

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

NAYRA ALBERICI PINTO

**COMPÓSITOS À BASE DE GESSO INCORPORADOS COM RESÍDUOS DE
BORRACHA PROVENIENTE DO PROCESSO DE RECAUCHUTAGEM DE PNEUS**

Ilha Solteira
2017

NAYRA ALBERICI PINTO

**COMPÓSITOS À BASE DE GESSO INCORPORADOS COM RESÍDUOS DE
BORRACHA PROVENIENTE DO PROCESSO DE RECAUCHUTAGEM DE PNEUS**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Civil.
Área do Conhecimento: Estruturas.

Orientador: Jorge Luís Akasaki

Co-orientador: Cesar Fabiano Fioriti

Ilha Solteira
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P659c Pinto, Nayra Alberici.
Compósitos à base de gesso incorporados com resíduos de borracha
proveniente do processo de recauchutagem de pneus / Nayra Alberici Pinto. --
Ilha Solteira: [s.n.], 2017
135 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2017

Orientador: Jorge Luís Akasaki

Co-orientador: Cesar Fabiano Fioriti

Inclui bibliografia

1. Compósitos de gesso. 2. Borracha de pneus. 3. Caracterização físico-
mecânica. 4. Comportamento térmico. 5. Material alternativo de construção.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: COMPÓSITOS À BASE DE GESSO INCORPORADOS COM RESÍDUOS DE BORRACHA PROVENIENTE DO PROCESSO DE RECAUCHUTAGEM DE PNEUS

AUTORA: NAYRA ALBERICI PINTO

ORIENTADOR: JORGE LUIS AKASAKI

COORIENTADOR: CÉSAR FABIANO FIORITI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA CIVIL,
área: ESTRUTURAS pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MAURO MITSUUCHI TASHIMA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. JORGE JUÁN PAYÁ BERNABEU
ICITECH - Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón / Universitat Politècnica de Valencia

Ilha Solteira, 30 de maio de 2017

Dedico este trabalho à minha família, pelo carinho, paciência, apoio e incentivo e aos meus avós, que me ensinam todos os dias o significado de amor, superação, dedicação e fé.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jorge Luís Akasaki, pela orientação, sugestões, profissionalismo, pelo conhecimento compartilhado e pelas contribuições dadas e este trabalho.

Ao Prof. Dr. Cesar Fabiano Fioriti, pela dedicada orientação desde a iniciação científica até o mestrado, pelos ensinamentos, conselhos, paciência e amizade formada durante cinco anos de trabalho.

Ao Prof. Dr. Jordi Payá Bernabeu, pela orientação em Valência/Espanha e constante motivação para continuidade deste trabalho, além dos ensinamentos divididos ao longo de seu desenvolvimento.

Ao Prof. Dr. Mauro Mitsuuchi Tashima pelas contribuições valiosas durante o mestrado e durante o trabalho desenvolvido.

À Thais, pelo auxílio no laboratório, pela amizade e pela dedicação constante durante toda a pesquisa.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia Civil, em especial ao Gilson e ao Fábio, pelo auxílio na realização dos ensaios e em tudo o que era necessário.

À empresa Do Vale Prudente Pneus e Recapagens Ltda., que forneceu os resíduos de borracha.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo fomento à pesquisa - processo nº 2015/17658-4.

A todos do Departamento de Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira, e em geral, às pessoas que de alguma forma contribuíram na realização desta pesquisa.

“A persistência é o caminho para o êxito”. Charles Chaplin.

RESUMO

O gesso é o material sintético construtivo mais antigo que se tem notícia, e sua ampla utilização é devido as suas boas propriedades termoacústicas e de resistência ao fogo. No Brasil, seu emprego concentra-se em forros, revestimentos e paredes divisórias, conhecidas como gesso acartonado. Todavia, o gesso é um material sobre o qual existe pouco conhecimento ao nível da investigação. E este projeto se propõe a estudar mais esse material, através da confecção de compósitos a base de gesso com a incorporação de borracha de pneus, tornando-o assim um material sustentável. A borracha proveniente do processo de recauchutagem de pneus inservíveis tem ampla aplicação em pesquisas com concretos e argamassas; porém pouco se sabe sobre sua aplicação no gesso. Para atingir o objetivo proposto nesse trabalho serão feitos ensaios de microscopia eletrônica de varredura, resistência à ruptura na flexão, resistência à compressão, dureza superficial, absorção de água, densidade superficial de massa, consistência (*mini-slump*) e comportamento térmico. Dessa maneira, é possível afirmar que a incorporação de borracha pode ser interessante para a produção de placas de gesso, uma vez que pode incorporar um resíduo sem destino totalmente adequado, produzindo placas com características semelhantes das já utilizadas e ainda contribuindo em aspectos como densidade, dureza superficial e isolamento térmico. Sendo assim, dentre as granulometrias utilizadas neste estudo, a borracha grossa pode ser considerada a que teve melhor desempenho, uma vez que apresentou características de ser mais trabalhável, menos absorvente e mais isolante termicamente, além de apresentar resistências à compressão e a flexão adequadas para sua utilização (não estrutural), menores moissas e maior leveza do material.

Palavras-chave: Compósitos de gesso. Borracha de pneus. Caracterização físico-mecânica. Comportamento térmico. Material alternativo de construção.

ABSTRACT

Gypsum is the oldest constructive synthetic material ever heard, and their widespread use is due to its good thermoacoustic properties and fire resistance. In Brazil, its use is focused on linings, coating and partitions, known as drywall. However, the gypsum is a material on which there is little knowledge in terms of research. And this project aims to study more this material through the production of composite gypsum with tire rubber incorporation, thus making it a sustainable material. The rubber from the retreading process scrap tires has wide application in research on concrete and mortar; but little is known about its application in gypsum. In order to reach the objective proposed in this work, scanning electron microscopy, flexural strength, compressive strength, surface hardness, water absorption, bulk density, consistency (mini-slump) and thermal behavior will be performed. In this way, it is possible to affirm that the incorporation of rubber can be interesting for the production of gypsum boards, since it can incorporate a residue without destination completely, producing plates with characteristics similar to those already used and still contributing in aspects such as density, surface hardness and thermal insulation. Thus, among the granulometries used in this study, the thick rubber can be considered the one that had better performance, since it presented characteristics of being more workable, less absorbent and more thermally insulating, besides presenting resistance to compression and flexion adequate for its use (non-structural), smaller dents and greater lightness of the material.

Keywords: Gypsum composite. Tire rubber. Physical and mechanical characterization. Thermal behavior. Alternative building material.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Pirâmide de <i>Quéops</i> no Egito.....	20
Figura 2	- Extração da gipsita.....	23
Figura 3	- Cristais de hemidrato α : grandes (em torno de 20 μm), bem formados e sem poros.....	25
Figura 4	- Cristais de hemidrato β : pequenos (menor que 10 μm), mal formados e porosos.....	26
Figura 5	- Partes componentes do pneu.....	32
Figura 6	- Maior aterro de pneus inservíveis do mundo, no Kuwait....	33
Figura 7	- Inspeção da carcaça.....	37
Figura 8	- Raspagem da carcaça.....	37
Figura 9	- Reparação da carcaça.....	38
Figura 10	- Aplicação do anel da carcaça.....	38
Figura 11	- Vulcanização.....	39
Figura 12	- Inspeção final.....	39
Figura 13	- Resultados do ensaio de resistência à flexão em três pontos.....	41
Figura 14	- Resultados do ensaio de resistência à flexão.....	44
Figura 15	- Comparação da dureza superficial dos compósitos e a amostra referência.....	45
Figura 16	- Variação da temperatura nas faces dos corpos de prova..	46
Figura 17	- Borracha de pneus no agitador de peneiras.....	51
Figura 18	- Borracha fina.....	51
Figura 19	- Borracha grossa.....	52
Figura 20	- Curva granulométrica da borracha.....	54
Figura 21	- Molde tronco-cônico utilizado no ensaio de consistência...	58
Figura 22	- a) Molde tronco-cônico de acrílico do ensaio de consistência; b) Vista superior do molde com o compósito a ensaiar.....	60
Figura 23	- Forma de 300 x 300 x 15 mm de PVC utilizada para confeccionar os corpos de prova de absorção de água....	61
Figura 24	- Corpos de prova submersos em água para o ensaio de absorção.....	62
Figura 25	- Forma de 400 x 300 x 15 mm de PVC utilizada para confeccionar os corpos de prova de resistência à flexão...	63
Figura 26	- Prensa de CBR para ensaios de resistência à flexão.....	63
Figura 27	- a) Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de resistência à ruptura na flexão; b) Corpo de prova rompido durante ensaio.....	64
Figura 28	- Esfera de aço utilizada no ensaio de dureza superficial....	65
Figura 29	- a) Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de dureza superficial; b) Esfera de aço sobre a placa ensaiada.....	66
Figura 30	- Corpo de prova sendo pesado no ensaio de densidade superficial de massa.....	67
Figura 31	- Forma metálica para confecção dos corpos de prova de resistência à compressão.....	68

Figura 32	- Prensa universal para ensaios de resistência à compressão.....	68
Figura 33	- Corpo de prova cúbico sendo submetido ao ensaio de resistência à compressão.....	69
Figura 34	- Microscópio Eletrônico de Varredura utilizado.....	70
Figura 35	- Sputtering Quorum.....	71
Figura 36	- Termopares.....	72
Figura 37	- Relógio termohigrômetro.....	73
Figura 38	- a) Suporte vazado de isopor; b) Placa colocada sobre o suporte de isopor para ser ensaiada.....	74
Figura 39	- Posicionamento dos termopares no ensaio de comportamento térmico.....	74
Figura 40	- Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de consistência (<i>mini-slump</i>).....	76
Figura 41	- a) Ensaio de consistência sendo realizado no C5; b) Forma obtida pela sua consistência.....	77
Figura 42	- Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de absorção de água.....	79
Figura 43	- Ensaio de absorção de água em todos os compósitos.....	80
Figura 44	- Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de resistência à flexão.....	83
Figura 45	- Placa do compósito 2, mesmo após o ensaio de flexão não se rompeu, apenas fissurou.....	84
Figura 46	- Placa do compósito 1, completamente rompida ao final do ensaio.....	85
Figura 47	- Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de dureza superficial.....	87
Figura 48	- Placa ensaiada do C7(7,5-7,5).....	90
Figura 49	- Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de densidade superficial.....	92
Figura 50	- Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de densidade.....	95
Figura 51	- Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.....	98
Figura 52	- Cristalização do gesso na pasta controle.....	100
Figura 53	- Cristalização do gesso no compósito C1(5-0).....	101
Figura 54	- Cristalização do gesso no compósito C2(0-5).....	101
Figura 55	- Cristalização do gesso no compósito C8(10-5).....	102
Figura 56	- Aderência do gesso com borracha fina no compósito C3(10-0).....	103
Figura 57	- Aderência do gesso com borracha grossa no compósito C4(0-10).....	103
Figura 58	- Aderência do gesso no compósito C7(7,5-7,5).....	104
Figura 59	- Comportamento térmico dos compósitos com 5% de borracha.....	105
Figura 60	- Comportamento térmico dos compósitos com 10% de borracha.....	105
Figura 61	- Comportamento térmico dos compósitos com 15% de borracha de apenas uma das granulometrias.....	106

Figura 62	- Comportamento térmico dos compósitos com 5, 10 e 15% de borracha fina.....	107
Figura 63	- Comportamento térmico dos compósitos com 5, 10 e 15% de borracha grossa.....	108
Figura 64	- Comportamento térmico dos compósitos com 15% de incorporação das duas granulometrias.....	110
Figura 65	- Gráfico de variação relativa aos resultados do compósito controle (Compósitos de C1 a C6).....	113
Figura 66	- Gráfico de variação relativa aos resultados do compósito controle (Compósitos C7 a C9).....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Resultados de Massa unitária e Massa específica da borracha de pneus.....	53
Tabela 2	- Resultados da composição granulométrica da borracha de pneus.....	54
Tabela 3	- Resultados obtidos na caracterização do gesso.....	55
Tabela 4	- Dados do Superplastificante ViscoCrete 5800 FTN.....	55
Tabela 5	- Esquema de variáveis a serem analisadas no programa experimental e quantidade de corpos de prova a serem ensaiados.....	57
Tabela 6	- Resultados obtidos pelo ensaio de consistência (<i>mini-slump</i>).....	75
Tabela 7	- Resultados obtidos pelo ensaio de absorção de água.....	78
Tabela 8	- Resultados obtidos pelo ensaio de resistência à ruptura na flexão.....	82
Tabela 9	- Resultados obtidos pelo ensaio de dureza superficial.....	87
Tabela 10	- Resultados obtidos pelo ensaio de densidade superficial..	91
Tabela 11	- Resultados obtidos pelo ensaio de densidade.....	94
Tabela 12	- Resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão.....	97
Tabela 13	- Valores das médias finais e valores relativos.....	112

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVO.....	15
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
1.3	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	17
2	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	18
2.1	GESSO.....	20
2.1.1	Histórico.....	20
2.1.2	Definição.....	21
2.1.3	Gesso na construção civil.....	21
2.1.4	Processo de produção.....	22
2.1.5	Propriedades no estado fresco.....	27
2.1.6	Propriedades no estado endurecido.....	28
2.2	BORRACHA DE PNEUS.....	30
2.2.1	Histórico.....	30
2.2.2	Definição.....	31
2.2.3	Partes constituintes.....	32
2.2.4	Impactos decorrentes da disposição inadequada de pneus.....	33
2.2.5	Recauchutagem de pneus.....	35
2.3	COMPÓSITOS DE GESSO.....	39
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3.1	MATERIAIS.....	49
3.1.1	Gesso.....	49
3.1.2	Borracha de pneus.....	49
3.1.3	Água de amassamento.....	49
3.1.4	Superplastificante.....	50
3.2	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	50
3.2.1	Caracterização dos materiais.....	50
3.2.2	Planejamento dos ensaios.....	56
3.2.3	Confecção dos corpos de prova.....	57
3.2.4	Determinação da consistência.....	58
3.2.5	Determinação da absorção de Água.....	60
3.2.6	Determinação da resistência à ruptura na flexão.....	62
3.2.7	Determinação da dureza superficial.....	65
3.2.8	Determinação da densidade superficial de massa.....	66
3.2.9	Determinação da resistência à compressão.....	67
3.2.10	Ensaio de microscopia eletrônica de varredura.....	69
3.2.11	Ensaio de comportamento térmico.....	71
4	RESULTADOS OBTIDOS.....	75
4.1	CONSISTÊNCIA (MINI-SLUMP).....	75
4.2	ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	78
4.3	RESISTÊNCIA À RUPTURA NA FLEXÃO.....	81
4.4	DUREZA SUPERFICIAL.....	86
4.5	DENSIDADE SUPERFICIAL.....	90
4.6	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	96

4.7	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	100
4.8	COMPORTAMENTO TÉRMICO.....	104
4.9	SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	111
5	CONCLUSÕES.....	117
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	118
	REFERÊNCIAS.....	120
	APÊNDICE A – Ensaios Térmicos.....	128

1 INTRODUÇÃO

Sabendo que, nos nossos dias, apenas cerca de 10% (em massa) de tudo o que é extraído do planeta pela indústria é que se torna um produto útil e o restante pode ser considerado resíduo, torna-se urgente uma gestão sustentável dos recursos naturais existentes que nos leve a um consumo também sustentável. Assim, a necessidade mundial de sustentabilidade exige que, cada vez mais, se recorra ao uso de produtos alternativos na construção, tal como os que incorporam na sua constituição resíduos industriais. Estes são convencionalmente referidos como “materiais verdes” (CAMÕES et. al., 2012).

A indústria da construção civil, além de ser a responsável por mais da metade dos resíduos sólidos urbanos gerados, ainda é considerada a maior consumidora individual de recursos naturais. Os impactos causados por essa indústria têm motivado pesquisas que objetivam desenvolver novas técnicas de reutilização e reciclagem de resíduos para fabricação de materiais alternativos e incentivar o desenvolvimento sustentável.

Por outro lado, a utilização do gesso na construção, empregado de diversas formas, vem crescendo cada vez mais em função de vantagens como rápida execução, baixa produção de resíduos e entulhos, bom acabamento superficial e bom isolamento termoacústico, além de permitir a construção de elementos diferenciados. Outra vantagem do gesso também é devido ao baixo impacto ambiental com relação ao seu processo de fabricação, que exige um baixo consumo de energia, quando comparado ao cimento Portland, o gesso constitui-se, nesse aspecto, em um ligante bem menos agressivo ao meio ambiente (CUNHA, 2012).

De acordo com dados apresentados pelo Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco - SINDUSGESSO (2014) e o Ministério de Minas e Energia - MME (2009), o Estado de Pernambuco possui uma reserva estimada em 1,45 bilhões de toneladas de gipsita, sendo uma das mais importantes e expressivas do mundo, principalmente pelo seu alto teor de pureza. E embora o crescimento anual do uso do gesso, nos últimos anos, seja da ordem de 20 a 30%, segundo esse mesmo sindicato com valores referentes ao ano de 2008, o consumo *per capita* do material no Brasil ainda não

ultrapassa 13 kg, enquanto na Espanha era da ordem de 189,3 kg/habitante e nos Estados Unidos de 81,1 kg/habitantes.

Tem-se estudado a incorporação de fibras, sejam vegetais ou sintéticas, e de resíduos, sobretudo da indústria de calçados, na produção de compósitos à base de gesso, com intuito de melhorar suas propriedades físicas, mecânicas, produzindo assim materiais mais leves, resistentes e economicamente mais interessantes (LIMA, 2011).

Nas referências bibliográficas estudadas observaram-se compósitos de gesso com diversos materiais, como vermiculita, fibras de algodão, papel reciclado, cortiça, partículas de contraforte de calçados, fibra de sisal, entre outros, o que torna essas pesquisas bastante importantes, visto que o gesso é um material amplamente conhecido na construção pelas suas diversas aplicações, todavia possui um número menor de pesquisa quando comparado ao concreto.

Diante do exposto foi estudado o material gesso, por meio da incorporação de partículas de borracha de pneus oriundas do processo mecânico de recauchutagem. A borracha de pneus, além do seu papel como adição, cumpre um papel ambiental e sustentável, visto que sua disposição inadequada vem acarretando uma série de danos ao meio ambiente por não se decompor.

1.1 OBJETIVO

O principal objetivo do presente estudo foi obter um material compósito a base de gesso, com incorporação de resíduos de borracha vulcanizada proveniente do processo de recauchutagem de pneus, por meio da revisão das propriedades desse resíduo, de modo a produzir um material alternativo para aplicação em elementos construtivos, com perspectiva de aplicação em paredes divisórias e forros. Contribuindo para a redução destes rejeitos de borracha no ambiente, na medida em que propicia sua absorção e contribui na disposição final deste material poluidor.

Fez parte também dos objetivos avaliar os compósitos em relação a suas características físicas através de ensaios de consistência (*mini-slump*), resistência mecânica à compressão simples, capacidade de absorção de água,

densidade superficial de massa, resistência à ruptura na flexão, dureza superficial, microscopia eletrônica de varredura e o comportamento térmico.

1.2 JUSTIFICATIVA

A opção pela utilização dos resíduos de borracha vulcanizada justifica-se principalmente pela possibilidade técnica do seu emprego e principalmente pela conservação do ambiente. Os resíduos oriundos da recauchutagem de pneus são definidos como sólidos particularmente intratáveis, uma vez que não se decompõem, podendo desencadear efeitos nocivos e adversos se utilizados em incineradores de resíduos domésticos, além do fato de apresentarem risco potencial de incêndio e serem visualmente indesejáveis.

No Brasil, o reaproveitamento e a reciclagem são questões que ainda não suprem a necessidade diante da grande quantidade de resíduos gerados no país, mesmo havendo tais possibilidades, para a borracha de pneus, por exemplo, a quantidade de empresas recuperadoras é insuficiente para absorção de todo o material descartado.

Segundo dados da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP (2016) e da Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus - ABR (2016), a indústria brasileira em 2016 produziu mais de 67,8 milhões de pneus novos, enquanto apenas 7,8 milhões de pneus de carga e 4,9 milhões de pneus de automóveis foram reformados no ano de 2015, por exemplo. No Brasil a reforma de pneus proporciona uma economia para o setor de transportes de R\$ 7 bilhões anualmente, além de gerar índices de emprego que atinge mais de 180 mil postos de trabalho, e o valor do processo de recauchutagem pode custar cerca de 1/3 do preço de um pneu novo. Além disso, o processo apresenta benefícios para o ecossistema do planeta, uma vez que cada pneu de caminhão recapado economiza 50 litros de petróleo e de carro, 18 litros, além de postergar a condição do pneu para inservível (quando não é mais possível ser utilizado para circulação ou reforma). A energia é reduzida em 80%, deixando de emitir para a atmosfera 1.630 bilhões de metros cúbicos de CO₂. O pneu reformado tem o mesmo rendimento em quilometragem quando comparado ao pneu novo, com redução de 57% no custo por quilômetro.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Para atingir os objetivos propostos, o tema foi desenvolvido ao longo de seis capítulos.

No capítulo 2 foi feito o levantamento bibliográfico sobre o tema estudado, abordando o histórico, o conceito e a utilização dos materiais envolvidos neste trabalho, bem como os compósitos recentemente estudados.

No capítulo 3 é apresentada a descrição dos materiais utilizados, seguido pela explanação da metodologia utilizada em cada etapa deste trabalho: caracterização dos materiais, produção dos corpos de prova e realização do programa experimental de ensaios.

Os resultados e análises referentes ao programa experimental proposto são apresentados no capítulo 4.

Por fim, no capítulo 5 estão dispostas as conclusões adquiridas ao longo do desenvolvimento deste trabalho e as sugestões para futuras pesquisas.

2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Devido às carências e exigências dos mercados consumidores na indústria da construção civil, cresce compulsivamente a necessidade de surgimento e aprimoramento de materiais alternativos, indispensáveis para o bem estar e satisfação desse mercado.

O grande interesse pela gipsita é atribuído a algumas características peculiares que consistem na facilidade de desidratação e reidratação, na abundância desse material em nosso país (maior reserva mundial), no baixo custo e consumo energético em relação a sua produção, e pela viabilidade de reciclagem dos resíduos gerados ao longo de sua cadeia produtiva (ROCHA, 2007).

Com uma cadeia produtiva própria, o segmento gesseiro concentra suas atividades nos setores: (i) de extração mineral; (ii) calcinação – produção de gesso; (iii) produção de componentes; e (iv) aplicação na construção civil (PINHEIRO, 2011).

O gesso é um aglomerante constituído de sulfatos de cálcio hemi-hidratados e anidros. É obtido pela calcinação da gipsita natural, constituída de sulfato de cálcio bi-hidratado e de impurezas, como sílica, alumina, óxido de ferro, carbonatos de cálcio e magnésio. Esse processo é obtido em fornos, com temperaturas e tempos controlados, devido à influência que essas impurezas terão no produto final (DE MILITO, 2001).

Os hemi-hidratos e os sulfatos anidros solúveis resultantes da calcinação da gipsita, em presença de água, a temperatura ambiente, reconstituem rapidamente o sulfato bi-hidratado original. Essa combinação faz-se com a produção de uma fina malha cristalizada, interpenetrada, responsável pela coesão do conjunto. Tal fenômeno, conhecido pelo nome de pega do gesso, é acompanhada de elevação da temperatura, por ser a hidratação uma reação exotérmica (BAUER, 1994).

O gesso é encontrado no mercado brasileiro a granel ou em sacas de 40 kg, sendo um pó branco de elevada finura, cuja massa unitária varia de 0,70 a 1,00 g/cm³, diminuindo com o grau da finura. Sua massa específica aparente é de cerca de 2,70 g/cm³.

Na construção civil, o gesso é usado especialmente em revestimentos e decorações interiores, na fabricação de ornamentos, painéis para parede, forros entre outros. Para os revestimentos em painéis, a pasta ou a argamassa de gesso, pode ser aplicada de forma manual ou projetada mecanicamente.

A utilização do gesso na construção civil é regulada pela ABNT NBR 13207:1994. A determinação das propriedades do gesso para utilização na construção está nas normas ABNT NBR 12127:1994 / 12128:1991 / 12129:1991 / 12130:1991.

Os sistemas de vedação interna com gesso, além da redução de sobrecarga, também contribuem para uma melhor racionalização das atividades de produção. Isso se dá tendo em vista que sua execução pode ser efetuada após o acabamento interno da edificação, o que certamente acelera sua construção e, por consequência, garante sua entrega num menor espaço de tempo (ROCHA, 2007).

A redução dos custos pode ser vistos tanto pelo gesso dispensar o rejuntamento necessário em uma obra de alvenaria (chapisco, emboço e reboco), como também ter uma execução bem mais rápida, além de diminuir os custos com a mão de obra.

Por outro lado, a utilização de borracha proveniente do processo mecânico da recauchutagem de pneus na construção civil vem sendo amplamente estudada, através de pesquisas envolvendo compósitos cimentícios, como incorporação ou substituição, com a finalidade de se obter um material mais econômico, leve e sustentável.

No Brasil, o reaproveitamento e a reciclagem são questões que ainda não suprem a necessidade diante da grande quantidade de resíduos gerados no país, mesmo havendo tais possibilidades, para a borracha de pneus, por exemplo, a quantidade de empresas recuperadoras é insuficiente para absorção de todo o material descartado.

A borracha de pneus é considerada um produto não biodegradável, por não se decompor, o pneu pode acarretar em efeitos nocivos se passado pelo processo de incineração de resíduos domésticos, pode comprometer a compactação em aterros e torna-se elemento desinteressante quando empilhado, além de apresentar risco potencial de incêndio e de ser propício para desenvolvimento de vetores de doenças.

Dessa forma, torna-se importante o desenvolvimento de alternativas para o destino dos resíduos de pneus, sendo a construção civil uma das áreas com maior possibilidade de incorporação desse tipo de resíduo.

2.1 GESSO

2.1.1 Histórico

O gesso é um dos mais antigos materiais de construção fabricados pelo homem. Por meio de descobertas arqueológicas, tornou-se evidente que o emprego do gesso remonta ao 8º milênio a.C. (ruínas na Síria e na Turquia). As argamassas em gesso e cal serviram de suporte em afresco e decorativos, na realização de pisos e mesmo na fabricação de recipientes (GOUDIN; KINGERY, 1975).

O gesso também tem papel de destaque pela pirâmide erguida por *Quéops* (Figura 1), rei do Egito, da 4ª dinastia, no ano de 2.800 antes da nossa era (LIMA, 2011), que consistindo numa das mais antigas contradições do emprego do gesso na construção, pois, sua execução seguiu uma técnica até hoje não esclarecida, nas juntas de assentamento estanques, de precisão, entre imensos blocos de cerca de 16 toneladas que constituem o monumento.

Figura 1 – Pirâmide de Quéops no Egito.



Fonte: Newhouse (1992)

O gesso, inicialmente usado em obras de arte e decoração, é um dos mais antigos materiais utilizado pelo homem, conforme atestam algumas importantes descobertas arqueológicas (PERES et al., 2001; DOMINGUES; SANTOS, 2001).

A partir do século XII e por todo o fim da Idade Média, as construções utilizando as argamassas com gesso eram desejadas por oferecerem diversas vantagens. O gesso para estuque e alisamento já era conhecido (ROCHA, 2007).

Na Europa, o uso do gesso na construção civil popularizou-se a partir do século XVIII, quando também passou a ser utilizado como corretivo de solos. A utilização do gesso nessa época foi bastante generalizada na construção. Na França, do montante das construções existentes, 75% dos hotéis, a totalidade dos prédios públicos e populares realizados em panos de madeira e argamassa de gesso, as novas construções ou as reformas, cerca de 95% foram feitas em gesso (MPGESSO, 2010).

A fabricação de gesso era empírica e rudimentar, porém *Lavoisier*, em 1768, presenteou a Academia de Ciências Francesa com o primeiro estudo científico dos fenômenos, que são à base da preparação do gesso (ROCHA, 2007).

A partir do século XX, em função da evolução industrial, os equipamentos para a produção do gesso deixaram de ser incipientes e passaram a agregar maior tecnologia. Esta melhoria tecnológica facilitou as formas de emprego pelo homem, principalmente após as descobertas de métodos para controlar o tempo de pega que permitiu sua utilização como material aglomerante na construção (LIMA, 2011).

2.1.2 Definição

A ABNT NBR 13207:1994 define gesso para construção como sendo “material moído em forma de pó, obtido da calcinação da gipsita, constituído predominantemente de sulfato de cálcio, podendo conter aditivos controladores do tempo de pega”.

2.1.3 Gesso na construção civil

Como elemento da construção, no Brasil, o gesso aparece principalmente em forros, revestimentos e paredes divisórias, esse último chamado de chapas de gesso acartonado, a qual é constituída por um núcleo de gesso entre papel do tipo *Kraft* dos dois lados, responsável pela estabilidade dos painéis. O consumo destes painéis tem apresentado um crescimento principalmente devido à facilidade e a rapidez da instalação das chapas, bem como facilidade de moldagem, sendo um material excelente para fabricação de elementos de acabamento e decoração, como molduras e sancas, uma vez que pode proporcionar uma superfície lisa de ótimo acabamento, tanto em revestimento de argamassa (o qual dispensa a necessidade de massa corrida na pintura, diferentemente do revestimento em argamassa convencional), quanto em painéis ou adornos. Outra vantagem é a boa aderência à alvenaria e ao concreto, bem como boa produtividade, uma vez que a aplicação dos revestimentos é rápida, fácil e seu tempo de cura é menor, tornando possível iniciar a pintura em um tempo mais curto (TAKAKI, 2015). Além disso, o gesso apresenta boas propriedades térmicas, acústicas e contra propagação de fogo, tornando-se um elemento importante na construção.

Entretanto, o gesso apresenta desvantagens como a suscetibilidade à água e umidade, além de outras questões na construção, como a necessidade de superfície de aplicação planas e regulares (se muito irregular é necessária aplicação de emboço, tornando o uso do gesso menos vantajoso), bem como no caso de uso como revestimento, ser usado com espessuras pequenas, uma vez que espessuras maiores podem acarretar em trincas. Outra desvantagem é quanto à baixa resistência a choques, sendo desaconselhado em áreas de circulação e tráfego intenso de pessoas ou cargas, por esse motivo também seu foco de uso maior está em áreas internas residenciais e em escritórios (TAKAKI, 2015).

2.1.4 Processo de produção

Segundo Agopyan (1989), o gesso é um dos três aglomerantes disponíveis para a construção civil no país, sendo que os outros dois são o

cimento Portland e a cal. A matéria-prima natural mais empregada para a sua produção é a gipsita, rocha presente em várias partes do mundo e em abundância no nordeste brasileiro.

De acordo com dados apresentados pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (2014), o Brasil tem uma reserva estimada de 3.332.991 toneladas de gipsita, uma redução de 11,1% ao ano anterior. Pernambuco é o principal estado produtor de gipsita do Brasil, sendo responsável, em 2013, por 87,6% do total produzido.

O processo de produção do gesso, conforme Lima (2011), envolve basicamente cinco etapas: extração e preparação da gipsita, moagem, calcinação, pulverização e embalagem.

(a) Extração

Para a extração (Figura 2) da gipsita são utilizados marteleiros, explosivos de média potência, bombas d'água, caminhões, perfuratrizes, tratores, pás carregadeiras, entre outros equipamentos. O desmonte desse minério gera diferentes tamanhos de blocos, de aproximadamente 40 kg que são transportados para os pátios de estocagem das calcinadoras onde sofrem beneficiamento de acordo com o processo de produção.

Figura 2 – Extração da gipsita.



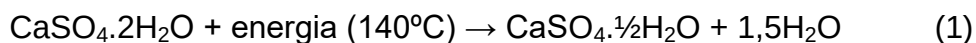
Fonte: Gipsomix (2016)

(b) Moagem

Após extração dos blocos de gipsita, esses são britados com o intuito de reduzir de tamanho, obtendo uma granulometria aproximada de 20 mm, de modo que se adeque ao forno de calcinação.

(c) Calcinação

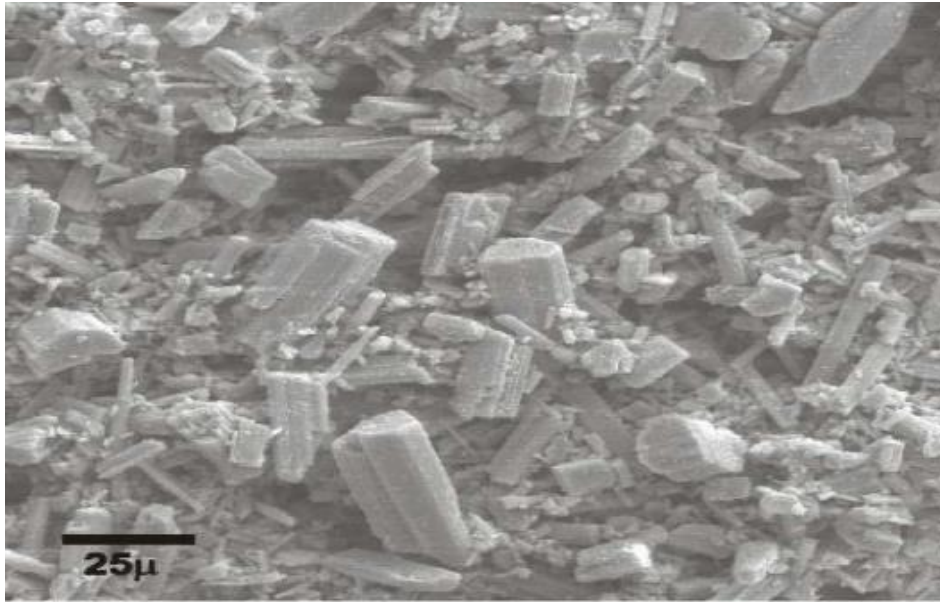
Segundo Agopyan (1989), para a fabricação do gesso é utilizada a gipsita, sulfato de cálcio com duas moléculas de água (diidrato), que, quando cozida ou calcinada em temperaturas relativamente baixas (140°C – 150°C), perde água, liberando-a na atmosfera, e transformando o diidrato em hemidrato, ou gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), como pode ser visto na Equação 1. A quantidade de energia para a calcinação do gesso é pequena se comparado com a energia necessária para a fabricação do cimento, que necessita de temperaturas acima de 1.400°C.



Gipsita (diidrato) + calor $\rightarrow$ gesso (hemidrato) + água

Segundo Lima (2011), o processo de produção do gesso pode-se obter dois tipos de hemidrato. Se a desidratação é obtida em autoclave a pressões superiores a 100 kPa, ocorre a formação de um produto bem cristalizado denominado hemidrato α . Já se a desidratação ocorrer à pressão atmosférica, com pressão parcial de vapor de água baixa, obtém-se um sólido microporoso, mal cristalizado, denominado hemidrato β . Segundo Kanno (2009), o gesso α (Figura 3) possui cristais maiores, bem definidos, homogêneos, estrutura cristalina levemente diferente dos cristais de gesso β devido à calcinação ocorrer sob pressão dentro de autoclaves.

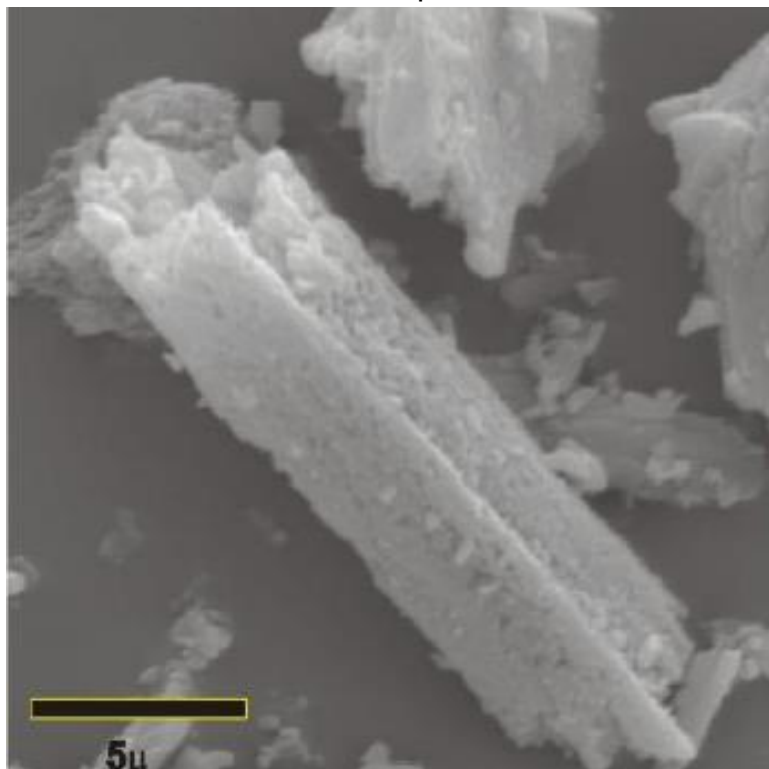
Figura 3 – Cristais de hemidrato α : grandes (em torno de 20 μm), bem formados e sem poros.



