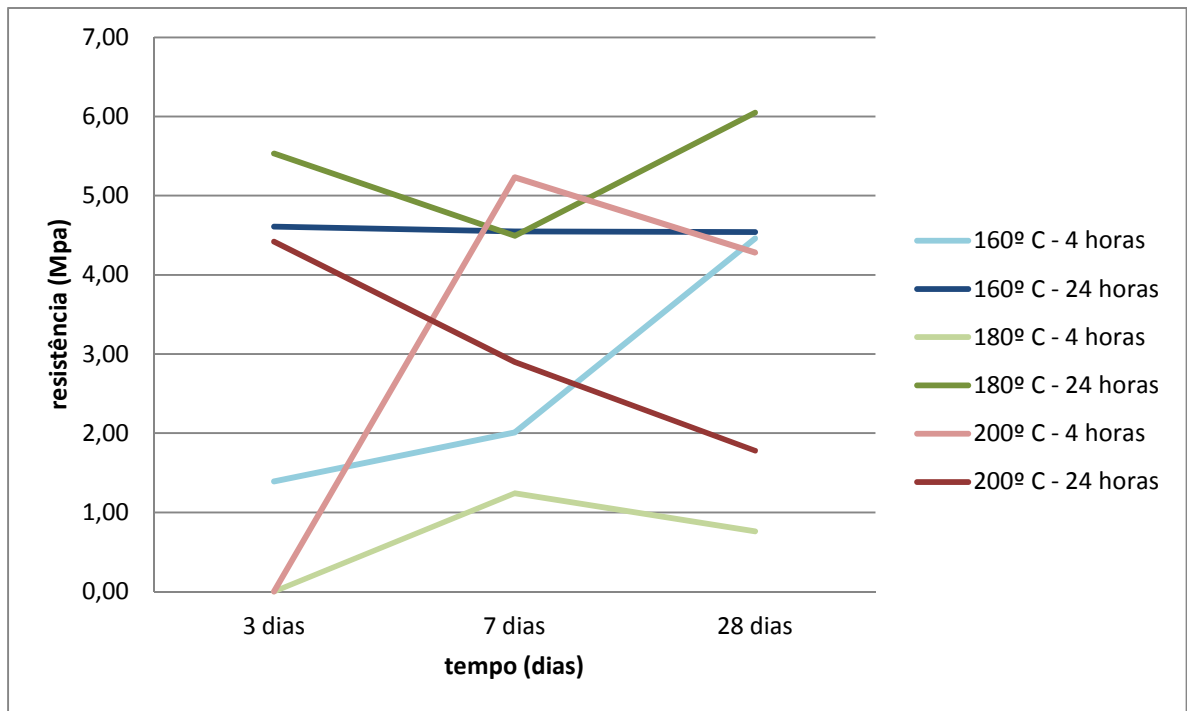


Figura 33 – Resistência à compressão dos gessos reciclados.
Fonte: Autoria própria.

Resistência à compressão (MPa)			
Amostras	3 dias	7 dias	28 dias
160 °C - 4 h	1,39±0,24	2,01±0,29	4,46±1,02
160 °C - 24 h	4,61±0,38	4,55±0,49	4,54±0,37
180 °C - 4 h	-	1,24±0,03	0,76±0,14
180 °C - 24 h	5,53±0,16	4,49±0,52	6,05±2,12
200 °C - 4 h	-	5,23±0,31	4,28±0,75
200 °C - 24 h	4,42±1,20	2,90±0,24	1,78±0,19

Quadro 14 – valores de resistência à compressão.
Fonte: Autoria própria.

A amostra 180 °C - 24 h e 200 °C - 4 h foram as amostras que atingiram o valor sugerido por Savi (2012), acima de 5 MPa.

Em nenhuma das amostras foi verificado o valor mínimo de 8,40 MPa na pela NBR 13207, 8,40 MPa.

Assim como no ensaio de resistência à tração na flexão, as amostras que alcançaram maiores valores foram as amostras 160 °C - 4 h, 160 °C - 24 h, 180 °C - 24 h e 200 °C - 4 h.

Na maioria das amostras foi verificado acréscimo no valor da resistência à compressão, com exceção das amostras 180 °C - 4 h e 200 °C - 24 h, que apresentaram redução neste valor.

As amostras 180° C - 4 h - 3 dias e 200° C - 4 h - 3 dias não puderam ser ensaiadas pois os corpos de prova desmanchavam antes mesmo de sua colocação na prensa, isto é, a pasta não estava homogênea, formando corpos de prova frágeis

5.3.3 Dureza Superficial

Os resultados da dureza superficial dos corpos de prova moldados com gesso reciclados são apresentados na Figura 34 e descritos no Quadro 15.

