



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**INFLUÊNCIA DE FIBRAS DE BORRACHA NAS PROPRIEDADES
FÍSICAS, MÊCANICAS E TÉRMICAS EM ARGAMASSA DE
REVESTIMENTO**

Cíntia Slaiffer

Lajeado, junho de 2019

Cíntia Slaiffer

**INFLUÊNCIA DE FIBRAS DE BORRACHA NAS PROPRIEDADES
FÍSICAS, MÊCANICAS E TÉRMICAS EM ARGAMASSA DE
REVESTIMENTO**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, na Universidade do Vale do Taquari, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rafael Mascolo

Lajeado, junho de 2019

Cíntia Slaiffer

**INFLUÊNCIA DE FIBRAS DE BORRACHA NAS PROPRIEDADES
FÍSICAS, MÊCANICAS E TÉRMICAS EM ARGAMASSA DE
REVESTIMENTO**

A Banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de bacharela em Engenharia Civil:

Prof. Me. Rafael Mascolo – Orientador

Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Dra. Emanuele Amanda Gauer

Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Me. Marcelo Freitas Ferreira

Universidade do Vale do Taquari – Univates

Lajeado, 10 de julho de 2019

AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho a especialmente as pessoas que tenho de mais especial na minha vida, que são meus pais José e Judite, e meu irmão Henrique. Que estiveram no meu lado sempre me apoiando, me dando incentivo, suporte, conforto, e principalmente compreensão. Obrigada pelo apoio, vocês são meu alicerce.

Agradeço ao meu orientador Rafael Mascolo que aceitou o desafio em me ajudar nesta caminhada. Agradeço pela paciência, pelas palavras de incentivo, pelos conhecimentos aplicados e também por estar sempre disposto a me auxiliar. Meu muito obrigada, por me ajudar a concretizar este meu sonho.

A equipe do LATEC que estava sempre disposta a me auxiliar, procurando me ajudar em resolver dúvidas que surgiam ao longo do caminho, por estar sempre disponível quando era necessário, meu muito obrigada.

Aos meus amigos, que me derem todo o apoio, incentivo, aos que me auxiliaram na execução dos protótipos e das argamassas, e que me ajudaram transformar meu trabalho em realidade, outros que não puderam estar presentes, mas me ajudaram de diversas maneiras. Com toda a certeza cada um tem um pedacinho especial no meu coração. Vocês todos foram a minha luz e minha inspiração para chegar nesta etapa.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar as propriedades térmicas das argamassas de revestimento, produzidas com diferentes teores de substituição do agregado miúdo natural por fibras e pó de borracha e aplicadas em protótipos de alvenaria cerâmica, sendo esse resíduo tratado previamente com uma solução saturada de hidróxido de sódio. Para a realização do estudo, foram confeccionados 4 protótipos cúbicos, em formato de mini casas, que foram construídos em ambiente externo nas proximidades do laboratório da Univates (LATEC). Para tanto, foram realizados ensaios físicos e mecânicos para avaliar o comportamento da argamassa de revestimento, com e sem borracha, nos protótipos. Foi realizado o acompanhamento da variação de temperatura dos protótipos revestidos com diferentes argamassas, a fim de avaliar a influência da presença de resíduos de borracha na argamassa, em suas propriedades térmicas. A definição dos traços foi através de um programa experimental prévio com reprodução e análise em laboratório dos traços 1:3, 1:5 e 1:7, sendo posteriormente escolhido para aplicação nos protótipos de alvenaria aquele que apresentou resultados físicos e mecânicos mais satisfatórios, traço 1:5. Foram realizados estudos comparativos no estado fresco e endurecido, e avaliado as propriedades térmicas da argamassa convencional e das argamassas compostas por resíduos de borracha. No que condiz com a análise feita com temperatura nos protótipos, os que compoñham borracha alcançaram resultados superiores ao protótipo referência, chegando a uma diferença de 2 °C, atendendo os padrões estabelecidos por norma, estima que isso pode ser melhorado com a execução de protótipos maiores, e com maiores aberturas de ventilação para executar as trocas térmicas, atendendo mais amplamente ao que é estimado pelo padrão de desempenho.