Fonte: Kanno (2009).

Ainda segundo Lima (2011), o gesso β (Figura 4) contém elevada área superficial específica devido a sua granulometria fina e cristais porosos, necessitando assim de uma elevada quantidade de água para sua conformação e também para obter uma boa trabalhabilidade. Sendo assim, constitui um material de baixa resistência mecânica devido a sua porosidade. Já o gesso α possui uma menor área superficial específica devido aos seus cristais grandes, bem formados e sem poros. Como consequência da reduzida área específica, a dissolução dos cristais do hemidrato α torna-se mais lenta, e os cristais do diidrato crescem lentamente e de maneira ordenada, resultando num material de baixa porosidade e consequentemente uma maior resistência mecânica.

Figura 4 – Cristais de hemidrato β : pequenos (menor que 10 μm), mal formados e porosos.

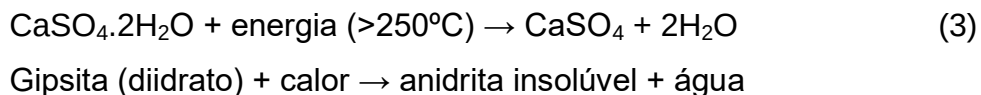


Fonte: Kanno (2009).

Dependendo da temperatura e do tempo de permanência no forno a gipsita pode-se transformar em anidrita, podendo ser solúvel ou insolúvel. A anidrita III é a fase intermediária do hemidrato e da anidrita II (insolúvel) formada entre 160°C e 200°C, podendo conter água de cristalização variável. Por ser muito reativa transforma-se em hemidrato com a umidade do ar, processo chamado de “estabilização do gesso”. Já a anidrita II (insolúvel) é obtida entre temperaturas de 250 a 800°C. Enquanto que a anidrita I, acima desta última, constitui uma fase definida, mas não pura, por conter óxido de cálcio devido à dissociação térmica do sulfato de cálcio a partir de 900°C. Após resfriamento transforma-se em anidrita II (LIMA, 2011). As reações das anidritas estão representadas nas Equações 2 e 3.



Gipsita (diidrato) + calor $\rightarrow$ anidrita solúvel + água



(d) Pulverização e Embalagem

Durante a etapa de pulverização, o gesso produzido na calcinação passa por uma moagem fina, de forma a adquirir a granulometria adequada à sua utilização. Em geral, as granulometrias são especificadas por norma. Por fim, no acondicionamento são utilizadas embalagens de estanques, de forma a proteger o material da umidade ambiente (ABREU, 2005 apud PINHEIRO, 2011).

2.1.5 Propriedades no estado fresco

(a) Trabalhabilidade

A trabalhabilidade de uma pasta consiste na maior ou menor facilidade de empregar o material para uma determinada finalidade sem perda de sua homogeneidade. É medida pelo grau de umidade necessário para conseguir uma determinada plasticidade ao material, a consistência da pasta, a qual pode ser obtida pelo ensaio com o *mini-slump*. O tipo de material e a sua granulometria irão interferir na quantidade de água necessária para a obtenção desta trabalhabilidade (SILVA, 1985).

(b) Tempo de Pega

O tempo de pega é aquele necessário para a solidificação do material, sendo que o tempo de início depende dos constituintes que apresentam reações mais rápidas, os quais se hidratam formando os primeiros cristais e o endurecimento depende daqueles que possuem reações mais lentas e que proporcionam o preenchimento dos vazios entre os cristais hidratados. Tanto o tempo de pega, quanto o de endurecimento das pastas de gesso variam de acordo com fatores, como presença de impurezas, proporção de seus

constituintes, granulometria dos grãos, relação água/gesso (a/g), temperatura da água de amassamento, velocidade e tempo de mistura e presença de aditivos (JOHN; CINCOTTO, 2007; KARNI; KARNI, 1995).

(c) Variação Dimensional das Pastas

Durante a hidratação da pasta de gesso, há diferentes variações de volume devido aos fenômenos físico-químicos que ocorrem durante o processo, mas que não é causado pelo aumento da temperatura durante a hidratação do material, pois inicialmente ocorre uma retração do volume, até atingir o início da pega e, então, a pasta de gesso passa por uma intensa expansão, a qual vai diminuindo gradativamente até o final da pega, cessando após um período de um ou dois dias. (GMOUH et al., 2004; JOHN; CINCOTTO, 2007; KARNI; KARNI, 1995).

(d) Aderência ao Substrato

Segundo Lima (2011) possui boa aderência a diferentes tipos de substratos, tais como tijolos, pedras naturais e ferro, com exceção das superfícies de madeira. Em meio aquoso, o sulfato corrói os metais ferrosos, sendo necessário, nestas circunstâncias, um tratamento protetor.

2.1.6 Propriedades no estado endurecido

Quando endurecido, a microestrutura do gesso influencia diretamente nas suas propriedades físicas e mecânicas, uma vez que a resistência do material depende do tamanho e da forma dos cristais, da força de ligação entre eles, das impurezas presentes (podendo formar cristais com maior dureza ou predispostos a fraturas), da porosidade da estrutura causada pelo excesso de água de amassamento (LEWRY; WILLIAMSON, 1994).

(a) Resistência Mecânica

A relação a/g, a idade do produto, bem como as condições ambientais de endurecimento e as condições de uso do material alteram a resistência mecânica do gesso (PINHEIRO, 2011).

Com um aumento da relação a/g há um decréscimo de sua resistência mecânica, enquanto que com o aumento da idade, há um aumento dessa resistência (níveis máximos são atingidos entre os 14 e 28 dias de idade). Sendo sensível a variações de umidade, a resistência do gesso pode reduzir até 50% se em presença desta, assim, devido à capacidade do material absorver umidade, as condições de uso do material também são determinantes para a resistência do gesso (JOHN; CINCOTTO, 2007).

(b) Resistência ao Fogo

Além de não inflamável, o gesso combate a propagação do fogo e estabiliza a temperatura por determinado tempo graças ao consumo de água de cristalização do produto em uma situação de incêndio, o que o faz manter uma temperatura máxima de 40°C (PINHEIRO, 2011).

(c) Isolamento Térmico

Devido a sua estrutura porosa, na qual são retidas pequenas porções de ar, o gesso apresenta boa capacidade de isolamento térmico.

(d) Hidroatividade

O gesso é capaz de absorver e liberar o excesso de umidade do ambiente, sendo este um fator que deve ser levado em conta na avaliação do desempenho do material.

(e) Isolamento Acústico

Segundo Souza (2009), o desempenho acústico dos materiais constituídos de gesso depende da sua capacidade de isolar, absorver ou descontinuar caminhos para a transmissão do som (pontes acústicas).

2.2 BORRACHA DE PNEUS

2.2.1 Histórico

A base da indústria da borracha é a seiva branca da árvore sul-americana “*Hevea Brasiliensis*”, popularmente conhecida como Seringueira. De acordo com a definição apresentada por Costa (2001), a borracha natural é um elastômero de cadeia longa e flexível, com frágeis forças moleculares e ocasionais ligações cruzadas de enxofre.

A história da borracha sintética, segundo Lund (1993), possui o seguinte desenvolvimento:

- em 1826, Faraday estabeleceu a fórmula empírica da borracha sintética – C_5H_8 ;
- em 1841, o norte americano, Charles Goodyear ao deixar cair uma pequena quantidade de enxofre na seiva aquecida, acidentalmente, descobriu o processo de vulcanização da borracha;
- na Alemanha, mais tarde, começou a ser industrializada a borracha sintética a partir do petróleo;
- Greville Willians isolou o isopreno por destilação seca da borracha natural, em 1860;
- BoucharDat, ao aquecer o isopreno com ácido clorídrico em tudo selado, obteve em 1879, uma massa semelhante à borracha natural;
- na Irlanda, em 1887, Dunlop criou o primeiro pneu de bicicleta;
- em 1897, Euler conseguiu iniciar e completar a síntese da borracha, ao obter, sinteticamente, o isopreno;
- em 1895, os irmãos Michelin, pioneiros de uma mega indústria, atualmente a nível mundial, instalaram pneus em carros;
- na década de 1930, após a Primeira Guerra Mundial, os trabalhos de investigação continuaram sendo desenvolvidos, surgindo então os polissulfetos, o neoprene, as borrachas de nitrila, capazes de sofrerem vulcanização e chegando a dar como produto final um material parecido com a borracha natural;
- nas últimas décadas do século passado foram produzidos novos tipos de borrachas sintéticas, como as de butila, silicônica, silicone fluorado, fluoro-

acrílica, poliuretano sólido, polietileno clorossulfonado, e as de etileno fluorado, entre outras;

–na última década do século passado foram produzidos: poliisopreno – elastômero sintético semelhante à borracha; o polibutadieno; a síntese do isopreno, por meio de catalisadores estereoespecíficos e, as borrachas de etileno/propileno, que seguem os moldes das borrachas naturais.

2.2.2 Definição

O Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, no artigo 2º da Resolução nº 416/2009, define como:

I – pneu ou pneumático: componente de um sistema de rodagem, constituído de elastômeros, produtos têxteis, aço e outros materiais que quando montado em uma roda de veículo e contendo fluido(s) sobre pressão, transmite tração dada a sua aderência ao solo, sustenta elasticamente a carga do veículo e resiste à pressão provocada pela reação do solo.

II – pneu novo: pneu, de qualquer origem, que não sofreu qualquer uso, nem foi submetido a qualquer tipo de reforma e não apresenta sinais de envelhecimento nem deteriorações, classificado na posição 40.11 da Nomenclatura Comum do Mercosul – NCM.

III – pneu usado: pneu que foi submetido a qualquer tipo de uso e/ou desgaste, classificado na posição 40.12 da NCM, englobando os pneus reformados e os inservíveis.

IV – pneu reformado: pneu usado que foi submetido a processo de reutilização da carcaça com o fim específico de aumentar sua vida útil, como:

a) recapagem: processo pelo qual um pneu usado é reformado pela substituição de sua banda de rodagem;

b) recauchutagem: processo pelo qual um pneu usado é reformado pela substituição de sua banda de rodagem e dos ombros;

c) remoldagem: processo pelo qual um pneu usado é reformado pela substituição de sua banda de rodagem, ombros e toda a superfície de seus flancos.

V – pneu inservível: pneu usado que apresente danos irreparáveis em sua estrutura não se prestando mais à rodagem ou à reforma.

VI – destinação ambientalmente adequada de pneus inservíveis: procedimentos técnicos em que os pneus são descaracterizados de sua forma inicial, e que seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por outra(s) técnica(s) admitida(s) pelos órgãos ambientais competentes, observando a legislação vigente e normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos.

VII – ponto de coleta: local definido pelos fabricantes e importadores de pneus para receber e armazenar provisoriamente os pneus inservíveis.

VIII – central de armazenamento: unidade de recepção e armazenamento temporário de pneus inservíveis, inteiros ou picados, disponibilizada pelo fabricante ou importador, visando uma melhor logística da destinação.

2.2.3 Partes constituintes

No que diz respeito à sua constituição (Figura 5), os pneus apresentam os seguintes componentes:

Figura 5 – Partes componentes do pneu.



Fonte: Freitas (2010).

A definição das partes constituintes do pneu é feita da seguinte maneira:

–*carcaça*: parte resistente do pneu que deve resistir à pressão, peso e choques; compõe-se de lonas de poliéster, nylon ou aço;

–*talões*: constituem-se internamente de arames de aço de grande resistência, tendo por finalidade manter o pneu fixado ao aro da roda;

–*flancos*: são as laterais da carcaça; sendo revestidos por uma mistura de borracha com alto grau de flexibilidade e alta resistência à fadiga;

–*cintura*: compreende o feixe de cintas (lonas estabilizadoras) que são dimensionadas para suportar cargas em movimento;

–*banda de rodagem*: parte do pneu que fica em contato direto com o solo; seus desenhos possuem partes cheias chamadas de biscoitos e partes vazias conhecidas como sulcos, e devem oferecer aderência, tração, estabilidade e segurança ao veículo.

2.2.4 Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de pneus

Embora seja relacionado com a frota de cada país, o número de pneus inservíveis gerados a cada ano é um problema mundial, pois é muito difícil encontrar uma solução para seu destino final (Figura 6). Uma das razões dessa ocorrência é o alto custo que sua reciclagem comporta, juntamente com dificuldades logísticas e tecnológicas para isso.

Figura 6 – Maior aterro de pneus inservíveis do mundo, no Kuwait.



Fonte: Hype Science (2016)

Os pneus são constituídos essencialmente por borrachas (natural e sintéticas) vulcanizadas e é por causa do processo de vulcanização que se torna difícil reaproveitar os constituintes originais do pneu devido à dificuldade de reverter este processo e de separar os restantes componentes da matriz molecular criada (PEDRO, 2011).

Os dados mostram que a quantidade de pneus usados nas últimas décadas a nível mundial tem vindo a aumentar devido ao crescimento da indústria automóvel. Nos países industrializados, é descartado, de um modo geral, o correspondente a um pneu de automóvel por habitante por ano, ou seja, 9 kg/habitante/ano (RESCHNER, 2008).

Devido à inexistência de interesse comercial na reciclagem de pneus usados, estes deram origem a depósitos ao ar livre de grandes dimensões, sendo estes um risco para o ambiente e para a saúde pública.

O descarte irregular de pneus inservíveis pode causar sérios riscos ao meio ambiente e à saúde pública, e para que isso não aconteça, a Reciclanip, entidade ligada à ANIP, coletou e destinou de forma ambientalmente correta mais de 445 mil toneladas de pneus inservíveis durante o ano de 2014 um incremento de 10,15% quando comparado ao mesmo período de 2013 quando o número foi de 404 mil toneladas. Esta quantia equivale a 89 milhões de unidades de pneus de carros de passeio retirados das ruas, estradas e rios.

Os problemas ambientais decorrentes do descarte de pneus inservíveis estão relacionados a:

- descarte de pneus em corpos d'água;
- os pneus por apresentarem baixa compressibilidade, associado a sua degradação muito lenta, ao serem aterrados inteiros, podem provocar o escorregamento das células de lixo, bem como reduzir a vida útil dos aterros sanitários (D'ALMEIDA; SENA, 2000; SNYDER, 1986);
- devido a sua forma, se for aterrado inteiro, poderá reter ar e outros gases no seu interior, tornando-se volumoso, e podendo vir a flutuar para a superfície, quebrando a cobertura do aterro. Quando isso ocorre, ocasiona a exposição do aterro a micro e macro vetores, a fauna, além de possibilitar que os gases escapem para a atmosfera, bem como haja o vazamento de líquidos (LUND, 1993);

–os pneus ficam sujeitos à queima acidental ou provocada, ocasionando prejuízos na qualidade do ar, face a liberação de fumaça contendo alto teor de substâncias tóxicas;

–do ponto de vista da saúde pública, o descarte de pneus em terrenos baldios são igualmente danosos, pois devido o seu formato tende a reter a água de chuva criando um ambiente propício a proliferação de vetores, como por exemplo, o mosquito *Aedes Aegypti* que é transmissor da dengue (FIORITI, 2007).

Várias decisões poderão ser tomadas para mitigar os impactos ambientais gerados pelo manuseio inadequado de pneus inservíveis. Porém, estas decisões precisam se dar em um elevado nível gerencial, operacional ou ainda tecnológico.

2.2.5 Recauchutagem de pneus

A recauchutagem ou reconstrução de pneus consiste fundamentalmente em aproveitar a estrutura resistente do pneu gasto (liso), desde que esta esteja em boas condições de conservação, e incorporar-lhe uma nova borracha de piso (banda de rodagem), por forma a que este ganhe outra vida (FIORITI, 2007). Com essa operação, o pneu mantém basicamente as mesmas características técnicas e de comportamento do pneu original, a custos muito inferiores.

Em média, a operação de recauchutagem pode ser efetuada uma vez para pneus de veículos de passeio, duas a três vezes em pneus de veículos pesados ou industriais, e cerca de dez vezes em pneus de aviões. Com esta operação, o pneu mantém basicamente as mesmas características técnicas e de comportamento do pneu original, a custos muito inferiores. Relativamente ao pneu novo, poupamos cerca de 75%, quer a nível de matéria-prima como a nível energético, o que se traduz simultaneamente numa poupança económica e ambiental. A recauchutagem aumenta a vida útil do pneu em 40% e economiza 80% de energia e matéria-prima em relação à produção de pneus novos (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE, 2006).

A reutilização de pneus contribui hoje, em larga escala, para uma requalificação dos resíduos industriais, impedindo que sejam colocados nos aterros, incinerados ou espalhados pela paisagem.

Por outro lado, a recauchutagem de pneus é uma fonte que contribui em grande número para o acúmulo de resíduos de borracha que são obtidos durante este processo, esses resíduos se encontram na forma de fibras e pó de borracha. O impacto visual causado pelos resíduos da recauchutagem é negativo, e os depósitos de borracha de pneus a céu aberto oferecem condições apropriadas para o desenvolvimento de vários tipos de vetores, além de existir também o risco de incêndios (FIORITI, 2007).

Com vistas à problemática ambiental causada, aliado a imensa quantidade de empresas de recauchutagem no Brasil, optou-se pelo uso dessa borracha no desenvolvimento deste projeto, onde a mesma antes de ser utilizada passou por um procedimento de separação, que será descrito no subitem 3.2. Contudo, ressalta-se ser possível utilizar a borracha de pneus inteiros e não somente a borracha do processo de recauchutagem, já que dispomos de empresas, embora em número reduzido, que detêm a tecnologia de reciclar os materiais constituintes do pneu.

O processo de recauchutagem é mecânico, realizado através de raspagem da banda de rodagem do pneu, geralmente a raspagem é feita com dois cilindros ranhurados. No processo, a banda de rodagem do pneu é desgastada para que a carcaça (estrutura do pneu que será reaproveitada) possa receber uma nova banda de rodagem, esse desgaste faz com que a banda de rodagem velha acabe por se transformar em pequenas partículas de diversas granulometrias, com formatos variando de alongados (tipo fibras com dimensões de 2 a 40 mm) a granular (pó), sendo denominada de forma geral como borracha de pneus (FIORITI, 2007).

Este processo mecânico se dá em seis etapas, apresentadas a seguir:

1ª) inspeção da carcaça (Figura 7), onde seu propósito é detectar avarias e qualidade da carcaça;

Figura 7 – Inspeção da carcaça.



Fonte: Bandague (2016)

2ª) raspagem da carcaça (Figura 8), que consiste em remover a borracha remanescente da banda de rodagem, configurando a carcaça no diâmetro, contorno e textura adequados;

Figura 8 – Raspagem da carcaça.



Fonte: Bandague (2016)

3ª) reparação da carcaça (Figura 9), onde todas as avarias detectadas nas carcaças, causadas quando de sua utilização, são reparadas através de escariações;

Figura 9 – Reparação da carcaça.



Fonte: Bandague (2016)

4ª) aplicação do anel na carcaça (Figura 10), nesta etapa a centralização e roletagem do anel são realizadas por máquina computadorizada, com eficiência e precisão, acomodando o anel e permitindo assim, harmonia entre banda de rodagem nova e carcaça;

Figura 10 – Aplicação do anel na carcaça.



Fonte: Bandague (2016)

5ª) vulcanização (Figura 11), é processada em autoclave automatizada permitindo aderência perfeita dos anéis às carcaças. Os fatores: tempo, temperatura e pressão que são fundamentais para preservação da estrutura original das carcaças, e devem ser controlados com eficiência e precisão;

Figura 11 – Vulcanização.



Fonte: Bandague (2016)

6ª) inspeção final (Figura 12), o pneu recauchutado é novamente inspecionado com os mesmos critérios e meios utilizados na inspeção inicial e em todas as fases do processo. Vale lembrar que esta é a última oportunidade que a planta tem de corrigir algumas falhas ou imperfeições antes que este pneu retorne definitivamente ao usuário final.

Figura 12 – Inspeção Final.



Fonte: Bandague (2016)

2.3 COMPÓSITOS DE GESSO

Materiais como fibras de vidro, contrafortes de calçados, fibras de sisal, polpa de celulosa e partículas de madeira, cortiça, vermiculita e resíduos industriais têm sido usados para a pesquisa e produção de compósitos de gesso, buscando alternativas para este material de construção.

(a) Incorporação de fibras naturais

Fibras de algodão tratadas com emulsão de estireno acrílico foram utilizados em compósitos de gesso estudados por Li et al. (2003). Tal processo melhora a aderência com a matriz de gesso com adição de cal, cimento e escória, além de melhorar o desempenho mecânico. Verificou-se que o módulo de elasticidade diminuiu em relação ao compósito com fibras não tratadas, uma vez que, uma camada flexível foi formada entre as fibras tratadas com emulsão acrílica.

Outro material incorporado às placas de gesso é o papel reciclado dissociado, estudado por Haselein et al. (2002). A inclusão das fibras de papel funciona como um reforço, uma vez que apresentou um aumento de 64,7% na resistência à flexão, 77,2% na dureza Janka e 49,6% na resistência ao arrancamento de parafuso comparado às chapas de gesso puro.

Bilcati, Rosa e Moreira (2012) realizaram ensaios de absorção de água em compósitos de gesso reforçados com fibra de curauá e mucilagem de babosa. Os corpos de prova com tais adições apresentaram menor taxa de absorção, redução de água de amassamento e aumento do tempo de pega se comparado a corpos de prova produzidos com aditivos industrializados.

Painéis de argamassa de gesso reforçadas com fibra de sisal foram desenvolvidos por Fiorini et al. (1995) utilizando um teor de fibras de 1,5% do volume total. Os corpos de prova resistiram a cargas de 50 kg, entretanto apresentaram fissuras. Além disso, o deslocamento residual máximo foi de 7 mm, considerado um comportamento quase elástico pela autora, dessa forma, o desempenho foi considerado adequado, mas o estudo demonstrou também a necessidade do desenvolvimento de normas de desempenho para este tipo de divisória para melhores parâmetros.

Iucolano et al. (2015) estudaram compósitos formados pela matriz de gesso incorporada com fibras de abacá submetidas a diferentes tratamentos químicos (com água destilada, solução de NaOH e solução de EDTA) para modificar as características de superfície e melhorar a adesão com a matriz de gesso. Os tratamentos com soluções de NaOH e EDTA resultaram num agravamento do comportamento mecânico dos compósitos, enquanto que as

fibras tratadas com água destilada proporcionaram uma melhor aderência com a matriz inorgânica. O resultado referente ao ensaio de resistência à flexão em três pontos (com as fibras tratadas com água bruta e água destilada) está apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Resultados do ensaio de resistência à flexão em três pontos.

Sample	Fiber amount [wt.%]	Flexural load, F [N]	Flexural strength, σ_f [MPa]
REF	–	278.6 ± 15.3	2.61 ± 0.14
F1	1	288.1 ± 24.4	2.70 ± 0.23
FW1	1	283.8 ± 25.5	2.66 ± 0.24
F2	2	291.1 ± 20.4	2.73 ± 0.19
FW2	2	315.0 ± 19.6	2.95 ± 0.18
F3	3	267.5 ± 28.1	2.51 ± 0.26
FW3	3	262.5 ± 29.9	2.46 ± 0.28

Fonte: Lucolano et al. (2015).

Lucolano et al. (2015) observaram melhora no comportamento à flexão quando comparados à matriz de gesso referência (REF). Para esse ensaio foram utilizados os compósitos nos quais as fibras passaram por processo de tratamento em água bruta (Fx) e água destilada (FWx), onde “x” representa a quantidade (% em peso) de fibras adicionadas relativamente ao ligante, sendo que foi utilizado de 1, 2 e 3%. Todos os compósitos com diferentes porcentagens tiveram resultado acima da referência.

Cunha et al. (2013) estudaram as propriedades termofísicas de compósitos de gesso e fibra vegetal. Os autores desenvolveram um compósito de matriz de gesso e reforço de fibra vegetal (*Cocos nucifera*) na forma de sanduíche de gesso / fibra / gesso. Duas diferentes espessuras da fatia de fibra foram consideradas: 8 e 10 mm e foram feitos ensaios de condutividade térmica, capacidade térmica volumétrica e difusividade térmica. O menor valor de condutividade térmica (k) conferiu ao compósito uma maior capacidade de isolamento, possibilitando redução da carga térmica no interior das edificações devido à radiação solar. Nesse aspecto, o compósito se mostra adequado ao uso como elemento de vedação em edificações situadas em localidades de baixas latitudes (região nordeste do Brasil).

(b) Incorporação de fibras sintéticas e minerais

A vermiculita em seu estado natural apresenta pouca aplicação prática, por outro lado, depois de esfoliada, ela se torna um material de baixa densidade com propriedades termo isolantes excelentes, uma vez que cada floco esfoliado aprisiona ar em seu interior (LORENZON et al., 2004).

Oliveira (2009) realizou estudo de compósitos de gesso com adição de vermiculita e constatou que com o aumento do teor de adição de vermiculita há um aumento na consistência da pasta de gesso, bem como diminuição dos tempos de início e fim de pega; além disso, há diminuição das resistências à tração na flexão e à compressão.

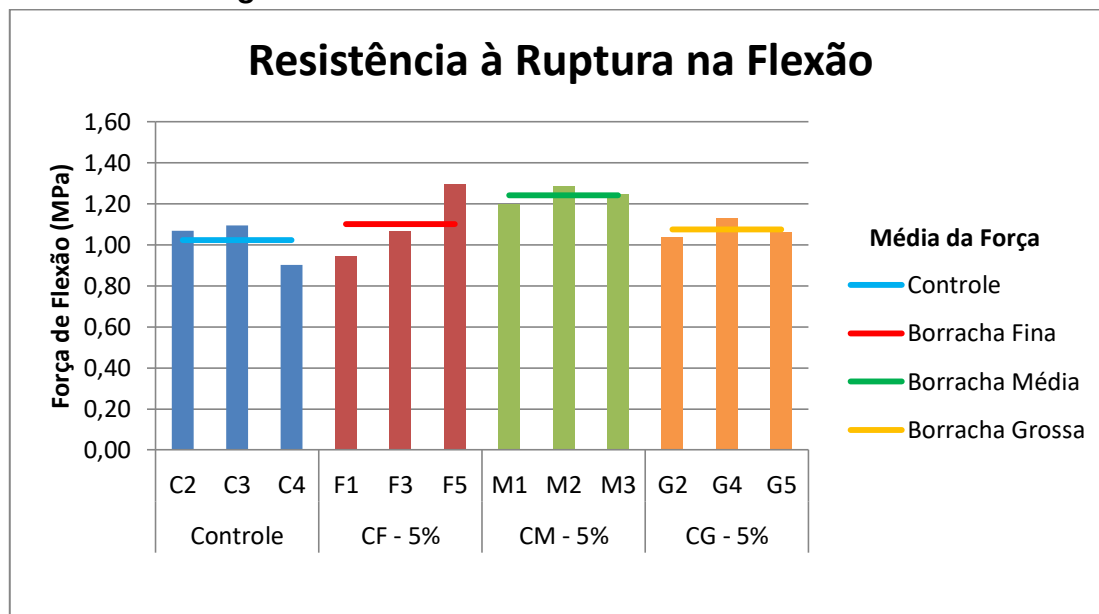
Verbeeke e Du Plessis (2005) caracterizaram os efeitos da quantidade de resina nas propriedades mecânicas de compósitos de polímero de fosfogesso com essa incorporação, além da influência da quantidade e do tamanho das partículas de vermiculita no mesmo tipo de compósito. O uso de 50% de resina e uma grande quantidade de partículas grossas resultou nas mais baixas densidades e mais elevadas resistências dos compósitos. Por outro lado, partículas mais compactas melhoraram as resistências, entretanto aumentam a densidade. Além disso, os autores afirmaram que a proporção de gesso/vermiculita por si só era um fator insignificante para a contribuição direta no desempenho dos compósitos, mas a interação com a quantidade de resina era significativa. A resistência à flexão apresentou aumento com o aumento da quantidade de resina, além disso, os estudos apontaram também que a massa específica aparente do compósito de gesso aumentou de 450 para 800 kg/m³ quando o percentual de vermiculita passa de um teor de 25 para 50%, além disso, para o primeiro caso, a resistência à flexão é de 0,4 MPa e, no segundo, houve um aumento para 1,6 MPa.

Painéis de gesso reforçados com lã de vidro residual foram estudados por Braga Júnior e Dantas (1992), e demonstraram que estes materiais interagem notadamente resultando em um material novo de comportamento mecânico diferente do material de gesso isolado. Pois ocorreu uma compactação do compósito, junto com a diminuição da resistência a compressão e a tração, entretanto uma melhora no desempenho estrutural foi alcançada, uma vez que a relação resistência à compressão/resistência à

tração para o compósito produzido foi de 1:2, enquanto para a matriz isolada essa relação é de 1:3. Além disso, com o aumento do teor de fibras no composto, ocorreu também um aumento notável na absorção de energia no impacto, mostrando uma possibilidade de modificar a ruptura para um modo pseudo-elástico, sendo mais resistente à fratura.

No que diz respeito à utilização da borracha nos compósitos de gesso, Serna et al. (2012) estudaram a adição de borracha de pneus no fim de suas vidas úteis (ELTs ou End-of-Life-Tyres) em pastas de gesso. Foram incorporados 1, 3 e 5% em volume de borrachas para três diferentes granulometrias de partículas de borracha: 0-1 mm, 1-2 mm e 2-4 mm. Os resultados foram comparados com as amostras de pasta de gesso sem a adição da borracha, sendo que houve um aumento na resistência à tração dos compósitos.

Takaki (2015) estudou compósitos de gesso com incorporação de partículas de borracha proveniente da recauchutagem de pneus na porcentagem de 5%. As granulometrias utilizadas foram #0,075 mm (denominada fina), #1,19 (denominada média) e #2,38 (denominada grossa). Concluiu-se que para a concentração de 5% em massa, a incorporação da borracha de pneus de granulometria média (#1,19 mm e forma de fibra) se mostrou como a adição que resultou no compósito de gesso mais interessante, pois apresentou características que não destoam de forma extrema do compósito controle (Figura 13), enquanto as outras adições apresentaram muitos resultados inferiores ao gesso sem borracha.

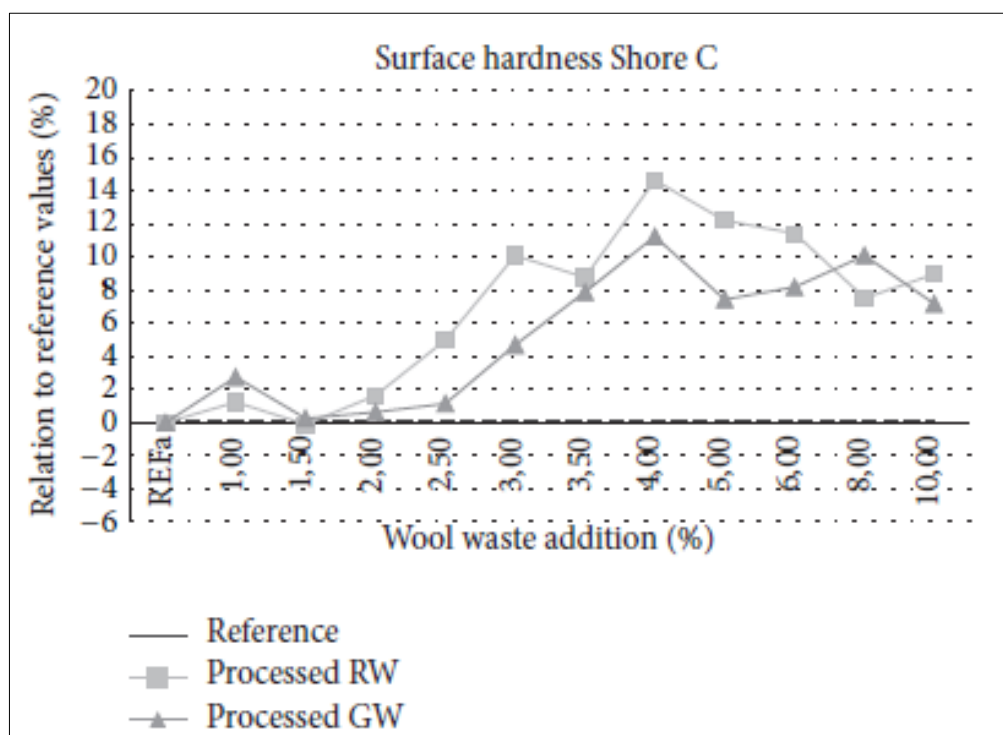
Figura 14 – Resultados do ensaio de resistência à flexão.

Fonte: Takaki (2015).

Kern (1999) utilizou resíduos provenientes de contrafortes termoplásticos, materiais a base de polímero que apresentam elevadas resistência mecânica e química, passados por um processo de moagem, em que a adição dos resíduos foi em até 25% da massa de gesso. Os estudos mostraram diminuição da resistência à compressão dos corpos confeccionados, junto a um aumento significativo da resistência ao impacto e à tração na flexão, dessa forma houve uma deformação considerável ao invés de uma ruptura brusca, a qual é característica do composto de gesso.

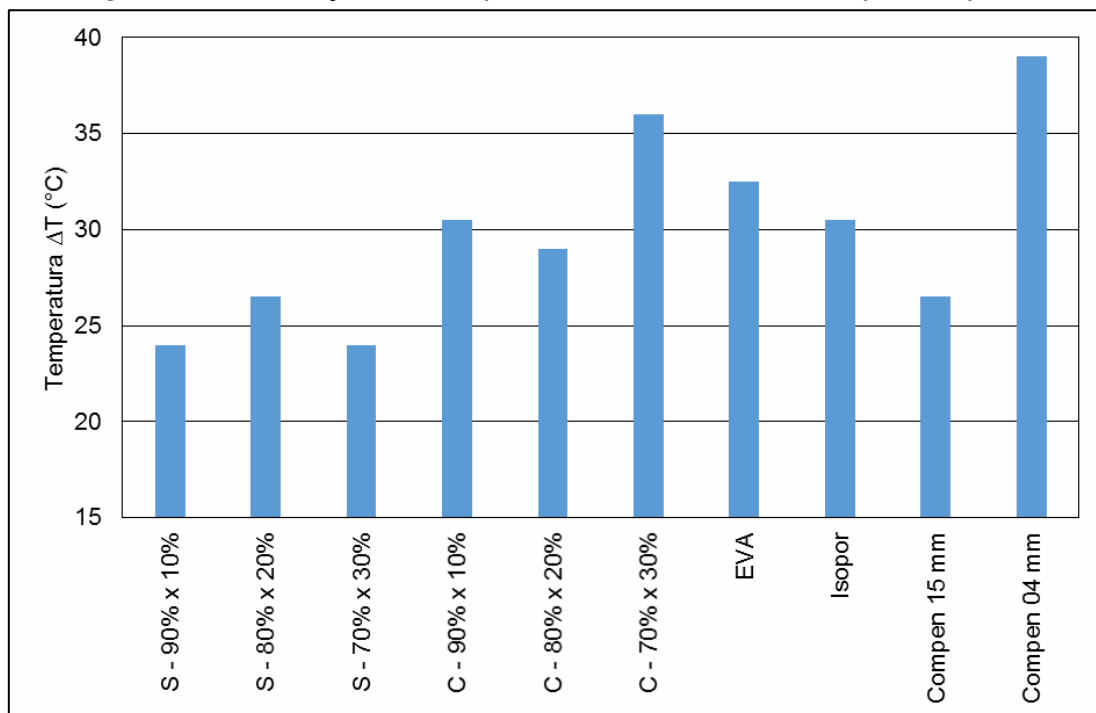
Piñeiro, Merino e García (2015) estudaram lâminas minerais proveniente de resíduos de construção de demolição (lã de vidro e lã de rocha) e perceberam que há uma boa compatibilidade entre os resíduos de lã e a matriz de gesso. A dureza superficial aumentou gradualmente até atingir seu valor máximo com a amostra contendo 4% de resíduos de lã mineral (Figura 15). A resistência à flexão aumenta com um aumento na adição de lã mineral reciclada. Estes valores podem superar 34,88% das amostras de referência quando se adiciona lã de vidro reciclada e 26,58% quando se adiciona lã de rocha reciclada.

Figura 15 – Comparação da dureza superficial dos compósitos e a amostra de referência.



Fonte: Piñeiro, Merino e García (2015).