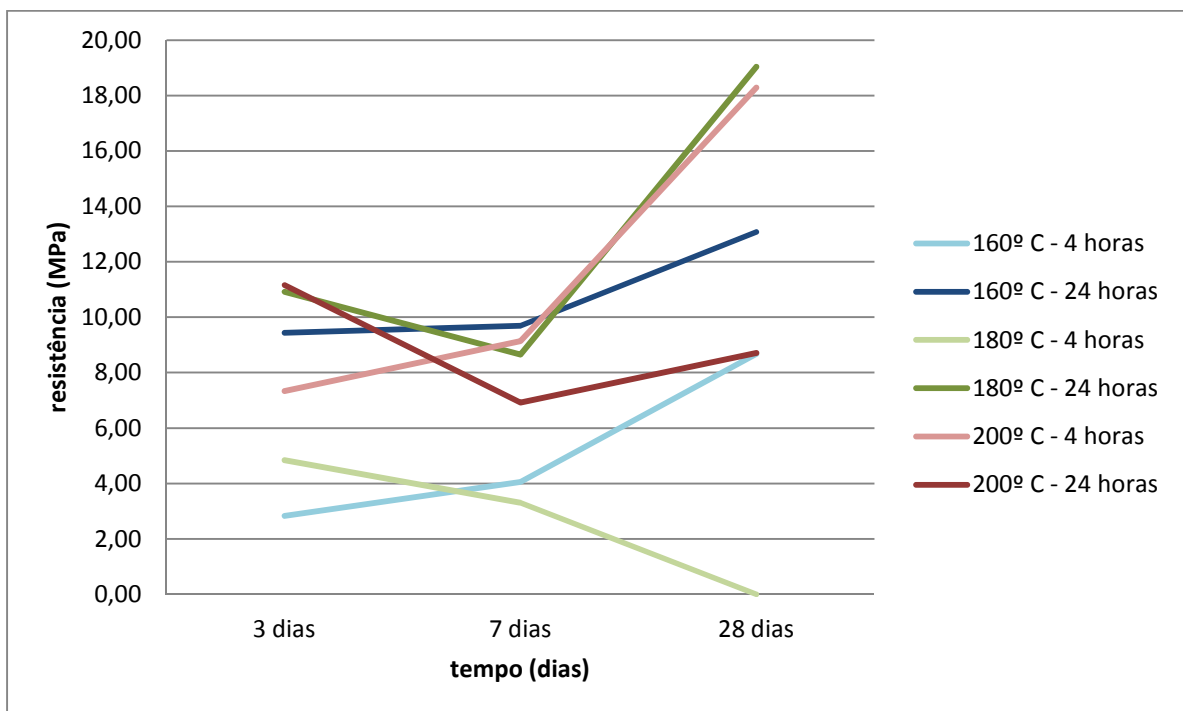


Figura 34 – Resistência à dureza superficial dos gessos reciclados.
Fonte: Autoria própria.

Dureza superficial (N/mm²)			
Amostras	3 dias	7 dias	28 dias
160° C - 4 h	2,83±0,31	4,05±0,86	8,67±1,86
160° C - 24 h	9,44±2,20	9,69±1,12	13,08±1,65
180° C - 4 h	4,84±0,50	3,31±0,24	-
180° C - 24 h	10,92±2,16	8,65±1,64	19,04±4,29
200° C - 4 h	7,34±2,45	9,14±1,94	18,29±5,08
200° C - 24 h	11,16±2,30	6,92±1,42	8,71±0,53

Quadro 15 – dureza superficial dos gessos reciclados.

Fonte: A autoria própria.

Nenhuma das amostras atingiu o valor mínimo de dureza superficial descrito na NBR 13207 de 30 N/mm².

Os maiores valores foram obtidos nas amostras 160° C - 24 h, 180° C - 24 h e 200° C - 4 h.

Houve acréscimo no valor de dureza superficial ao longo do tempo, com exceção das amostras 180° C - 4 h e 200° C - 24 h, que apresentaram redução neste valor.

A amostra 180° C - 4 h - 28 dias não pode ser ensaiada, pois o corpo de prova se desmanchou conforme a esfera metálica penetrava, mostrando que a pasta não estava homogênea, formando um corpo de prova frágil, Figura 35.



Figura 35 - Amostra de gesso calcinado a 180 °C por 4 h.

Fonte: A autoria própria.

Os corpos de prova foram moldados e deixados em repouso à sombra, dentro do laboratório, sendo assim supõe-se que os mesmos não tiveram evaporação total da água, apresentando superfície ainda úmida. Tal fator é uma sugestão que pode exemplificar a baixa resistência à compressão e à dureza superficial obtida pelos corpos de prova.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho serve de ponto de partida para uma série de estudos sobre a reciclagem do gesso contido nas chapas de gesso acartonado. A metodologia utilizada em laboratório foi eficiente, pois após a reidratação foi possível moldar corpos de prova sólidos somente utilizando resíduo de gesso.

Foi possível verificar que a granulometria entre as amostras é similar, não ocorrendo grande variação em função da temperatura.

A massa unitária não atingiu o valor mínimo estipulado pela NBR 13207/1994, porém os valores foram similares aos descritos na bibliografia.

As três temperaturas analisadas resultaram em amostras que formaram corpos de prova sólidos somente com utilização do gesso reciclado.

Dentre os tempos de permanência em estufa e as temperaturas analisadas, pode-se dizer que as amostras de uma hora, duas horas e de 8 horas, submetidas às temperaturas de 160 °C, 180 °C e 200 °C não são recicláveis, pois não apresentaram fim de pega em 72 h.

Nenhum dos corpos de prova moldados somente com gesso reciclado atende aos requisitos mínimos estipulados na NBR 13207/1994 de resistência à compressão e dureza superficial. Mesmo assim sugere-se a aplicação direta na confecção de estátuas e imagens, pois tais artefatos não demandam de uma resistência elevada.