Palavras-chave: argamassa com borracha; agregado de borracha; conforto térmico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas a serem desenvolvidas na metodologia	34
Figura 2 – Fluxograma detalhado do programa experimental	46
Figura 3 – Massa específica do Cimento	36
Figura 4 – Areia Média	37
Figura 5 – Fragmentos de borracha	38
Figura 6 – Ensaio de peneiramento	39
Figura 7 – Massa específica da borracha	39
Figura 8 – Ensaio de massa unitária	40
Figura 9 - Tratamento da borracha.....	42
Figura 10 - Espessura da argamassa e argamassa aplicada	48
Figura 11 – Ensaio de arrancamento – a) Traço 1:3 b) Traço 1:5 c) Traço 1:7	51
Figura 12 – Ensaio da consistência.....	54
Figura 13 – Ensaio de determinação da retenção de água.....	56
Figura 14 – Massa específica.....	58
Figura 15 – Ensaio de resistência à tração na flexão	59
Figura 16 - Resistência à tração na compressão	59
Figura 17 – Módulo de elasticidade.....	60
Figura 18 - Ensaio de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica	62
Figura 19 – Ensaio de absorção por capilaridade	63
Figura 20 – Módulo de deformação por ultrassom – a) Ensaio de ultrassom b) Equipamento de ultrassom.....	64
Figura 21 – Ensaio de resistência à aderência.....	65
Figura 22 – Protótipos analisados	66
Figura 23 – Datalog	66

Figura 24 – Fissuras nas proporções de cada traço de borracha – a) 0% de substituição; b) 5% de substituição; c) 10% de substituição; d) 15% de substituição	74
Figura 25 – Possíveis formas de ruptura no revestimento com chapisco	80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Granulometria da Areia.....	37
Gráfico 2 – Curva granulométrica do resíduo de borracha.....	41
Gráfico 3 – Resultados de retenção de água	49
Gráfico 4 – Percentual de rupturas nas interfaces	51
Gráfico 5 – Retenção de água.....	69
Gráfico 6 – Teor de ar incorporado	70
Gráfico 7 – Resistência à compressão	71
Gráfico 8 – Resistência à tração na flexão	73
Gráfico 9 – Índice de Vazios e absorção	76
Gráfico 10 – Absorção de água por capilaridade	77
Gráfico 11 – Resultado de aderência à tração	79
Gráfico 12 – Ruptura das interfaces NBR 13528:2010	81
Gráfico 13 – Temperatura média em alguns horários	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição da borracha nos pneus, porcentagem e adições.....	25
Quadro 2 – Propriedades térmicas dos materiais	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados de compressão axial.....	28
Tabela 2 – Resultados do módulo de elasticidade	29
Tabela 3 – Resultados de flexão aos 28 dias.....	29
Tabela 4 - Absorção de água no bloco.....	43
Tabela 5 – Resistência a compressão (MPa).....	44
Tabela 6 – Quantidade utilizada de cada material para chapisco	48
Tabela 7 – Traço para escolha do referência.....	48
Tabela 8 – Índice de Consistência	49
Tabela 9 – Resistência à compressão	50
Tabela 10 – Resistência na flexão	50
Tabela 11 – Traços	67
Tabela 12 – Índice de consistência	68
Tabela 13 – Massa específica da argamassa	70
Tabela 14 – Módulo de elasticidade	75
Tabela 15 – Resultados absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica	76
Tabela 16 – Módulo de elasticidade pelo ultrassom.....	78
Tabela 17 – Resistência para argamassa (NRB 13749:2013)	79
Tabela 18 – Desempenho Térmico NBR 15575-1:2013.....	83
Tabela 19 – Parâmetro de Conforto NBR 16401-2:2008	84

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Principal	14
1.1.2 Específicos	14
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Delimitação do tema	15
1.4 Estrutura do trabalho	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Argamassa	17
2.1.1 Materiais constituintes da argamassa.....	18
2.1.1.1 Agregados.....	18
2.1.1.2 Cimento	19
2.1.1.3 Água	20
2.1.1.4 Cal Hidratada	20
2.1.1.5 Aditivo	21
2.1.2 Estado fresco da argamassa.....	21
2.1.3 Estado endurecido da argamassa	22
2.2 Resíduos de borracha provenientes de pneu.....	24
2.2.1 Propriedades de misturas cimentícias com pneus de borracha.....	26
2.2.2 Propriedades térmicas.....	31
2.2.3 Tratamento dos resíduos de borracha	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	34