Lima et al. (2014) utilizaram a borracha proveniente do processo de recauchutagem de pneus para fabricação de placas isolantes termo acústicas. Foram produzidos compósitos a partir de resíduos de borracha de pneus, compensado de madeira e PVA. As proporções utilizadas foram de 90%, 80% e 70% de borracha/PVA, com e sem a presença de compensado de madeira. Os resultados obtidos mostraram que dentre os corpos de provas fabricados, o que apresentou melhor performance tanto no teste de isolamento acústico (50% maior que uma placa de EVA) como no térmico (temperatura superficial 21% menor que uma placa de isopor), foi o que continha compensado e 70% de borracha (Figura 16).

Figura 16 – Variação da temperatura nas faces dos corpos de provas.

Fonte: Lima et al. (2014).

(c) Incorporação de madeiras

Bekhta e Dobrowolska (2005) realizaram estudos referentes à influência do teor de partículas de madeira nas propriedades térmicas e na densidade de compósitos à base de gesso e obtiveram placas prensadas com teores de partícula entre 0 e 35% que apresentaram densidade variando de 850 a 1350 kg/m³ e condutividade térmica situando entre 0,189 e 0,753 W m⁻¹ K⁻¹.

As propriedades mecânicas e térmicas de um compósito gesso-cortiça com diferentes percentuais de cortiça foram estudadas por Hernández-Olivares et al. (1999), mostrando que há uma boa interação entre a matriz de gesso e os grânulos utilizados, entretanto, seus estudos mostraram que as propriedades mecânicas desse novo composto são baixas, sendo necessário a incorporação de outros materiais para elevar o comportamento a compressão e a flexão.

Morales-Conde et al. (2016) estudaram as propriedades físicas e mecânicas de compósitos de gesso e madeira. O aditivo utilizado consistiu de aparas de madeira e serragem de resíduos de madeira misturados em várias proporções. Os resultados mostraram que o aumento da quantidade de

resíduos de madeira reduziu a densidade e dureza. Observou-se também que um aumento na percentagem de resíduos de madeira reduziu ligeiramente a condutividade térmica.

Além disso, Morales-Conde et al. (2016) observaram que as propriedades mecânicas do material compósito foram mais baixas do que nas amostras de referência. Uma adição de 40% originou uma diminuição na resistência à flexão de 61% para as amostras com serragem e 65% para as amostras com aparas de madeira. Em relação à resistência mecânica à compressão, o composto com os resíduos de serragem a 40% registou uma redução de 71 e 78% para o composto com aparas de madeira a 40%.

(d) Incorporação de materiais sintéticos

As propriedades físico-mecânicas de compósitos à base de gesso com incorporação de resíduos da indústria de calçados (EVA – Ethylene Vinyl Acetate) foram avaliados por Oliveira et al. (2012). O EVA permitiu a produção de compósitos com propriedades mecânicas interessantes para elaboração de chapas com finalidade de proteção térmica em alvenarias. O arranjo experimental adotado incluiu dois fatores: percentual de adição, com seis níveis (0, 5, 10, 15, 20 e 25%), em massa e relação a/g com três níveis, sendo (0,8, 0,9 e 1,0) para o compósito com vermiculita e (0,7, 0,8 e 0,9) para o compósito com EVA. A relação interferiu mais na massa específica e na resistência à compressão dos compósitos do que o teor de adição dos resíduos nos níveis estudados.

Estudos de compósitos de gesso com EVA mostraram que o aumento do teor de adição de EVA nos compósitos produzidos indica aumento da consistência da pasta, além de diminuir os tempos de início e fim de pega. Outro fator que decorre do aumento dessa adição é a diminuição das propriedades mecânicas de resistência à tração na flexão e à compressão (OLIVEIRA, 2009).

Compósitos de gesso reforçados com partículas de contraforte de calçados, de comportamentos semelhantes a uma fibra, foram produzidos por Kazmierczak et al. (2000), apresentando características interessantes como a alta resistência ao impacto, à tração na flexão e alta capacidade de suporte de

cargas suspensas. As matérias primas necessárias na fabricação do produto indicam um custo com potencial de competitividade comparado a outros existentes no mercado.

Dessa forma, o trabalho propõe uma busca por um avanço na tecnologia de placas de gesso ao incorporar a borracha proveniente de recauchutagem de pneus neste material.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Visando atingir os objetivos propostos neste trabalho, foi desenvolvido um planejamento experimental para a análise dos compósitos de gesso com incorporação de duas diferentes granulometrias de borracha de pneus.

Sendo assim, será apresentado na sequência do texto os materiais e procedimentos experimentais adotados. Cabe informar que o procedimento experimental deste trabalho foi realizado nos Laboratórios de Engenharia Civil da FEIS/UNESP, de Ilha Solteira.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Gesso

Foi utilizado gesso da marca Cristal, comercializado em sacas de 40 kg, sendo este destinado a aplicação em revestimentos internos (gesso lento), composto basicamente por um hemidrato β , com um tempo de pega superior a 40 minutos, segundo fabricante.

3.1.2 Borracha de pneus

A borracha utilizada é oriunda do processo de recauchutagem de pneus de caminhões, e foi fornecida pela empresa Do Vale Prudente Pneus e Recapagens Ltda., localizada em Presidente Prudente – SP. Como os resíduos da recauchutagem possuem uma gama diversificada de dimensões, o material foi submetido ao peneiramento classificatório, o qual separa o material em faixas granulométricas bem definidas, apresentando fácil distinção visual, a fim de se obter as granulometrias necessárias e estudar suas influências nos compósitos de gesso.

3.1.3 Água de amassamento

A água de amassamento utilizada foi obtida do abastecimento público de Ilha Solteira– SP.

3.1.4 Superplastificante

Foi utilizado superplastificante ViscoCrete 5800 FTN, visando diminuir a relação a/g e melhorar a resistência do compósito.

3.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.2.1 Caracterização dos materiais

(a) Peneiramento Classificatório da Borracha de Pneus

Antes do peneiramento, foram descartadas quaisquer impurezas existentes nos resíduos de borracha, a fim de se evitar influências no desempenho dos compósitos.

Após isso, uma amostra do resíduo de borracha foi separada com o auxílio do agitador de peneiras mecânico (Figura 17). O material utilizado é o passante nas peneiras #0,6 mm (denominada de fina) e #1,19mm (denominada de grossa), sendo que isso representa o reaproveitamento de cerca de 65% dos resíduos de borracha de pneu de recauchutagem. Após o peneiramento, os materiais foram acondicionados em sacos plásticos para posterior utilização.

A determinação das duas diferentes granulometrias de resíduos da recauchutagem de pneus foi feita visando o maior uso e aproveitamento deste material residual. Assim, as frações utilizadas apresentam a maior parte do volume dos resíduos de recauchutagem.

Figura 17 – Borracha de pneus no agitador de peneiras.



Fonte: Própria autora.

Os grãos da borracha fina (#0,6 mm) apresentam forma arredondada, tipo pó, e podem ser visualizados na Figura 18.

Figura 18 – Borracha fina.



Fonte: Própria autora.

Já a faixa de borracha grossa (#1,19mm) é constituída por fibras alongadas com espessura de 2 a 3mm, sendo uma amostra apresenta na Figura 19.

Figura 19 – Borracha grossa.



Fonte: Própria autora.

(b) Caracterização Física da Borracha

A determinação da massa específica dos materiais é importante para a dosagem do compósito, pois conhecendo o seu resultado é possível calcular o consumo de materiais utilizados para a produção das misturas. A massa específica do material pode ser definida como a massa do material por unidade de volume.

Para a determinação da massa unitária da borracha de pneus seguiram-se as prescrições da NBRNM 52 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2009). Na determinação da massa específica utilizou-se o ensaio conhecido como “*Teorema de Arquimedes*”. Os procedimentos adotados neste ensaio serão descritos na sequência:

- se tratando de um material com massa específica baixa, optou-se pelo uso de um líquido com massa específica inferior a da água, no caso o álcool etílico hidratado, onde os resíduos de pneus entraram em total imersão sem reagir com o álcool;

- precavendo-se de possíveis reações do álcool com a borracha de pneus, o que poderia acarretar de certa forma na mudança de temperatura durante o andamento dos ensaios, e de fato isso poderia vir a alterar o

resultado final dos ensaios, procurou-se deixar os resíduos o mínimo de tempo possível em contato com o líquido.

“Teorema de Arquimedes”

–colocou-se uma quantidade da amostra de borracha de pneus num cesto metálico, o conjunto foi pesado e determinado à massa “A” (g);

–depois, o cesto com a amostra foi imerso em álcool e pesado, determinando a massa “B”. O peso “B” é igual ao peso dos resíduos menos o empuxo do álcool deslocado, ou seja, “B” (g) é numericamente igual ao volume (cm³) da borracha;

–a Equação 4 foi utilizada para determinar a massa específica (γ_{ab}), em g/cm³:

$$\gamma_{ab} = \frac{A}{A-B} \quad (4)$$

–este ensaio também foi refeito, utilizando-se uma quantidade superior de borracha;

–de posse dos valores obtidos nos ensaios ora descritos, fez-se a média aritmética desses valores, adotando seu resultado como sendo a massa específica da borracha de pneus.

Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos ensaios de massa unitária e massa específica realizados na borracha de pneus.

Tabela 1 – Resultados de Massa unitária e Massa específica da borracha de pneus.

Massa unitária (g/cm ³)	Massa específica(g/cm ³)
0,330	1,150

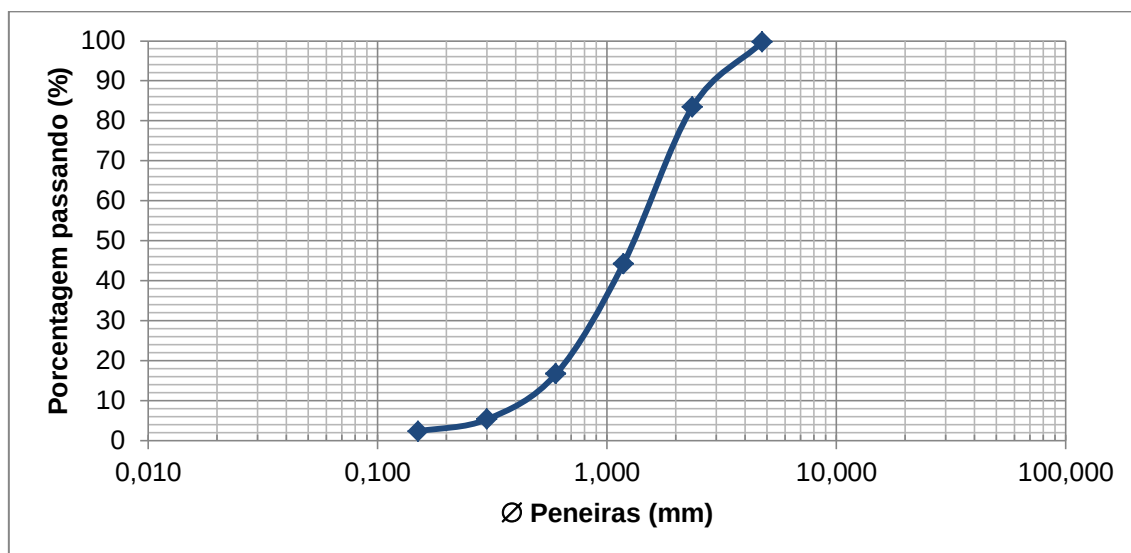
Fonte: Elaboração da própria autora.

O modulo de finura obtido para a borracha de pneu foi de 3,62 e a sua composição granulométrica pode ser visualizada na Tabela 2, com a curva granulométrica apresentada a seguir na Figura 20.

Tabela 2 – Resultados da composição granulométrica da borracha de pneus.

Ø Peneira (mm)	Massa retirada (g)	% Retida em cada peneira	% Retida acumulada	% Passante em cada peneira
6,30	3,40	1,35	1,35	98,65
4,75	5,10	2,05	3,40	96,60
2,36	40,00	16,00	19,40	80,60
1,18	96,60	38,63	58,03	41,97
0,60	67,90	27,16	85,19	14,81
0,30	27,90	11,15	96,35	3,66
0,15	7,40	2,97	99,32	0,68
fundo	1,70	0,68	100,00	0,00
Σ	250,00	100,00		

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 20 – Curva granulométrica da borracha.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Analisando as características da borracha, apresentadas na Tabela 2 e Figura 20, verifica-se que o módulo de finura fica abaixo dos valores normalmente encontrados nos agregados naturais. Isso se deve a distribuição granulométrica da borracha ser bem diferente, somado ainda o formato e a textura das partículas. Considera-se também que o sistema de beneficiamento da borracha e a sua composição devem ter influência direta sobre os

resultados obtidos. A curva obtida evidenciou um material de granulometria contínua, sendo este um fator desejável, pois permite um melhor arranjo entre as partículas da borracha.

(c) Caracterização Física do Gesso

Para a caracterização do gesso foram realizados três tipos de ensaio: massa unitária, resistência à compressão e tempo de pega. As normas utilizadas para a execução desses ensaios foram: NBRNM 45 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2006) para a massa unitária, ABNT NBR 12129:1991 para resistência à compressão e NBR 12128 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1991) para o tempo de pega.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos pelos ensaios de caracterização do gesso para a relação a/g adotada neste trabalho (0,4).

Tabela 3 – Resultados obtidos na caracterização do gesso.

Massa unitária (kg/m³)	Resistência à compressão (MPa)	Tempo de pega	
		Início (min)	Fim (min)
710	12,67	9 a 10	30 a 31

Fonte: Elaboração da própria autora.

(d) Características do Superplastificante

O superplastificante foi utilizado na concentração de 0,5% em relação à massa de gesso em todos os compósitos confeccionados. Na Tabela 4 está apresentado os dados técnicos conforme o fabricante Sika.

Tabela 4 – Dados do Superplastificante ViscoCrete 5800 FTN.

Dados Técnicos	
Composição Básica	Solução de policarboxilato em meio aquoso
Densidade	1,07 kg ± 0,02 kg/litro
pH	5,0 ± 1,0

Fonte: Elaboração da própria autora.

3.2.2 Planejamento dos ensaios

As variáveis são aspectos que permitem analisar as características de qualidade exigidas. No caso das placas de gesso, deseja-se que as mesmas apresentem bom desempenho e sejam duráveis.

Considerando que o objetivo geral deste trabalho foi avaliar algumas das características de compósitos de gesso produzidos com incorporação de borracha de pneus, foram definidas as variáveis que caracterizaram o seu desempenho técnico, e estão abaixo relacionadas:

- consistência (*mini-slump*);
- resistência à compressão;
- resistência à flexão;
- densidade superficial de massa;
- absorção de água;
- dureza superficial;
- microscopia eletrônica de varredura;
- comportamento térmico.

O plano experimental inclui a execução em laboratório de 10 compósitos de gesso, onde serão utilizadas duas diferentes granulometrias de borracha (#0,60 mm e #1,19 mm):

- C0(0-0)** → pasta de gesso (sem borracha);
- C1(5-0)** → compósito de gesso com **5%** (massa) de borracha **fin**a;
- C2(0-5)** → compósito de gesso com **5%** (massa) de borracha **gross**a;
- C3(10-0)** → compósito de gesso com **10%** (massa) de borracha **fin**a;
- C4(0-10)** → compósito de gesso com **10%** (massa) de borracha **gross**a;
- C5(15-0)** → compósito de gesso com **15%** (massa) de borracha **fin**a;
- C6(0-15)** → compósito de gesso com **15%** (massa) de borracha **gross**a;
- C7(7,5-7,5)** → compósito de gesso com **7,5%** (massa) de borracha **fin**a e **7,5%** (massa) de borracha **gross**a.
- C8(10-5)**→ compósito de gesso com **10%** (massa) de borracha **fin**a e **5%** (massa) de borracha **gross**a.
- C9(5-10)**→ compósito de gesso com **5%** (massa) de borracha **fin**a e **10%** (massa) de borracha **gross**a.

Na Tabela 5 está apresentada uma programação esquemática envolvendo todos os parâmetros de execução dos experimentos, bem como o número de corpos de prova que foram fabricados e utilizados para cada ensaio.

Tabela 5 – Esquema de variáveis a serem analisadas no programa experimental e quantidade de corpos de prova a serem ensaiados.

Borracha de pneus	Nº de compósitos	Ensaio realizado por compósito	Idade (dias)	Nº de corpos de prova	Nº total de corpos de prova (por compósito)
0%, 5%, 10% ou 15%	10	Consistência (mini-slump)	0	–	16
		Resistência à flexão	28	4	
		Resistência à compressão	28	3	
		Absorção de água	28	2	
		Dureza superficial	28	2	
		Densidade de massa	28	4	
		Comportamento térmico	>28	1	

Fonte: Elaboração da própria autora.

3.2.3 Confeção dos corpos de prova

A confecção dos corpos de prova se deu da mesma maneira para todos os compósitos, com mistura manual devido ao rápido endurecimento do gesso. Levou-se em consideração a ABNT NBR 12128:1991, utilizada para ensaio de tempo de pega na caracterização do gesso.

Inicialmente foi polvilhado o gesso na água durante 1 minuto, aguardou-se mais 1 minuto, e em seguida iniciou-se o processo de mistura dos materiais. O superplastificante, utilizado na porcentagem de 0,5% em relação à massa de gesso em todos os compósitos, foi colocado por último na mistura (3'30"). A mistura do material se deu em 4 minutos no total. Nos compósitos que continham borracha, estas foram colocadas polvilhadas em seguida do gesso.

A relação a/g utilizada neste trabalho foi determinada através de ensaios de tempo de pega. Foram testadas as relações de a/g 0,35; 0,37; 0,40; 0,45; 0,50 e 0,60. A relação a/g de 0,40 foi escolhida por sua boa plasticidade, sem que deixasse a pasta muito líquida e por seu tempo de pega ser o mais adequado para a fabricação dos compósitos, sem que endurecessem antes do tempo de colocar na forma.

As porcentagens de 5, 10 e 15% adotadas neste trabalho foram definidas levando-se em consideração os resultados obtidos nas referências Siddique e Naik (2004), Sukontasukkul e Chaikaew (2006), Fioriti (2007), Marques et al. (2008), Bravo et al. (2013), os quais fizeram uso 3% a 20% de teores de borracha de pneus em seus compósitos cimentícios, e obtiveram que tal faixa de consumo de borracha apresenta a tendência à menores valores de absorção de água e menores perdas de resistências mecânicas comparados aos que utilizaram percentuais acima de 20%. Além disso, com relação aos compósitos de gesso incorporados com materiais residuais, com base nas referências Dorlot et al. (2000), Braga Júnior e Dantas (1992), Fiorini et al. (1995), Haselein et al. (2002), Guozhong et al. (2003), Hernandez-Olivares et al. (1999), Verbeek e Du Plessis (2005), Kazmierczak et al. (2000), que utilizaram teores de materiais residuais na faixa de 3% a 25% nos compósitos produzidos, percebeu-se que essa faixa de consumo apresenta os melhores resultados de resistência à flexão, dureza, absorção de água e resistência à tração comparados aos que utilizam teores de incorporação acima de 25%.

Logo após a mistura foi colocado o material nos moldes de acordo com cada ensaio proposto, sendo as fôrmas de PVC de 400 x 300 x 15 mm para os ensaios de resistência à flexão, dureza superficial e densidade superficial de massa; as fôrmas de PVC de 300 x 300 x 15 mm para os ensaios de absorção de água e comportamento térmico; e as fôrmas metálicas de 50 x 50 x 50 mm para os ensaios de resistência à compressão. Posterior ao preenchimento de cada fôrma, as mesmas foram levadas à mesa vibratória durante 30 segundos com igual velocidade para todos os compósitos, para que houvesse um melhor adensamento do material.

Em seguida as fôrmas foram colocadas em câmara úmida para início da cura do material. Os compósitos foram desformados depois de decorridas 2 horas.

3.2.4 Determinação da consistência

A consistência dos compósitos foi observada por meio do ensaio do *mini-slump*, conforme Kantro (1980), que mede as condições de trabalhabilidade do material por meio da sua fluidez/plasticidade.

O ensaio realizado com o *mini-slump* teve o objetivo de verificar a influência das partículas de borracha finas e grossas na pasta de gesso utilizada para a confecção dos corpos de prova, de forma a verificar se as adições de borracha contribuíram para maior ou menor espalhamento da pasta.

Um molde tronco-cônico com dimensões de 40 mm de diâmetro inferior, 20 mm de diâmetro superior e 60 mm de altura (Figura 21) foi posicionado sobre uma placa de vidro com dimensões de 500 x 500 mm e 5 mm de espessura, colocada sobre uma folha de papel milimetrado, indicando o centro da placa.

Figura 21 – Modelo tronco-cônico utilizado no ensaio de consistência.

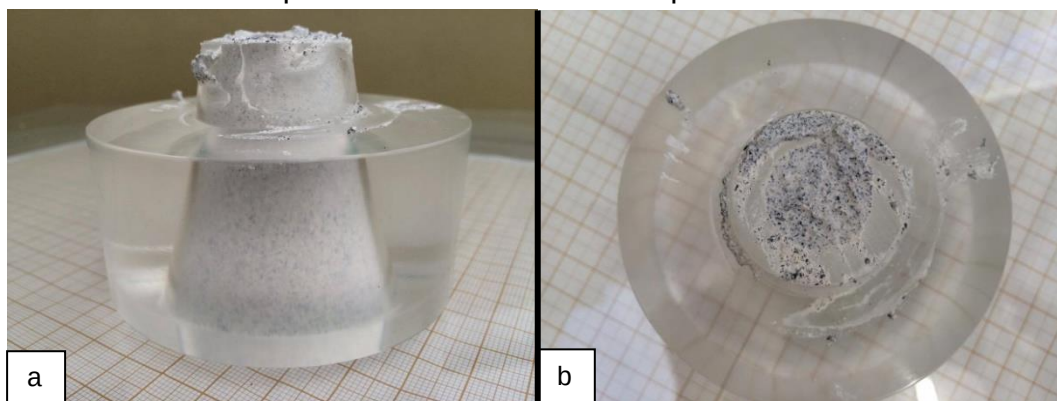


Fonte: Própria autora.

O molde foi preenchido com o compósito a ser ensaiado e o material excedente foi removido com uma espátula. Após 60 segundos, o molde tronco-cônico foi retirado verticalmente, com movimento lento, resultando no escoamento da pasta sobre a placa de vidro. A seguir, foram tomadas duas medidas ortogonais, demarcadas no papel milimetrado, as quais expressam o espalhamento do material. A consistência da mistura é a média das duas leituras, em milímetros. Em cada compósito de gesso produzido foi realizado o ensaio do *mini-slump*.

Na Figura 22 pode ser visto o ensaio de consistência (*mini-slump*).

Figura 22 – a) Molde tronco-cônico de acrílico no ensaio de consistência; b) Vista superior do molde com o compósito a ensaiar.



Fonte: Própria autora.

3.2.5. Determinação da absorção de água

A NBR 14715-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA - ABNT, 2010) estabelece que para o ensaio de absorção de água, em corpos de prova de 300 x 300 x 15 mm (Figura 23) referente às placas de gesso resistente à umidade (RU) seja determinada sua massa inicial para, em seguida, serem submergidos em um tanque com água durante 120 minutos. Decorridos esse tempo, os corpos de prova foram retirados da água e foi feita a remoção do excesso de água com um pano úmido, e por fim determinada sua massa final. A porcentagem de absorção do corpo de prova será determinada pela Equação (5):

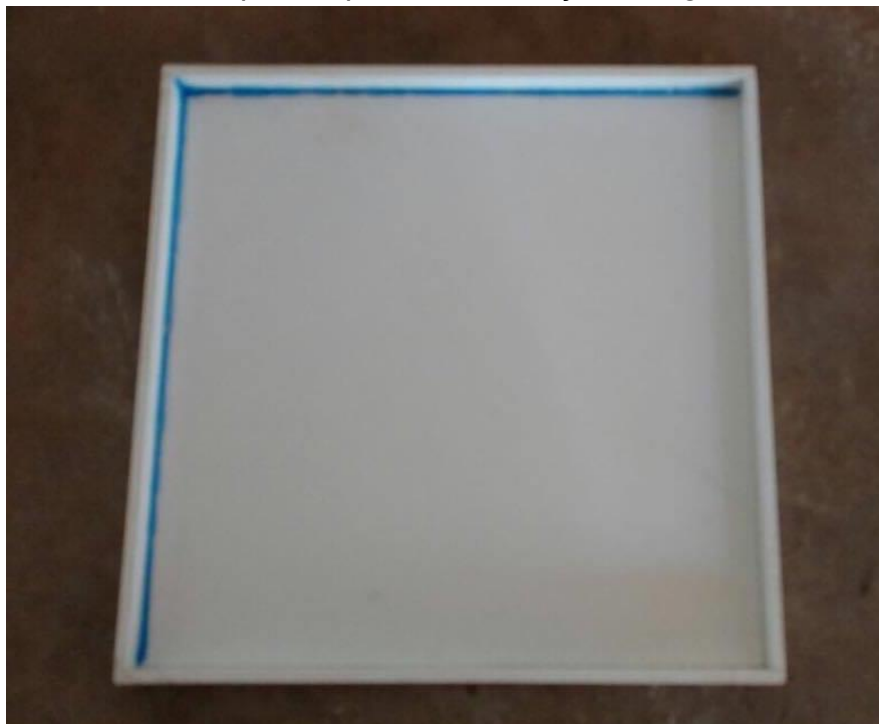
$$a = \frac{mf - mi}{mi} \times 100 \quad (5)$$

sendo: a = absorção de água (%);

mf = massa final do corpo de prova (g);

mi = massa inicial do corpo de prova (g).

Figura 23 – Forma de 300 x 300 x 15 mm de PVC utilizada para confeccionar os corpos de prova de absorção de água.



Fonte: Própria autora.

O ensaio de absorção foi executado com dois corpos de prova por cada compósito confeccionado, aos 28 dias de idade, segundo especificação da norma adotada. Um separador em PVC foi utilizado para manter a distância entre os corpos de prova. Na Figura 24 pode ser vista a realização do ensaio de absorção de água.

Figura 24 – Corpos de prova submersos em água para ensaio de absorção.



Fonte: Própria autora.

3.2.6. Determinação da resistência à ruptura na flexão

O ensaio de resistência à ruptura na flexão foi realizado conforme as prescrições da NBR 14715-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA - ABNT, 2010), em que foram confeccionados quatro corpos de prova de dimensões 400 x 300 x 15 mm (Figura 25) para cada compósito estudado.

Figura 25 – Forma 400 x 300 x 15 mm de PVC utilizada para confeccionar os corpos de prova de resistência à flexão.



Fonte: Própria autora.

Para a realização dos ensaios de resistência à flexão utilizou-se a prensa de CBR (Figura 26), marca Pavitest, modelo C1006, visto que essa prensa possui capacidade de leitura de pequenas cargas. A prensa manual possui um anel dinamométrico que tem capacidade de até 400 kgf.

Figura 26 – Prensa CBR para ensaios de resistência à flexão.



Fonte: Própria autora.

Os corpos de prova foram colocados sobre dois apoios cilíndricos de 15 mm de diâmetro, que deverão ser espaçados um do outro por 250 mm. Uma

carga progressiva será aplicada no meio do vão por um rolo cilíndrico de igual diâmetro dos apoios, e comprimento de 350 mm. A resistência à flexão deverá ser calculada a partir da Equação (6):

$$f_f = \frac{3}{2} \times \frac{P \times l}{b \times h^2} \quad (6)$$

onde: f_f = força de flexão (MPa);

P = carga de ruptura (N);

l = espaçamento entre os apoios (mm);

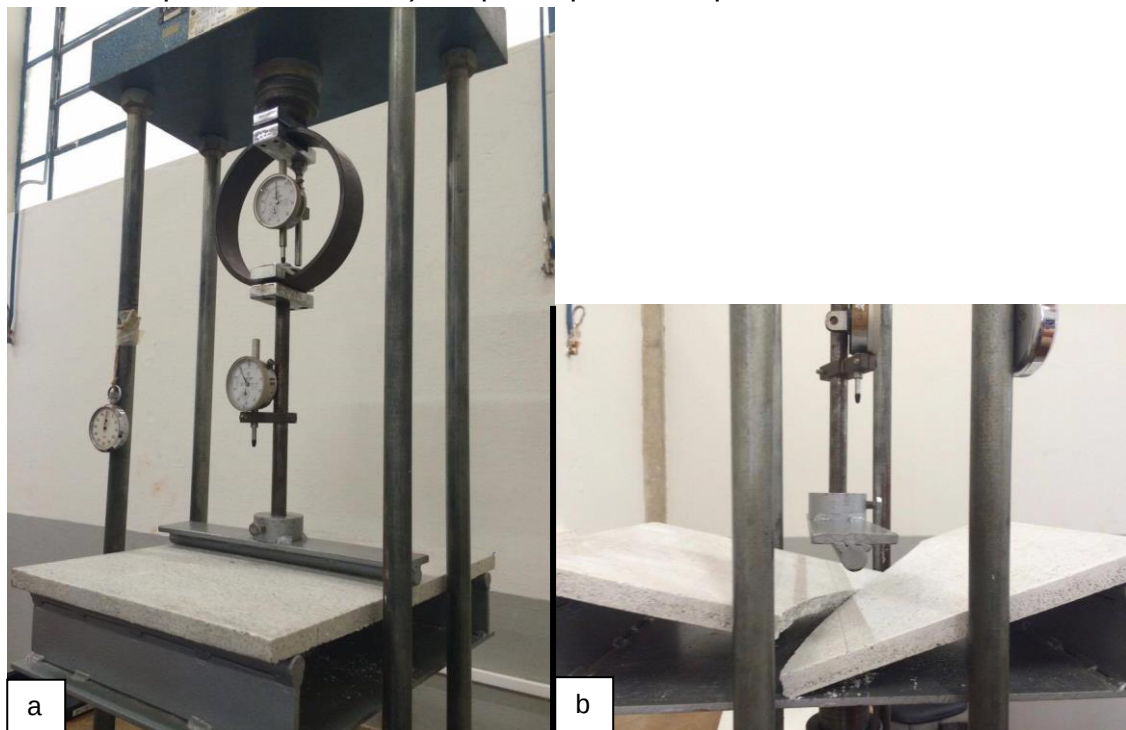
b = base do corpo de prova (mm);

h = altura do corpo de prova (mm).

Todos os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida até serem ensaiados aos 28 dias de idade.

Na Figura 27 tem-se um corpo de prova sendo ensaiado.

Figura 27 – a) Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de resistência à ruptura na flexão; b) Corpo de prova rompido durante ensaio.



Fonte: Própria autora.

3.2.7. Determinação da dureza superficial

Conforme a NBR 14715-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA - ABNT, 2010), foram confeccionados dois corpos de prova de dimensões 400 x 300 x 15 mm, utilizando-se as mesmas formas de resistência à flexão. O ensaio foi efetuado em três pontos escolhidos aleatoriamente sobre a face da frente de cada corpo de prova. Depois, foi posicionado cada corpo de prova sobre uma superfície rígida, plana e horizontal, que permitia o contato de toda a sua superfície e apresentasse inércia suficiente em relação à ação da esfera de aço.

Na sequência, deixou-se a esfera de aço (Figura 28), com massa de 510 g e diâmetro de 50 mm, cair de uma altura de 50 cm, sem velocidade inicial, sobre o corpo de prova, evitando repiques. Mediu-se o diâmetro da moosa causada pela esfera de aço no corpo de prova, com uma régua graduada de aço com exatidão de 1 mm. Por fim, calculou-se a média aritmética dos resultados das três determinações realizadas em cada um dos dois corpos de prova para cada tipo de compósito produzido, que foram ser ensaiados aos 28 dias de idade.

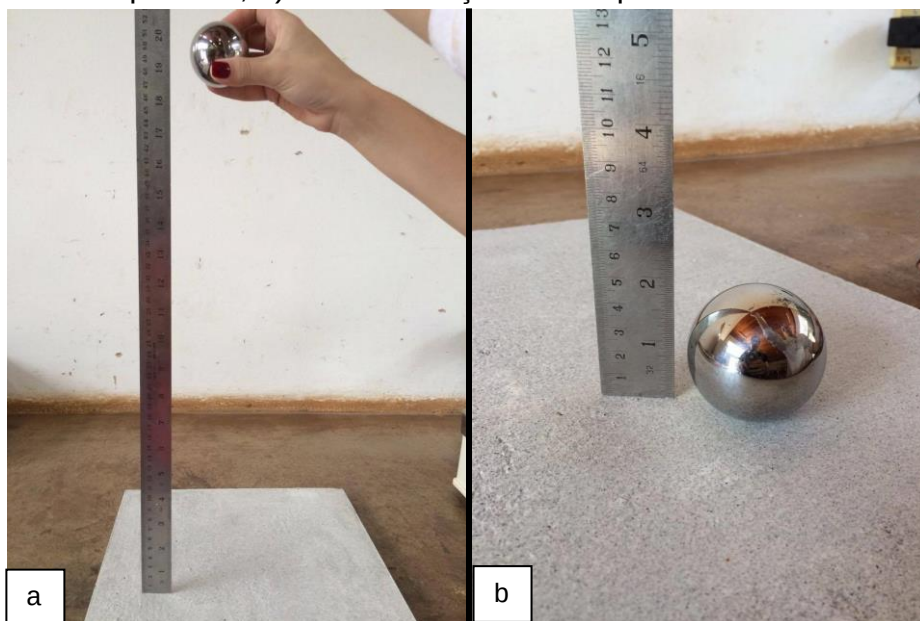
Figura 28 – Esfera de aço utilizada no ensaio de dureza superficial.



Fonte: Própria autora.

Na Figura 29 está a imagem do ensaio de dureza superficial sendo realizado.

Figura 29 – a) Corpo de prova sendo submetido ao ensaio de dureza superficial; b) Esfera de aço sobre a placa ensaiada.



Fonte: Própria autora.

3.2.8. Determinação da densidade superficial de massa

O ensaio de densidade superficial de massa foi feito de acordo com a NBR 14.715-2(ABNT, 2010). Foram preparados quatro corpos de prova para cada um dos compósitos produzidos com dimensões de 400 x 300 x 15 mm, aproveitando-se as formas utilizadas para resistência à flexão e dureza superficial.

Após a preparação dos corpos de prova, os mesmos foram medidos com auxílio de uma régua metálica, com exatidão de 1 mm, registrando suas dimensões. Posterior a isso foi anotada a massa (m) dos corpos de prova. Depois foi feito o cálculo da densidade superficial de massa dos quatro corpos de prova por compósito produzido, mediante a Equação (7):

$$d = \frac{m}{x y} \times 10^3 \quad (7)$$

onde: d = densidade superficial de massa (kg/m²);

m = massa de cada corpo de prova (g);

x = comprimento de cada corpo de prova (mm);

y = largura de cada corpo de prova (mm).

Esse ensaio foi realizado aos 28 dias de idade, quando os corpos de prova apresentavam uma massa constante. Na Figura 30 é vista a pesagem realizada nos corpos de prova.

Figura 30 – Corpo de prova sendo pesado no ensaio de densidade superficial de massa.



Fonte: Própria autora.

3.2.9. Determinação da resistência à compressão

Conforme a NBR 12129 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA - ABNT, 1991), foram utilizados três corpos de prova cúbicos de dimensões 50 x 50 x 50 mm, confeccionados utilizando-se uma forma metálica (Figura 31). Os corpos de prova foram posicionados no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio de modo que a face rasada não fique em contato com o dispositivo de apoio nem com o dispositivo de carga. Aplicando-se uma carga até a ruptura do corpo de prova.

Figura 31 – Forma metálica para confecção dos corpos de prova de resistência à compressão.



Fonte: Própria autora.

Uma prensa universal de ensaios da marca Heckert (Figura 32), com capacidade de 100 ton, foi utilizada para os ensaios de resistência à compressão.

Figura 32 – Prensa universal para ensaios de resistência à compressão.



Fonte: Própria autora.

A resistência à compressão é calculada segundo a Equação (8):

$$R = \frac{P}{S} \quad (8)$$

onde: R = resistência à compressão (MPa);

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

S = área de seção transversal de aplicação de carga (mm²).

O ensaio de resistência à compressão (Figura 33) foi realizado aos 28 dias.

Figura 33 – Corpo de prova cúbico sendo submetido ao ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Própria autora.

3.2.10. Ensaios de microscopia eletrônica de varredura

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) Carl Zeiss, modelo EVO LS15 (Figura 34), do Departamento de Física e Química da Faculdade de Engenharia da FEIS/UNESP, de Ilha Solteira, foi utilizado para verificar a morfologia e a composição da microestrutura dos compósitos produzidos à base de gesso com incorporação de borracha de pneus.

Figura 34 – Microscópio Eletrônico de Varredura utilizado.



Fonte: Própria autora.

Os corpos de prova foram coletados após o ensaio de resistência à compressão, realizado aos 28 dias de idade, e preparados para que pudessem ser submetidos à microscopia.