Por fim conclui-se que é possível realizar a reciclagem do gesso contido nas chapas de gesso acartonado, onde certa percentagem pode ser reincorporada como matéria-prima no processo de produção de chapas de gesso acartonado, placas ou molduras de gesso. Demonstra-se assim que o resíduo hoje descartado pode vir a ser reutilizado gerando não só novos nichos de mercado, como também colocar este produto hoje nocivo ao meio ambiente na esfera sustentável.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se ampliação do tema proposto através do estudo dos seguintes temas:

- Desenvolvimento de um equipamento que realize as primeiras etapas de moagem das chapas de gesso acartonado, isto é, com uma série de cilindros e peneiras para obter maior redução do tamanho das partículas.
- Realização de um estudo microscópico para averiguação das partículas geradas / quebradas do gesso reciclado.
- Realização do levantamento de custos para produção do gesso acartonado reciclado.
- Averiguação de uma possível política reversa para coleta deste resíduo e envio para reciclagem.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 12127**: Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas do pó - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991a.

_____. **NBR 12128**: Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas da pasta - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991b.

_____. **NBR 12129**: Gesso para construção - Determinação das propriedades mecânicas - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991c.

_____. **NBR 13207**: Gesso para construção civil – Especificação. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL. **Mercado do Drywall no Brasil**. São Paulo: Drywall, 2012.

BARDELLA, P. S. **Análise das Propriedades de Pastas de Gesso de Construção Reciclado**. 2011. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000847076>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

BAUER, C. **Gypsum Recycling in PlaNYC 2030: Spaces for Government Intervention**. 2012. 72 f. Tese. Faculty of Architecture & Planning Columbia University, 2012. Disponível em: <<https://academiccommons.columbia.edu/catalog/ac%3A147120>>. Acesso em: 09 fev. 2014.

CAVALCANTI, L. B. **Determinação de condições operacionais adequadas na desidratação do minério de gipsita para obtenção de um gesso beta reciclável**. 2006. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Católica de Pernambuco, 2006. Disponível em: <http://www.unicap.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=25>. Acesso em: 09 fev. 2014.

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

FIANO, M. B. S.; PIMENTEL, L. L. **Estudo da Viabilidade do Reaproveitamento de Gesso – queima rápida**: XIV ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA PUC-CAMPINAS, 2009 Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas: PUC Campinas, 2009. Disponível em: <<https://www.puc-campinas.edu.br/websist/portal/pesquisa/ic/pic2009/resumos/%7BFB739EF6-CC1A-4C02-B488-74930848D9D1%7D.PDF>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

GYPSUM RECYCLING INTERNATIONAL (Dinamarca). **The recycling technology**. Disponível em: <<http://www.gypsumrecycling.biz/>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

HARADA, E; PIMENTEL, L. L. **Estudo da Viabilidade do Reaproveitamento de Gesso – queima lenta**: XIV ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA PUC-CAMPINAS, 2009 Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas: PUC Campinas, 2009. Disponível em: < <https://www.puc-campinas.edu.br/websist/portal/pesquisa/ic/pic2009/resumos/%7B09A7911B-5629-474D-B119-186B06603353%7D.PDF> >. Acesso em: 12 jan. 2014.

HERMES, D. V. **Reutilização dos resíduos de gesso de revestimento: Painéis Decorativos**. 2011. Desenhando o Futuro. 2011. I CONGRESSO NACIONAL DE DESIGN. Disponível em:< http://www.desenhandoofuturo.com.br/anexos/anais/design_e_inovacao/reutilizacao_dos_residuos_de_gesso_de_revestimento.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2014.

LIMA, K. D. DOS S.; CAMARINI, G. **Influência da temperatura e do tempo de calcinação na reciclagem dos resíduos de gesso**: XVIII ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA PUC-CAMPINAS, 2010 Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas: PUC Campinas, 2010. Disponível em: < <http://www.prp.rei.unicamp.br/pibic/congressos/xviii-congresso/paineis/083725.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

MARVIN, E. **Gypsum wallboard recycling and reuse opportunities in the state of Vermont**. 2000. Vermont: Waste Management Division Vermont Agency of Natural Resources, 2000. 44 p. Disponível em: < <http://www.anr.state.vt.us/dec/wastediv/recycling/gypsum.pdf>> Acesso em: 12 jan. 2014.

NASCIMENTO, F. J. de F.; PIMENTEL, L. L. **Reaproveitamento de Resíduo de Gesso**. In: XV ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA PUC-CAMPINAS, 15. ,2010, Campinas. **Anais eletrônicos...** Campinas: PUC Campinas, 2010. Disponível em: <https://www.puccampinas.edu.br/websist/portal/pesquisa/ic/pic2010/resumos/2010924_101439_502012254_resiaL.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2014.

NEW WEST GYPSUM RECYCLING. **Recovery process**. Disponível em: < <http://www.nwgypsum.com/>>. Acesso em: 12 jan. 2014.

PINHEIRO, S. M. de M. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. 2011. 330 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas, 2011. Disponível em:<<http://pct.capes.gov.br/teses/2011/33003017041P4/TES.PDF>>. Acesso em: 29 ago. 2013.

PLACO DO BRASIL. **Mercado de drywall segue em expansão**. Disponível em: < <http://www.placo.com.br/noticias-drywall/releases-drywall/template-release-drywall.asp?id={9CAF41B4-E49D-408D-897D-5A4B5F01C769}>>. Acesso em: 19 jan. 2014.

PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS. **Reciclagem do Gesso**. Disponível em:
<<http://www.portalresiduossolidos.com/>>. Acesso em: 12 jan. 2014

RIBEIRO, A. S. **Produção de gesso reciclado a partir de resíduos oriundos da construção civil**. 2006. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba, 2006. Disponível em:<
http://bdtd.biblioteca.ufpb.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=150>. Acesso em: 02 fev. 2014.

SAVI, O. **Produção de placas de forro com a reciclagem do gesso**. 2012. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2012. Disponível em:<
<http://www.peu.uem.br/Discertacoes/Olindo.pdf> >. Acesso em: 12 jan. 2014.

SINIAT. **Drywall – perguntas freqüentes**. Disponível em:
<<http://www.gypsum.com.br/web/pt/consumidores/faq-drywall.htm>>. Acesso em: 19 jan. 2014.

9. ANEXOS

9.1 Granulometria

160 °C

Peneiras (abertura em mm)	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada
1,18	0,00 ±0,0	0	0
0,59	0,80±0,1	0,80%	0,80%
0,42	7,60±0,4	7,60%	8,40%
0,297	16,83±1,46	16,83%	25,23%
0,149	46,90±0,17	46,90%	72,13%
0,075	20,60±0,95	20,60%	92,73%
Fundo	7,27±0,97	7,27%	100,00%
Σ massa retida	100		

180 °C

Peneiras (abertura em mm)	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada
1,18	0,00±0,0	0	0
0,59	0,60±0,0	0,60%	0,60%
0,42	4,77±0,15	4,77%	5,37%
0,297	10,27±1,86	10,27%	15,63%
0,149	47,63±2,08	47,63%	63,27%
0,075	23,40±1,41	23,40%	86,67%
Fundo	13,33±2,67	13,33%	100,00%
Σ massa retida	100		

200 °C

Peneiras (abertura em mm)	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada
1,18	0,00±0,0	0	0
0,59	0,83±0,06	0,83%	0,83%
0,42	8,47±0,76	8,47%	9,30%
0,297	16,83±0,23	16,83%	26,13%
0,149	44,43±2,27	44,43%	70,57%
0,075	22,43±0,21	22,43%	93,00%
Fundo	7,00±1,42	7,00%	100,00%
Σ massa retida	100,00		

160 °C - 24 h	
massa colocada nas peneiras	100 g

1º Ensaio

Peneiras (abertura em mm)	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada
1,18	0	0	0
0,59	0,7	0,70%	0,70%
0,42	8	8,00%	8,70%
0,297	18,5	18,50%	27,20%
0,149	47,1	47,10%	74,30%
0,075	19,5	19,50%	93,80%
Fundo	6,2	6,20%	100,00%
Σ massa retida	100		

2º Ensaio

Peneiras (abertura em mm)	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada
1,18	0	0	0
0,59	0,9	0,90%	0,90%
0,42	7,2	7,20%	8,10%
0,297	15,8	15,80%	23,90%
0,149	46,8	46,80%	70,70%
0,075	21,2	21,20%	91,90%
Fundo	8,1	8,10%	100,00%
Σ massa retida	100		

3º Ensaio

Peneiras (abertura em mm)	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada
1,18	0	0	0
0,59	0,8	0,80%	0,80%
0,42	7,6	7,60%	8,40%
0,297	16,2	16,20%	24,60%
0,149	46,8	46,80%	71,40%
0,075	21,1	21,10%	92,50%
Fundo	7,5	7,50%	100,00%
Σ massa retida	100		

180 °C - 24 h	
massa colocada nas peneiras	100 g

	Peneiras (abertura em mm)	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada
1º Ensaio	1,18	0	0	0
	0,59	0,6	0,60%	0,60%
	0,42	4,6	4,60%	5,20%
	0,297	8,3	8,30%	13,50%
	0,149	45,8	45,80%	59,30%
	0,075	24,9	24,90%	84,20%
	Fundo	15,8	15,80%	100,00%
	Σ massa retida	100		

	Peneiras (abertura em mm)	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada
2º Ensaio	1,18	0	0	0
	0,59	0,6	0,60%	0,60%
	0,42	4,9	4,90%	5,50%
	0,297	12	12,00%	17,50%
	0,149	49,9	49,90%	67,40%
	0,075	22,1	22,10%	89,50%
	Fundo	10,5	10,50%	100,00%
	Σ massa retida	100		

	Peneiras (abertura em mm)	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada
3º Ensaio	1,18	0	0	0
	0,59	0,6	0,60%	0,60%
	0,42	4,8	4,80%	5,40%
	0,297	10,5	10,50%	15,90%
	0,149	47,2	47,20%	63,10%
	0,075	23,2	23,20%	86,30%
	Fundo	13,7	13,70%	100,00%
	Σ massa retida	100		

200 °C - 24 h
massa colocada nas peneiras
100 g

1º
Ensaio

Peneiras (abertura em mm)	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada
1,18	0	0	0
0,59	0,9	0,90%	0,90%
0,42	9,3	9,30%	10,20%
0,297	17,1	17,10%	27,30%
0,149	41,9	41,90%	69,20%
0,075	22,2	22,20%	91,40%
Fundo	8,6	8,60%	100,00%
∑ massa retida	100		