3.1 Materiais utilizados	34
3.1.1 Cimento	35
3.1.2 Agregado miúdo	36
3.1.3 Água	38
3.1.4 Resíduos de pneu	38
3.1.4.1 Caracterização dos resíduos.....	38
3.1.4.2 Tratamento dos resíduos.....	41
3.1.5 Blocos cerâmicos.....	42
3.1.5.1 Absorção de água do bloco cerâmico	42
3.1.5.2 Resistência à compressão	43
3.2 Determinação da dosagem e produção das argamassas.....	44
3.3 Programa experimental.....	44
3.3.1 Confecção das placas, aplicação do chapisco e execução das argamassas	47
3.3.2 Resultado dos ensaios no estado fresco.....	49
3.3.3 Traço escolhido e ensaio no estado fresco	50
3.4 Produção das argamassas	52
3.5 Moldagem e cura dos corpos-de-prova.....	52
3.6 Protótipos de alvenaria.....	53
3.7 Ensaio da argamassa no estado fresco	53
3.7.1 Determinação do índice de consistência	54
3.7.2 Determinação da retenção de água	54
3.7.3 Determinação da massa específica e do teor de ar incorporado.....	56
3.8 Ensaio da argamassa no estado endurecido.....	58
3.8.1 Resistência à tração na flexão	58
3.8.2 Resistência à compressão	59
3.8.3 Módulo de elasticidade	60
3.8.4 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica	60
3.8.5 Absorção de água por capilaridade.....	62
3.8.6 Módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica	63
3.9 Ensaio da argamassa de revestimento dos protótipos – Resistência de aderência à tração	64
3.10 Avaliação das propriedades térmicas dos protótipos revestidos com argamassa.....	65
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	67

4.1 Resultado dos materiais para o traço utilizado	67
4.2 Ensaio no estado fresco	68
4.2.1 Índice de consistência NBR 13276:2016	68
4.2.2 Determinação da retenção de água	69
4.2.3 Determinação da massa específica e do teor de ar incorporado.....	69
4.3 Ensaios no estado endurecido	70
4.3.1 Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão NBR 13279:2005	71
4.3.2 Módulo de elasticidade	74
4.3.3 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica	75
4.3.4 Absorção de água por capilaridade.....	77
4.3.5 Módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica	78
4.3.6 Ensaio da argamassa de revestimento dos protótipos – Resistência de aderência à tração	78
4.4 Avaliação das propriedades térmicas dos protótipos de revestimentos com argamassa.....	81
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
REFERÊNCIAS.....	89
APÊNDICE A	97
APÊNDICE B	98

1 INTRODUÇÃO

Segundo Junior (2014), a cada dia que passa, cresce o número de estudos relacionados com os recursos naturais, isso por que, o mundo está aceitando e utilizando mais recursos sustentáveis. Conforme John (2000), a construção civil representa cerca de 50% do uso dos recursos naturais, é responsável por 50% do CO₂ emitido para a atmosfera, e representa a metade dos resíduos sólidos produzidos no mundo.

“Nos últimos anos, devido à preocupação com a preservação ambiental, a deposição de pneus em todo mundo tem sido um fato preocupante” (FERREIRA, 2009). Segundo Golub e Silva (2017), são descartados no Brasil, em média, 17 milhões de pneus por ano.

Conforme Lima et al. (2016), os pneus, após vários anos de uso, são lançados em lixões sem o tratamento necessário, que é de extrema importância para o reaproveitamento dos mesmos. Segundo o autor, discussões e aprofundamentos nessa área leva ao vigor a normatização para o descarte correto dos pneus, já que eles são jogados em áreas impróprias para esse tipo de material.

De acordo com Meneguini (2003), os pneus têm se tornado um grande risco para a saúde, pois acumulam água da chuva, a qual fica parada causando a proliferação de insetos, além de ser uma bomba relógio para o meio ambiente, pela queima do pneu ou até mesmo pelo descarte incorreto. Ferreira (2009), complementa que os pneus não são reutilizados devido a sua composição de elastômeros e por demandar tempo no processo de reciclagem, levando há um preço altíssimo.

De acordo com Pcziecek (2017), a conscientização das pessoas no descarte correto dos materiais e também o aumento de recursos naturais na fabricação de produtos da construção civil, leva a acreditar que a adição de pneus pode trazer resultados satisfatórios na qualidade, durabilidade e no comportamento mecânico de argamassas e cimentos. Meneguini (2013), ressalta que após definidas as propriedades e as características do material é possível ter valores mais precisos e garantidos.

Conforme Golub e Silva (2017), os pneus são reciclados em forma de fibras para reduzir o volume nos lixões, sendo elevado o potencial de aplicação da borracha em argamassas como substituição total ou parcial do agregado miúdo, gerando uma possibilidade de destinação e também resolvendo as questões ambientais envolvidas. Segundo o autor os pneus já são muito utilizados em rodovias, materiais de construções, entre outros, sendo que a reutilização poderá melhorar o destino destes materiais.

Buscando por composições recicláveis que podem ser aplicadas na construção civil, este estudo pretende avaliar e analisar do uso de resíduos de borrachas em argamassas visando o seu comportamento em argamassas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Principal

O objetivo principal deste trabalho é avaliar as propriedades físicas, mecânicas e térmicas das argamassas de revestimento produzidas com resíduos de pneus e aplicadas em protótipos de alvenaria cerâmica.