Primeiramente os pequenos fragmentos foram colocados em provetas com acetona, para que assim pudesse interromper o processo de hidratação do gesso, esse processo durou uma hora. Logo após foram retirados da proveta e deixados em estufa por duas horas, para que a acetona utilizada evaporasse.

Depois de interrompida a hidratação do gesso, os fragmentos do corpo de prova foram preparados para a microscopia. Como o gesso não é um material metálico e condutor é necessário que se faça um recobrimento com uma fina camada de ouro, através de um equipamento chamado Sputtering

Quorum (Figura 35), para que o feixe de elétrons incidente no material fosse conduzido de maneira a produzir as imagens geradas nesse ensaio.

Figura 35 – Sputtering Quorum.



Fonte: Própria autora.

Para realização desse ensaio o microscópio eletrônico de varredura foi configurado para ser utilizado em ambiente de vácuo variável, pelo gesso ser um material isolante e não condutor; e a imagem foi gerada através dos detectores de elétrons secundários, pois o interesse era ver a topografia e analisar a interface entre as partículas de gesso e borracha.

3.2.11. Ensaio de comportamento térmico

Nas duas últimas décadas, as facilidades proporcionadas pelos sistemas de ventilação e climatização artificiais induziram uma despreocupação com o consumo de energia elétrica para a obtenção de conforto térmico. Nesse período, a construção civil concebeu ambientes onde o conforto térmico dependia exclusivamente desses sistemas. Atualmente, as edificações são responsáveis por 42% do consumo de energia elétrica, sendo parte desse consumo devido aos sistemas mecânicos de climatização (SANTOS, 2008).

A busca de um material que possa ser usado nessas edificações que seja um isolante térmico tem merecido destaque em pesquisas científicas,

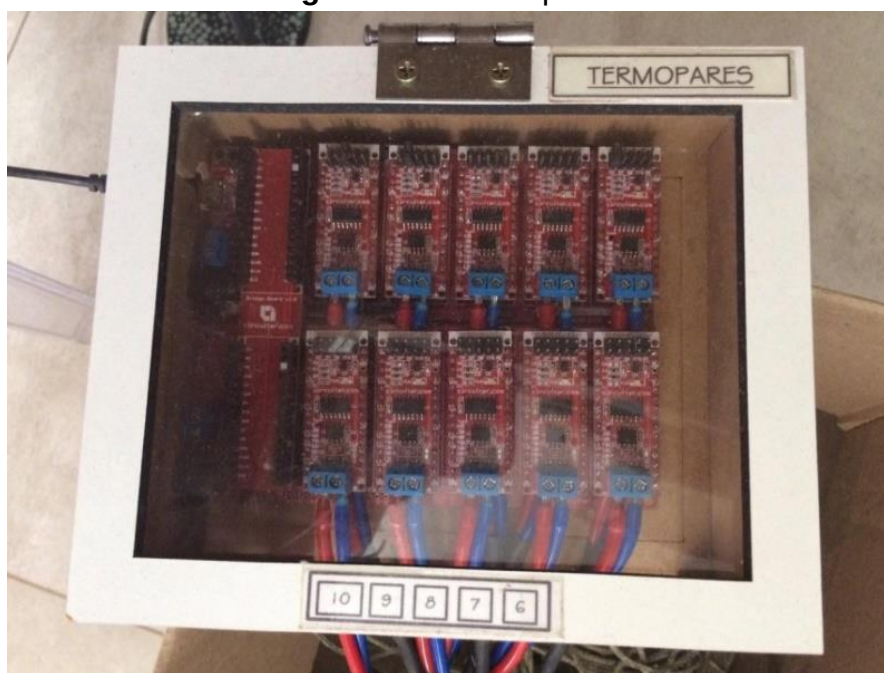
visando um material que tenha as características de boa eficiência térmica, boa resistência e baixo custo (SANTOS, 2008).

O ensaio de comportamento térmico foi feito com o intuito de se verificar o quanto da temperatura externa influenciava no isolamento térmico das placas estudadas, assim como o quanto a borracha poderia ajudar no isolamento. A metodologia adotada foi uma adaptação da utilizada por Santos (2008), que fez uma análise de comportamento térmico de uma unidade habitacional produzida com compósito à base de gesso e EPS (Poliestireno Expandido) triturado por meio de termopares colocados nas paredes da edificação, interna e externamente.

O ensaio foi realizado em todos os compósitos produzidos, com idade de superior a 28 dias. Foram utilizadas as placas com dimensões de 300 x 300 x 15 mm utilizadas na realização dos ensaios de absorção de água.

Para esse ensaio foram utilizados 10 termopares tipo K simples (Figura 36) e um relógio termohigrômetro (Figura 37) da marca Minipa, modelo MT-240. Foram confeccionados 10 suportes vazados em isopor de 4,5 cm de espessura (Figura 38) para apoiar as placas de gesso a serem ensaiadas.

Figura 36 – Termopares.



Fonte: Própria autora.

Figura 37 – Relógio termohigrômetro.



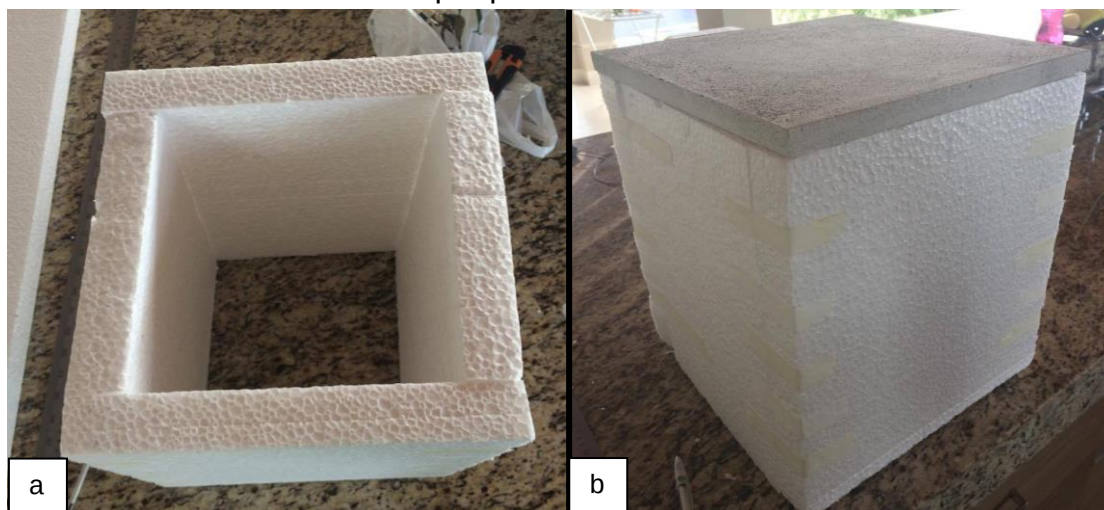
Fonte: Própria autora.

O ensaio consistiu em colocar por dentro dos suportes vazados de isopor um termopar para cada um dos nove compósitos estudados e mais o controle, estes serviram para fazer a leitura da medição de temperatura a cada 15 minutos, durante 7 dias, das 08:00 horas as 20:00 horas. A temperatura externa foi medida por meio do relógio termohigrômetro a cada hora. Sendo possível perceber o quanto de calor era passado para dentro do ambiente criado.

Para a leitura das temperaturas foi utilizado o monitor serial do software Arduino, com ele foram feitas as programações de intervalo de tempo utilizado para as medições.

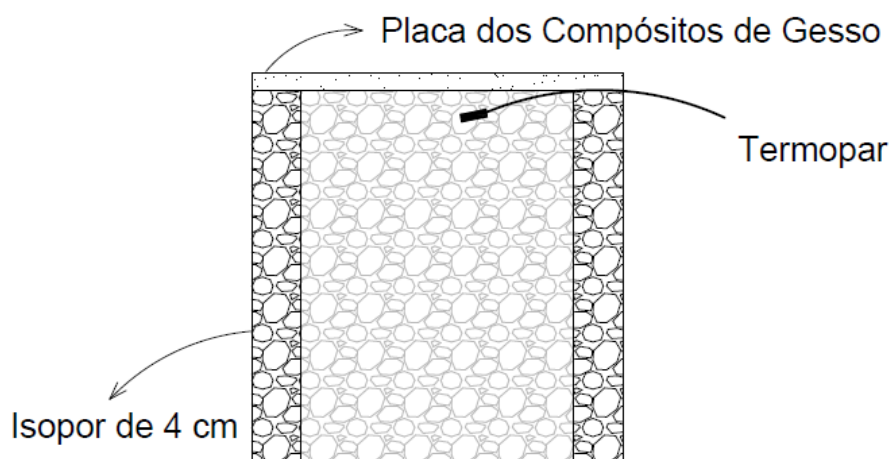
Na Figura 38 é possível ver o suporte em isopor confeccionado para esse ensaio e a colocação da placa sobre ele. Na Figura 39 está a imagem do posicionamento dos termopares utilizados no ensaio de comportamento térmico.

Figura 38 – a) Suporte vazado de isopor; b) Placa colocada sobre o suporte de isopor para ser ensaiada.



Fonte: Própria autora.

Figura 39 – Posicionamento dos termopares no ensaio de comportamento térmico.



Fonte: Própria autora.

A análise dos resultados foi feita por meio da leitura das temperaturas externas ao longo do dia e comparadas com as temperaturas no interior de cada ambiente criado, verificando assim o quanto os compósitos de gesso com incorporação de borracha ajudaram no desempenho térmico dos ambientes.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentados os resultados do programa experimental, bem como as respectivas análises.

4.1 CONSISTÊNCIA (MINI-SLUMP)

A consistência está relacionada à propriedade do gesso em seu estado plástico, sendo possível analisar por meio dela aspectos como a trabalhabilidade do compósito. Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos com o ensaio de consistência.

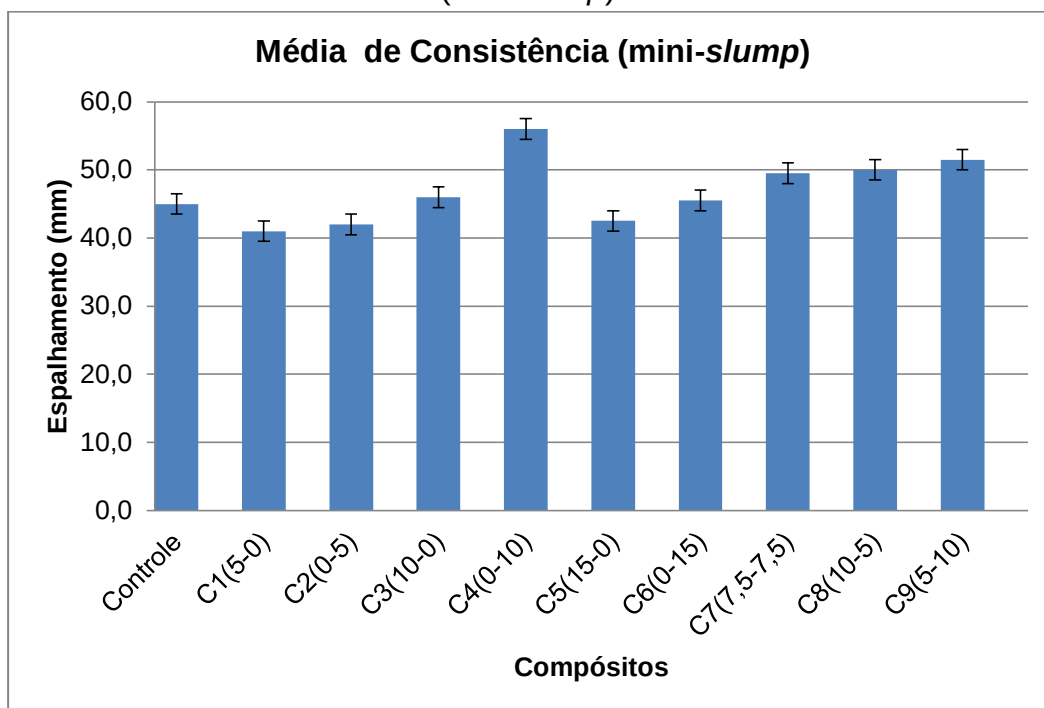
Tabela 6 – Resultados obtidos pelo ensaio de consistência (mini-slump).

Compósitos	Identificação	Amostra	Espalhamento (mm)	Média (mm)
Controle	Controle	A1	44,0	45,0
		A2	46,0	
Compósito 1	C1(5-0)	B1	40,0	41,0
		B2	42,0	
Compósito 2	C2(0-5)	C1	42,0	42,0
		C2	42,0	
Compósito 3	C3(10-0)	D1	47,0	46,0
		D2	45,0	
Compósito 4	C4(0-10)	E1	54,0	56,0
		E2	58,0	
Compósito 5	C5(15-0)	F1	42,0	42,5
		F2	43,0	
Compósito 6	C6(0-15)	G1	45,0	45,5
		G2	46,0	
Compósito 7	C7(7,5-7,5)	H1	47,0	49,5
		H2	52,0	
Compósito 8	C8(10-5)	I1	47,0	50,0
		I2	53,0	
Compósito 9	C9(5-10)	J1	55,0	51,5
		J2	48,0	

Fonte: Elaboração da própria autora.

No gráfico da Figura 40 pode ser observado a evolução do espalhamento dos compósitos produzidos.

Figura 40 – Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de consistência (mini-slump).



Fonte: Elaboração da própria autora.

De maneira geral é possível perceber que, entre os percentuais adotados, os compósitos que tiveram o espalhamento menor do que o controle foram aqueles que continham 5% de incorporação de borracha, C1(5-0) e C2(0-5), e também o compósito com 15% de borracha fina, C5(15-0).

Entre os compósitos contendo apenas uma das duas granulometrias (C1 a C6) pode-se perceber que aqueles com borracha grossa – C2(0-5), C4(0-10) e C6(0-15) – apresentaram os maiores resultados, apresentando um melhor espalhamento da pasta em comparação com os resultados obtidos pela borracha fina. Verificou-se também que o compósito C4(0-10), com 10% de incorporação de borracha grossa, foi o que apresentou a maior média de espalhamento entre todos os compósitos estudados.

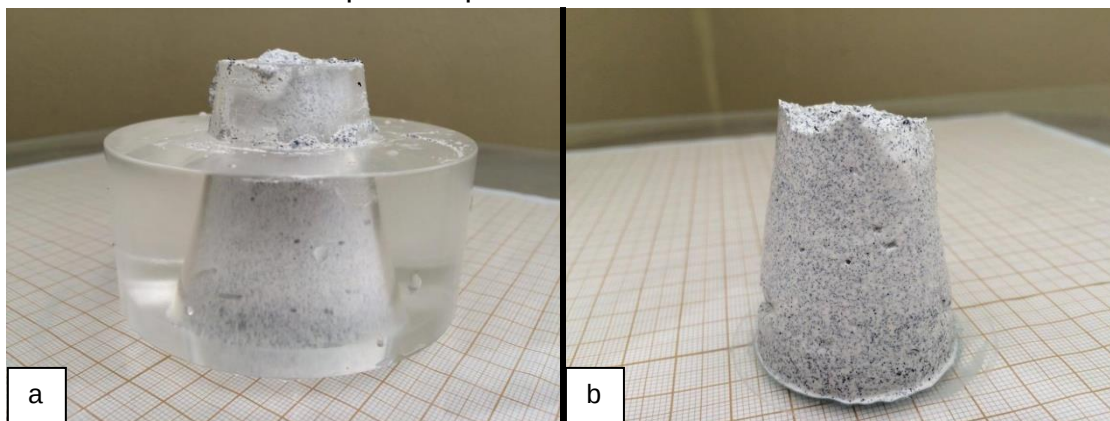
Para os compósitos contendo as duas granulometrias de borracha em diferentes percentuais, o compósito C7(7,5-7,5) apresentou o menor espalhamento entre os três, mas ainda superior em 10% do que o espalhamento apresentado pelo compósito controle. Ainda foi possível observar que o compósito que continha maior percentual de borracha grossa, C9(5-10), apresentou a maior consistência, com aumento de pouco mais de 14%.

Os compósitos com incorporação de 5% foram os que ficaram mais consistentes, seguidos por aqueles que tinham incorporação de 15% de borracha. O maior espalhamento foi obtido pelos compósitos contendo 10% de borracha, e isso foi observado para as duas granulometrias analisadas. Isso pode ser explicado pelo melhor arranjo entre as partículas na pasta, uma vez que se observou menos vazios na pasta quando se aumenta a porcentagem.

Calculando-se o desvio padrão apresentado pelas médias dos resultados percebeu-se que, exceto pelo compósito C4(0-10) e C9(5-10), todos apresentaram relativamente baixo desvio, sendo entre 0,35 mm para o C6(0-15) e 3,53 mm para o C8(10-5), indicando que os pontos dos dados tendem a estar próximos da média ou do valor esperado. Já o C4(0-10) apresentou desvio padrão alto, de 7,77 mm, e o C9(5-10) de 4,59 mm, indicando que os pontos dos dados estão espalhados por uma ampla gama de valores. O desvio padrão de todos os resultados foi de 4,77 mm.

Na Figura 41 está apresentado o ensaio sendo realizado no compósito C5(15-0).

Figura 41 – a) Ensaio de consistência sendo realizado no C5; b) Forma obtida pelo C5 pela sua consistência.



Fonte: Própria autora.

Se compararmos com os resultados obtidos por Takaki (2015), observa-se um resultado semelhante, pois os compósitos produzidos com 5% de incorporação de borracha de pneus com granulometrias de #0,075 mm, #1,19 mm e #2,38 mm mostraram aumento da dimensão média do espalhamento dos compósitos conforme a maior granulometria incorporada. É

válido ressaltar que a citada autora utilizou alguns fatores diferentes: o gesso, a relação a/g (0,6) e o superplastificante.

4.2. ABSORÇÃO DE ÁGUA

O gesso é marcado por sua característica de absorver umidade, desse modo, o desempenho das placas de gesso quanto à absorção de água é um fator interessante a ser observado e levado em conta na avaliação do desempenho deste material.

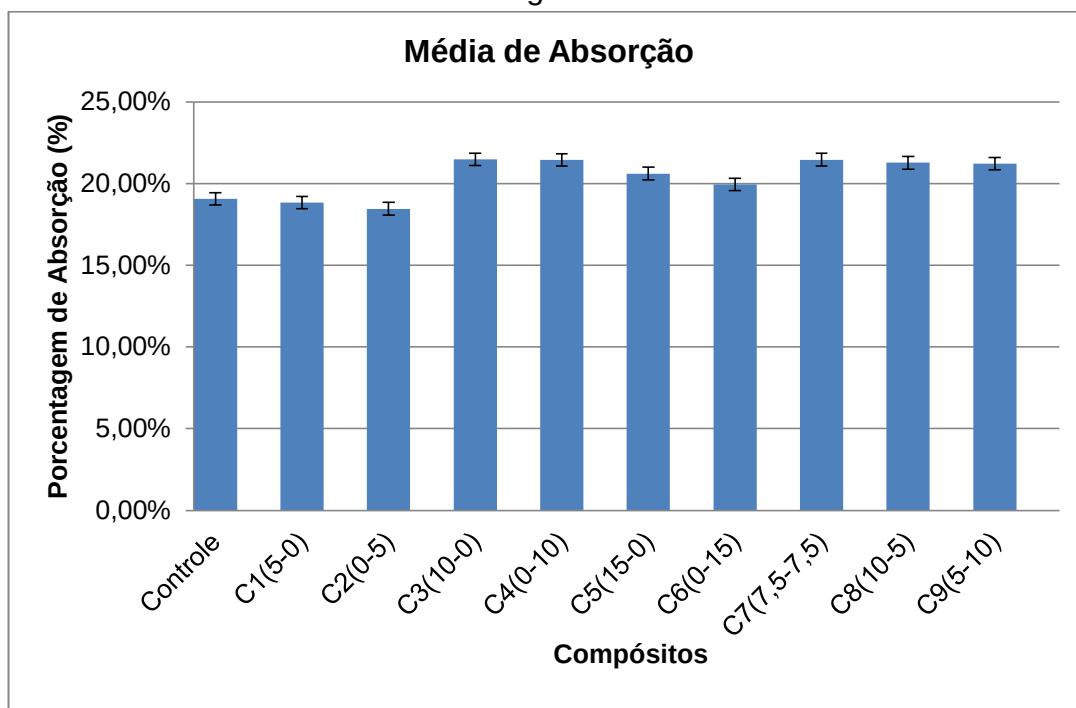
Na Tabela 7 foram apresentados os resultados obtidos nesse ensaio, sendo nela possível observar que a incorporação das duas granulometrias de borracha nos compósitos e as nove percentagens resultaram em diferentes médias de absorção. O gráfico que ilustra a média obtida pelos compósitos está representado na Figura 42.

Tabela 7 – Resultados obtidos pelo ensaio absorção de água.

Compósitos	Identificação	Corpo de Prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Absorção (%)	Média de Absorção (%)
Controle	Controle	A1	2030	2405	18,72	19,06
		A2	1960	2335	19,39	
Compósito 1	C1(5-0)	B1	1965	2340	19,08	18,84
		B2	1935	2295	18,60	
Compósito 2	C2(0-5)	C1	1950	2310	18,46	18,46
		C2	2005	2375	18,45	
Compósito 3	C3(10-0)	D1	1880	228	21,28	21,48
		D2	1800	2190	21,67	
Compósito 4	C4(0-10)	E1	1840	2235	21,48	21,44
		E2	1870	2270	21,39	
Compósito 5	C5(15-0)	F1	1820	2190	20,33	20,61
		F2	1845	2230	20,89	
Compósito 6	C6(0-15)	G1	1840	2205	19,84	19,95
		G2	1920	2305	20,05	
Compósito 7	C7(7,5-7,5)	H1	1810	2190	21,00	21,46
		H2	1780	2170	21,91	
Compósito 8	C8(10-5)	I1	1755	2120	20,80	21,27
		I2	1795	2185	21,73	
Compósito 9	C9(5-10)	J1	1790	2165	20,95	21,21
		J2	1840	2235	21,47	

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 42 – Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de absorção de água.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Pela Tabela 7 observa-se que os compósitos com 5% de incorporação de borracha foram os que apresentaram a menor absorção de água entre todos os estudados. Sendo que entre as duas granulometrias não houve grande diferença, visto que a borracha fina absorveu 18,84% e a borracha grossa teve uma absorção ligeiramente inferior de 18,46%. Em relação ao controle houve uma queda de aproximadamente 0,6% para a borracha grossa, enquanto que a borracha fina teve queda de 0,22%.

Os compósitos que foram incorporados com 10% de borracha de pneus foram os que apresentaram os maiores resultados de absorção, com pouca diferença entre aquele com incorporação de borracha fina C3(10-0), daquele com incorporação de borracha grossa C4(0-10). Comparando-se com o resultado obtido pelo controle, os compósitos com 10% de incorporação tiveram absorção com cerca de 2,3% superior a obtida pelo controle.

Porém não se pode afirmar uma maior absorção de água conforme maior a incorporação de borracha, uma vez que o maior percentual adicionado foi de 15%, com os compósitos C5(15-0), C6(0-15), C7(7,5-7,5), C8(10-5) e C9(5-10), e estes tiveram médias menores de absorção quando comparados aos compósitos com incorporação de 10% – C3(10-0) e C4(0-10). Assim como

o que foi observado no ensaio de consistência, onde os compósitos que tinham incorporação de 10% de borracha apresentaram maior trabalhabilidade do que os compósitos com 15% de borracha.

Outro ponto observado com o ensaio de absorção de água é que os compósitos incorporados com 15% de apenas uma das granulometrias de borracha – C5(15-0) e C6(0-15) – tiveram taxas de absorção menores do que aqueles incorporados com diferentes percentuais das duas borrachas – C7(75-7,5), C8(10-5) e C9(5-10). O que acaba por contradizer a ideia de que com granulometrias diferentes teríamos um melhor arranjo entre as partículas de gesso e borracha e consequente melhor preenchimento de vazios.

Tudo indica, contudo, que, como a borracha não absorve água, esta se acumula nas interfaces entre a pasta de gesso e as partículas de borracha ou também nos poros que se criam na presença da borracha.

De maneira geral, pela Figura 42, percebe-se que, assim como no ensaio de consistência, o ensaio de absorção de água apresentou resultados muito próximos ao do controle, com cerca de $\pm 2\%$ de diferença entre os compósitos com borracha e o controle. Sendo assim, pode-se dizer que essa propriedade não é afetada pela incorporação da borracha, tão pouco pela diferença de granulometria.

Na Figura 43 mostra-se a imagem do ensaio de absorção de água para todos os compósitos.

Figura 43 – Ensaio de absorção de água em todos os compósitos.



Fonte: Própria autora.

Para Takaki (2015) seus resultados indicaram que os compósitos com borracha incorporada apresentaram taxas de absorção maiores que o controle, entretanto não é possível afirmar um aumento da absorção conforme o aumento da granulometria, pois o compósito com 5% de borracha média (#1,19 mm) apresentou absorção 9,8% maior que o controle, sendo a menor absorção, enquanto o compósito com 5% de borracha fina (#0,075 mm) apresentou absorção 17,9% maior e o compósito com 5% de borracha grossa (#2,38 mm) apresentou absorção 21,5% maior que o controle, apresentando a pior taxa de absorção de água.

Cunha (2012) observou que, para os compósitos de gesso incorporados com manta de fibra de coco seco, houve aumento da absorção de água com a incorporação da fibra, indicando maior absorção para a amostra com maior volume de fibras, o que justifica pela elevada capacidade das fibras de absorverem água em sua região central.

Magalhães (2009) encontrou resultados parecidos estudando compósitos de gesso incorporados com fibras de bambu, sisal e coco, com e sem o uso de superplastificante. As porcentagens de incorporação foram de 2 a 8% e variavam conforme a fibra utilizada. Os compósitos com superplastificante apresentaram os menores resultados no ensaio de absorção de água, entre 15 e 23%, com o melhor desempenho do compósito com incorporação de fibra de sisal. Para os compósitos contendo superplastificante os fatores de a/g foi entre 0,40, 0,45 e 0,50. Já para o gesso controle, com a incorporação das três fibras e sem a adição do superplastificante, as taxas de absorção variaram entre 22 e 48%, sendo o compósito com fibra de sisal aquele que menos absorveu água.

4.3. RESISTÊNCIA À RUPTURA NA FLEXÃO

A resistência máxima suportada pelo corpo de prova antes de sofrer fissuras ou fraturas é interessante de ser observada para determinar qual a carga máxima suportada pelo material antes de comprometer seu comportamento mecânico adequado para uso.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados obtidos neste ensaio e na Figura 44 é apresentado o gráfico da média desses resultados.

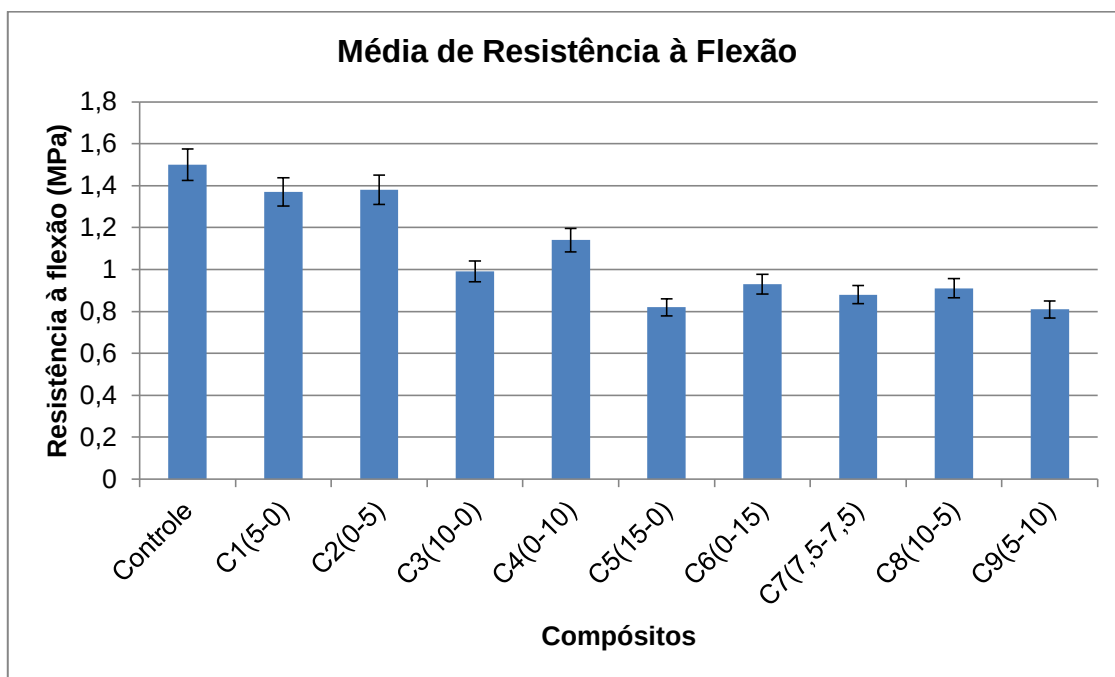
Tabela 8 – Resultados obtidos pelo ensaio de resistência à ruptura na flexão.

Compósitos	Identificação	Corpo de Prova	Carga de Ruptura (N)	Força de Flexão (MPa)	Média de Resistência (MPa)
Controle	Controle	A1	354,95	1,51	1,50
		A2	373,63	1,52	
		A3	354,95	1,48	
Compósito 1	C1(5-0)	B1	336,27	1,34	1,37
		B2	382,97	1,36	
		B3	336,27	1,42	
Compósito 2	C2(0-5)	C1	354,95	1,43	1,38
		C2	373,63	1,34	
		C3	345,60	1,38	
Compósito 3	C3(10-0)	D1	280,22	1,05	0,99
		D2	280,22	1,01	
		D3	280,22	0,93	
Compósito 4	C4(0-10)	E1	298,91	1,25	1,14
		E2	308,24	1,11	
		E3	298,91	1,07	
Compósito 5	C5(15-0)	F1	186,82	0,79	0,82
		F2	214,83	0,83	
		F3	224,18	0,83	
Compósito 6	C6(0-15)	G1	298,91	1,22	0,93
		G2	224,18	0,80	
		G3	233,51	0,79	
Compósito 7	C7(7,5-7,5)	H1	214,83	0,85	0,88
		H2	252,20	0,87	
		H3	205,50	0,92	
Compósito 8	C8(10-5)	I1	214,83	0,96	0,91
		I2	214,83	0,88	
		I3	242,86	0,91	
Compósito 9	C9(5-10)	J1	205,50	0,80	0,81
		J2	224,18	0,83	
		J3	224,18	0,80	

Fonte: Elaboração da própria autora.

Para desvios relativos máximos de 20%, foram desconsiderados os valores discrepantes e calculadas novas médias, afim de que se possa obter um resultado mais próximo do valor real.

Figura 44 – Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de resistência à flexão.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Os compostos C1(5-0) e C2(0-5) tiveram resultados que se aproximaram muito do obtido pelo controle. O composto C1(5-0) apresentou uma diferença de 8,6% do controle, enquanto que a diferença do composto C2(0-5) foi de 8%.

Os compostos que apresentaram maior diferença com relação ao controle foram os compostos C5(15-0) e C9(5-10), que obtiveram resultados de 45,3% e 46%, respectivamente, abaixo do apresentado pelo controle.

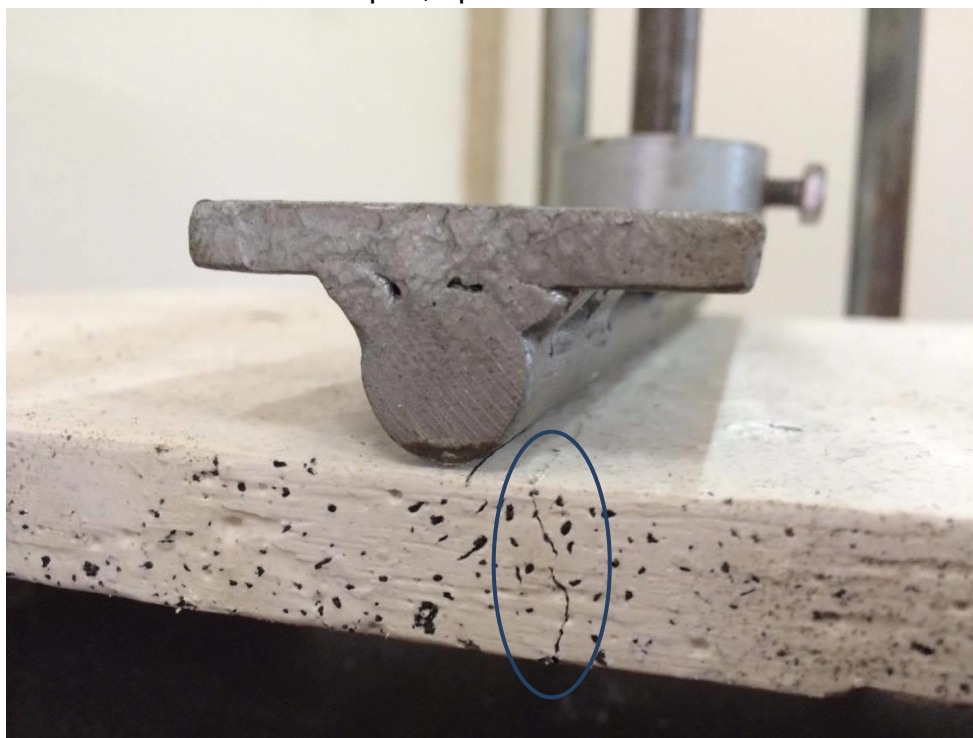
Fazendo uma análise entre as granulometrias de borracha utilizadas podemos destacar que apenas nos compostos contendo 5% de incorporação, C1(5-0) e C2(0-5), que a borracha fina apresentou a maior média, mas, com relação aos compostos contendo 10% e 15% de incorporação; C3(10-0), C4(0-10), C5(15-0) e C6(0-15); a granulometria que apresentou os melhores resultados foi a grossa.

Entre os compostos contendo porcentagens das duas granulometrias de borracha o composto que apresentou o menor decréscimo de resistência foi novamente o composto C8(10-5), com resultado de 39,3% abaixo do controle, seguida pelo composto C7(7,5-7,5), com um percentual de 41,3% abaixo do controle, e por último o composto C9(5-10), que apresentou, relativamente, a média mais baixa de todos os compostos.

Durante a realização dos ensaios houve várias ocorrências onde a borracha ajudava a manter a integridade do corpo de prova (Figura 45), de maneira que, depois de ensaiada, as placas não se separavam totalmente, como ocorreu na placa controle e em alguns exemplos de compósitos (Figura 46).

Algo semelhante foi relatado por Raghavan, Huynh e Ferraris (1998) ao ensaiarem corpos de prova de argamassa com incorporação de borracha de pneus à flexão. Foi possível verificar que após a falha da matriz da argamassa os pedaços de borracha suportam a fissuração e previnem a ruptura total do corpo de prova.

Figura 45 – Placa do compósito 2, mesmo após o ensaio de flexão não se rompeu, apenas fissurou.



Fonte: Própria autora.

Figura 46 – Placa do compósito 1, completamente rompida ao final do ensaio.



Fonte: Própria autora.

A média de diminuição dos compósitos foi entre 8,3% (incorporação de 5% de borracha) e 41,6% (com 15% de borracha). Tudo indica que foi devido a menor adesão entre a pasta de gesso com as partículas da borracha, que pode ser visto através do ensaio de MEV.

Oliveira et al. (2009) estudaram compósitos de gesso com incorporação de EVA (Etileno Acetado de Vinila) e analisaram seu comportamento mecânico no ensaio de resistência à flexão. Os autores chegaram à conclusão que, devido aos problemas de aderência entre a pasta de gesso e o EVA, os compósitos apresentaram menor resistência que o controle, e conforme o aumento da percentagem de EVA e da relação a/g, mais negativamente afetava o compósito estudado.

Serna et al. (2012), que estudaram compósitos de gesso com borracha de pneus para melhorar o comportamento elástico do gesso, observaram que a incorporação de borracha provoca uma diminuição na resistência à flexão de gesso. A resistência diminui proporcionalmente com a incorporação de borracha entre 10,4% (com 1% de borracha) e 19,9% (com 5% de borracha). Os autores explicam que esta redução na força pode ser causada pela falta de adesão entre as partículas de borracha e a matriz de gesso.

Já para Takaki (2015) a incorporação dos resíduos da recauchutagem resultou em melhores resistências a ruptura na flexão das chapas de gesso, sendo que o compósito CM – 5% apresentou o melhor desempenho ao

apresentar a resistência à ruptura na flexão com um aumento de 21,6% em relação ao controle. O compósito CF – 5% apresentou um aumento de 7,6% em relação ao compósito sem borracha e as chapas CG – 5% apresentaram o menor aumento, sendo de 5,1% maior que o controle.