2º
Ensaio

Peneiras (abertura em mm)	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada
1,18	0	0	0
0,59	0,8	0,80%	0,80%
0,42	7,8	7,80%	8,60%
0,297	16,7	16,70%	25,30%
0,149	46,3	46,30%	71,60%
0,075	22,5	22,50%	94,10%
Fundo	5,9	5,90%	100,00%
∑ massa retida	100		

3º
Ensaio

Peneiras (abertura em mm)	Massa Retida (g)	% retida	% retida acumulada
1,18	0	0	0
0,59	0,8	0,80%	0,80%
0,42	8,3	8,30%	9,10%
0,297	16,7	16,70%	25,80%
0,149	45,1	45,10%	70,90%
0,075	22,6	22,60%	93,50%
Fundo	6,5	6,50%	100,00%
∑ massa retida	100		

9.2 Módulo de Finura

Módulo de Finura	160 °C	180 °C	200 °C
Σ % retida acumulada peneiras 0,59 / 0,42 / 0,297 / 0,149	1,07	0,85	1,06

9.3 Massa Unitária

dimensões:	
altura	15,1
largura	15,1
profundidade	15,1
volume (cm ³)	3442,95

peso cheio (g)	160 °C	180 °C	200 °C
ensaio 01	15575	15620	15590
ensaio 02	15598	15615	15580
ensaio 03	15590	15590	15585
ensaio 04	15597	15595	15620
ensaio 05	15592	15575	15595
peso vazio (g)	13770	13770	13770
média	15590,4	15599	15594
desvio padrão	9,24	18,51	15,57
massa de gesso (g)	1820,4	1829	1824
Massa Unitária (kg/m ³)	528,73	531,23	529,78

9.4 Início e fim de pega

160 °C

tempo (h)	início de pega	fim de pega
1	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
2	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
4	00:06:15	00:08:42
8	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
24	00:32:42	00:53:21

160 °C

tempo (h)	início de pega	fim de pega
1	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
2	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
4	00:05:48	00:08:38
8	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
24	00:34:22	00:56:10

160 °C

tempo (h)	início de pega	fim de pega
1	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
2	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
4	00:05:58	00:08:55
8	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
24	00:34:52	00:54:25

180 °C

tempo (h)	início de pega	fim de pega
1	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
2	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
4	00:48:36	01:42:35
8	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
24	00:26:36	00:58:07

180 °C

tempo (h)	início de pega	fim de pega
1	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
2	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
4	00:46:13	01:35:12
8	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
24	00:26:43	00:53:06

180 °C

tempo (h)	início de pega	fim de pega
1	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
2	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
4	00:47:23	01:37:46
8	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
24	00:26:23	00:56:18

200 °C

tempo (h)	início de pega	fim de pega
1	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
2	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
4	00:10:15	00:12:52
8	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
24	00:04:53	00:07:48

200 °C

tempo (h)	início de pega	fim de pega
1	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
2	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
4	00:08:42	00:14:53
8	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
24	00:05:07	00:08:28

200 °C

tempo (h)	início de pega	fim de pega
1	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
2	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
4	00:09:35	00:16:03
8	NÃO ENDURECEU EM 72 H	
24	00:05:27	00:08:07

9.5 Tração na flexão

160 °C - 4 h

3 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	291,21	29,69	100	40,00	40	0,4550
CP2	431,79	44,02	100	40,00	40	0,6747
CP3	451,87	46,06	100	40,00	40	0,7060
CP4	412,97	42,10	100	40,00	40	0,6453
CP5	396,96	40,46	100	40,00	40	0,6203
média						0,6203
desvio padrão						0,0978

160 °C - 4 h

7 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	471,96	48,11	100	40,00	40	0,7374
CP2	492,04	50,16	100	40,00	40	0,7688
CP3	532,21	54,25	100	40,00	40	0,8316
CP4	522,38	53,25	100	40,00	40	0,8162
CP5	487,55	49,70	100	40,00	40	0,7618
média						0,7832
desvio padrão						0,0393

160 °C - 4 h

28 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	451,87	46,06	100	40,00	40	0,7060
CP2	602,5	61,42	100	40,00	40	0,9414
CP3	1034,29	105,43	100	40,00	40	1,6161
CP4	834,59	85,08	100	40,00	40	1,3040
CP5	730,87	74,50	100	40,00	40	1,1420
média						1,1419
desvio padrão						0,3469

160 °C - 24 h

3 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	923,83	94,17	100	40,00	40	1,4435
CP2	1044,33	106,46	100	40,00	40	1,6318
CP3	953,95	97,24	100	40,00	40	1,4905
CP4	964,00	98,27	100	40,00	40	1,5063
CP5	971,53	99,03	100	40,00	40	1,5180
média						1,5180
desvio padrão						0,0696

160 °C - 24 h

7 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	953,95	97,24	100	40,00	40	1,4905
CP2	853,54	87,01	100	40,00	40	1,3337
CP3	773,21	78,82	100	40,00	40	1,2081
CP4	923,83	94,17	100	40,00	40	1,4435
CP5	876,13	89,31	100	40,00	40	1,3690
média						1,3690
desvio padrão						0,1089