1.1.2 Específicos

- avaliar as propriedades mecânicas das argamassas de revestimentos;
- avaliar a influência de fibras de borracha de pneu nas propriedades físicas e mecânicas e térmicas de argamassas de revestimento;

- caracterizar os materiais constituintes;
- definir um traço referência para aplicação dos diferentes teores;
- dosar argamassas para amostragem;
- caracterizar as argamassas no estado fresco;
- avaliar os resultados das argamassas no estado endurecido;
- verificar os resultados dos diferentes traços com adição de borracha na aderência à tração.

1.2 Justificativa

Observa-se que os estudos são escassos em argamassas com a adição desses resíduos, sendo que a quantidade descartada anualmente é altíssima. Com esse estudo pretende-se atender os padrões ambientais que visa o uso de fontes renováveis e sustentáveis. Além disso, busca-se um produto com resultados satisfatórios, que possa ser aplicado futuramente nas construções, principalmente voltado a durabilidade e ao conforto térmico, sem apresentar riscos à saúde, e que possa gerar benefícios sociais e econômicos.

1.3 Delimitação do tema

O presente trabalho delimita-se em avaliar o desempenho físico, mecânico e térmico de argamassa produzidas com a substituição do agregado miúdo natural por fibras e pó de borracha, provenientes da recauchutagem de pneus. Foram realizados estudos comparativos no estado fresco e endurecido, e avaliação das propriedades térmicas da argamassa convencional e com resíduos de borracha, a partir da aplicação das mesmas no revestimento de protótipos cerâmicos.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho será dividido em seis capítulos: o primeiro capítulo consistente em uma introdução as argamassas e aos resíduos de borracha. Nesse capítulo também são apresentados os objetivos do estudo, justificativa da escolha e a delimitação do tema.

No segundo capítulo será abordado a visão literária, a qual apresenta informações sobre os materiais que serão empregados neste trabalho, apresentando e citando trabalhos desenvolvidos por autores brasileiros e estrangeiros, que visam a mesma linha de pesquisa.

O terceiro capítulo é composto pela metodologia, que será exposto materiais que serão desenvolvidos dessa pesquisa, bem como a caracterização e métodos que serão aplicadas ao método de pesquisa.

O quarto capítulo relata os resultados obtidos através do programa experimental apresentado por meio de ensaios feitos em laboratório e revela os valores obtidos.

No quinto capítulo são feitas as considerações finais e conclusões do trabalho, levando em conta os resultados obtidos e apontado se os resultados foram atendidos conforme a proposta inicial. Já no capítulo seis, são apresentadas as referências bibliográficas que foram consultadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo serão abordados alguns conceitos a respeito do tema escolhido, de modo a complementar e agregar uma percepção e conceptualização do leitor.

2.1 Argamassa

A argamassa é uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, envolvendo ou não aditivos, com características de endurecimento e aderência, que pode ser industrializada ou executada *in loco* (NBR 13281, ABNT, 2005). Ferreira (2009) complementa que pode ser feito o uso de outros compósitos na argamassa, como a utilização de resinas poliméricas, borrachas e os mais variados tipos de composição química. Em algumas composições, os agregados miúdos podem ser substituídos por resinas.

De acordo com Petrucci (1998), ao ser adicionado um agregado miúdo a uma pasta (mistura de aglomerante mais água), obtém-se o que se define como argamassa. Segundo o autor, a argamassa é composta por uma pasta, que é um compósito ativo, e o agregado miúdo, material inerte.

Para Jantsch (2015), a argamassa é responsável por proteger a edificação, sendo uma barreira contra as ações climáticas, poluição ou outros agentes agressivos. Ela depende diretamente da função que vai desempenhar e do local que vai ser aplicada, sendo normalmente empregada como vedação. Para Baía e Sabatini (2008), a argamassa tem a função principal de garantir um bom acabamento,

regularizar a superfície e auxiliar a estrutura, em parâmetros como a impermeabilização e isolamento térmico e acústico.

“Os revestimentos têm a função de permitir maior resistência contra intempéries, impermeabilização, isolamento térmico e acústico, resistência ao choque ou abrasão, proporcionando ao usuário conforto e comodidade” (AZEREDO, 1987).

Para Caporrino (2015) o revestimento:

Na construção civil pode ser aplicado na camada interna ou externa, é uma das partes mais importantes na construção, pois se não for bem executado traz marcas em sua aparência. É a parte que chama mais a atenção das pessoas, pois é, a parte que pode-se usar da imaginação. Deve-se também procurar ser crítico na hora da escolha dos materiais, para não trazer problemas futuros (CAPORRINO, 2015).