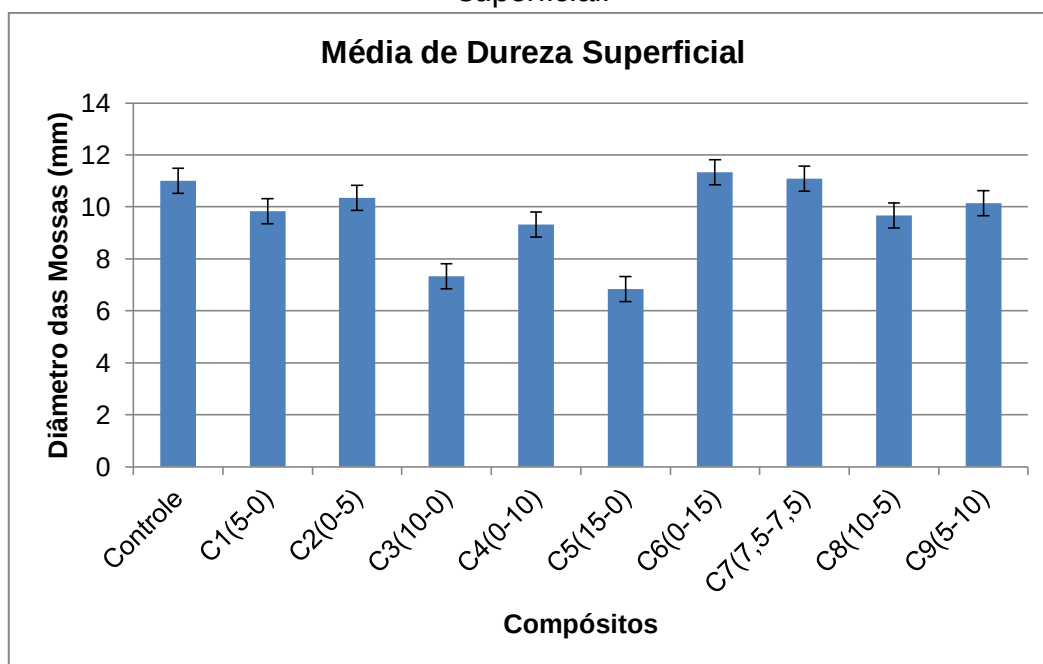
4.4. DUREZA SUPERFICIAL

A dureza superficial está relacionada com a deformação que a placa de gesso sofre após sofrer impactos, sendo observada através das mossas causadas pelo lançamento da esfera de aço sobre a placa. Dessa forma, indica a capacidade que a placa de gesso tem de garantir, em termos físicos e visuais, a segurança e o desempenho adequado no uso mesmo após um impacto. Os resultados do ensaio de dureza superficial estão apresentados na Tabela 9 e no gráfico da Figura 47.

Tabela 9 – Resultados obtidos pelo ensaio de dureza superficial.

Compósitos	Identificação	Corpo de Prova	Mossa 1 (mm)	Mossa 2 (mm)	Mossa 3 (mm)	Média (mm)	Média Final (mm)
Controle	Controle	A1	11,00	12,00	13,50	12,17	11,00
		A2	9,50	9,00	11,00	9,83	
Compósito 1	C1(5-0)	B1	9,00	9,00	11,00	9,67	9,84
		B2	9,50	10,50	10,00	10,00	
Compósito 2	C2(0-5)	C1	10,00	12,00	11,00	11,00	10,34
		C2	9,00	11,00	9,00	9,67	
Compósito 3	C3(10-0)	D1	8,00	6,00	10,00	8,00	7,34
		D2	7,00	5,00	8,00	6,67	
Compósito 4	C4(0-10)	E1	8,00	8,50	10,00	8,83	9,33
		E2	10,00	10,00	9,50	9,83	
Compósito 5	C5(15-0)	F1	9,00	7,00	5,00	7,00	6,84
		F2	5,00	7,00	8,00	6,67	
Compósito 6	C6(0-15)	G1	10,00	11,50	12,50	11,33	11,33
		G2	12,00	10,50	11,50	11,33	
Compósito 7	C7(7,5-7,5)	H1	10,00	11,00	9,50	10,17	11,09
		H2	12,50	11,50	12,00	12,00	
Compósito 8	C8(10-5)	I1	8,00	9,00	11,00	9,33	9,67
		I2	9,00	9,50	11,50	10,00	
Compósito 9	C9(5-10)	J1	9,00	9,00	11,50	9,83	10,14
		J2	11,50	9,50	10,50	10,50	

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 47 – Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de dureza superficial.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Os resultados dos ensaios com a incorporação de borracha nos compósitos de gesso (Tabela 9) apresentam médias finais da moessa (obtidas pelas médias de cada corpo de prova por compósito) menores que a média final das placas controle, indicando menores deformações sofridas após o impacto da esfera de aço e, portanto, aumento de sua dureza superficial. Em todos os casos, ainda que sutil, houve um aumento da dureza superficial dos compósitos em relação ao controle.

Com o ensaio de dureza superficial foi possível observar que os compósitos contendo a borracha de granulometria fina foram capazes de absorver melhor o impacto do que aqueles que continham a borracha de granulometria grossa, ou até mesmo o controle.

Entretanto, não há uma relação clara de que o aumento da porcentagem de incorporação de borracha indique menores moessas, uma vez que a borracha fina apresentou comportamento diferente da borracha grossa. Para a borracha fina, quanto maior a incorporação de borracha nos compósitos C1(5-0), C3(10-0) e C5(15-0) houve uma contribuição da borracha para diminuição das moessas, o que aumentou a dureza superficial em 10,6%, 33,32% e 37,86%, respectivamente.

Porém o mesmo não foi observado para a borracha grossa, que nos compósitos C2(0-5), C4(0-10) e C6(0-15) apresentaram melhora para as duas primeiras percentagens, que obtiveram uma diminuição da moessa e um aumento da dureza superficial (em média) de 6,05% para o compósito C2(0-5) e 15,19% para o compósito C4(0-10). Já o compósito C6(0-15) apresentou um aumento das moessas em relação ao controle, o que diminuiu a dureza superficial em 3%.

Entre os compósitos que tiveram incorporação de um percentual para cada granulometria de borracha pode-se verificar que não houve muita variação entre eles, podendo observar que o compósito C7(7,5-7,5) apresentou resultados bastante semelhantes ao controle, com um aumento de apenas 0,77% na média de dimensão das moessas. Já o compósito C8(10-5) foi o que apresentou as menores moessas entre os três, com uma diminuição de 12,14% em sua dimensão com relação ao controle, resultando uma maior dureza superficial.

Pela Figura 47 nota-se que entre os compósitos C1(5-0), C2(0-5), C3(10-0), C4(0-10), C5(15-0) e C6(0-15) houve uma amplitude entre as duas granulometrias de borrachas utilizadas que foi aumentando entre 5% e 15%, na qual a borracha fina se mostrava decaindo conforme aumentava o percentual enquanto que a borracha grossa crescia na mesma proporção.

Calculando-se a Energia de Impacto (E_i) pela Equação (9), da extinta NBR 9454:1986, tem-se que:

$$E_i = h \times m \times a \quad (9)$$

onde: E_i = energia de impacto (J);

h = altura de queda (m);

m = massa da esfera (kg);

a = aceleração da gravidade (m/s^2).

E, sendo assim, observa-se que as placas resistiram ao impacto de 2,55 J a cada lançamento da esfera de aço.

É válido observar que, de todos os compósitos ensaiados, apenas duas placas se romperam durante o lançamento da esfera de aço, que foram uma do compósito C5(15-0), que apresentou a maior dureza superficial; e uma do compósito C7(7,5-7,5), que apresentou a segunda menor dureza superficial. Porém, se romperam por motivos diferentes, o compósito C5(15-0) por apresentar mossas quase imperceptíveis, a esfera precisou ser lançada mais de uma vez para que pudessem ser observados os resultados. Já o compósito C7(7,5-7,5), que apresentou as maiores mossas acabou se fissurando durante o lançamento da esfera pela terceira vez.

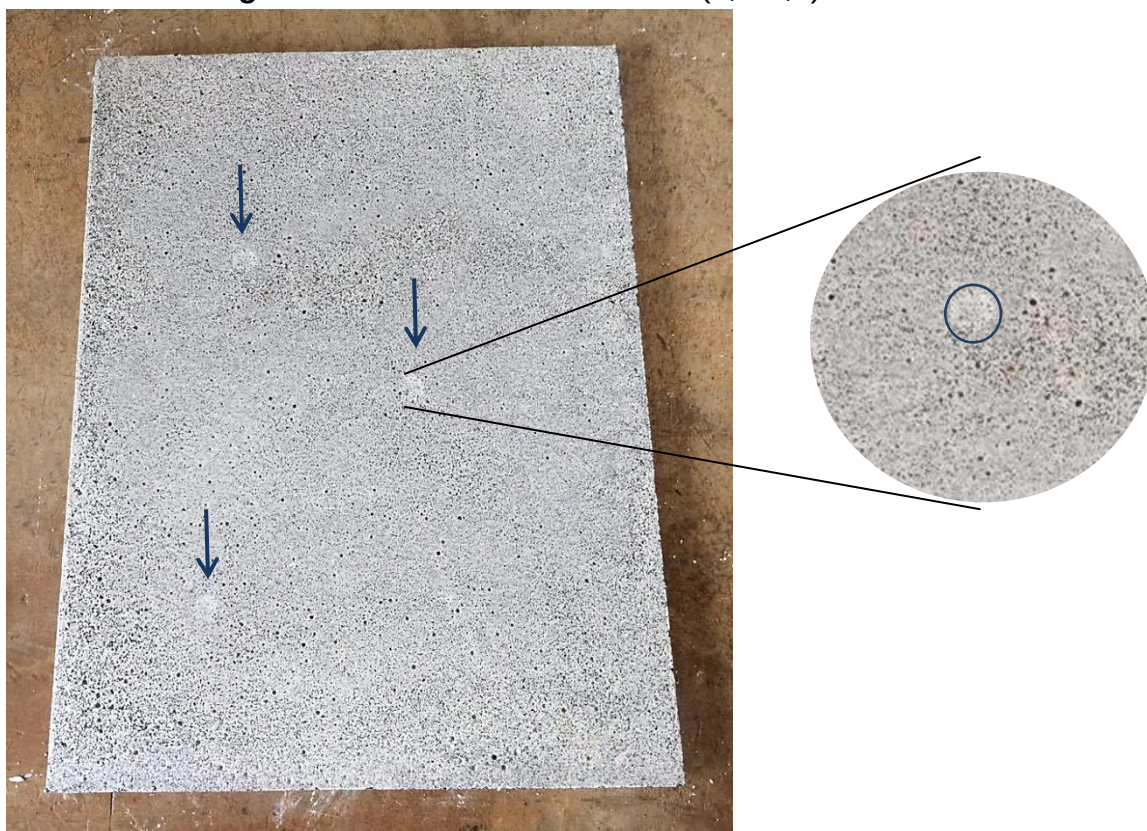
Algo semelhante ocorreu no trabalho desenvolvido por Takaki (2015), a qual se observou que todos os compósitos, exceto o que continha borracha de granulometria média (CM – 5%), apresentaram pelo menos um corpo de prova que se rompeu em um dos lançamentos da esfera de aço, gerando trincas. Tanto no caso da placa de borracha fina, quanto da placa controle, os rompimentos ocorreram nos corpos que apresentaram a média de mocha mais baixa, ou seja, as que apresentaram maior dureza superficial.

Kern et al. (2000), que estudaram compósitos à base de matriz de gesso com incorporação de resíduos de contrafortes de calçados nas porcentagens 10, 15, 20 e 25%, observaram que a matriz de gesso sem incorporação de

resíduo apresenta ruptura brusca, sempre ocorrendo na primeira queda da esfera. Já os compósitos com resíduos apresentaram maior ductilidade, apresentando uma deformação plástica considerável, principalmente aqueles que tinham as maiores porcentagens de incorporação.

Na Figura 48 está uma placa ensaiada do compósito C7(7,5-7,5) com os três pontos de impacto indicados.

Figura 48 – Placa ensaiada do C7(7,5-7,5).



Fonte: Própria autora.

4.5. DENSIDADE SUPERFICIAL

O ensaio de densidade superficial de massa em elementos como placas de gesso se faz importante, pois como elementos verticais de vedação, por exemplo, é interessante que as mesmas sejam leves, para proporcionar facilidade em termos como de instalação e leveza final da obra.

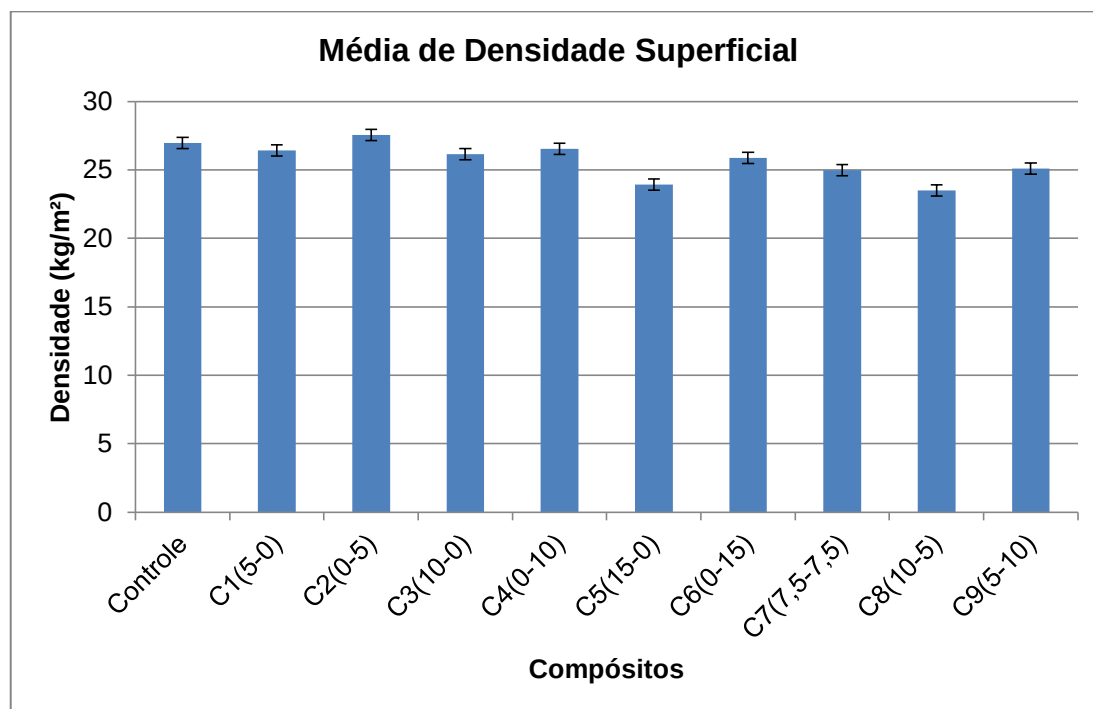
Todos os resultados individuais e as médias dos compósitos estão apresentados na Tabela 10, e o gráfico obtido através das médias desses resultados está na Figura 49.

Tabela 10 – Resultados obtidos pelo ensaio de densidade superficial.

Compósitos	Identificação	Corpo de Prova	Massa (g)	X (mm)	Y (mm)	d (kg/m ²)	Média (kg/m ²)
Controle	Controle	A1	3220	400	300	26,83	26,97
		A2	3235	400	300	26,96	
		A3	3045	400	300	26,62	
		A4	3295	400	300	27,46	
Compósito 1	C1(5-0)	B1	3270	400	300	27,25	26,41
		B2	3215	400	300	26,79	
		B3	3040	400	300	25,33	
		B4	3155	400	300	26,29	
Compósito 2	C2(0-5)	C1	3360	400	300	28,00	27,55
		C2	3350	400	300	27,92	
		C3	3175	400	300	26,46	
		C4	3340	400	300	27,83	
Compósito 3	C3(10-0)	D1	3160	400	300	26,33	26,16
		D2	3035	400	300	25,29	
		D3	3205	400	300	26,71	
		D4	3160	400	300	26,33	
Compósito 4	C4(0-10)	E1	3160	400	300	26,33	26,54
		E2	3290	400	300	27,41	
		E3	3190	400	300	26,58	
		E4	3100	400	300	25,83	
Compósito 5	C5(15-0)	F1	2865	400	300	23,87	23,94
		F2	2955	400	300	24,62	
		F3	2850	400	300	23,75	
		F4	2825	400	300	23,54	
Compósito 6	C6(0-15)	G1	3020	400	300	25,16	25,88
		G2	3225	400	300	26,87	
		G3	3180	400	300	26,50	
		G4	3000	400	300	25,00	
Compósito 7	C7(7,5-7,5)	H1	2995	400	300	24,96	24,99
		H2	3145	400	300	26,21	
		H3	2995	400	300	24,96	
		H4	2860	400	300	23,83	
Compósito 8	C8(10-5)	I1	2845	400	300	23,71	23,50
		I2	3000	400	300	25,00	
		I3	2915	400	300	20,96	
		I4	2920	400	300	24,33	
Compósito 9	C9(5-10)	J1	2980	400	300	24,83	25,10
		J2	2920	400	300	24,33	
		J3	3095	400	300	25,74	
		J4	3060	400	300	25,50	

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 49 – Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de densidade superficial.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Nesse ensaio quase todos os compostos contendo borracha de pneus tiveram uma média de densidade menor do que o controle, com exceção do C2(0-5) (5% de borracha grossa), que apresentou densidade 2,15% maior que o composto controle. Todavia, essa queda na densidade se mostrou de maneira sutil.

Podemos observar por meio da Tabela 10 que o composto com menor densidade foi o C8(10-5), pois apresentou densidade média de 12,8% menor do que a controle.

Entre as borrachas estudadas observa-se que a de granulometria grossa foi a que apresentou as maiores médias de densidade quando comparada com a fina em todos os percentuais estudados, nos compostos C1(5-0), C2(0-5), C3(10-0), C4(0-10), C5(15-0) e C6(0-15), mostrando que a borracha de granulometria mais fina contribuiu para deixar o material mais leve. Entre os três percentuais o que apresentou melhor resultado foi o composto C5(15-0), com média de densidade 11,2% menor do que o controle.

Já entre os percentuais estudados, aquele que apresentou a menor média de densidade quando comparado com o controle foi o de 15%: C5(15-0), C6(0-15), C7(7,5-7,5), C8(10-5) e C9(5-10), confirmando a tendência em

diminuir ligeiramente a densidade conforme o aumento do percentual, mesmo quando incorporada a borracha grossa.

Porém, conforme o desenvolvimento do ensaio de densidade superficial percebeu-se a necessidade de considerar a terceira dimensão das placas produzidas em laboratório, uma vez que a confecção dos corpos de prova foi feito de forma artesanal e, mesmo passando por um adensamento mecânico por vibração, ocorreram variações de espessuras, as quais são influentes na densidade, desta forma, com base na NBR 9778-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2009), calculou-se a densidade pela Equação (10):

$$d = \frac{m}{(x \cdot y \cdot z) \cdot 10^3} \quad (10)$$

onde:

d = densidade (g/cm³);

m = massa em gramas (g);

x = base de 400mm;

y = largura de 300mm;

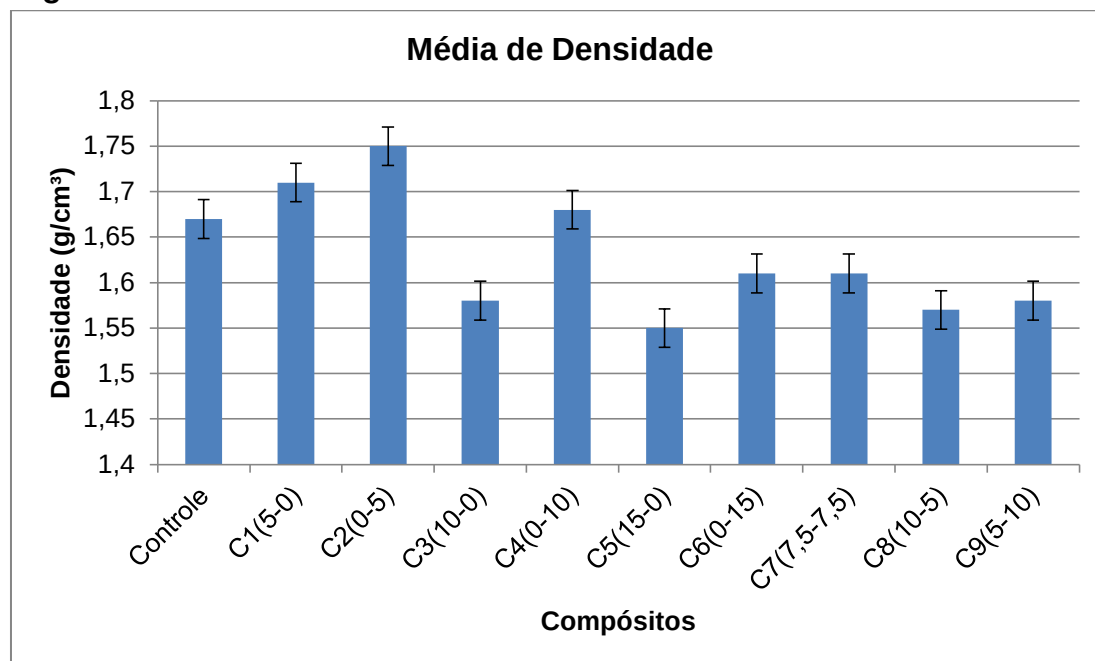
z = espessura em milímetros (mm).

Desta forma, foi possível confirmar que com o aumento da granulometria da borracha incorporada resultou no aumento da densidade, conforme representado na Tabela 11 e na Figura 50.

Tabela 11 – Resultados obtidos pelo ensaio de densidade.

Compósitos	Identificação	Corpo de Prova	Massa (g)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	d (g/cm³)	Média (g/cm³)
Controle	Controle	A1	3220	400	300	15,85	1,69	1,67
		A2	3235	400	300	16,23	1,66	
		A3	3045	400	300	15,55	1,63	
		A4	3295	400	300	16,00	1,71	
Compósito 1	C1(5-0)	B1	3270	400	300	15,33	1,77	1,71
		B2	3215	400	300	16,24	1,64	
		B3	3040	400	300	14,90	1,70	
		B4	3155	400	300	15,34	1,71	
Compósito 2	C2(0-5)	C1	3360	400	300	15,24	1,83	1,75
		C2	3350	400	300	16,18	1,72	
		C3	3175	400	300	16,27	1,63	
		C4	3340	400	300	15,53	1,80	
Compósito 3	C3(10-0)	D1	3160	400	300	17,33	1,51	1,58
		D2	3035	400	300	15,85	1,60	
		D3	3205	400	300	16,16	1,65	
		D4	3160	400	300	16,85	1,56	
Compósito 4	C4(0-10)	E1	3160	400	300	15,00	1,76	1,68
		E2	3290	400	300	16,12	1,70	
		E3	3190	400	300	16,18	1,64	
		E4	3100	400	300	16,16	1,60	
Compósito 5	C5(15-0)	F1	2865	400	300	14,93	1,60	1,55
		F2	2955	400	300	15,55	1,58	
		F3	2850	400	300	15,91	1,50	
		F4	2825	400	300	15,65	1,50	
Compósito 6	C6(0-15)	G1	3020	400	300	15,18	1,66	1,61
		G2	3225	400	300	16,20	1,66	
		G3	3180	400	300	16,70	1,59	
		G4	3000	400	300	16,28	1,53	
Compósito 7	C7(7,5-7,5)	H1	2995	400	300	15,37	1,62	1,61
		H2	3145	400	300	16,47	1,59	
		H3	2995	400	300	15,93	1,57	
		H4	2860	400	300	14,48	1,64	
Compósito 8	C8(10-5)	I1	2845	400	300	14,46	1,64	1,57
		I2	3000	400	300	16,45	1,52	
		I3	2915	400	300	15,16	1,60	
		I4	2920	400	300	15,86	1,53	
Compósito 9	C9(5-10)	J1	2980	400	300	15,42	1,58	1,58
		J2	2920	400	300	15,48	1,57	
		J3	3095	400	300	15,95	1,61	
		J4	3060	400	300	16,25	1,57	

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 50 – Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de densidade.

Fonte: Elaboração da própria autora.

Por meio desse ensaio foi possível perceber com mais clareza o efeito da borracha incorporada nos compósitos de gesso. O primeiro ponto observado é que os compósitos com 5% de incorporação apresentaram densidade maior do que o compósito controle, sendo o C1(5-0) com cerca de 2,4% e C2(0-5) com 4,8% maior do que o controle.

Observou-se também que quanto maior o percentual de borracha incorporado menor a densidade apresentada pelos compósitos, isso foi notado para as duas granulometrias. Portanto, os compósitos com incorporação de 15% foram aqueles que apresentaram as densidades mais baixas, contribuindo para a leveza do material.

Com relação as granulometrias analisadas, foi percebido que a borracha fina atuou de maneira mais significativa na densidade dos compósitos, uma vez que o compósito C5(15-0) apresentou densidade 7% menor do que o controle, e o C8(10-5) cerca de 6%, uma vez que teve incorporação maior da borracha fina, mas também uma porcentagem da grossa.

Takaki (2015) apresentou em seu trabalho que todos os compósitos com incorporação do resíduo resultaram em chapas com menor densidade quando comparada às chapas controle, porém com o aumento da granulometria da borracha incorporada resultou na diminuição da densidade,

sendo que o compósito com 5% de borracha fina (#0,075 mm) apresentou resultado de 1,2%, o compósito com 5% de borracha de granulometria média (#1,19 mm) apresentou resultado de 2,5% e o compósito com 5% de borracha grossa(#2,38 mm) obteve resultado de 7,1%, respectivamente menores que o controle.

Os mesmos resultados foram vistos por Serna et al. (2012), que observaram que partículas de borracha adicionadas à matriz de gesso causam uma substituição parcial da pasta de gesso por borracha, o que resulta em uma perda de peso média entre 1,5% e 2,5% em relação às amostras de referência. Esta diferença de peso é maior nas amostras com relação inferior de água/pasta de gesso e maior quando mais de borracha é adicionada. Ao mesmo tempo, a presença da borracha nas amostras produz uma diminuição menor em peso em 7 dias, quando comparado com as amostras de referência.

Khalil et al. (2014) estudaram compósitos de gesso incorporados com quatro tipos de resíduos: escória de alto forno, carbonato de cálcio, polímero (PVA) e casca de arroz, em várias porcentagens diferentes, até o máximo de 10%. Quando os compósitos passaram pelo ensaio de densidade os resultados foram bastante diversos: a casca de arroz, por ser um material mais leve, acaba diminuindo a densidade do material conforme é adicionada; no caso da escória de alto forno o compósito apresentou menor densidade devido à porosidade apresentada por esse material, sendo menos denso que o controle; para o carbonato de cálcio a densidade aumenta ligeiramente, pois a finura deste resíduo acaba por preencher os vazios da pasta de gesso; e os compósitos contendo polímero foram os que apresentaram os resultados mais parecidos com o controle.

4.6. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Este ensaio é importante uma vez que pode provocar o encurtamento e rompimento do material, portanto o mesmo tem que garantir que não se deforme facilmente e assegure uma boa precisão dimensional quando solicitado por esforços de compressão.

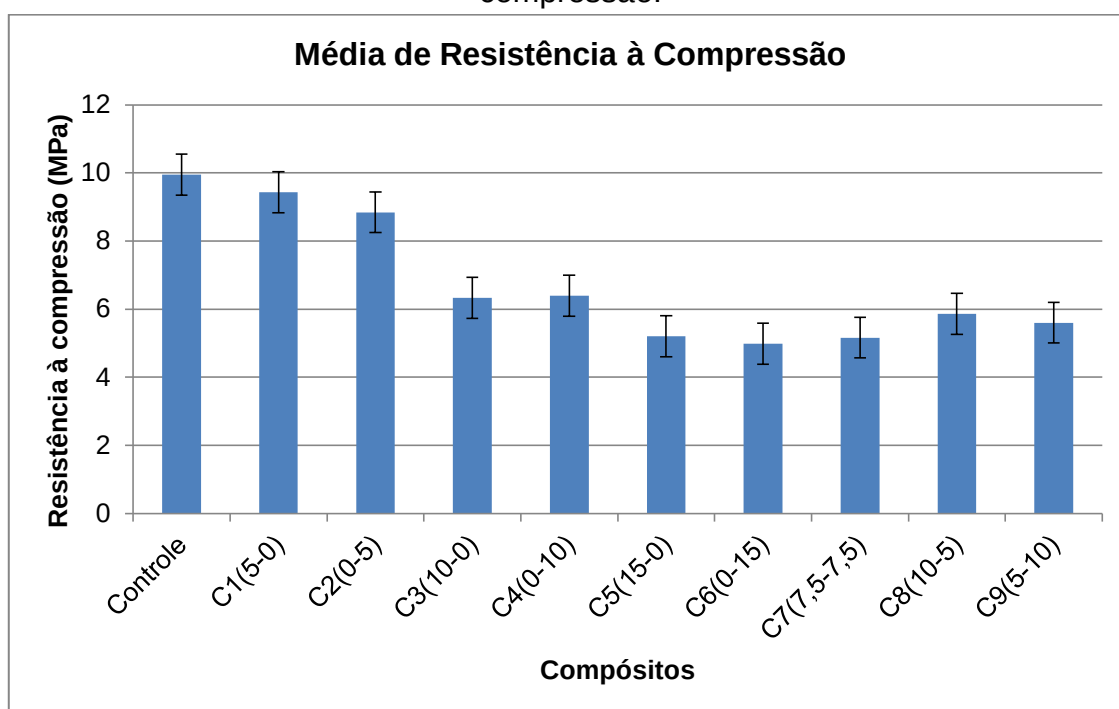
Os resultados obtidos neste ensaio se encontram na Tabela 12 e o gráfico que ilustra a média das resistências está na Figura 51.

Tabela 12 – Resultados obtidos pelo ensaio de resistência à compressão.

Compósitos	Identificação	Corpo de Prova	Carga de Ruptura (N)	Força de Compressão (MPa)	Média de Resistência (MPa)
Controle	Controle	A1	24.026,29	9,61	9,95
		A2	24.026,29	9,61	
		A3	26.576,02	10,63	
Compósito 1	C1(5-0)	B1	22.947,44	9,18	9,43
		B2	25.301,03	10,12	
		B3	22.457,11	8,98	
Compósito 2	C2(0-5)	C1	23.143,58	9,26	8,84
		C2	21.770,65	8,71	
		C3	21.378,39	8,55	
Compósito 3	C3(10-0)	D1	16.180,89	6,47	6,33
		D2	15.494,43	6,20	
		D3	15.788,62	6,31	
Compósito 4	C4(0-10)	E1	16.513,15	6,61	6,39
		E2	15.788,62	6,32	
		E3	15.592,49	6,24	
Compósito 5	C5(15-0)	F1	14.906,03	5,96	5,20
		F2	13.140,84	5,26	
		F3	10.983,39	4,39	
Compósito 6	C6(0-15)	G1	12.748,58	5,10	4,98
		G2	13.140,84	5,26	
		G3	11.473,72	4,59	
Compósito 7	C7(7,5-7,5)	H1	14.121,50	5,65	5,16
		H2	12.748,58	5,10	
		H3	11.865,99	4,75	
Compósito 8	C8(10-5)	I1	15.102,16	6,04	5,86
		I2	14.807,97	5,92	
		I3	14.023,44	5,61	
Compósito 9	C9(5-10)	J1	13.827,31	5,53	5,60
		J2	13.042,78	5,22	
		J3	15.102,16	6,04	

Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 51 – Gráfico da média de resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Elaboração da própria autora.

De maneira geral, os compostos com incorporação de borracha de pneus apresentaram resistência à compressão menor do que o corpo de prova controle. O composto que mais se aproximou do controle foi o C1(5-0), que apresentou uma média 5,2% mais baixa que a pasta de gesso controle.

O composto C2(0-5) também apresentou resultado interessante, uma vez que apresentou resistência de 8,84 MPa, que é considerada adequada para utilização, visto que o gesso não tem função estrutural.

Comparando-se as granulometrias de borracha utilizadas, observou-se que os compostos contendo borracha grossa obtiveram as resistências mais baixas, com destaque para o composto C6(0-15) que apresentou os menores resultados, com média 49,9% mais baixa que o controle.

Fazendo uma comparação entre os percentuais estudados foi possível verificar que quanto maior a incorporação de borracha, menor a resistência apresentada pelos corpos de prova, uma vez que todos os corpos de prova contendo 15% de borracha apresentaram média de resultados 40% mais baixos, quando comparado com a média obtida pelo controle.

Serna et al. (2012) estudaram a melhoria da capacidade de deformação do gesso com incorporação de partículas de borracha proveniente de pneus reciclados. Os autores utilizaram três tamanhos de partículas: 0-1, 1-2 e 2-4 mm; com diferentes relações a/g: 0,6; 0,7 e 0,8 e percentuais de 1, 3 e 5% de incorporação. Foi observado que a incorporação de partículas de borracha levou a uma diminuição das propriedades mecânicas do gesso, mas pequenas variações na relação a/g foram muito mais relevantes nas propriedades mecânicas do que a presença de partículas de borracha nas percentagens estudadas. Neste trabalho os autores observaram ainda que a incorporação de borracha provoca uma redução linear da resistência à compressão do gesso, reduzindo 25,5% para os compósitos com adições de 5% de borracha.

Os resultados apresentados por Serna et al. (2012) com 5% de incorporação de borracha se apresentaram menores do que os obtidos nesse trabalho, uma vez que a redução obtida pelos autores foi de 20% (a/g = 0,6), 26% (a/g = 0,7) e 29% (a/g = 0,8) em relação ao controle, enquanto que neste trabalho foi de no máximo 11%.

Fuzaro et al. (2015), que também estudaram a resistência à compressão de compósitos de gesso incorporados com resíduos de pneus, observaram que por meio dos dados estatísticos, todos os tratamentos apresentaram diferença significativa entre si, sendo que o tratamento que melhor obteve resultado foi o de gesso sem incorporação de borracha. Entretanto, ao analisarem os tratamentos em que foram adicionados porcentagens de borracha ao gesso, verificaram que o tratamento com incorporação de 5% de borracha obteve maior valor de tensão normal à compressão, enquanto que o tratamento utilizando 15% de borracha obteve menor valor.

Oliveira et al. (2012) ao confeccionarem compósitos de gesso com resíduos de EVA, relação a/g de 0,8 e percentual de incorporação de 15%, obteve resistência à compressão de 3,2 MPa, sendo esse valor inferior quando comparados aos compósitos de gesso com incorporação de 15% borracha que apresentou resistência à compressão de 4,97 MPa.

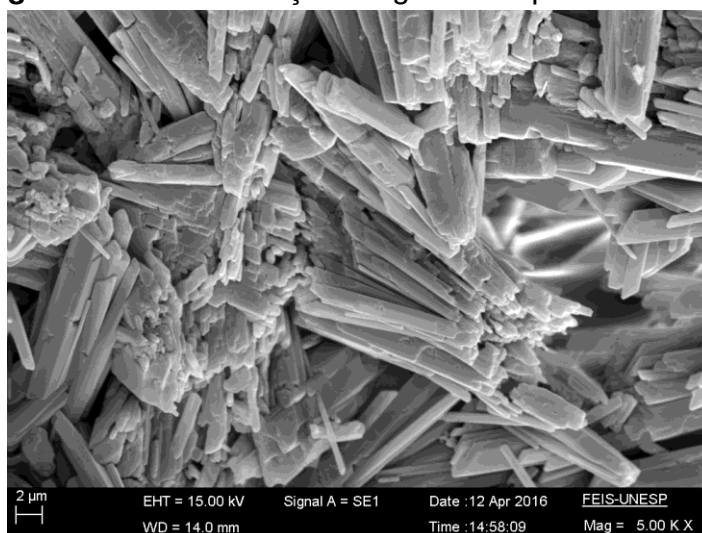
4.7. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características microestruturais de objetos sólidos.

Nesse ensaio foi possível verificar aspectos como a cristalização do gesso e a aderência entre a pasta de gesso e as partículas de borracha de pneus, tanto na pasta controle quanto nos compósitos estudados.

Nas imagens abaixo será apresentada uma comparação dos diferentes tipos de cristalização do gesso. Na pasta de gesso controle (Figura 52) é possível ver a formação de cristais com formas mais prismáticas, alongadas e bem definidas.