160 °C - 24 h

28 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	1154,29	117,66	100	40,00	40	1,8036
CP2	1014,2	103,38	100	40,00	40	1,5847
CP3	863,58	88,03	100	40,00	40	1,3493
CP4	994,12	101,34	100	40,00	40	1,5533
CP5	1004,55	102,40	100	40,00	40	1,5696
média						1,5721
desvio padrão						0,1610

180 °C - 4 h

3 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1		0,00	100	40,00	40	0,0000
CP2		0,00	100	40,00	40	0,0000
CP3		0,00	100	40,00	40	0,0000
CP4		0,00	100	40,00	40	0,0000

média	0,0000
desvio padrão	0,0000

180 °C - 4 h

7 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	271,12	27,64	100	40,00	40	0,4236
CP2	291,21	29,69	100	40,00	40	0,4550
CP3	283,54	28,90	100	40,00	40	0,4430
CP4	275,10	28,04	100	40,00	40	0,4298

média	0,4379
desvio padrão	0,0140

180 °C - 4 h

28 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	230,96	23,54	100	40,00	40	0,3609
CP2	140,58	14,33	100	40,00	40	0,2197
CP3	180,65	18,41	100	40,00	40	0,2823
CP4	178,13	18,16	100	40,00	40	0,2783

média	0,2853
desvio padrão	0,0580

180 °C - 24 h

3 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	1044,33	106,46	100	40,00	40	1,6318
CP2	1124,66	114,64	100	40,00	40	1,7573
CP3	1084,5	110,55	100	40,00	40	1,6945
CP4	994,12	101,34	100	40,00	40	1,5533
CP5	1061,90	108,25	100	40,00	40	1,6592
média						1,6592
desvio padrão						0,0756

180 °C - 24 h

7 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	923,83	94,17	100	40,00	40	1,4435
CP2	1004,16	102,36	100	40,00	40	1,5690
CP3	974,04	99,29	100	40,00	40	1,5219
CP4	1017,553	103,73	100	40,00	40	1,5899
CP5	978,03	99,70	100	40,00	40	1,5282
média						1,5305
desvio padrão						0,0563

180 °C - 24 h

28 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	1184,91	120,79	100	40,00	40	1,8514
CP2	1496,2	152,52	100	40,00	40	2,3378
CP3	1034,29	105,43	100	40,00	40	1,6161
CP4	1034,29	105,43	100	40,00	40	1,6161
CP5	1184,91	120,79	100	40,00	40	1,8514
média						1,8546
desvio padrão						0,2947

200 °C - 4 h

3 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	632,62	64,49	100	40,00	40	0,9885
CP2	542,25	55,28	100	40,00	40	0,8473
CP3	632,62	64,49	100	40,00	40	0,9885
CP4	461,91	47,09	100	40,00	40	0,7217
CP5	567,35	57,83	100	40,00	40	0,8865
média						0,8865
desvio padrão						0,1112

200 °C - 4 h

7 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	1225,08	124,88	100	40,00	40	1,9142
CP2	1174,87	119,76	100	40,00	40	1,8357
CP3	903,75	92,13	100	40,00	40	1,4121
CP4	1315,45	134,09	100	40,00	40	2,0554
CP5	1195,87	121,90	100	40,00	40	1,8685
média						1,8172
desvio padrão						0,2415

200 °C - 4 h

28 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	1265,25	128,98	100	40,00	40	1,9770
CP2	1205	122,83	100	40,00	40	1,8828
CP3	1295,37	132,05	100	40,00	40	2,0240
CP4	1144,35	116,65	100	40,00	40	1,7880
CP5	1159,41	118,19	100	40,00	40	1,8116
média						1,8967
desvio padrão						0,1023

200 °C - 24 h

3 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	1124,66	114,64	100	40,00	40	1,7573
CP2	1144,75	116,69	100	40,00	40	1,7887
CP3	1084,5	110,55	100	40,00	40	1,6945
CP4	1044,33	106,46	100	40,00	40	1,6318
CP5	1099,56	112,09	100	40,00	40	1,7181
média						1,7181
desvio padrão						0,0603

200 °C - 24 h

7 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	582,41	59,37	100	40,00	40	0,9100
CP2	702,91	71,65	100	40,00	40	1,0983
CP3	712,96	72,68	100	40,00	40	1,1140
CP4	682,83	69,61	100	40,00	40	1,0669
CP5	670,28	68,33	100	40,00	40	1,0473
média						1,0473
desvio padrão						0,0811

200 °C - 24 h

28 dias	Força (N)	Força (kgf)	Distância entre os cutelos (mm)	largura (mm)	altura (mm)	Resistência a tração na flexão (Mpa)
CP1	813,37	82,91	100	40,00	40	1,2709
CP2	482	49,13	100	40,00	40	0,7531
CP3	622,58	63,46	100	40,00	40	0,9728
CP4	572,27	58,34	100	40,00	40	0,8942
CP5	576,875	58,80	100	40,00	40	0,9014
média						0,9585
desvio padrão						0,1919

9.6 Compressão

160 °C - 4 h

3 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	1596,62	162,75	1600	0,9979
CP2	2259,37	230,31	1600	1,4121
CP3	2269,41	231,34	1600	1,4184
CP4	2289,49	233,38	1600	1,4309
CP5	2671,07	272,28	1600	1,6694
média				1,3857
desvio padrão				0,2422