Para Jantch (2015):

Como a argamassa é um elemento composto que precisa ser misturado e curado para se tornar um material rígido, ela alterna entre o estado fresco e um estado endurecido, cada qual com diferentes propriedades de desempenho requeridas (JANTCH 2015).

Segundo Alves et al. (2010), é preciso que no estado fresco a trabalhabilidade se defina em: consistência, plasticidade, adesão inicial e viscosidade. Para a argamassa no estado endurecido é preciso que apresente baixa retração, reduzida permeabilidade, aderência, módulo de elasticidade, resistência mecânica e superficial.

Conforme Carneiro et al. (2011), a avaliação da argamassa propõe-se as seguintes propriedades: aderência à base, resistência mecânica e impermeabilidade. As propriedades mecânicas podem ser avaliadas pela fissuração, resistência com o tempo, e a massa volumétrica aparente.

2.1.1 Materiais constituintes da argamassa

2.1.1.1 Agregados

Segundo Petrucci (1998), agregados são materiais sem uma forma granular e volume definidos, são inertes, e conforme suas características físicas e mecânicas se

demonstram adequados para a construção civil. Metha e Monteiro (2014), relatam que os agregados são baratos e que em contato com a água não formam reações químicas, no entanto, desempenham funções importante no comportamento final. Os autores afirmam que os agregados, por terem um papel importantíssimo no resultado, estão sendo estudados com mais cautela e a visão como inerte está sendo reavaliada.

Conforme Neville e Brooks (2013, pg. 41) os agregados minerais:

São formados por processo de intemperismo e abrasão ou por britagem de grandes blocos de rocha-mãe. Sendo assim, muitas propriedades dos agregados dependem das propriedades da rocha mãe, por exemplo, composição química e mineral, classificação petrográfica, massa específica, dureza, resistência, estabilidade física e química, estrutura de poros, cor, etc. Além disso, há outras propriedades dos agregados que são inexistentes na rocha-mãe: forma e dimensão das partículas, textura superficial e absorção. Todas essas propriedades podem exercer considerável influência na qualidade do concreto fresco e endurecido.

De acordo com Pedro (2011) o agregado mais utilizado na produção de argamassas tradicionalmente é a areia, a qual provem de jazidas ou rios. A areia tem o papel de proporcionar a aderência da pasta, resistência no estado endurecido e trabalhabilidade. Segundo o autor a areia tem como característica o seu número de vazios, que por sua vez, é determinada pela granulometria do agregado, sendo outra característica que influência diretamente no comportamento da argamassa.

2.1.1.2 Cimento

Segundo Coimbra et al. (2006), o cimento é um dos materiais mais consumidos no mundo, suas qualidades são típicas como trabalhabilidade e mobilidade no estado fresco e resistência, durabilidade no estado endurecido. Os autores Baía e Sabbatini (2008, pg 18) definem cimento da seguinte forma:

O cimento Portland é composto de clínquer e adições minerais. A flexibilidade da sua composição possibilita a produção de diversos tipos de cimentos com diferentes propriedades químicas e mecânicas. O clínquer é o produto da fusão entre 1400°C a 1500°C das matérias primas usadas na composição do cimento (argila + calcário + óxido de ferro). Existem vários compostos presentes no clínquer como os silicatos de cálcio, aluminato de cálcio e alumínio ferritas.

De acordo com Neville (2013), o cimento ao ser misturado com água, sofre reações químicas seguido do processo de endurecimento, chamado de tempo de

pega, que é a mudança do estado fresco para endurecido. Ele tem como principal função a aderência entre as partículas, durabilidade e resistência. O autor ainda descreve o cimento como um composto de diversos materiais, que exige um rígido controle de fabricação, sempre buscando atender as normas e a qualidade do produto final.

Conforme Giusti *apud* Armange (2005), o comportamento da argamassa depende diretamente das quantidades utilizadas (proporções), principalmente água e cimento. Segundo o autor o adensamento e o processo de cura devem ser feitos com atenção, pois se não forem bem executados, levam a argamassa a apresentar baixa resistência, trincas e fissuras.

2.1.1.3 Água

Petrucci (1998) comenta em seu trabalho, que determinadas vezes a água potável não pode ser utilizada na mistura argamassada. Isso porque podem existir alta concentração de sódio e potássio, os quais interferem no resultado final. A água deve conter pouquíssimas quantidades de impurezas, as quais não têm efeito danoso no resultado. Segundo Neville e Brooks (2013), a qualidade da água deve ser avaliada com criteriosidade, uma vez que as impurezas podem causar interferência na resistência, manchas na superfície, corrosão, eflorescência e interferir no tempo de pega do material.