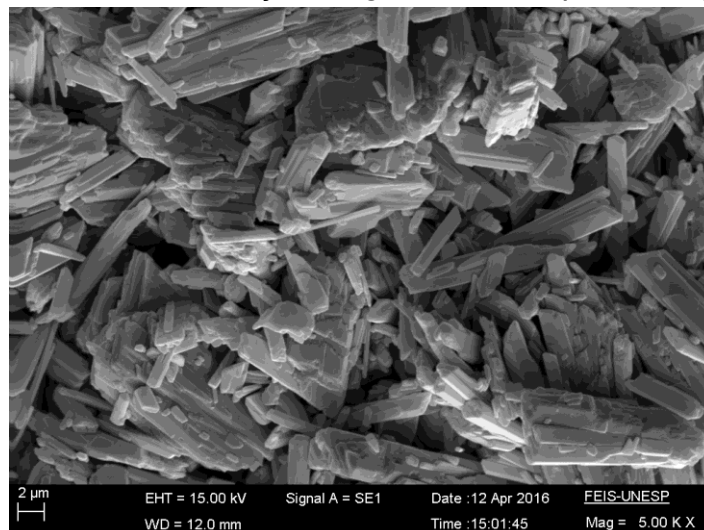
Figura 52 – Cristalização do gesso na pasta controle.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Para o mesmo aumento no microscópio, tivemos uma cristalização diferente para os compósitos de gesso com borracha de pneus (Figura 53), para os compósitos contendo borracha fina o gesso se cristalizou de maneira um pouco menos prismática e definida, mas ainda alongado.

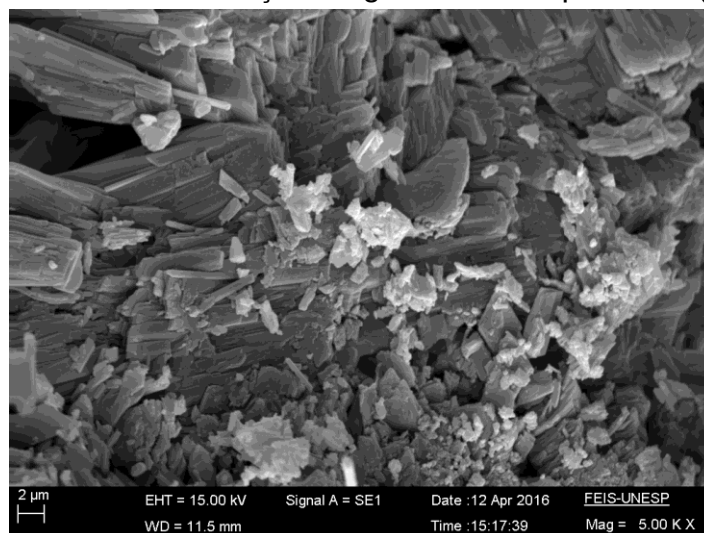
Figura 53 – Cristalização do gesso no compósito C1(5-0).



Fonte: Elaboração da própria autora.

Para os compósitos contendo borracha grossa (Figura 54) a cristalização do gesso se apresentou de maneira bem menos alongada e definida que as outras duas e não foi possível ver formas prismáticas nesta pasta.

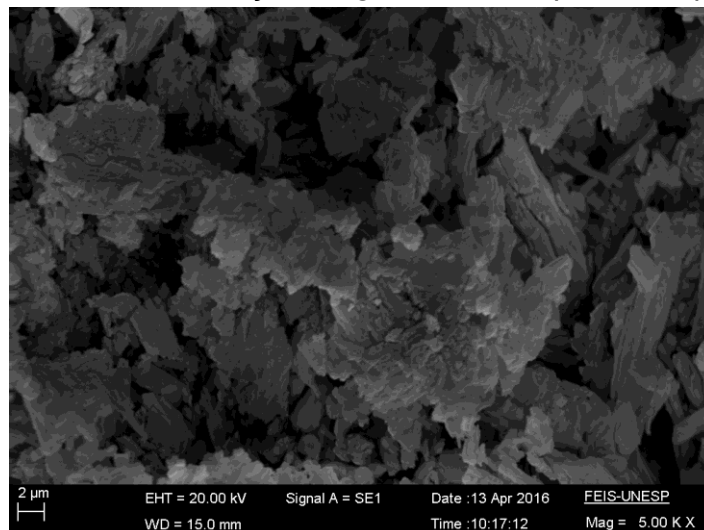
Figura 54 – Cristalização do gesso no compósito C2(0-5).



Fonte: Elaboração da própria autora.

Para os compósitos contendo os dois tipos de borracha (Figura 55), a cristalização de gesso foi a mais diferente entre os já apresentados. As formas não são definidas, foram observados muitos vazios na pasta e apresentou-se bastante irregularidade na mesma.

Figura 55 – Cristalização do gesso no compósito C8(10-5).

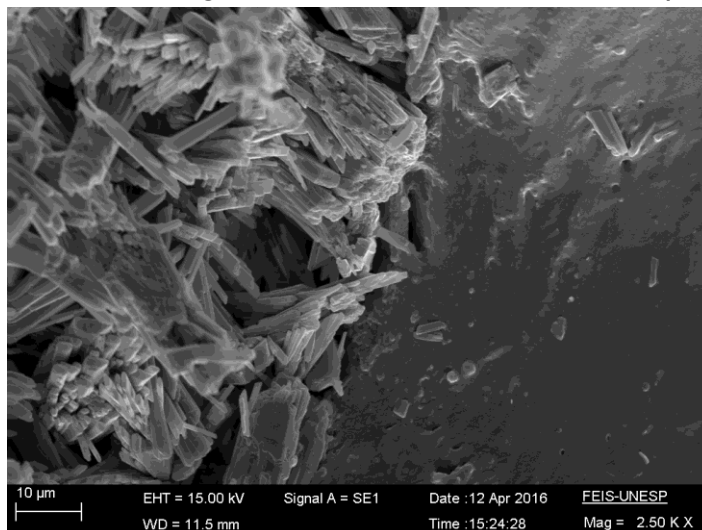


Fonte: Elaboração da própria autora.

Tudo indica que essa diferença na cristalização da pasta de gesso seja por conta da contaminação de outros materiais que estão presente no silo onde é armazenada a borracha ou no chão de onde o resíduo foi coletando, podendo ser partículas de aço, areia ou outro material, uma vez que entre a borracha e a pasta de gesso não apresentam reação química que justifique tal mudança.

Para a comparação da aderência da pasta de gesso com as borrachas utilizadas também se utilizou o mesmo aumento no microscópio. Com relação à aderência entre a pasta de gesso e a borracha fina (Figura 56) podemos dizer que foi a que apresentou a melhor integração entre ambas, apresentando poucos vazios na interface desses dois materiais.

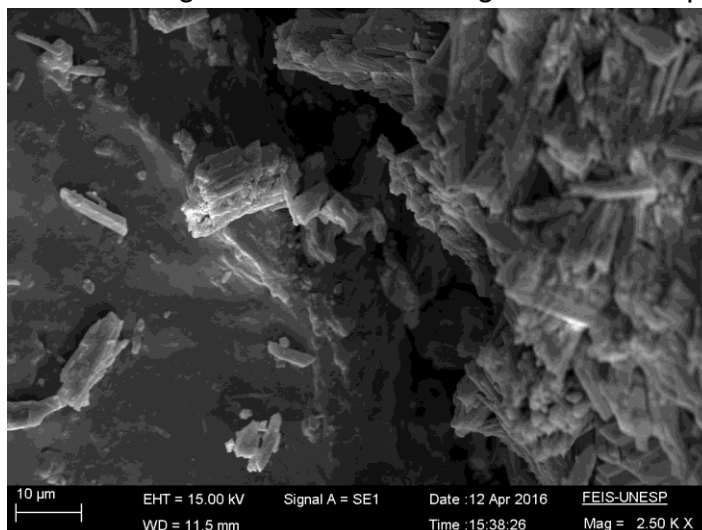
Figura 56 – Aderência do gesso com borracha fina no compósito C3(10-0).



Fonte: Elaboração da própria autora.

Na pasta de gesso contendo borracha grossa (Figura 57) a aderência se deu de maneira mais sutil, uma vez que na interface dos dois materiais há um vazio presente, o que impede a uniformidade do material.

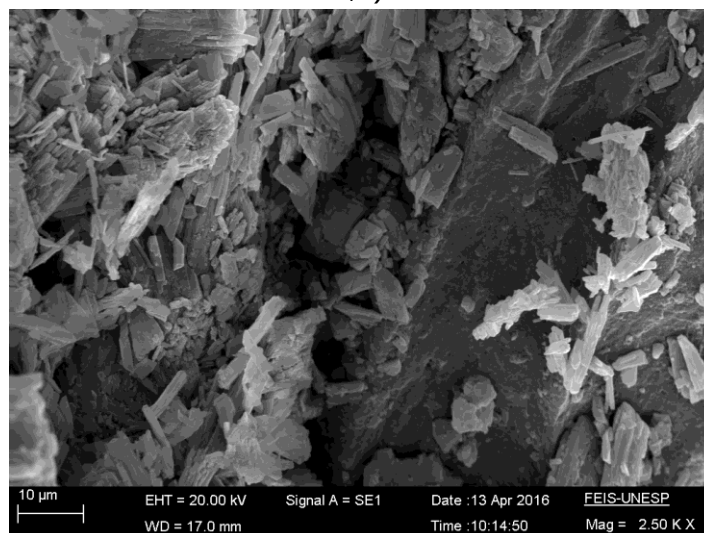
Figura 57 – Aderência do gesso com borracha grossa no compósito C4(0-10).



Fonte: Elaboração da própria autora.

A pasta entre o gesso e a incorporação das duas granulometrias de borracha (Figura 58) se mostrou um pouco mais uniforme, com alguns vazios presentes, porém com espaço menor presente na interface.

Figura 58 – Aderência do gesso com borracha grossa no compósito C7(7,5-7,5).



Fonte: Elaboração da própria autora.

4.8. COMPORTAMENTO TÉRMICO

O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais de construção constitui o ponto de partida para abordagem do problema da transferência de calor através dos fechamentos opacos das edificações. Assim, escolhendo-se corretamente o tipo de material a ser utilizado nas construções, pode-se chegar à concepção de sistemas alternativos capazes de reduzir a parcela de carga térmica solar que é transmitida para o interior das habitações (SANTOS, 2008).

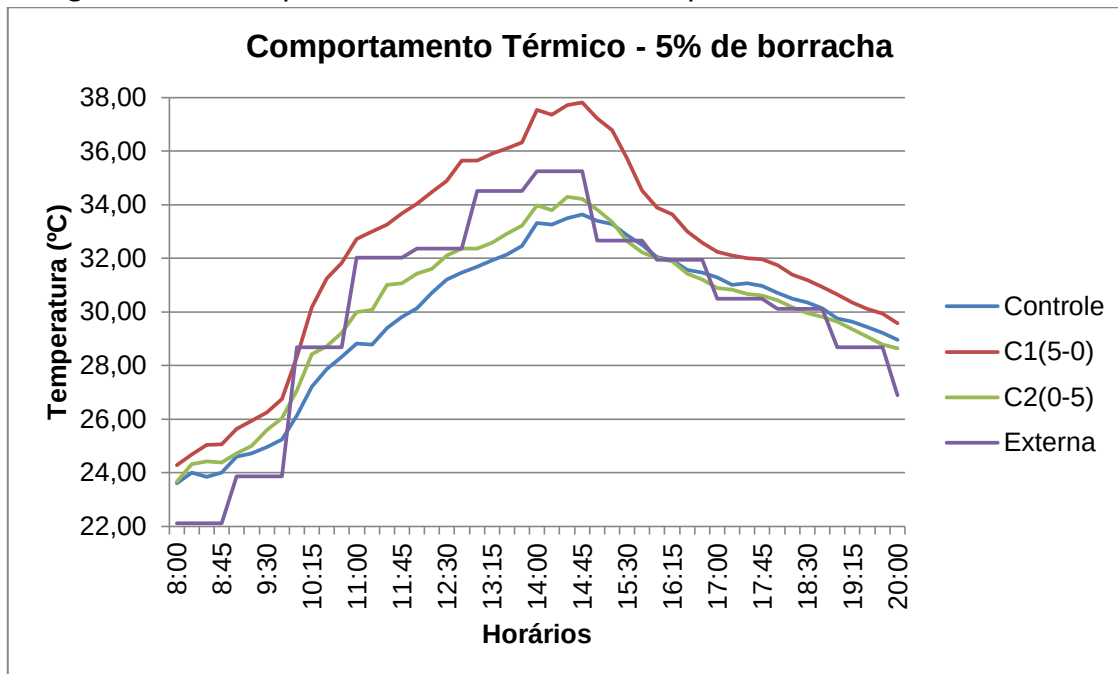
O gesso como elemento vertical de vedação tem importante desempenho no comportamento e isolamento térmico dos ambientes, sendo assim, analisar o desempenho dos compósitos estudados quanto a essa propriedade se mostrou relevante neste trabalho.

O resultado será apresentado em forma de gráfico comparando-se as porcentagens e as granulometrias estudadas, e as tabelas com todas as temperaturas serão colocadas em Anexo.

De maneira geral, não houve grande variação das temperaturas entre os compósitos estudados, observando-se uma variação de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ em comparação com a temperatura externa. O gráfico que contém a evolução das médias de temperatura dos compósitos com 5% de incorporação de borracha

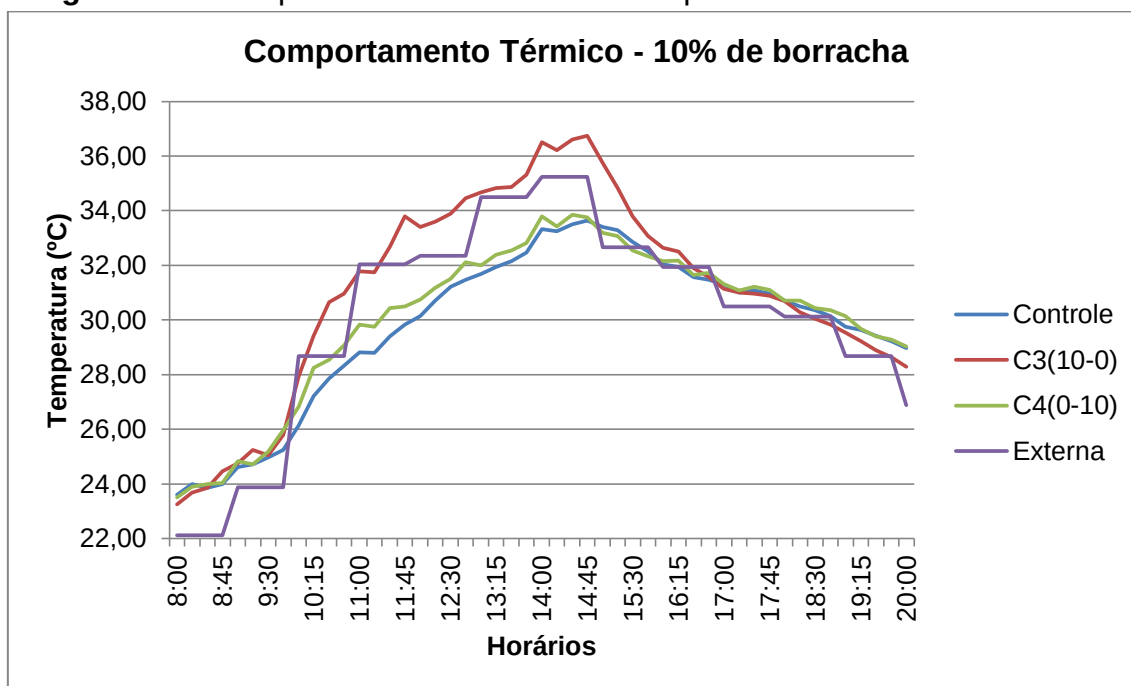
está na Figura 59, na Figura 60 o gráfico dos compósitos com 10% de incorporação de borracha e na Figura 61 estão as médias de temperatura obtida pelos compósitos com 15% de incorporação de borracha (de apenas uma das granulometrias).

Figura 59 – Comportamento térmico dos compósitos com 5% de borracha.



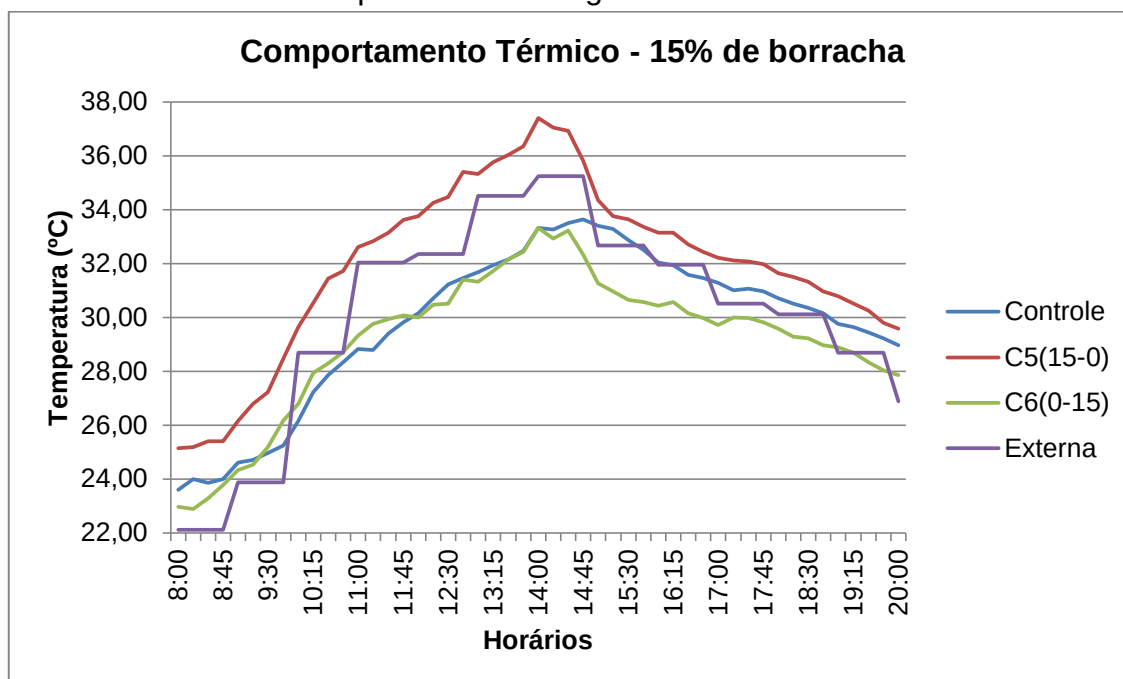
Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 60 – Comportamento térmico dos compósitos com 10% de borracha.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 61 – Comportamento térmico dos compósitos com 15% de borracha de apenas uma das granulometrias.



Fonte: Elaboração da própria autora.

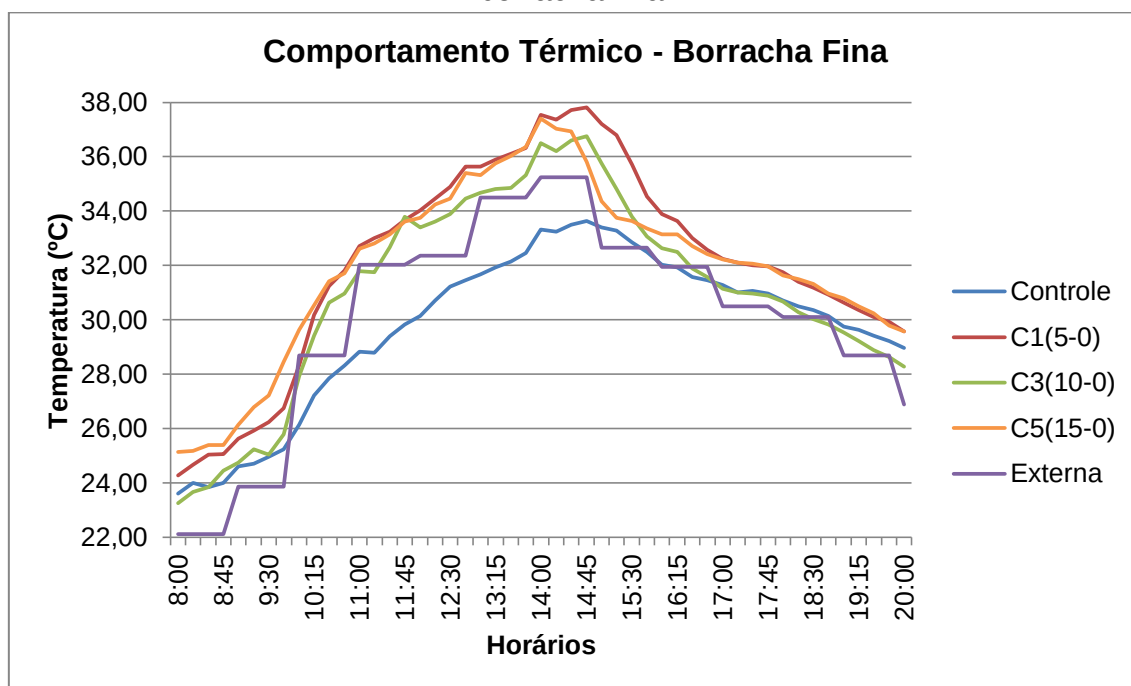
Nos três gráficos apresentados nas Figuras 59, 60 e 61 é possível perceber pontos em comum. O primeiro deles é até o horário das 10:00h a temperatura externa se encontra mais baixa do que aquelas encontradas dentro dos ambientes formados pelos compósitos, com diferença de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ de diferença, isso quer dizer que, mesmo com a temperatura mais baixa, os compósitos foram capazes de manter a temperatura entre 23°C e 25°C internamente.

Nos horários de maior temperatura, entre 10:00 e 15:00h, observa-se uma elevação da temperatura externa de cerca de 11°C , acompanhada da elevação das temperaturas internas, porém de maneira diferente. Os compósitos que continham borracha fina – C1(5-0), C3(10-0) e C5(15-0) – apresentaram temperaturas internas superiores à externa em $\pm 2^{\circ}\text{C}$, chegando a aproximadamente 37°C . Com isso, percebeu-se que a borracha fina contribuiu no aquecimento interno dos ambientes criados, característica que não é benéfica em nosso país, visto que as temperaturas na maior parte do dia e do ano são elevadas e não se tem o objetivo de reter calor para suportar temperaturas tão baixas.

Já os compósitos com incorporação de borracha grossa – C2(0-5), C4(0-10) e C6(0-15) – apresentaram desempenho térmico interessante, uma vez que obteve resultados semelhantes ao obtido pelo compósito controle em muitos horários analisados. O gesso tem como característica ser bom isolante térmico devido à sua estrutura porosa, diante disso constatou-se que a borracha grossa não interfere de maneira significativa em suas propriedades.

O gráfico da Figura 62 foi adotado para analisar o desempenho da borracha fina para cada um dos percentuais estudados.

Figura 62 – Comportamento térmico dos compósitos com 5, 10 e 15% de borracha fina.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Para os compósitos com borracha fina observou-se que todos apresentaram temperaturas superiores àquelas apresentadas pelo compósito controle e pela temperatura externa. Aqueles que tinham incorporação de 5 e 15% de borracha foram os que apresentaram as maiores temperaturas internamente, com valores superiores a 37°C, o que não é considerado confortável do ponto de vista interno de um ambiente.

O compósito C1(5-0) ainda apresentou a maior amplitude térmica entre os três compósitos, com cerca de 13°C de diferença entre a temperatura mais

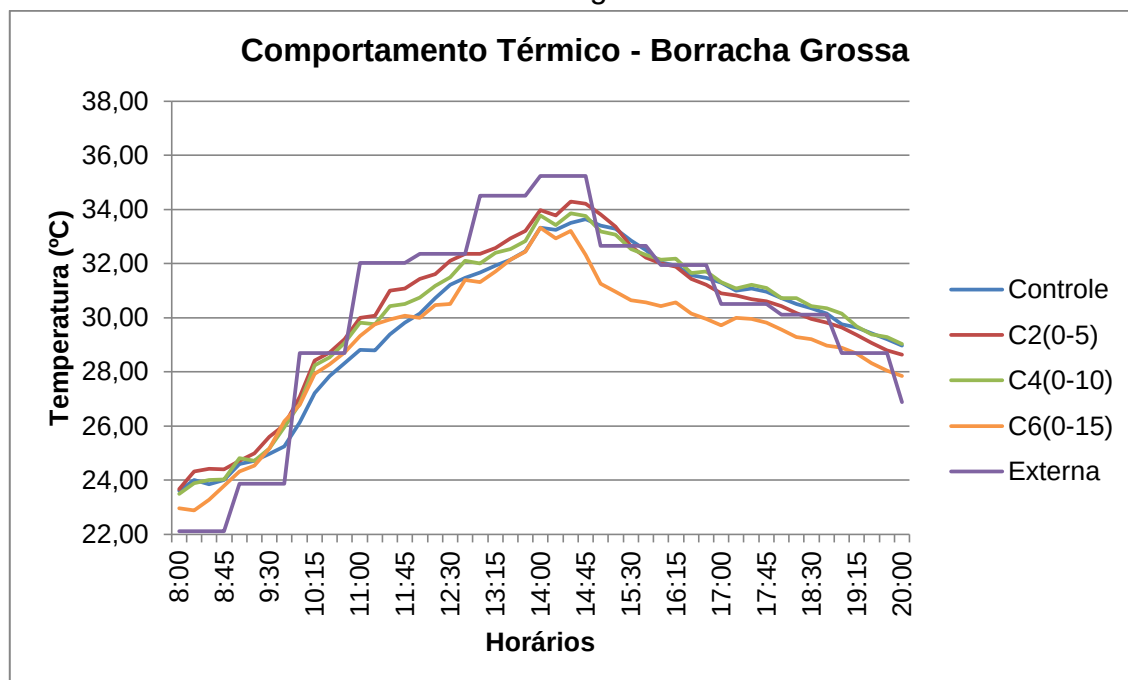
baixa e a mais alta alcançada ao longo do dia, fato que pode ocasionar desconforto devido à grande variação de temperatura.

O compósito que continha 10% de incorporação, C3(10-0), apresentou temperaturas ligeiramente inferiores em alguns horários ao longo do dia, e apenas uma diferença de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ da temperatura externa no período de calor mais intenso. Em comparação com o compósito controle o C3 apresentou alguns pontos de sobreposição entre 08:00 e 09:30h e entre 17:00 e 20:00h, mas no período de maior insolação a diferença entre eles é de $\pm 3^{\circ}\text{C}$, superando a temperatura interna do controle.

A diferente coloração dos corpos de prova com granulometria fina pode ajudar a justificar esse aumento da temperatura, uma vez que eles apresentam uma cor mais acinzentada e tudo indica que quanto mais escura a coloração, mais calor o material absorve e consequentemente passa para o ambiente.

Já a borracha grossa apresentou comportamento térmico mais parecido com o compósito controle, como visto na Figura 63.

Figura 63 – Comportamento térmico dos compósitos com 5, 10 e 15% de borracha grossa.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Com relação à borracha grossa percebe-se que, ao contrário do que ocorreu com os compósitos com a borracha fina, os incorporados com 5 e 10%

– C2(0-5) e C4(0-10) – apresentaram os resultados mais elevados de temperatura e muitas delas parecidas entre si, mas nesse caso eles foram muito semelhantes ao controle e, conseqüentemente, proporcionaram um bom isolamento térmico.

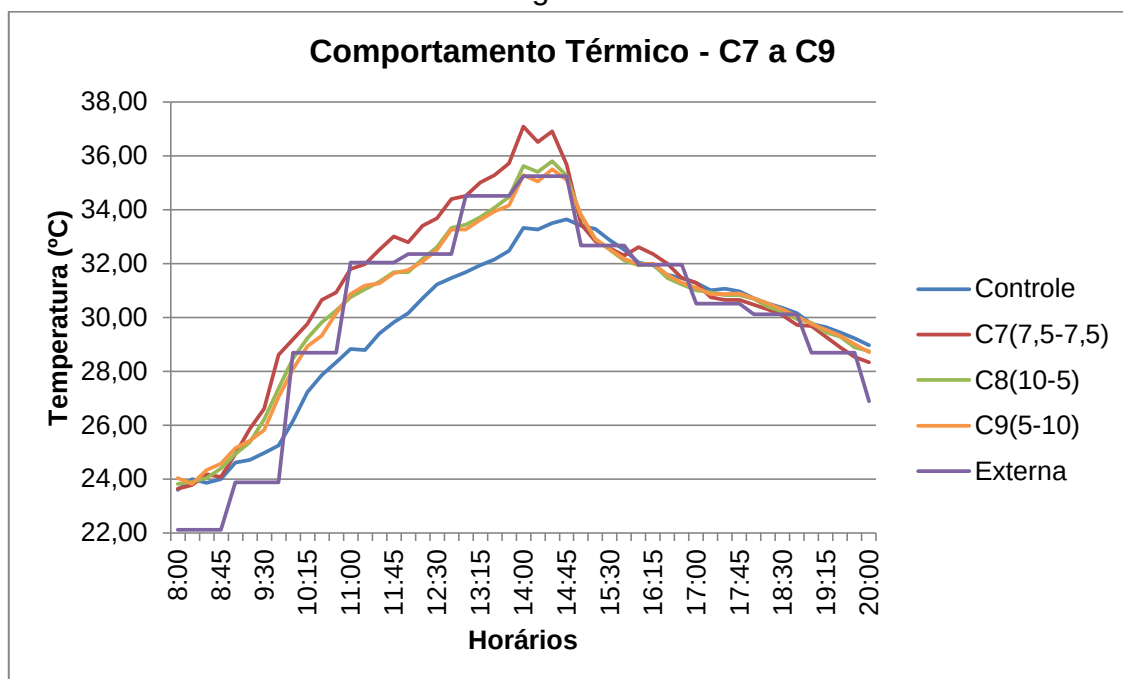
No período de temperatura mais baixa, entre 08:00 e 10:00h, os três compósitos apresentaram cerca de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ a mais do que apresentada externamente. Porém, no período mais quente do dia, o fato se inverte e os compósitos com borracha grossa apresentam $\pm 3^{\circ}\text{C}$ a menos do que externamente, conseguindo manter no seu interior uma temperatura mais confortável.

Entre todos os percentuais estudados aquele que apresentou o resultado mais interessante foi o compósito C6(0-15), pois foi o compósito que no período entre 12:00 e 20:00h apresentou as temperaturas mais amenas, com diferença de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ a menos do que o compósito controle ou a temperatura externa, ajudando no isolamento térmico do ambiente.

Já no aspecto estético, observa-se que os compósitos com incorporação de borracha grossa apresentam coloração mais clara, refletindo mais os raios incidentes e absorvendo assim menos calor.

O comportamento térmico dos compósitos que tinham incorporação das duas granulometrias está apresentado no gráfico da Figura 64.

Figura 64 – Comportamento térmico dos compósitos com 15% de incorporação das duas granulometrias.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Os compósitos C7, C8 e C9 apresentaram comportamento térmico intermediário entre os compósitos que tinham incorporação de apenas uma das granulometrias.

De maneira geral, o C7(7,5-7,5) apresentou temperaturas mais elevadas, podendo chegar a 37°C no horário de calor mais intenso, caso que ocorreu com os compósitos que incorporaram 5 e 15% da borracha fina, percebendo-se assim uma maior atuação dessa granulometria no aquecimento interno, tornando-o pouco confortável se pensando como um ambiente construído. O C7 ainda foi o que apresentou maior amplitude térmica durante o dia, de $\pm 13^{\circ}\text{C}$, fato que não contribui com o isolamento pretendido para o ambiente.

Já os compósitos C8(10-5) e C9(5-10) apresentaram resultados praticamente iguais durante todo o dia. Até o horário das 15:00h eles ficaram intermediários entre o compósito controle e o C7(7,5-7,5), assemelhando-se assim à temperatura externa. As porcentagens diferentes de borracha fina e grossa não apresentaram distinções nos resultados.

No horário das 15:00h até o fim do ensaio (20:00h) todos os compósitos com borracha apresentaram temperaturas muito parecidas entre si

junto com o controle e a temperatura externa, o que não ajuda no isolamento dos ambientes.

Construindo uma pequena unidade habitacional, Santos (2008) conseguiu analisar melhor o efeito da temperatura e direção do vento em cada face (norte, sul, leste e oeste), chegando-se a diferenças de 6 a 7°C (entre a temperatura da parede interna e a temperatura externa) nas fachadas que recebem muita insolação (norte e oeste) e $\pm 4^\circ\text{C}$ entre a temperatura externa em cima da edificação e a temperatura logo abaixo da laje.

Santos (2008) ainda percebeu que nas paredes que estavam à sombra os valores das temperaturas eram quase iguais e nas paredes expostas ao sol houve uma diferença significativa (alcançando até 7°C), o que demonstra boa resistência térmica do compósito a base de gesso com incorporação de EPS.

Neste trabalho percebeu-se que a granulometria que mais contribuiu no isolamento e conforto do ambiente foi a grossa, principalmente com a incorporação de 15%. Observou-se também que as variações de temperatura entre o interior e a apresentada externamente não ultrapassaram de $\pm 3^\circ\text{C}$ de diferença.

4.9. SÍNTESE DOS RESULTADOS

Como forma de complemento dos resultados apresentados, determinou-se uma escala de padronização atribuindo o valor 1,0 para as médias obtidas dos resultados nos ensaios com os corpos de prova do compósito controle, desta forma, calcularam-se os demais resultados como variações a partir do valor 1,0.

Assim, quanto mais próximo do valor 1,0, o compósito apresenta desempenho mais próximo ao controle, enquanto que mais distante de 1,0, o compósito apresenta desempenho menos semelhante ao controle. Ao mesmo tempo em que, quanto mais próximo da extremidade do polígono do gráfico, maior é o resultado quando comparado ao controle e, quanto mais próximo do centro do polígono, menor é o resultado quando comparado ao controle. Os valores relativos à variação a partir do valor controle foram calculados através da Equação (11) e estão demonstrados na Tabela 13:

$$vr = 1 + \frac{(A-B)}{B} \quad (11)$$

onde: vr = valor relativo;

A = média do compósito com borracha;

B = média do compósito controle.

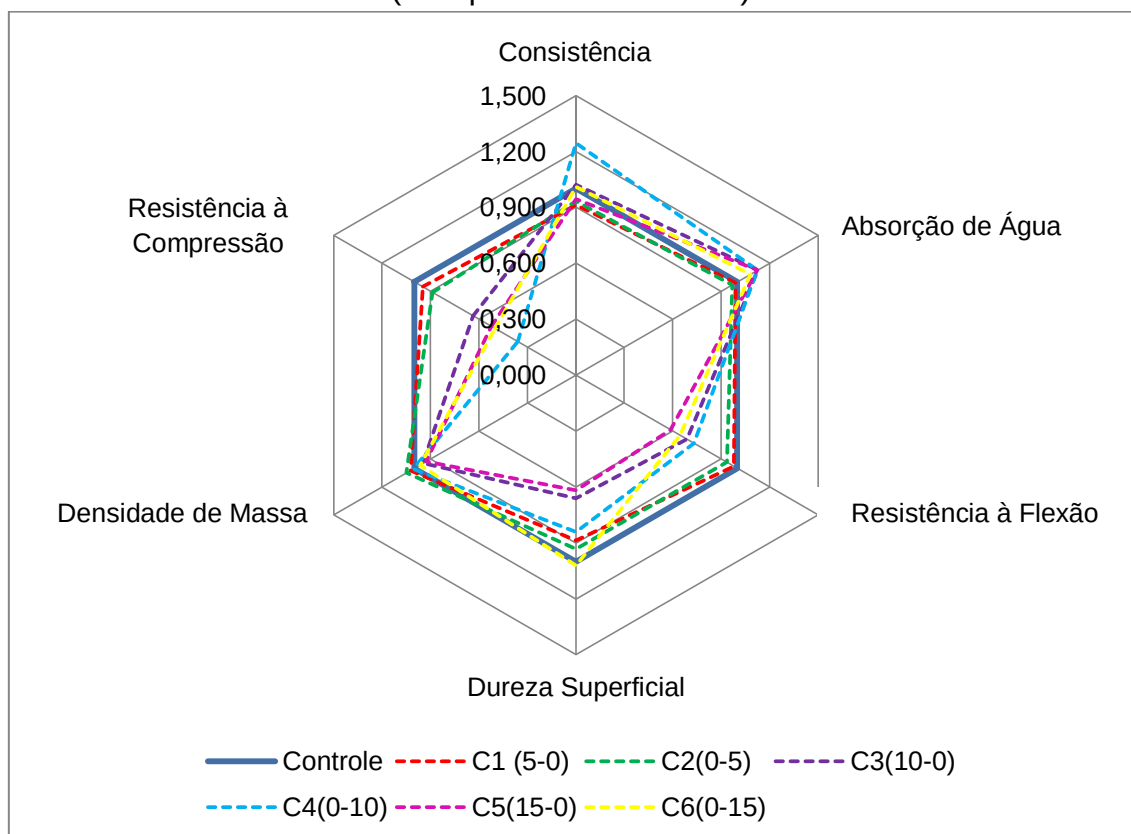
Tabela 13 – Valores das médias finais e valores relativos.