160 °C - 4 h

7 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	2841,78	289,68	1600	1,7761
CP2	3022,53	308,11	1600	1,8891
CP3	3052,66	311,18	1600	1,9079
CP4	3102,86	316,30	1600	1,9393
CP5	4026,69	410,47	1600	2,5167
média				2,0058
desvio padrão				0,2921

160 °C - 4 h

28 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	7812,39	796,37	1600	4,8827
CP2	8726,18	889,52	1600	5,4539
CP3	4408,27	449,36	1600	2,7552
CP4	7625,46	777,31	1600	4,7659
CP5	7143,075	728,14	1600	4,4644
média				4,4644
desvio padrão				1,0206

160 °C - 24 h

3 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	6948,81	708,34	1600	4,3430
CP2	7280,18	742,12	1600	4,5501
CP3	8384,76	854,72	1600	5,2405
CP4	6868,47	700,15	1600	4,2928
CP5	7370,555	751,33	1600	4,6066
	média			4,6066
	desvio padrão			0,3785

160 °C - 24 h

7 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	7350,47	749,28	1600	4,5940
CP2	5984,81	610,07	1600	3,7405
CP3	8033,3	818,89	1600	5,0208
CP4	7772,22	792,28	1600	4,8576
CP5	7285,2	742,63	1600	4,5533
	média			4,5533
	desvio padrão			0,4933

160 °C - 24 h

28 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	6818,27	695,03	1600	4,2614
CP2	6737,93	686,84	1600	4,2112
CP3	7440,85	758,50	1600	4,6505
CP4	7119,41	725,73	1600	4,4496
CP5	8183,93	834,24	1600	5,1150
	média			4,5375
	desvio padrão			0,3663

180 °C - 4 h

3 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1		0,00	1600	0,0000
CP2		0,00	1600	0,0000
CP3		0,00	1600	0,0000
CP4		0,00	1600	0,0000
CP5		0,00	1600	0,0000
média				0,0000
desvio padrão				0,0000

180 °C - 4 h

7 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	1917,95	195,51	1600	1,1987
CP2	2028,41	206,77	1600	1,2678
CP3	1980,15	201,85	1600	1,2376
CP4	2010,11	204,90	1600	1,2563
CP5	1984,16	202,26	1600	1,2401
média				1,2401
desvio padrão				0,0262

180 °C - 4 h

28 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	1456,04	148,42	1600	0,9100
CP2	1325,49	135,12	1600	0,8284
CP3	873,62	89,05	1600	0,5460
CP4	1212,25	123,57	1600	0,7577
CP5	1216,85	124,04	1600	0,7605
média				0,7605
desvio padrão				0,1351

180 °C - 24 h

3 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	8414,88	857,79	1600	5,2593
CP2	9067,59	924,32	1600	5,6672
CP3	9027,42	920,23	1600	5,6421
CP4	8896,88	906,92	1600	5,5606
CP5	8851,693	902,31	1600	5,5323
média				5,5323
desvio padrão				0,1625

180 °C - 24 h

7 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	8445,01	860,86	1600	5,2781
CP2	7310,31	745,19	1600	4,5689
CP3	6818,27	695,03	1600	4,2614
CP4	6165,56	628,50	1600	3,8535
CP5	7184,788	732,39	1600	4,4905
média				4,4905
desvio padrão				0,5208

180 °C - 24 h

28 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	7942,93	809,68	1600	4,9643
CP2	7571,39	771,80	1600	4,7321
CP3	13887,53	1415,65	1600	8,6797
CP4	12692,62	1293,85	1600	7,9329
CP5	6265,68	638,70	1600	3,9161
média				6,0450
desvio padrão				2,1172

200 °C - 4 h

3 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1		0,00	1600	0,0000
CP2		0,00	1600	0,0000
CP3		0,00	1600	0,0000
CP4		0,00	1600	0,0000
CP5		0,00	1600	0,0000
		média		0,0000
		desvio padrão		0,0000

200 °C - 4 h

7 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	9228,26	940,70	1600	5,7677
CP2	8003,18	815,82	1600	5,0020
CP3	8043,34	819,91	1600	5,0271
CP4	8224,09	838,34	1600	5,1401
CP5	8374,718	853,69	1600	5,2342
		média		5,2342
		desvio padrão		0,3124

200 °C - 4 h

28 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	6717,85	684,80	1600	4,1987
CP2	5362,23	546,61	1600	3,3514
CP3	8294,39	845,50	1600	5,1840
CP4	7752,14	790,23	1600	4,8451
CP5	6105,31	622,36	1600	3,8158
		média		4,2790
		desvio padrão		0,7451

200 °C - 24 h

3 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	8766,34	893,61	1600	5,4790
CP2	4086,94	416,61	1600	2,5543
CP3	8746,26	891,57	1600	5,4664
CP4	6717,65	684,78	1600	4,1985
CP5	7079,298	721,64	1600	4,4246
	média			4,4246
	desvio padrão			1,1985

200 °C - 24 h

7 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	4609,11	469,84	1600	2,8807
CP2	4910,36	500,55	1600	3,0690
CP3	5010,77	510,78	1600	3,1317
CP4	4036,76	411,49	1600	2,5230
CP5	4641,75	473,17	1600	2,9011
	média			2,9011
	desvio padrão			0,2370