De acordo com Metha e Monteiro (2014), o tempo de pega é associado as reações que ocorrem entre a água e cimento, sendo fatores básicos que acontecem através de processos físicos, que resultam na hidratação dos materiais. Diante dessas situações, é importante ressaltar a importância da água no amassamento e também na cura.

2.1.1.4 Cal Hidratada

Segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003), a cal hidratada é constituída pelo pó resultante na hidratação da cal virgem, a qual é composta de hidróxido de cálcio e

hidróxido de magnésio, ou também pela mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

Conforme Guimarães (2002) a argamassa com a presença de cal hidratada tem como características principais a plasticidade, maior trabalhabilidade, hidratação, e aderência ao substrato, evitando descolamento e fissuração da argamassa no estado endurecido. Segundo o autor a cal proporciona um aspecto mais liso e mais claro na argamassa, também possui características bactericidas e fungicidas, protegendo as edificações de manchas e apodrecimentos.

2.1.1.5 Aditivo

De acordo com Fonseca (2010), os aditivos consistem em propriedades que são adicionadas ao concreto e a argamassa, tendo como principal objetivo melhorar suas características e aplicações, seja no estado fresco ou endurecido, como por exemplo, aumentar ou retardar o tempo de pega, melhorar a trabalhabilidade, minimizar os pontos frágeis e aumentar a durabilidade. Metha e Monteiro (2014) afirmam ainda que eles podem ser adicionados antes ou durante a mistura, tendo como principal função aumentar a plasticidade, diminuir a exsudação e segregação, aumentar ou diminuir a quantidade de água na mistura, amortizar a percentagem de calor e aumentar a resistência para determinadas situações.

Conforme Tecnosil (2017), os aditivos são incorporados na mistura de cimento, água e agregados para melhorar as características exclusivas ao concreto e as argamassas. Essas adições modificam as propriedades do material no estado fresco e endurecido, e são analisadas a fim de aumentar as qualidades e diminuir desvantagens da mistura.

2.1.2 Estado fresco da argamassa

Conforme Pczieczek (2017) relata em seu trabalho, vários fatores são determinantes no resultado final de uma argamassa. A autora comenta que a qualidade no estado fresco é determinada pela: consistência, trabalhabilidade, plasticidade, retenção de água, massa específica e teor de ar incorporado.

Para Cintra (2013), a produtividade na aplicação da argamassa no estado fresco depende diretamente da trabalhabilidade, e para que isso aconteça outros fatores interferem diretamente, como a plasticidade, consistência inicial e final de pega, e exsudação, levando a uma argamassa de boa qualidade. Conforme Baía e Sabbatini (2000), a argamassa pode ser considerada trabalhável quando ao ser arremessada na parede solta-se com facilidade da ferramenta e possui aspensão ao ser manuseada.

Conforme Carasek (2010), a capacidade de deformação sob ação de cargas, está relacionada com a consistência da argamassa, a mesma é influenciada pela quantidade de água na mistura. O autor também salienta, que a plasticidade está associada com as características de deformação que a argamassa deve apresentar após ser reduzidos os esforços sobre ela.

De acordo com Alves (2010), a retenção de água está associada a perda de água por amassamento, absorção de água da base ou evaporação. Quanto menor for a perda de água para o ambiente, maior será a resistência final. Conforme Baía e Sabbatini (2010), a retenção de água proporciona uma hidratação adequada ao cimento, devido as reações químicas que ocorrem de maneira mais coesiva, melhorando a trabalhabilidade e levando uma resistência maior.

Para Alves (2010), o teor de ar incorporado é estudado conforme a quantidade de ar presente em um determinado volume. Segundo Junior (2005), o princípio mais comum e utilizado para a determinação do ar incorporado na argamassa é através da introdução de água até uma altura, sobre a massa de um volume conhecido.

2.1.3 Estado endurecido da argamassa

De acordo com Pczieczek (2017), para que uma argamassa no estado endurecido desempenhe um bom papel durante toda a sua vida útil, é importante verificar se ela atende os seguintes fatores: retração, resistência à aderência, resistência à compressão axial e diametral, módulo de elasticidade e durabilidade ao ataque de sulfatos.

Segundo Petrucci (1998), a argamassa ou a pasta de cimento quando seca e endurecida sofre o processo de aumento ou diminuição de volume, variando conforme a porcentagem de água e cal adicionada a mistura, processo chamado de retração. Conforme Santos (2008), a retração acontece por causa da perda de água no processo de amassamento ou até mesmo para o ambiente, sendo a principal causa de possíveis fissuras futuras. O autor destaca ainda, que argamassas com concentração elevadas de cimento podem desempenhar fissuras durante o estado fresco e endurecido.