Valores das Médias						
Compósitos	Consistência (mm)	Absorção (%)	Resistência à Flexão (MPa)	Dureza Superficial (mm)	Densidade de Massa (g/cm ³)	Compressão (MPa)
Controle	45,0	19,06	1,38	11,00	1,67	9,95
C1 (5-0)	41,0	18,84	1,35	9,84	1,71	9,43
C2(0-5)	42,0	18,46	1,29	10,34	1,75	8,84
C3(10-0)	46,0	21,48	0,95	7,34	1,58	6,33
C4(0-10)	56,0	21,44	1,01	9,33	1,68	6,39
C5(15-0)	42,5	21,46	0,81	6,84	1,55	5,20
C6(0-15)	45,5	20,61	0,89	11,33	1,61	4,98
C7(7,5-7,5)	49,5	19,95	0,87	11,09	1,61	5,16
C8(10-5)	50,0	21,27	0,88	9,67	1,57	5,86
C9(5-10)	51,5	21,21	0,79	10,14	1,58	5,60
Valores Relativos						
Compósitos	Consistência	Absorção	Resistência à Flexão	Dureza Superficial	Densidade de Massa	Compressão
Controle	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
C1 (5-0)	0,912	0,988	0,978	0,888	1,024	0,948
C2(0-5)	0,934	0,968	0,935	0,933	1,048	0,888
C3(10-0)	1,022	1,127	0,688	0,662	0,946	0,636
C4(0-10)	1,244	1,125	0,732	0,842	1,006	0,358
C5(15-0)	0,945	1,126	0,587	0,617	0,928	0,523
C6(0-15)	1,011	1,081	0,645	1,022	0,964	0,500
C7(7,5-7,5)	1,100	1,046	0,630	1,000	0,964	0,518
C8(10-5)	1,111	1,116	0,638	0,872	0,940	0,589
C9(5-10)	1,144	1,058	0,572	0,915	0,946	0,563

Fonte: Elaboração da própria autora.

Na Figura 65 tem-se o gráfico da variação relativa que compara o desempenho dos compósitos de C1 a C6, com 5, 10 e 15% de borracha (apenas uma das granulometrias), em relação ao compósito controle. E o gráfico que representa a comparação do desempenho dos compósitos com 15% das duas granulometrias de borracha está ilustrado na Figura 66.

Figura 65 – Gráfico de variação relativa aos resultados do compósito controle (Compósitos de C1 a C6).



De maneira geral percebe-se que a incorporação de borracha de pneus em compósitos à base de gesso resultou em resistências à flexão e à compressão menores do que o traço controle, principalmente para os compósitos com 10% e 15% de incorporação de borracha. Os resultados de densidade e consistência tiveram tendência a ficar mais parecidos com o controle ou ligeiramente inferior. Já na absorção de água observou-se que houve pequeno aumento para os corpos de prova com maiores percentuais de incorporação de borracha. Os compósitos também apresentaram dureza superficial maior do que o controle, visto que as mossas foram menores.

As placas produzidas com 5% de incorporação de borracha – C1(5-0) e C2(0-5) – foram as que obtiveram os melhores desempenhos, já que em todos os ensaios apresentaram resultados muito semelhantes ao do compósito controle. Nesse percentual, é possível perceber que a borracha fina se destacou mais nos ensaios de resistência à compressão, resistência à flexão e dureza superficial, além de apresentar uma densidade menor do que quando

comparada ao compósito com incorporação de borracha grossa, que apresentou os melhores resultados nos ensaios de consistência (maior trabalhabilidade) e absorção de água (menor absorção, mesmo comparada com o controle).

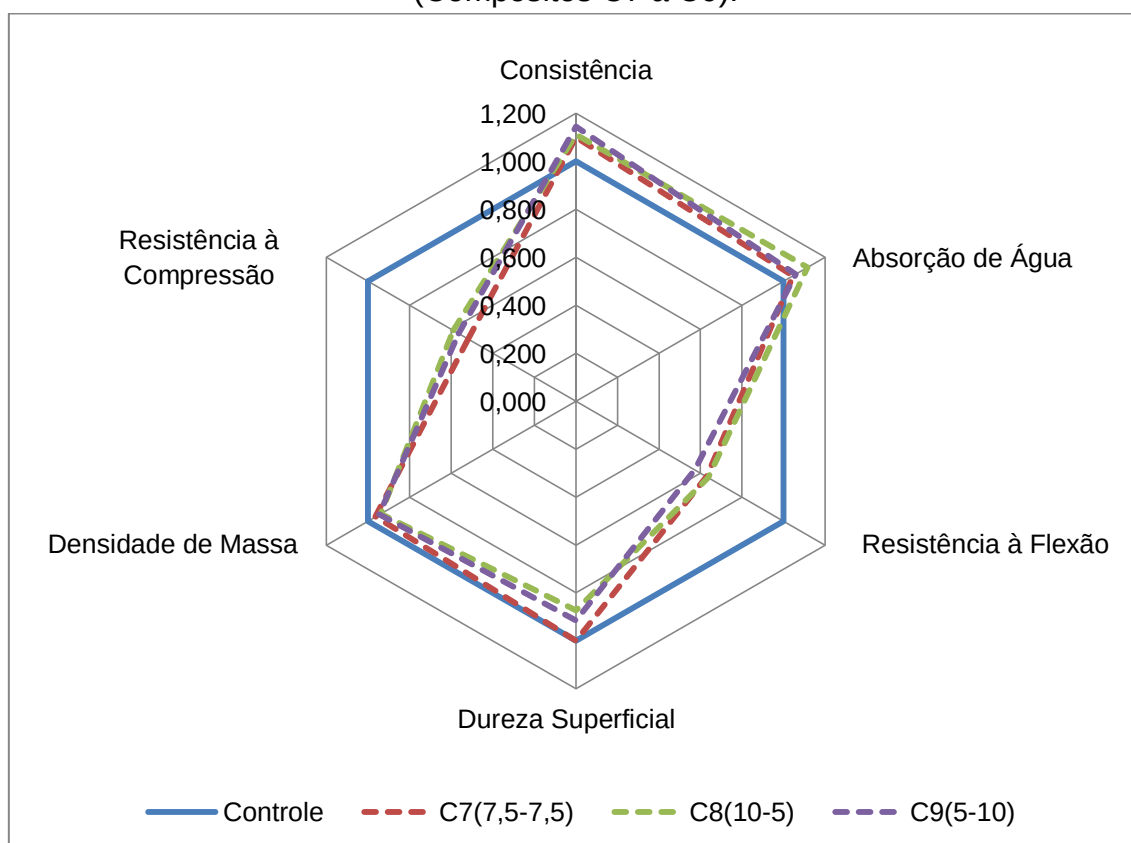
Com o aumento do percentual de incorporação de borracha observa-se uma diminuição das resistências à flexão e à compressão, assim como na densidade de massa (maior leveza do material). Ao mesmo tempo, é possível observar uma maior dureza superficial (menores moissas), maior consistência (melhor trabalhabilidade) e melhor isolamento térmico. A absorção de água apresentou maiores resultados com os compósitos com incorporação de 10% do que aqueles com 15% de borracha.

Para os compósitos com incorporação de 10% e 15% percebeu-se uma semelhança nos resultados, uma vez que foi observado um melhor desempenho da borracha grossa nos ensaios de consistência (*mini-slump*), absorção de água, e, diferentemente do apresentado pelos compósitos com 5%, a resistência à flexão. E a borracha grossa continuou com melhor desempenho nos ensaios de dureza superficial, densidade de massa e resistência à compressão.

No ensaio de comportamento térmico foi observado que borracha grossa também obteve melhor desempenho nas três porcentagens estudadas, uma vez que os compósitos C2(0-5), C4(0-10) e C6(0-15) apresentaram temperaturas mais amenas no interior dos ambientes criados e menores amplitudes térmicas durante o dia, contribuindo assim com a característica isolante do gesso. O compósito com 15% de incorporação de borracha grossa foi o que apresentou o melhor nível de isolamento.

Com relação aos resultados apresentados pelos compósitos com 15% de incorporação das duas granulometrias (Figura 66) percebe-se um comportamento parecido mesmo com variação das porcentagens entre as duas borrachas empregadas.

Figura 66 – Gráfico de variação relativa aos resultados do compósito controle (Compósitos C7 a C9).



Fonte: Elaboração da própria autora.

Os três compósitos apresentaram consistência maior do que o controle, mostrando uma contribuição da borracha na trabalhabilidade do compósito. Com o aumento da trabalhabilidade da pasta, e consequente aumento de poros visto através da MEV, observou-se uma maior absorção de água e menores resistências à flexão e à compressão, constatada em todos os compósitos com 15% de incorporação de ambas as granulometrias.

A borracha por ser um material mais leve que o aglomerante utilizado também contribuiu com a leveza do material, o que era uma característica desejável visto as aplicações do gesso na construção civil.

Outro ponto importante da contribuição da borracha foi com relação à dureza superficial do material, visto que quanto maior o percentual de incorporação melhor a dureza, uma vez que a borracha absorvia o impacto da esfera de aço e ocasionava menores mossas às placas.

No ensaio de comportamento térmico foram vistas diferenças de até 3°C de temperatura entre os ambientes internos e a temperatura externa, sendo para mais, como no caso dos compósitos com incorporação de borracha fina, ou para menos como nos compósitos com borracha grossa.

Dessa maneira, é possível afirmar que a incorporação de borracha pode ser interessante para a produção de placas de gesso, uma vez que pode incorporar um resíduo sem destino totalmente adequado, produzindo placas com características semelhantes das já utilizadas e ainda contribuindo em aspectos como densidade, dureza superficial e isolamento térmico.

Sendo assim, dentre as granulometrias utilizadas neste estudo, a borracha grossa pode ser considerada a que teve melhor desempenho, uma vez que apresentou características de ser mais trabalhável, menos absorvente e mais isolante termicamente, além de apresentar resistências à compressão e a flexão adequadas para sua utilização (não estrutural), menores moissas e maior leveza do material.

5 CONCLUSÕES

Inicialmente, diante das condições em que este trabalho foi realizado, é possível afirmar que a borracha mostrou-se um material residual com características interessantes para aplicação em compósitos de gesso.

No ensaio de consistência (*mini-slump*) foi possível verificar que os compósitos com 5% de borracha apresentaram as maiores consistências e com o aumento da porcentagem de borracha houve aumento da trabalhabilidade da pasta, principalmente para os compósitos com 10% de incorporação. A borracha grossa apresentou a maior trabalhabilidade em todos os percentuais estudados.

Na absorção de água verificou-se que os compósitos com 5% de borracha apresentaram as menores médias de absorção, inclusive quando comparadas ao compósito controle. E entre os percentuais adotados o de 10% foi o que mais absorveu, uma vez que os compósitos com 15% apresentaram queda sutil, principalmente naqueles com a incorporação das duas granulometrias. Neste ensaio a borracha de granulometria grossa foi a que menos absorveu água dos três percentuais.

Com o ensaio de resistência à flexão foi possível observar um melhor desempenho dos compósitos com 5% de borracha, principalmente aquele com incorporação da granulometria fina. Com o aumento da porcentagem da borracha verificou-se que a resistência à flexão sofre queda gradual podendo chegar a 60%.

No ensaio de dureza superficial observou-se que os compósitos com borracha apresentaram médias de molas menores do que o controle, tornando-as quase imperceptíveis. Os melhores resultados foram obtidos pelos compósitos com incorporação de 10%, sendo que a granulometria fina atuou de maneira mais significativa na resistência ao impacto.

Para o ensaio de densidade de massa observou-se o melhor desempenho para os compósitos com maior porcentagem de incorporação (15%), que resultaram em materiais mais leves. Entre as granulometrias estudadas a que mais contribuiu foi a borracha fina, apresentando as menores densidades nas três porcentagens.

No ensaio de resistência à compressão verificou-se que os compósitos com 5% de borracha foram os que apresentaram os melhores resultados, principalmente a granulometria fina que obteve resultado muito próximo ao controle, e para as porcentagens acima de 5% a resistência tende a reduzir em demasia.

Na MEV foi possível observar que os compósitos com incorporação da borracha fina apresentaram cristalização da pasta de gesso de maneira mais prismática e alongada, além de poros menores e de uma aderência melhor entre as partículas de borracha e a pasta.

O ensaio de comportamento térmico realizado mostrou-se interessante para visualização do desempenho dos corpos de prova com relação à transmissão de calor para o interior do ambiente criado e o isolamento proporcionado. Nesse sentido, observou-se que os compósitos com a borracha grossa apresentaram as menores amplitudes térmicas durante o dia, principalmente com 15% de incorporação, mostrando a capacidade deste compósito em transmitir pouco calor recebido durante o período mais quente do dia e manutenção da temperatura durante o período de temperaturas externas mais baixas.

Portanto, utilizando uma matriz de gesso, a utilização da borracha de pneus é considerada simples, necessitando-se apenas sua separação por peneiramento e a mistura dos materiais. Assim, os resíduos de borracha de pneus poderão permitir a geração de compósitos em matriz de gesso com potencialidade de apresentar boas propriedades mecânicas, mostrando-se adequados para a elaboração de placas de aplicação na interiorização de ambientes.

Diante do exposto, o uso de borracha de pneus na produção de placas de gesso pode ser uma atraente alternativa para a reciclagem deste resíduo industrial, ao mesmo tempo em que possibilita a produção de um novo compósito, com potencial tecnicamente viável, para a construção civil.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A continuação deste trabalho com outras proporções de resíduos de borracha nos compósitos de gesso permitiria a possibilidade de ampliar o

conhecimento sobre incorporação de borracha de pneus em matriz de gesso. Sendo interessante também incluir porcentagens menores utilizando outras diferentes granulometrias de borracha.

Também seriam interessantes ensaios sobre a capacidade de isolamento acústico das placas, uma vez que a borracha pode contribuir para o melhoramento desta propriedade; e de resistência ao fogo, pois existe a possibilidade de liberação de gases tóxicos em caso de incêndio.

Por fim, sugerir que as placas sejam executadas conforme àquelas empregadas em drywall (gesso acartonado), a qual é constituída por um núcleo de gesso entre papel do tipo *Kraft* dos dois lados, responsável pela estabilidade dos painéis. Os papéis do tipo Kraft aplicados tem diferentes tipos de atuação frente ao fogo e à umidade, por serem feitos de diferentes materiais, o que poderá contribuir para formação de um drywall mais sustentável.

REFERÊNCIAS

ABREU, E. M. X. **Estudo da influência de diferentes gessos produzidos na região Nordeste do Brasil para a fabricação de moldes utilizados na indústria de louças sanitárias**. 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

AGOPYAN, V. **O gesso na construção civil**. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 2. 1989. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1989. v.1, p.64-75, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 45**: agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBRNM 52**: agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9778-2**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12127**: gesso para construção – determinação das propriedades físicas do pó – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12130**: gesso para construção – gesso para construção – Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 1991.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14715-2**: chapas de gesso acartonado – determinação das características físicas. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO SEGMENTO E REFORMA DE PNEUS - ABR. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.abr.org.br/>>. Acesso em: 18 jul. 2016.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS - ANIP. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.anip.com.br/>>. Acesso em: 18 jul. 2016.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos - LCT, 1994. 435 p.

BEKHTA, P.; DOBROWOLSKA, E. Thermal properties of woodgypsum boards. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Heidelberg, v.64, n.5, p.427-428, 2005.

BILCATI, G. K.; ROSA, C. C.; MOREIRA, D. D. C. Compósitos de gesso reforçados com fibra de curauá e mucilagem da babosa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 40. 2012. Belém. **Anais...** Belém: COBENGE, 2012. p. 1-10.

BRAGA JÚNIOR, O.; DANTAS, F. A. S. **O aproveitamento de lã de vidro residual em matriz de gesso**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, BT/PCC/76, 1992. 22 p. Boletim Técnico

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 416, de 30 de setembro de 2009**. Brasília, DF, 1999. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 16 jul. 2016.

BRAVO, R. S.; PEREIRA, A. M.; FAZZAN, J. V.; SILVA, R. A. K.; AKASAKI, J. L.; MELGES, J. L. P. Avaliação do comportamento mecânico de concretos leves não estruturais com fibras de borracha de pneu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. 55. 2013. Gramado, 2013. **Anais...** Gramado: IBRACON, 2013. v. 1, p.1-8.

CAMÕES, A.; CARDOSO, C.; CUNHA, C.; VASCONCELOS, G.; MEDEIROS, P.; EIRES, R.; JALALI, S.; LOURENÇO, P. Caracterização de materiais à base de gesso FGD. **Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões**, Lisboa, v. 20, n. 21, p.79-88, 2012.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. **Fichas técnicas: PNEUS**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/>>. Acesso em: 18 jul. 2016.

COSTA, J. T. Reaproveitamento de sucata de pneus. Inviabilidade técnica ou econômica? Associação Brasileira de Limpeza Pública – ABLP. **Limpeza Urbana**, São Paulo, n. 56, p. 24-30, 2001.

CUNHA, P. W. S. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos à base de gesso e fibras de coco seco para aplicação na construção civil**. 2012. 120 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

CUNHA, P. W. S.; GOMES, U. U.; SIVAM, R. L.; MARINHO, G. S. Propriedades termofísicas de compósitos de matriz de gesso e fibra vegetal. **Holos**, Natal, v.1, n. 29, p.127-138, 2013.

D'ALMEIDA, M. L.; SENA, L. B. R. **Reciclagem de outras matérias**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT; Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE, 2000.

DE MILITO, J. A. **Avaliação do comportamento de pastas de gesso com cimento portland e sílica ativa para revestimentos**. 2001. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Sumário mineral 2014**. Brasília, DF: DNPM, 2014. 141 p. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

DOMÍNGUEZ, L.V.; SANTOS, A.G. **Manual del yeso**. Madrid: Asociación Técnica y Empresarial del Yeso (ATEDY), 2001. 267 p.

DORLOT, J. M.; BAILON, J. P.; MASOUNAVE, J. **Des matériaux**. troisième édition revue et augmentée. Montréal: Éditions de l'école polytechnique de Montréal, 2000. 467 p.

FATTUHI, N. I.; CLARK, L. A. Cement-based materials containing shredded scrap truck tyre rubber. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 10, n. 4, p. 229-236, 1996.

FIORINI, J.; JOHN, V. M.; TANGO, C. E. S. Desenvolvimento de divisórias de fibro-gesso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6. 1995. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ENTAC, 1995. p. 467-472.

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. 2007. 202 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FREITAS, S. S. DE. **Benefícios sociais e ambientais do coprocessamento de pneus inservíveis. Estudo de caso na cidade de João Pessoa – PB**. 2010. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

FUZARO, B. S.; OLIVEIRA, M DA C. T. B. E; OLIVEIRA, C. E. A.; OLIVEIRA, C. A.; OLIVEIRA, J. L. DE. Determinação da resistência à compressão de compósito de gesso reforçado com resíduo de pneu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 44. 2015. São Pedro. **Anais...** São Pedro: CONBEA, 2015. p 1-4.

GOURDIN, W. H.; KINGERY, W. D. The begginings of pyrotechnology: neolithic and egyptian lime plaster. **Journal of Field Archaeology**, Boston, v. 2, n. 1, p. 133-150, 1975.

GMOUH, A. et al. Development and validation of a dimensional variation measurement set: application to the plaster setting. **Materials Science and Engineering A**, Abingdon, v. 372, n. 1-2, p. 123-127, 2004.

GUOZHONG, L.; YANZHEN, Y.; ZHONGJIAN, Z. Properties study of cotton stalk fiber/gypsum composite. **Cement and Concrete Research**, Kidlington, v. 33, n. 1, p. 43-46, 2003.

HASELEIN, C. R.; CALEGARI, L.; ALBERTI, L. F.; MINELLO, A. L.; SILVA, P. A.; PINTOS, R. G. F. Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 81-88, 2002.

HERNÁNDEZ-OLIVARES, F.; BOLLI, M. R.; RIO, M. del; PARGA-LANDA, B. Development of cork-gypsum composites for building applications. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 13, n. 4, p. 179-186, 1999.

IUCOLANO, F.; CAPUTO, D.; LEBOFFE, F.; LIGUORI, B. Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 99, p. 184-191, 2015.

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

KANNO, W. M. **Propriedades mecânicas do gesso de alto desempenho**. 2009. 130 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia dos Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

KANTRO, D. L. Influence of water reducing admixtures on proprieties of cement paste – A miniature slump test. **Cement, Concrete and Aggregates**, Conshohocken, v.2, n.2, 1980.

KARNI, J.; KARNI, E. Gypsum in construction: origin and properties. **Materials and Structures**, Dordrecht, v. 28, n. 176, p. 92-100, 1995.

KAZMIERCZAK, C. S.; KERN, A. P.; SANTOS, A. S. S. Resíduos de contrafortes termoplásticos provenientes da indústria coureiro calçadista. **Coletânea Habitare. Utilização de resíduos na construção civil**, Porto Alegre, v. 4, p. 124-175, 2000.

KERN, A. P. **Estudo da viabilidade da incorporação de resíduos de contraforte de calçados em matriz de gesso para uso como material de construção civil**. 1999. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

KERN, A. P.; GREVEN, H. A.; KAZMIERCZAK, C. S.; SANTOS, I. S.; SILTA, H. C.; RAMIRES, M. V. Comportamento mecânico de compósitos a base de gesso com adição de resíduos de contrafortes de calçados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8. 2000, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 2000. p. 1-8.

KHALIL, A. A.; TAWFIK, A.; HEGAZY, A. A.; EL-SHAHAT, M. F. Effect of some waste additives on the physical and mechanical properties of gypsum plaster composites. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 68, p. 580-586, 2014.

LEWRY, A. J.; WILLIAMSON, J. The setting of gypsum plaster: Part II The development of microstructure and strength. **Journal of Materials Science**, New York, v. 29, n. 21, p. 5524-5528, 1994.

LI, G.; YU, Y.; ZHAO, Z.; LI, J.; LI, C. Properties study of cotton stalk fiber/gypsum composite. **Cement and Concrete Research**, Kidlington, v. 33, p. 43-46, 2003.

LIMA, S. Y. V. **Propriedades físicas e mecânicas de compósitos à base de gesso contendo fibras e resíduos**. 2011. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências e Tecnologia) – Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011.

LIMA, E. L. B. DE; DIAS, L. M. M.; OLIVEIRA, L. C.; HALASZ, M. R. T. Reutilização da borracha proveniente da recauchutagem de pneus para confecção de placas isolantes termo acústicas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 3757-3771, 2014.

LORENZON, M. C. A.; CIDREIRA, R. G.; RODRIGUES, E. H. V.; DORNELLES, M. S.; PEREIRA JUNIOR., G. Langstroth hive construction with cement-vermiculite. **Scientia. Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 6, p. 573-578, 2004.

LUND, H. F. **The mcgraw: hill recycling handbook**. New York: McGraw – Hill, 1993.

- MAGALHÃES, A. C. T. V. DE. **Estudo de fibras vegetais, mucilagem de cacto e gesso em componentes construtivos**. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- MARQUES, A. C.; AKASAKI, J. L.; TRIGO, A. P. M.; MARQUES, M. L. Influence of the surface treatment of tire rubber residues. **IBRACON Structures and Materials Journal**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 113-120, 2008.
- MORALES-CONDE, M. J.; RODRÍGUEZ-LÍÑÁN, M. A.; PEDREÑO-ROJAS, M. A. Physical and mechanical properties of wood-gypsum composites from demolition material in rehabilitation works. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 115, p. 6-14, 2016.
- MINERAÇÃO PERNAMBUCANA DE GIPSITA LTDA - MPGESSO. **História do gesso**. Ipubi, 2016. Disponível em: <<http://www.mpgesso.com.br/>>. Acesso em: 18 jul. 2016.
- MUNHOZ, F. C. **Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa**. 2008. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.
- OLIVEIRA, M. P. de. **Materiais compósitos à base de gesso contendo EVA (Etileno Acetato de Vinila) e Vermiculita: Otimização de misturas e propriedades termomecânicas**. 2009. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.
- OLIVEIRA, M. P.; BARBOSA, N. P.; TORRES, S. M.; LEAL, A. F.; SILVA, C. G. Compósitos à base de gesso com resíduos de EVA e vermiculita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 6, p. 684-689, 2012.
- PEDRO, D. A. G. **Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus**. 2011. 167 f. Dissertação (Mestrado em Construção) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2011.
- PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. **O Gesso: produção e utilização na construção civil**. Recife: Bagaço, 2001. 94 p.
- PIÑEIRO, S. R.; MERINO, M. DEL R.; GARCÍA, C. P. New plaster composite with mineral wool fibres from CDW recycling. **Advances in Materials Science and Engineering**, New York, v. 2015, p. 1-9, 2015.
- PINHEIRO, S. M. DE M. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. 2011. 330 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2011.

RAGHVAN, D.; HUYNH, H.; FERRARIS, C. F. Workability, mechanical properties, and chemical stability of a recycled tyre rubber-fillet cementations composite. **Journal of Materials Science**, New York, v. 33, p. 1745-1752, 1998.

RESCHNER, K.; **Scrap tire recycling**: a summary of prevalent disposal and recycling methods. Germany: En Tire-Engineering, 2008. Disponível em: <http://www.entire-engineering.de/Scrap_Tire_Recycling.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2016.

ROCHA, C. A. L. DA. **O gesso na indústria da construção civil**: considerações econômicas sobre utilização de blocos de gesso. 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

SANTOS, R. D. DOS. **Estudo térmico e de materiais de um compósito a base de gesso e EPS para a construção de casas populares**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SERNA, A.; DEL RÍO, M.; PALOMO, J.G.; GONZÁLEZ, M. Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres. **Construction and Building Materials**, Amsterdam v.35, p.633-641, 2012.

SIDDIQUE, R.; NAIK, T. R. Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview. **Waste Management**, Kidlington, v. 24, n. 6, p. 563-569, 2004.

SILVA, M. R. **Materiais de construção**. São Paulo: PINI, 1985. p. 266.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE GESSO DO ESTADO DO PERNAMBUCO - SINDUSGESSO. Pólo gesseiro. Disponível em:<<http://www.sindusgesso.org.br>>. Acesso em: 9 maio 2015.

SNYDER, R. H. The shape and size of the scrap tire problem and some potential solutions. In: CONFERENCE ON TIRE TECHNOLOGY, CLEMSON, 1986, Clemson. **Proceedings...** Clemson: University Greenville, 1986.

SOUZA, D. A. P. **Condicionamento do gesso proveniente da neutralização do licor de lixiviação da casca de arroz para utilização na construção civil**. 2009. 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2009.

SUKONTASUKKUL, P.; CHAIKAEW, C. Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 20, n. 7, p. 450-457, 2006.

TAKAKI, P. **Compósitos de gesso com incorporação de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus.** Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista, 2015. (Processo FAPESP 2014/02067-8).

VERBEEK, C. J. R.; DU PLESSIS; B. J. G. W. Density and flexural strength of phosphogypsum-polymer composites. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 19, n. 4, p. 265-274, 2005.

APÊNDICE A – Ensaios Térmicos

Resultado - Ensaio Térmico (Dia 1)											
Horário	Temperatura (°C)										Externa
	Controle	C1(5-0)	C2(0-5)	C3(10-0)	C4(0-10)	C5(15-0)	C6(0-15)	C7(7,5-7,5)	C8(10-5)	C9(5-10)	
8:00	26.00	26.00	25.25	24.75	25.25	26.25	25.00	25.25	25.25	25.00	25.1
8:15	26.00	26.00	25.25	24.75	25.25	26.25	25.00	25.25	25.25	25.00	
8:30	25.50	26.50	25.25	25.00	25.75	26.25	24.75	25.75	25.50	25.25	
8:45	25.75	26.75	26.00	25.25	25.50	26.75	25.75	25.75	26.00	26.00	
9:00	26.50	27.25	26.00	25.75	25.75	27.25	26.00	26.75	26.50	26.50	26.1
9:15	26.75	27.50	26.25	25.75	26.25	27.50	26.25	26.75	26.75	26.75	
9:30	26.50	27.75	26.50	26.00	25.75	27.25	26.50	27.25	27.00	26.50	
9:45	26.75	28.50	26.75	26.50	27.00	27.75	26.75	28.25	27.50	27.50	
10:00	27.50	28.00	27.00	26.50	26.50	28.00	26.50	28.50	27.75	28.00	26.3
10:15	26.50	28.00	26.75	26.00	26.75	27.75	26.50	27.00	27.00	27.25	
10:30	26.75	28.25	26.50	25.75	26.50	27.50	26.50	27.00	27.00	27.25	
10:45	26.50	27.75	26.25	25.50	26.75	27.50	26.50	26.75	26.75	26.75	
11:00	26.50	27.75	26.25	25.75	27.25	27.75	26.50	26.75	26.75	26.75	29.1
11:15	27.25	28.75	27.50	27.00	28.00	28.50	27.00	28.25	27.75	27.75	
11:30	28.00	29.50	29.00	28.00	29.25	29.75	28.50	29.50	28.50	29.00	
11:45	28.50	29.50	29.00	28.75	29.00	29.75	28.25	29.75	28.50	29.25	
12:00	28.50	29.50	29.00	28.75	29.00	29.75	28.50	29.75	28.75	29.25	30.4
12:15	29.25	29.75	29.25	29.00	29.50	30.00	29.00	29.75	30.00	29.50	
12:30	29.75	30.00	29.75	29.50	30.00	30.25	28.75	30.25	30.50	30.00	
12:45	29.75	30.25	30.00	29.75	30.00	30.75	29.50	30.75	31.00	30.75	
13:00	30.00	30.50	30.00	30.00	30.00	31.00	29.50	30.75	31.00	31.00	33.3
13:15	30.50	31.50	31.00	31.00	31.25	32.00	30.75	32.00	32.00	32.00	
13:30	31.75	32.75	31.75	32.00	32.00	33.00	31.75	33.25	33.25	33.25	
13:45	31.25	32.75	31.75	32.00	32.00	33.00	31.75	33.00	33.25	33.25	
14:00	31.75	33.25	32.00	32.25	32.25	33.25	32.00	33.50	33.75	33.50	34.4
14:15	31.50	33.00	32.25	32.25	32.25	33.00	32.00	32.75	33.50	33.00	
14:30	32.00	33.75	32.75	32.75	33.00	33.50	32.00	33.25	34.00	33.50	
14:45	32.00	33.75	32.50	32.50	32.75	33.00	31.75	32.50	33.75	33.25	
15:00	32.25	34.00	32.75	32.75	33.25	31.75	30.00	30.75	32.50	32.75	31.3
15:15	31.75	33.75	32.25	32.75	32.50	30.75	29.75	30.25	31.50	31.25	
15:30	32.25	34.25	31.50	32.25	31.50	31.50	29.25	29.75	30.75	30.50	
15:45	32.00	33.25	31.25	31.75	31.50	32.00	29.75	30.00	30.75	30.75	
16:00	31.50	32.75	31.25	31.50	31.75	32.00	29.75	30.25	30.75	30.75	30.5
16:15	30.75	32.25	31.00	31.25	31.50	31.50	30.00	29.75	31.00	30.50	
16:30	31.25	32.00	30.75	31.00	31.75	31.75	29.25	29.75	30.75	30.50	
16:45	30.75	31.75	30.50	31.00	31.75	31.75	29.75	29.75	30.75	30.50	
17:00	30.75	32.00	30.50	31.00	31.50	31.75	29.25	29.75	30.75	30.50	30.7
17:15	30.00	32.00	30.25	31.00	31.00	31.75	29.25	29.75	30.75	30.25	
17:30	30.25	32.00	30.25	31.00	31.00	31.75	29.25	29.75	30.75	30.00	
17:45	30.00	32.00	30.25	31.00	31.00	31.75	29.25	29.75	30.75	30.00	
18:00	29.75	32.00	30.00	31.00	30.50	31.50	29.00	30.00	30.75	30.00	30.8
18:15	29.50	31.50	30.00	30.75	30.50	31.50	28.75	29.75	30.50	30.00	
18:30	29.75	31.75	30.00	30.75	30.75	31.75	28.75	30.25	30.75	30.00	
18:45	29.75	31.50	30.00	30.75	30.50	31.50	28.75	29.75	30.50	30.00	
19:00	29.00	31.25	29.50	30.00	30.00	31.00	28.50	29.50	30.25	29.50	28.3
19:15	29.25	31.00	29.50	29.75	30.00	30.75	28.25	29.00	29.75	29.25	
19:30	29.25	30.75	29.25	29.50	30.00	30.50	28.25	29.00	29.75	29.25	
19:45	29.00	30.50	28.75	29.25	29.75	30.00	28.00	28.50	29.00	28.75	
20:00	28.50	30.00	29.00	29.00	29.75	30.00	28.00	28.75	29.25	28.75	27.5

Resultado - Ensaio Térmico (Dia 2)											
Horário	Temperatura (°C)										
	Controle	C1(5-0)	C2(0-5)	C3(10-0)	C4(0-10)	C5(15-0)	C6(0-15)	C7(7,5-7,5)	C8(10-5)	C9(5-10)	Externa
8:00	26.50	27.50	27.00	26.75	27.00	28.00	26.50	27.00	27.00	26.50	26.3
8:15	26.75	27.75	27.00	27.00	27.00	28.25	26.25	27.50	27.25	26.75	
8:30	27.00	28.25	27.50	27.50	27.75	29.00	27.00	27.50	27.75	27.25	
8:45	27.50	28.75	27.75	28.25	28.00	29.50	27.50	28.00	28.25	27.75	
9:00	29.00	30.25	28.75	29.75	30.00	30.75	29.25	30.00	29.25	31.50	27.4
9:15	29.00	30.25	29.50	31.50	29.50	31.75	29.25	30.00	30.00	30.25	
9:30	29.50	30.75	31.25	30.25	30.00	33.00	29.25	31.50	32.00	31.00	
9:45	29.25	31.25	31.25	30.75	31.00	34.25	31.75	35.00	32.25	31.00	
10:00	29.25	33.75	32.25	35.25	31.75	36.00	32.75	37.25	34.75	31.75	35.5
10:15	30.50	37.00	33.75	36.75	35.50	38.00	33.75	38.00	35.75	32.25	
10:30	31.75	37.25	33.75	36.75	33.25	37.50	34.00	37.75	35.75	33.00	
10:45	31.75	37.00	34.00	36.25	33.25	37.50	34.00	38.00	36.00	34.25	
11:00	32.50	38.25	34.75	37.25	34.50	38.75	34.75	38.75	36.50	35.50	38.5
11:15	31.50	36.75	33.25	34.75	32.75	37.00	33.50	37.00	35.00	34.75	
11:30	32.50	37.25	34.50	35.75	33.75	37.00	34.00	37.75	35.75	35.50	
11:45	32.50	37.25	34.00	35.75	33.50	37.50	34.00	37.75	36.00	35.75	
12:00	31.50	35.25	32.75	33.25	32.25	35.25	32.50	35.00	34.00	34.00	35.1
12:15	32.25	36.25	33.50	34.50	32.75	36.00	33.00	36.50	35.00	35.00	
12:30	33.00	37.00	34.25	35.25	33.75	37.25	34.25	37.25	35.75	36.00	
12:45	35.00	40.25	36.00	38.25	35.75	39.75	36.00	40.25	38.25	38.50	
13:00	35.25	41.00	36.50	39.50	36.25	40.50	36.75	41.75	39.25	39.25	39.0
13:15	36.00	42.50	37.25	41.00	37.00	41.75	37.50	43.25	40.25	40.50	
13:30	35.50	41.50	37.25	39.75	36.00	42.00	37.50	43.00	40.00	40.00	
13:45	35.75	41.00	37.00	39.75	36.00	41.75	37.50	43.25	40.25	40.00	
14:00	37.00	42.50	38.25	41.75	38.00	43.25	38.50	45.25	42.00	41.50	36.9
14:15	35.75	40.00	36.75	39.00	36.00	41.00	36.50	42.00	40.00	39.00	
14:30	36.25	40.50	37.50	40.00	36.75	40.75	36.75	42.50	40.25	39.50	
14:45	36.25	40.00	37.00	39.25	36.50	39.00	35.25	40.25	39.00	38.50	
15:00	36.25	40.25	36.75	39.25	36.25	37.75	34.25	38.25	37.75	37.50	36.0
15:15	35.50	38.75	36.00	37.50	35.75	37.00	33.75	37.25	36.75	36.50	
15:30	35.00	37.25	35.00	36.25	35.00	36.50	33.25	36.50	36.00	35.75	
15:45	35.00	36.75	34.75	36.00	35.00	36.25	33.25	36.25	35.75	35.50	
16:00	34.25	35.75	34.25	35.00	34.50	35.75	33.00	35.75	35.25	34.75	32.6
16:15	33.50	35.00	33.50	34.25	34.00	35.25	32.75	35.00	34.50	34.25	
16:30	33.00	34.25	33.00	33.50	33.00	34.75	32.25	34.00	34.00	34.00	
16:45	33.00	34.25	33.00	33.50	33.25	34.50	32.00	33.75	34.00	33.75	
17:00	33.00	34.00	32.75	33.00	32.50	34.25	31.75	33.75	33.75	33.50	30.8
17:15	32.50	33.75	32.50	32.75	32.50	33.75	31.75	33.25	33.75	33.25	
17:30	32.75	33.75	32.25	32.75	32.50	34.00	32.00	33.25	33.50	33.25	
17:45	32.25	33.75	32.25	32.50	32.50	33.75	31.75	33.00	33.25	33.25	
18:00	32.50	33.75	32.25	32.50	32.25	33.50	32.00	33.00	33.25	33.00	30.9
18:15	32.00	33.25	32.00	32.00	32.00	33.25	31.75	32.75	32.75	32.75	
18:30	32.25	33.00	32.00	31.75	32.25	33.00	31.50	32.25	32.50	32.25	
18:45	32.25	32.75	31.75	31.75	32.25	32.75	31.25	32.00	32.25	32.00	
19:00	31.75	32.50	31.50	31.50	32.00	32.50	31.50	31.75	32.00	31.75	29.5
19:15	31.50	32.25	31.25	31.25	31.50	32.25	31.25	31.50	31.50	31.50	
19:30	31.50	32.00	30.75	30.75	31.00	31.75	30.00	30.50	31.00	31.25	
19:45	30.75	31.25	30.25	30.00	30.75	31.00	29.50	29.75	30.50	30.50	
20:00	30.50	31.00	30.25	29.75	30.75	30.75	29.50	29.75	30.25	30.25	26.9