200 °C - 24 h

28 dias	Força (N)	Força (kgf)	Área (mm ²)	Compressão (Mpa)
CP1	2610,82	266,14	1600	1,6318
CP2	2851,82	290,71	1600	1,7824
CP3	3283,61	334,72	1600	2,0523
CP4	2530,49	257,95	1600	1,5816
CP5	2932,16	298,90	1600	1,8326
	média			1,7761
	desvio padrão			0,1859

9.7 Dureza Superficial

160 °C - 4 h

3 dias	Força (N)	Profundidade (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	5,53	12	2,3984
CP2	500	4,61	12	2,8770
CP3	500	4,24	12	3,1280
CP4	500	4,52	12	2,9343
média				2,8344
desvio padrão				0,3099

160 °C - 4 h

7 dias	Força (N)	Deformação (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	4,24	12	3,1280
CP2	500	3,70	12	3,5846
CP3	500	2,99	12	4,4358
CP4	500	2,62	12	5,0622
média				4,0526
desvio padrão				0,8641

160 °C - 4 h

28 dias	Força (N)	Deformação (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	1,16	12	11,4335
CP2	500	1,80	12	7,3683
CP3	500	1,69	12	7,8479
CP4	500	1,65	12	8,0381
média				8,6720
desvio padrão				1,8625

160 °C - 24 h

3 dias	Força (N)	Profundidade (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	1,64	12	8,0871
CP2	500	1,46	12	9,0842
CP3	500	1,38	12	9,6108
CP4	500	1,21	12	10,9611
média				9,4358
desvio padrão				1,1972

160 °C - 24 h

7 dias	Força (N)	Deformação (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	1,41	12	9,4063
CP2	500	1,18	12	11,2398
CP3	500	1,39	12	9,5417
CP4	500	1,55	12	8,5567
média				9,6861
desvio padrão				1,1238

160 °C - 24 h

28 dias	Força (N)	Deformação (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	0,92	12	14,4162
CP2	500	0,94	12	14,1095
CP3	500	1,23	12	10,7829
CP4	500	1,02	12	13,0029
média				13,0778
desvio padrão				1,6460

180 °C - 4 h

3 dias	Força (N)	Profundidade (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	2,57	12	5,1607
CP2	500	2,52	12	5,2631
CP3	500	2,77	12	4,7881
CP4	500	3,20	12	4,1447
média				4,8391
desvio padrão				0,5060

180 °C - 4 h

7 dias	Força (N)	Deformação (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	4,23	12	3,1354
CP2	500	3,81	12	3,4811
CP3	500		12	0,0000
CP4	500		12	0,0000
média				3,3083
desvio padrão				0,2444

180 °C - 4 h

28 dias	Força (N)	Deformação (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500		12	0,0000
CP2	500		12	0,0000
CP3	500		12	0,0000
CP4	500		12	0,0000
média				0,0000
desvio padrão				0,0000

180 °C - 24 h

3 dias	Força (N)	Profundidade (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	1,08	12	12,2805
CP2	500	1,03	12	12,8766
CP3	500	1,28	12	10,3616
CP4	500	1,64	12	8,0871
média				10,9015
desvio padrão				2,1614

180 °C - 24 h

7 dias	Força (N)	Deformação (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	1,86	12	7,1306
CP2	500	1,80	12	7,3683
CP3	500	1,36	12	9,7521
CP4	500	1,28	12	10,3616
média				8,6532
desvio padrão				1,6427

180 °C - 24 h

28 dias	Força (N)	Deformação (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	0,55	12	24,1144
CP2	500	0,65	12	20,4045
CP3	500	0,95	12	13,9610
CP4	500	0,75	12	17,6839
média				19,0409
desvio padrão				4,2913

200 °C - 4 h

3 dias	Força (N)	Profundidade (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	1,21	12	10,9611
CP2	500	2,16	12	6,1402
CP3	500	2,35	12	5,6438
CP4	500	2,01	12	6,5985
média				7,3359
desvio padrão				2,4480

200 °C - 4 h

7 dias	Força (N)	Deformação (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	1,24	12	10,6959
CP2	500	2,05	12	6,4697
CP3	500	1,48	12	8,9614
CP4	500	1,27	12	10,4432
média				9,1426
desvio padrão				1,9392

200 °C - 4 h

28 dias	Força (N)	Deformação (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	0,55	12	24,1144
CP2	500	0,68	12	19,5043
CP3	500	1,12	12	11,8419
CP4	500	0,75	12	17,6839
média				18,2861
desvio padrão				5,0775

200 °C - 24 h

3 dias	Força (N)	Profundidade (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	1,21	12	10,9611
CP2	500	0,98	12	13,5336
CP3	500	1,64	12	8,0871
CP4	500	1,10	12	12,0572
média				11,1598
desvio padrão				2,3037

200 °C - 24 h

7 dias	Força (N)	Deformação (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	1,52	12	8,7256
CP2	500	2,31	12	5,7415
CP3	500	2,27	12	5,8427
CP4	500	1,8	12	7,3683
média				6,9195
desvio padrão				1,4155

200 °C - 24 h

28 dias	Força (N)	Deformação (mm)	Diâmetro da esfera (mm)	Dureza (N/mm ²)
CP1	500	1,42	12	9,3401
CP2	500	1,51	12	8,7834
CP3	500	1,65	12	8,0381
CP4	500	1,53	12	8,6686
média				8,7075
desvio padrão				0,5340