De acordo com a NBR 13528 (ABNT, 2010), a resistência de aderência de uma argamassa à tração tem como característica resistir as forças normais e tangenciais que ocorrem entre a interface com o substrato. A aderência não é uma característica da argamassa e sim, a interação de uma superfície a outra. Conforme Carvalho Junior (2005), a aderência está totalmente direcionada aos fatores do estado fresco: consistência, trabalhabilidade, plasticidade, retenção de água, massa específica, teor de ar incorporado, e também retração.

Conforme Carasek (2010), a resistência mecânica das argamassas:

Diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos de diversas origens, que são as tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento (CARASEK, 2001).

Segundo Petrucci (1998), as argamassas possuem baixos valores de resistência, considerado valores médio de resistência para 28 dias de 10 kgf/cm². O autor também salienta que para a argamassa atingir valores de resistência adequados, ela não deve secar de maneira rápida, pois as reações químicas necessitam de água.

De acordo com Cincotto et al. (1995), o módulo de elasticidade tem como função principal deformar a argamassa e a mesma retornar às suas características iniciais. Segundo Silva e Campiteli (2008), o surgimento de fissuras pode ocorrer por diversos fatores, entre os quais, o transcorrer da elasticidade e resistências a tração inadequadas, através de tensões de tração decorrente da retração de secagem, retração térmica entre outros fatores. Nas argamassas pobres em cimento, pode

aparecer microfissuras entre os grãos dos agregados e a pasta de aglomerantes. Já nas argamassas ricas, as tensões se acumulam causando fissuras.

Conforme Almeida (2012), o módulo de elasticidade está associado a rigidez do material, o qual também é coligado com outras características como: resistência mecânica, tensão de escoamento, tensão de ruptura, temperatura e fissuras. Essa relação pode-se dizer que está ligada a capacidade de absorver tensões, que são aplicadas na argamassa, e suportar sem danificar a sua estrutura.

De acordo com Metha e Monteiro (2014), quando uma superfície fissura ela aumenta a permeabilidade, sendo que a mesma abre caminhos para entrada de agentes agressivos, causando a deterioração e diminuição da resistência, podendo ainda levar a outros fatores como a perda de massa decorrente da perda coesão, e perda de adesão.

2.2 Resíduos de borracha provenientes de pneu

Conforme Pinheiro (2001) relata em sua dissertação:

A borracha é uma substância composta de molécula básica chamada monômero, sendo ele composto por elementos como metano (CH_4), etano (C_2H_6) e etileno ($\text{CH}_2:\text{CH}_2$). A geração de grandes moléculas a partir de estruturas menores (os monômeros) é chamada de polimerização, e forma um polímero. Assim, por exemplo, a partir do etileno é possível obter o polímero polietileno, que será uma cadeia de CH_2 unida pelos átomos de carbono (PINHEIRO, 2001).

Segundo Santin et al. (2007), os pneus são produzidos pelo meio da união da borracha natural e de elastômeros, também denominados de borracha sintética. Produzido pela combustão incompleta de derivados do petróleo, atribui a borracha propriedades de resistência mecânica e durabilidade. Conforme Pedro (2011), com o passar dos anos foi descoberto o processo de vulcanização, a partir disso se deu o ápice da indústria. Com a descoberta foi possível fazer ligações diferentes, trazendo para a população um produto forte, resistente e com boas características elásticas. No Quadro 1 pode ser observado os componentes adicionados na borracha, bem como suas porcentagens de utilização e finalidades.

Quadro 1 - Composição da borracha nos pneus, porcentagem e adições

Componente	Porcentagem (%)	Composição / Finalidade
SBR	62,1	$(-CH_2 - CH = CH - CH_2 - ran - CH_2 - CH(Ph) -)_n$
negro de fumo	31	fortificar a borracha, aumentar a resistência à abrasão, dissipar calor
óleo modificado	1,9	mistura de hidrocarbonetos aromáticos/amolecer a borracha, dar trabalhabilidade
óxido de zinco	1,9	controlar processo de vulcanização, aumentar propriedades físicas da borracha
ácido esteárico	1,2	controlar processo de vulcanização, aumentar propriedades físicas da borracha
enxofre	1,1	fazer o crosslink entre as cadeias poliméricas, prevenir excessivas deformações a altas temperaturas
aceleradores	0,7	composto organo-enxofre/catalisar a vulcanização

Fonte: Adaptado de Segre (1999).

Conforme relata Pedro et al. (2012), devido ao processo de vulcanização ao qual a borracha é submetida, torna-se difícil retornar as características iniciais dos pneus, tornando-os inviáveis e exigindo um processo muito complexo para sua reciclagem, sendo essa a principal causa de muitos dos pneus serem descartados a céu aberto, tornando-se um risco para a população e ao meio ambiente.