Resultado - Ensaio Térmico (Dia 3)											
Horário	Temperatura (°C)										Externa
	Controle	C1(5-0)	C2(0-5)	C3(10-0)	C4(0-10)	C5(15-0)	C6(0-15)	C7(7,5-7,5)	C8(10-5)	C9(5-10)	
8:00	22.25	23.25	22.75	21.75	22.00	23.00	20.75	21.50	22.25	22.25	20.4
8:15	23.00	23.50	23.00	22.25	22.75	23.50	21.00	22.25	22.50	22.50	
8:30	23.00	24.00	23.50	22.50	23.00	23.75	21.25	22.00	22.75	23.00	
8:45	22.75	24.00	23.25	22.25	22.50	23.75	21.75	22.25	22.75	23.00	
9:00	22.75	24.00	23.50	22.50	23.25	24.00	21.75	22.75	23.00	23.25	22.3
9:15	23.50	24.50	23.75	23.00	23.00	24.25	22.00	23.00	23.25	23.50	
9:30	23.75	24.50	24.00	23.00	23.50	24.50	22.25	23.25	23.50	23.75	
9:45	23.75	24.75	24.25	23.25	24.00	24.75	22.75	23.50	24.00	24.00	
10:00	24.50	25.75	25.25	24.50	24.75	25.75	23.25	24.25	24.75	25.00	25.5
10:15	25.25	26.50	26.00	25.25	25.00	26.25	23.75	24.50	25.25	25.50	
10:30	25.25	26.75	26.00	25.25	25.25	26.25	23.50	24.50	25.25	25.50	
10:45	26.00	27.25	26.50	25.75	25.50	26.75	24.25	25.00	25.75	26.00	
11:00	26.75	28.25	27.50	26.75	26.00	27.50	24.75	26.00	26.25	26.75	28.3
11:15	26.50	27.75	27.00	26.25	25.75	27.00	24.25	25.25	26.25	26.50	
11:30	27.25	28.25	27.50	27.00	25.75	27.50	24.75	26.00	26.50	27.00	
11:45	27.75	29.00	28.25	27.50	26.75	28.00	25.00	26.50	27.00	27.50	
12:00	27.75	29.00	28.00	27.25	26.25	28.00	25.00	26.25	27.00	27.50	27.8
12:15	28.00	29.50	28.50	27.50	27.00	28.50	25.50	26.50	27.50	27.75	
12:30	28.75	30.25	29.00	28.25	27.25	29.25	25.75	27.50	28.00	28.25	
12:45	29.00	30.75	29.00	28.75	27.75	30.25	26.00	28.00	28.75	28.50	
13:00	29.25	31.25	29.25	29.25	28.00	31.25	26.50	28.75	29.50	29.00	33.0
13:15	29.25	31.50	29.25	29.50	28.00	31.50	26.75	29.00	30.00	29.25	
13:30	29.00	30.75	29.00	28.75	28.25	30.75	27.00	28.50	29.50	28.75	
13:45	29.25	31.75	29.50	29.75	28.50	31.50	27.75	29.25	30.25	29.75	
14:00	29.75	32.00	29.75	30.50	28.75	32.00	28.25	29.75	31.00	30.50	32.4
14:15	29.50	32.75	29.75	31.25	29.00	32.25	28.75	30.00	31.25	31.00	
14:30	29.25	32.25	29.50	30.75	29.00	31.75	28.25	29.75	30.75	30.75	
14:45	29.75	33.00	30.25	31.50	29.25	31.75	28.25	30.00	31.25	31.25	
15:00	29.50	32.50	30.00	30.75	29.00	31.50	28.75	29.50	30.75	30.75	30.4
15:15	29.75	33.00	30.00	30.75	29.25	31.25	28.50	29.75	30.50	30.75	
15:30	29.25	32.50	29.75	29.75	29.25	31.25	28.50	29.25	30.00	30.25	
15:45	29.25	31.75	29.75	29.50	29.00	31.00	28.50	29.50	30.00	30.00	
16:00	28.75	31.75	30.00	29.50	28.75	31.00	28.50	33.00	30.25	30.25	30.9
16:15	29.25	31.50	30.00	29.75	29.50	31.25	28.75	31.25	30.25	30.25	
16:30	29.25	31.50	30.00	29.75	29.25	31.00	29.00	30.75	30.25	30.25	
16:45	29.25	31.25	29.75	29.50	29.00	31.00	28.50	32.25	30.00	30.25	
17:00	28.75	31.00	29.50	29.25	28.50	30.75	28.00	32.25	29.75	30.00	30.3
17:15	29.00	31.00	29.50	29.00	28.25	30.50	30.50	29.25	29.50	29.75	
17:30	28.75	30.50	29.25	28.75	28.50	30.00	30.25	29.25	29.50	29.50	
17:45	29.25	30.50	29.25	28.75	29.00	30.00	28.75	29.00	29.25	29.50	
18:00	29.00	30.25	29.00	28.50	28.50	30.00	27.75	29.00	29.25	29.25	29.5
18:15	29.00	30.25	29.00	28.50	28.75	30.00	28.00	29.00	29.25	29.25	
18:30	28.50	30.00	28.75	28.25	28.50	30.00	27.75	28.75	29.00	29.25	
18:45	28.50	29.75	28.75	28.25	28.50	29.50	27.75	28.25	28.75	29.00	
19:00	28.00	29.50	28.75	28.00	28.25	29.50	27.50	28.50	28.75	28.75	29.0
19:15	28.50	29.50	28.50	27.75	28.00	29.25	27.25	28.00	28.50	28.75	
19:30	28.00	29.00	28.00	27.25	27.50	29.00	27.00	27.50	28.00	28.25	
19:45	27.75	28.75	27.75	27.00	27.25	28.25	26.50	27.00	27.50	27.75	
20:00	27.50	28.25	27.25	26.50	26.50	28.00	26.25	26.50	27.25	27.25	27.2

Resultado - Ensaio Térmico (Dia 4)											
Horário	Temperatura (°C)										Externa
	Controle	C1(5-0)	C2(0-5)	C3(10-0)	C4(0-10)	C5(15-0)	C6(0-15)	C7(7,5-7,5)	C8(10-5)	C9(5-10)	
8:00	22.00	23.00	22.75	22.75	21.50	23.00	20.25	21.00	21.75	22.25	18.4
8:15	22.00	22.75	24.25	22.00	21.00	23.50	19.75	20.75	21.25	22.00	
8:30	21.50	22.50	24.25	21.75	21.00	22.25	19.75	20.50	21.00	22.50	
8:45	21.25	22.25	21.75	22.50	20.75	22.00	19.75	20.50	21.00	21.50	
9:00	21.25	22.50	21.75	21.25	21.25	22.25	20.50	20.75	21.50	21.25	20.6
9:15	21.25	22.75	22.00	21.50	21.25	23.00	20.75	24.50	22.00	21.75	
9:30	21.75	23.50	22.50	22.00	22.00	24.00	21.75	25.25	23.25	23.00	
9:45	22.50	24.50	23.75	23.75	23.25	25.75	23.50	27.25	25.25	25.00	
10:00	23.25	25.50	24.50	24.75	23.75	25.75	23.00	24.75	25.00	25.00	23.9
10:15	24.25	26.50	25.00	25.50	24.25	26.00	23.50	25.00	25.25	25.25	
10:30	24.50	27.50	25.50	26.75	25.00	26.75	24.25	25.50	26.00	26.00	
10:45	25.50	28.25	26.25	27.50	26.00	27.50	24.75	26.75	26.75	26.75	
11:00	25.75	28.75	26.50	27.75	26.25	27.75	25.25	26.75	26.75	27.00	26.6
11:15	26.25	29.50	27.25	28.50	26.75	28.25	25.75	27.75	27.50	27.50	
11:30	27.25	30.75	28.25	30.25	27.25	29.25	26.25	28.50	28.50	28.75	
11:45	28.00	31.50	29.00	30.75	28.25	30.25	27.75	29.75	29.25	29.50	
12:00	28.75	32.50	29.75	32.00	28.50	31.00	27.50	29.75	30.00	30.25	28.6
12:15	29.50	33.25	30.25	32.75	29.50	32.00	28.25	31.75	30.75	30.50	
12:30	29.25	33.00	30.00	32.25	28.75	31.00	27.75	30.50	30.25	30.50	
12:45	29.50	32.75	30.00	32.00	29.00	31.00	28.00	30.25	30.25	30.50	
13:00	30.00	33.25	30.50	32.50	29.25	31.50	28.25	30.75	30.75	31.00	31.1
13:15	29.75	33.00	30.25	32.00	29.75	31.50	28.50	30.75	30.50	30.75	
13:30	29.75	33.00	30.50	32.00	30.00	31.25	28.50	30.50	30.50	30.75	
13:45	30.50	33.75	31.00	33.00	30.50	32.50	29.25	32.00	31.50	31.25	
14:00	31.25	35.00	31.75	34.00	31.00	33.00	29.75	32.75	32.25	32.25	32.4
14:15	31.50	35.50	32.00	34.25	31.25	33.25	30.00	33.00	32.25	32.75	
14:30	32.50	36.50	33.25	35.50	32.25	34.00	30.50	33.50	33.50	33.50	
14:45	33.50	38.75	34.25	38.00	32.50	33.25	30.25	33.50	34.00	34.50	
15:00	33.00	37.75	33.50	35.75	32.00	32.25	29.75	31.75	32.25	32.75	31.4
15:15	33.75	38.25	33.25	34.50	31.75	32.25	29.50	31.50	31.75	32.00	
15:30	32.50	36.00	32.00	33.00	31.00	32.00	29.25	32.50	31.50	31.50	
15:45	32.25	34.25	31.50	32.25	31.25	32.00	29.25	32.00	31.25	31.25	
16:00	31.75	33.50	31.25	32.00	31.00	32.00	29.25	32.75	31.50	31.50	31.9
16:15	31.50	32.75	31.00	31.50	30.50	31.75	29.25	33.00	31.25	31.00	
16:30	31.25	32.50	31.00	31.25	30.50	31.75	29.25	33.75	31.00	31.25	
16:45	31.50	32.25	30.75	31.25	31.25	31.50	29.25	31.00	30.75	31.00	
17:00	31.00	31.75	30.50	30.50	30.75	31.25	29.25	30.50	30.50	30.75	30.3
17:15	30.75	31.50	30.25	30.50	30.75	31.25	29.25	30.50	30.50	30.50	
17:30	31.00	31.75	30.25	30.75	30.75	31.50	29.25	30.50	30.50	30.75	
17:45	31.00	31.75	30.50	31.00	30.50	31.50	29.75	30.75	30.50	30.75	
18:00	31.00	31.75	30.25	31.00	30.50	31.25	29.50	30.50	30.50	30.75	30.2
18:15	30.75	31.25	30.00	30.25	30.00	31.00	29.00	30.25	30.00	30.25	
18:30	30.50	30.75	29.50	29.75	29.50	30.50	28.75	29.75	29.75	30.00	
18:45	30.00	30.50	29.25	29.25	29.25	30.00	28.25	29.25	29.50	29.50	
19:00	29.75	30.00	29.00	29.00	29.25	30.00	28.00	29.00	29.25	29.25	28.2
19:15	29.50	29.75	28.75	28.75	28.75	29.75	28.25	29.00	28.75	29.00	
19:30	29.00	29.50	28.50	28.25	28.50	29.50	27.75	28.50	28.75	28.75	
19:45	29.00	29.25	28.50	28.25	28.50	29.25	27.50	28.25	28.50	28.75	
20:00	29.00	29.00	28.25	27.75	28.25	29.00	27.25	28.00	28.25	28.25	27.0

Resultado - Ensaio Térmico (Dia 5)											
Horário	Temperatura (°C)										Externa
	Controle	C1(5-0)	C2(0-5)	C3(10-0)	C4(0-10)	C5(15-0)	C6(0-15)	C7(7,5-7,5)	C8(10-5)	C9(5-10)	
8:00	22.25	23.50	22.75	22.50	22.00	23.50	21.50	22.25	22.75	22.75	20.1
8:15	22.50	23.75	23.00	22.50	22.50	24.00	21.75	22.50	23.00	22.75	
8:30	23.25	24.00	23.50	23.00	23.00	24.50	22.50	23.00	23.25	23.25	
8:45	23.25	24.25	23.50	23.25	23.50	24.50	22.75	23.50	23.75	23.50	
9:00	23.75	24.75	23.75	23.75	24.00	25.50	23.50	24.00	24.00	23.75	22.7
9:15	23.50	25.00	24.25	24.00	23.75	25.75	23.75	25.75	24.50	24.25	
9:30	24.50	25.25	24.75	24.50	24.25	27.00	25.25	27.25	25.75	25.25	
9:45	25.00	26.00	25.50	25.50	25.75	30.00	26.75	31.50	28.75	28.50	
10:00	27.25	29.75	28.50	30.25	27.75	32.00	28.75	32.25	31.00	30.75	34.3
10:15	30.00	33.75	31.25	34.25	30.25	33.75	30.00	34.00	32.50	32.50	
10:30	31.50	36.25	33.00	36.50	31.50	35.75	31.50	36.25	34.00	33.50	
10:45	32.00	37.25	33.75	38.00	31.00	34.75	30.75	34.75	33.75	33.75	
11:00	33.50	39.25	35.00	39.75	33.25	37.00	32.75	37.75	35.75	35.50	37.4
11:15	34.50	40.75	36.25	41.00	35.50	39.75	35.00	40.50	37.00	37.25	
11:30	35.25	42.00	36.75	42.00	36.50	41.25	35.00	41.75	37.75	37.50	
11:45	35.75	43.25	37.50	43.50	36.50	41.50	36.50	43.00	38.75	38.50	
12:00	36.00	43.75	37.75	43.75	37.50	42.75	36.75	43.25	38.75	38.75	40.7
12:15	36.75	45.00	38.50	44.75	38.50	44.25	38.00	44.50	39.75	40.00	
12:30	37.25	45.25	38.75	44.75	38.50	44.75	38.25	44.50	40.00	40.50	
12:45	37.00	44.75	38.25	44.25	38.75	44.25	37.50	43.75	39.50	39.75	
13:00	37.25	44.75	38.50	44.00	38.25	43.50	37.75	43.75	39.75	40.00	41.5
13:15	38.25	46.25	39.50	45.75	40.00	45.50	38.50	46.00	41.00	41.50	
13:30	38.50	46.25	39.75	45.50	39.75	45.25	39.00	45.25	40.75	41.25	
13:45	38.75	46.25	40.00	45.75	40.25	45.50	39.25	45.25	41.00	41.00	
14:00	39.50	47.00	40.50	46.50	41.00	46.00	39.75	46.25	41.75	42.00	39.8
14:15	39.00	46.25	39.75	45.50	39.25	44.50	38.50	44.75	41.25	41.25	
14:30	39.75	46.75	40.75	46.00	40.25	44.00	39.25	45.50	42.00	42.50	
14:45	38.75	45.25	39.25	44.00	39.25	41.25	37.25	42.50	40.25	40.75	
15:00	39.00	44.25	39.00	42.50	38.50	38.25	34.25	37.50	37.00	37.50	33.5
15:15	38.75	44.00	38.25	40.75	38.00	37.25	34.00	36.00	35.50	35.75	
15:30	38.50	41.50	37.00	38.50	36.50	36.75	34.00	35.25	35.00	35.50	
15:45	36.25	38.50	35.50	36.25	35.75	35.50	33.25	34.25	34.00	34.50	
16:00	36.25	37.25	35.25	35.75	36.00	35.25	32.75	34.00	33.75	34.25	34.3
16:15	36.25	37.25	35.25	35.75	35.75	35.75	33.50	34.25	34.25	34.75	
16:30	35.00	35.75	34.25	34.50	34.75	34.75	32.50	33.50	33.25	33.50	
16:45	34.75	35.25	34.00	34.00	34.75	34.25	32.25	33.00	33.00	33.25	
17:00	34.75	35.00	33.75	33.75	34.25	34.25	32.25	32.75	32.75	33.25	32.0
17:15	34.25	34.75	33.75	33.75	34.00	34.25	31.75	32.75	32.75	33.25	
17:30	34.75	34.75	33.75	34.00	34.00	34.50	32.00	33.00	33.00	33.50	
17:45	34.50	35.00	33.75	34.00	33.75	34.25	32.00	33.25	33.25	33.50	
18:00	33.75	34.25	33.25	33.25	33.00	33.75	31.50	32.50	32.75	33.00	31.8
18:15	33.50	34.00	32.75	33.00	33.00	33.50	31.25	32.25	32.50	32.50	
18:30	33.00	33.50	32.50	32.25	32.50	33.25	31.25	32.00	32.25	32.50	
18:45	32.75	33.25	32.25	32.00	32.25	33.00	30.75	31.50	31.75	32.00	
19:00	32.50	33.00	32.25	31.75	32.50	33.00	30.50	31.50	31.75	31.75	30.8
19:15	32.25	32.75	32.00	31.75	32.25	32.75	30.50	31.25	31.50	31.75	
19:30	32.25	32.75	32.00	31.50	31.75	32.50	30.50	31.25	31.50	31.75	
19:45	32.00	32.50	31.50	31.25	31.50	32.25	30.25	31.00	31.00	31.50	
20:00	31.50	32.00	31.25	30.75	31.50	31.75	30.00	30.50	31.00	31.00	28.0

Resultado - Ensaio Térmico (Dia 6)											
Horário	Temperatura (°C)										Externa
	Controle	C1(5-0)	C2(0-5)	C3(10-0)	C4(0-10)	C5(15-0)	C6(0-15)	C7(7,5-7,5)	C8(10-5)	C9(5-10)	
8:00	23.00	22.50	21.75	20.50	22.75	26.75	24.00	24.75	23.75	26.00	21.3
8:15	24.00	24.25	23.75	23.25	24.75	24.75	23.50	24.00	23.50	24.00	
8:30	23.00	25.00	23.00	23.00	23.25	25.75	24.50	26.00	23.50	25.00	
8:45	23.50	24.50	24.50	25.50	23.75	24.75	25.25	23.75	24.00	26.00	
9:00	24.25	25.00	24.25	25.00	24.00	25.50	24.75	24.50	24.25	24.75	22.2
9:15	24.25	25.00	24.00	25.00	23.50	27.00	24.75	24.50	24.50	26.00	
9:30	24.00	25.50	24.75	23.25	25.00	25.50	25.25	24.25	24.75	25.00	
9:45	24.25	25.25	24.75	23.75	24.25	25.50	24.50	25.00	24.50	25.25	
10:00	24.25	25.75	24.25	23.75	24.75	26.25	24.25	24.75	24.50	25.25	22.5
10:15	24.75	25.25	25.75	23.50	25.00	25.75	26.50	24.50	24.50	26.50	
10:30	25.25	26.25	24.75	26.25	25.50	27.25	24.75	25.75	25.25	25.25	
10:45	25.00	26.50	25.00	25.00	26.50	27.00	26.25	25.75	26.00	27.50	
11:00	24.75	26.50	25.75	24.75	25.25	27.00	25.50	25.75	25.50	27.25	23.3
11:15	24.25	26.75	25.00	24.75	24.00	26.75	27.50	25.00	26.00	28.00	
11:30	24.50	25.50	27.00	26.50	25.25	26.25	25.75	25.25	25.50	25.00	
11:45	24.50	25.50	25.00	31.00	24.00	26.75	24.50	25.50	25.50	25.25	
12:00	25.50	26.25	26.50	27.25	24.75	26.50	24.25	25.50	25.00	25.25	25.6
12:15	26.25	26.25	25.75	26.50	24.75	26.50	24.75	25.75	25.00	25.50	
12:30	26.25	26.50	26.25	25.75	24.50	26.00	24.00	26.00	25.50	25.25	
12:45	24.75	26.75	25.75	25.00	25.00	26.75	25.25	25.50	25.50	25.75	
13:00	25.50	27.25	25.75	27.50	25.25	27.00	25.00	26.00	25.75	25.75	25.7
13:15	25.75	27.00	25.50	26.00	25.00	26.75	25.25	25.50	25.50	25.50	
13:30	25.50	27.25	25.75	25.75	24.75	27.00	24.75	25.25	25.50	25.50	
13:45	26.25	27.25	26.25	26.00	24.50	27.00	24.75	25.50	25.50	25.50	
14:00	26.75	28.25	26.75	26.75	25.75	27.75	25.75	26.50	26.25	26.50	26.9
14:15	27.25	28.50	26.50	27.00	25.75	28.00	25.50	26.50	26.25	26.50	
14:30	26.75	28.75	27.00	27.25	26.75	28.25	26.25	27.25	26.75	26.75	
14:45	27.00	28.50	27.00	27.25	26.25	28.25	25.75	26.50	26.50	26.75	
15:00	26.75	28.75	27.00	27.00	25.25	27.50	25.75	25.00	26.00	26.50	26.6
15:15	26.75	28.50	26.50	26.75	27.00	27.25	25.50	25.00	25.50	26.00	
15:30	26.25	28.00	26.50	26.75	27.25	27.50	24.75	25.50	26.00	26.25	
15:45	26.50	27.75	26.25	26.25	27.00	27.00	24.75	24.75	25.25	25.75	
16:00	26.25	27.50	26.25	26.00	26.50	26.75	24.50	24.50	25.00	25.50	25.9
16:15	26.00	27.50	26.00	25.75	26.75	27.00	24.25	24.75	25.00	25.50	
16:30	26.00	27.25	25.75	25.50	26.00	26.75	24.00	25.00	25.00	25.25	
16:45	26.25	27.00	25.75	25.25	26.75	26.75	24.00	24.75	25.00	25.00	
17:00	26.25	26.75	25.50	25.00	26.50	27.00	24.00	25.00	25.00	25.00	25.7
17:15	26.50	26.75	25.75	25.00	26.00	27.25	24.25	25.25	25.00	24.75	
17:30	26.25	26.75	25.75	25.00	26.75	27.00	24.00	24.75	24.75	25.00	
17:45	26.00	26.25	25.25	24.75	26.50	27.00	24.25	24.75	25.00	25.25	
18:00	25.75	26.00	25.25	24.50	26.00	26.50	24.25	24.50	24.75	25.25	24.9
18:15	25.75	25.75	25.00	24.00	26.25	26.50	23.50	24.75	24.50	25.25	
18:30	25.50	25.50	24.75	24.25	25.75	26.25	24.25	24.25	24.25	25.00	
18:45	25.25	25.50	24.75	24.00	26.00	25.75	24.00	24.50	24.25	25.00	
19:00	25.00	25.25	24.75	24.00	25.75	25.50	24.50	24.75	24.25	24.75	24.1
19:15	25.00	25.25	24.75	23.75	25.50	25.75	24.00	24.50	24.25	24.75	
19:30	25.00	25.00	24.50	23.75	25.25	25.75	23.75	24.00	24.75	24.75	
19:45	25.00	25.50	24.25	23.75	25.25	25.50	23.75	24.25	24.75	24.50	
20:00	25.00	25.50	24.25	23.50	25.25	25.50	23.75	24.00	24.50	24.50	23.2

Resultado - Ensaio Térmico (Dia 7)											
Horário	Temperatura (°C)										Externa
	Controle	C1(5-0)	C2(0-5)	C3(10-0)	C4(0-10)	C5(15-0)	C6(0-15)	C7(7,5-7,5)	C8(10-5)	C9(5-10)	
8:00	23.25	24.25	23.50	23.75	24.00	25.50	22.75	23.75	24.00	23.50	23.2
8:15	23.75	24.75	24.00	24.00	24.00	26.00	23.00	24.25	24.50	23.75	
8:30	23.75	25.00	24.00	24.25	24.25	26.25	23.25	24.50	24.50	24.00	
8:45	24.00	25.00	24.00	24.25	24.25	26.50	23.75	24.75	25.00	24.25	
9:00	24.75	25.75	25.00	25.25	25.50	27.75	24.50	25.75	26.00	25.00	25.8
9:15	24.75	26.50	25.25	26.00	25.75	28.25	25.00	26.50	26.50	25.50	
9:30	24.75	26.50	25.50	26.25	25.75	29.25	26.00	27.50	27.25	26.25	
9:45	25.25	27.00	26.00	27.00	26.50	31.25	27.25	29.75	29.25	28.00	
10:00	27.00	29.75	27.75	30.50	28.50	33.75	29.00	32.50	31.50	30.75	32.8
10:15	29.25	34.25	30.50	34.75	31.00	36.25	31.50	35.25	34.25	33.25	
10:30	30.00	36.50	31.50	37.25	32.75	39.00	33.50	37.75	35.50	34.75	
10:45	31.50	38.75	32.75	38.75	34.50	41.00	34.50	39.50	36.75	36.00	
11:00	32.00	40.25	34.25	40.50	36.25	42.50	35.75	40.75	37.75	37.25	41.0
11:15	31.25	40.75	34.25	40.00	35.50	42.50	35.25	40.00	37.75	36.50	
11:30	31.00	39.50	34.00	39.25	35.25	41.00	35.25	38.75	36.75	36.00	
11:45	31.75	39.75	34.75	39.25	35.50	41.50	34.50	38.75	36.75	35.75	
12:00	33.00	42.00	36.25	41.50	37.00	43.00	35.50	40.00	38.25	37.25	38.3
12:15	33.00	41.25	35.50	40.25	36.25	42.50	34.75	39.00	37.25	36.25	
12:30	34.25	42.25	36.75	41.50	37.75	42.75	34.75	39.75	38.25	37.00	
12:45	35.25	44.00	37.50	43.25	38.50	45.00	37.50	42.25	40.00	39.00	
13:00	34.50	41.50	36.00	40.00	37.00	42.50	35.50	39.75	38.00	36.75	37.9
13:15	34.00	39.50	35.25	38.50	35.75	41.25	34.75	38.50	36.75	35.75	
13:30	35.00	41.25	36.50	40.25	37.00	43.00	36.50	41.25	39.00	38.00	
13:45	35.50	41.50	37.00	41.00	38.00	43.25	36.75	41.75	39.50	38.25	
14:00	37.25	44.75	38.75	43.75	39.75	46.50	39.25	45.50	42.25	40.75	43.9
14:15	38.25	45.50	39.50	44.25	40.50	47.25	39.25	46.50	43.25	41.75	
14:30	38.00	45.50	39.25	44.00	39.00	46.25	39.50	46.50	43.25	42.00	
14:45	38.25	45.50	39.25	44.75	39.75	44.25	37.75	44.50	42.00	40.75	
15:00	37.00	43.00	37.75	42.25	38.00	41.50	36.00	41.50	40.00	39.00	37.4
15:15	36.75	41.25	37.25	40.75	37.25	40.50	35.75	40.00	38.75	38.00	
15:30	36.25	40.50	36.75	40.00	37.25	40.00	35.50	39.25	38.25	38.00	
15:45	36.25	39.50	36.50	39.50	36.75	39.75	35.25	39.25	37.75	37.50	
16:00	35.50	38.75	35.75	38.75	36.50	39.25	35.25	38.00	37.00	36.75	37.5
16:15	36.25	39.25	36.50	39.25	37.25	39.50	35.50	38.50	37.50	37.75	
16:30	35.25	37.75	35.25	37.75	36.25	38.25	34.75	37.25	36.00	36.25	
16:45	34.75	36.25	34.75	36.50	35.25	37.25	34.00	35.75	35.00	35.25	
17:00	34.50	35.25	33.75	35.50	35.25	36.25	33.50	35.00	34.50	34.75	33.7
17:15	34.00	35.00	33.75	35.00	35.00	36.00	33.25	34.50	34.25	34.25	
17:30	33.75	34.50	33.25	34.50	35.00	35.75	33.00	34.00	33.75	34.00	
17:45	33.75	34.50	33.00	34.25	34.50	35.50	33.00	34.00	33.75	34.00	
18:00	33.25	34.25	33.00	34.00	34.25	35.00	33.00	33.75	33.50	33.75	32.7
18:15	33.00	33.75	32.50	33.50	34.50	34.75	32.75	33.25	33.25	33.50	
18:30	33.00	33.75	32.25	33.25	33.75	34.50	32.25	33.25	33.00	33.00	
18:45	32.50	33.25	32.00	32.75	33.75	34.25	32.00	32.75	32.50	32.75	
19:00	32.25	33.00	31.75	32.50	33.25	34.00	31.75	32.75	32.25	32.50	30.9
19:15	31.50	32.00	30.75	31.50	31.75	33.00	31.25	31.75	31.75	31.75	
19:30	31.00	31.75	30.50	31.25	31.75	32.75	31.00	31.50	31.25	31.25	
19:45	31.00	31.75	30.50	31.00	32.00	32.25	30.75	31.00	31.00	31.25	
20:00	30.75	31.25	30.25	30.75	31.25	32.00	30.25	30.75	30.75	31.00	28.4

Média das Temperaturas											
Horário	Controle	C1(5-0)	C2(0-5)	C3(10-0)	C4(0-10)	C5(15-0)	C6(0-15)	C7(7,5-7,5)	C8(10-5)	C9(5-10)	Externa
8:00	23,61	24,29	23,68	23,25	23,50	25,14	22,96	23,64	23,82	24,036	22,11
8:15	24,00	24,68	24,32	23,68	23,89	25,18	22,89	23,79	23,89	23,821	22,11
8:30	23,86	25,04	24,43	23,86	24,00	25,39	23,29	24,18	24,04	24,321	22,11
8:45	24,00	25,07	24,39	24,46	24,04	25,39	23,79	24,07	24,39	24,571	22,11
9:00	24,61	25,64	24,71	24,75	24,82	26,14	24,32	24,93	24,93	25,143	23,87
9:15	24,71	25,93	25,00	25,25	24,71	26,79	24,54	25,86	25,36	25,429	23,87
9:30	24,96	26,25	25,61	25,04	25,18	27,21	25,18	26,61	26,21	25,821	23,87
9:45	25,25	26,75	26,04	25,79	25,96	28,46	26,18	28,61	27,36	27,036	23,87
10:00	26,14	28,32	27,07	27,93	26,82	29,64	26,79	29,18	28,46	28,071	28,69
10:15	27,21	30,18	28,43	29,43	28,25	30,54	27,93	29,75	29,21	28,929	28,69
10:30	27,86	31,25	28,71	30,64	28,54	31,43	28,29	30,64	29,82	29,321	28,69
10:45	28,32	31,82	29,21	30,96	29,07	31,71	28,71	30,93	30,25	30,143	28,69
11:00	28,82	32,71	30,00	31,79	29,82	32,61	29,32	31,79	30,75	30,857	32,03
11:15	28,79	33,00	30,07	31,75	29,75	32,82	29,75	31,96	31,04	31,179	32,03
11:30	29,39	33,25	31,00	32,68	30,43	33,14	29,93	32,50	31,32	31,250	32,03
11:45	29,82	33,68	31,07	33,79	30,50	33,61	30,07	33,00	31,68	31,643	32,03
12:00	30,14	34,04	31,43	33,39	30,75	33,75	30,00	32,79	31,68	31,750	32,36
12:15	30,71	34,46	31,61	33,61	31,18	34,25	30,46	33,39	32,18	32,071	32,36
12:30	31,21	34,89	32,11	33,89	31,50	34,46	30,50	33,68	32,61	32,500	32,36
12:45	31,46	35,64	32,36	34,46	32,11	35,39	31,39	34,39	33,32	33,250	32,36
13:00	31,68	35,64	32,36	34,68	32,00	35,32	31,32	34,50	33,43	33,250	34,50
13:15	31,93	35,89	32,57	34,82	32,39	35,75	31,71	35,00	33,71	33,607	34,50
13:30	32,14	36,11	32,93	34,86	32,54	36,04	32,14	35,29	34,07	33,929	34,50
13:45	32,46	36,32	33,21	35,32	32,82	36,36	32,43	35,71	34,46	34,143	34,50
14:00	33,32	37,54	33,96	36,50	33,79	37,39	33,32	37,07	35,61	35,286	35,24
14:15	33,25	37,36	33,79	36,21	33,43	37,04	32,93	36,50	35,39	35,036	35,24
14:30	33,50	37,71	34,29	36,61	33,86	36,93	33,21	36,89	35,79	35,500	35,24
14:45	33,64	37,82	34,21	36,75	33,75	35,82	32,32	35,68	35,25	35,107	35,24
15:00	33,39	37,21	33,82	35,75	33,18	34,36	31,25	33,46	33,75	33,821	32,66
15:15	33,29	36,79	33,36	34,82	33,07	33,75	30,96	32,82	32,89	32,893	32,66
15:30	32,86	35,71	32,64	33,79	32,54	33,64	30,64	32,57	32,50	32,536	32,66
15:45	32,50	34,54	32,21	33,07	32,32	33,36	30,57	32,29	32,11	32,179	32,66
16:00	32,04	33,89	32,00	32,64	32,14	33,14	30,43	32,61	31,93	31,964	31,94
16:15	31,93	33,64	31,89	32,50	32,18	33,14	30,57	32,36	31,96	32,000	31,94
16:30	31,57	33,00	31,43	31,89	31,64	32,71	30,14	32,00	31,46	31,571	31,94
16:45	31,46	32,57	31,21	31,57	31,71	32,43	29,96	31,46	31,21	31,286	31,94
17:00	31,29	32,25	30,89	31,14	31,32	32,21	29,71	31,29	31,00	31,107	30,50
17:15	31,00	32,11	30,82	31,00	31,07	32,11	30,00	30,75	30,93	30,857	30,50
17:30	31,07	32,00	30,68	30,96	31,21	32,07	29,96	30,64	30,82	30,857	30,50
17:45	30,96	31,96	30,61	30,89	31,11	31,96	29,82	30,64	30,82	30,893	30,50
18:00	30,71	31,75	30,43	30,68	30,71	31,64	29,57	30,46	30,68	30,714	30,11
18:15	30,50	31,39	30,18	30,29	30,71	31,50	29,29	30,29	30,39	30,500	30,11
18:30	30,36	31,18	29,96	30,04	30,43	31,32	29,21	30,07	30,21	30,286	30,11
18:45	30,14	30,93	29,82	29,82	30,36	30,96	28,96	29,71	29,93	30,036	30,11
19:00	29,75	30,64	29,64	29,54	30,14	30,79	28,89	29,68	29,79	29,750	28,69
19:15	29,64	30,36	29,36	29,21	29,68	30,50	28,68	29,29	29,43	29,536	28,69
19:30	29,43	30,11	29,07	28,89	29,39	30,25	28,32	28,89	29,29	29,321	28,69
19:45	29,21	29,93	28,79	28,64	29,29	29,79	28,04	28,54	28,89	29,000	28,69
20:00	28,96	29,57	28,64	28,29	29,04	29,57	27,86	28,32	28,75	28,714	26,89