Segundo a revista Química Nova (2009), a reutilização de pneus inservível pelos processos atuais de fabricação é impraticável economicamente, em virtude das ligações cruzadas pelo processo de vulcanização. Apesar de existirem processos de desvulcanização, eles não são totalmente eficientes. Alguns setores industriais utilizam os pneus como forma de combustíveis, como é o caso das cimenteiras.

De acordo com Oliveira e Menegotto (2014), uma das formas abordadas para a diminuição da disposição de pneus ao céu aberto é a recauchutagem, onde é feito a substituição da banda de rodagem e o ombro, no entanto, mesmo aumentando a vida útil dos pneus, esse processo gera sobras. Para Pedro et al. (2012), os resíduos que são gerados através desse processo ou até mesmo da trituração de pneus estão sendo estudados no campo da construção civil, pois com o seu uso como adição em determinados materiais pode-se obter matérias mais deformáveis devido às propriedades da borracha.

Segundo Ferreira (2009), a condutividade térmica é uma propriedade física muito importante nos materiais, sendo que o ar, assim como a borracha, são péssimos condutores de calor. Ela é um material de baixo índice de condutividade térmica, sendo assim, um excelente isolante elétrico e térmico. No Quadro 2 podem ser verificadas as propriedades dos materiais metálicos e não metálicos, como uma analogia do comportamento térmico.

Quadro 2 – Propriedades térmicas dos materiais

MATERIAL	Densidade kg/m ³	Calor específico Kcal/kg °C	Condutibilidade térmica kcal/h m °C	Difusividade térmica m ² /h
Borracha (20 °C)	920~1230	0,34	0,12~0,14	~0,00038
Madeira - Carvalho(20 °C)	610~800	0,57	0,15~0,18	~0,0004
Granito (20 °C)	2600~2900	0,2	3,3	0,006
Gelo (0 °C)	913	0,46	1,9	0,0045
Alumínio (20 °C)	2710	0,214	175	0,341
Cobre (20 °C)	8960	0,091	332	0,404
Ferro (20 °C)	7870	0,108	62,5	0,073
Aço 1,5% C (20 °C)	7750	0,116	31,2	0,035
Ouro (20 °C)	19290	0,031	267	0,448
Prata (20 °C)	10520	0,056	360	0,614

Fonte: Adaptado de Ferreira (2009).

De acordo com Santos (2005), os resíduos provenientes do processo de recauchutagem dos pneus estão sendo avaliados em centro de pesquisas, os quais são adicionados ao concreto e argamassas como fibras ou pó, desta forma apontados de CAB – concreto com adição de borracha.

2.2.1 Propriedades de misturas cimentícias com pneus de borracha

Conforme Pessette et al. (2012), com o passar dos anos busca-se por tecnologias sofisticadas e que atendam a revolução que a construção está sofrendo. O uso de pneus é um dos passos na caça por leveza, qualidades de melhores argamassa, resistência, e melhoramento térmico. Segundo Junior (2014), o resíduo de pneus pode ser substituído em forma parcial ou total do agregado graúdo ou miúdo em argamassas, ou também na forma de adição composta.

De acordo com Metha e Monteiro (2014) a adição em forma de fibras podem melhorar a resistência de impacto, resistência de fissuração, resistência à fadiga e resistência de tenacidade. Conforme os autores, a baixa quantidade de fibras proporciona uma melhora do controle de fissuração, já uma quantidade maior proporciona melhorias consideráveis na resistência de flexão, fraturas e resistência ao impacto.

Segundo Albuquerque (2009), a adição do compósito de borracha pode alterar significativamente a matriz do cimento no processo de moldagem do material. Conforme o autor, a principal veemência no estado fresco é a trabalhabilidade, teor de ar incorporado e massa específica.

Khatib e Bayani *apud* Meneguini (2003) verificaram que, após adicionada uma grande quantidade de borracha, quanto maior a adição de borracha, a trabalhabilidade da argamassa diminuía e por consequência, aumentava o número de vazios na pasta.

Conforme Tupçu et al. (2009), o aumento da quantidade de borracha no traço influencia na porosidade da mistura, quanto maior for a proporção do material no traço, maior será o resultado da retração. Cintra (2013) adicionou em seu trabalho agregados leves e incluiu a borracha reciclada de pneus, no qual obteve redução da retração, melhoria na resistência à compressão uniaxial e diametral e aumento de aderência das argamassas, sem apresentar alterações na condutividade térmica.

Conforme Meneguini (2003), para o ensaio de compressão axial já é esperado que a argamassa sem adição seja mais resistente que a argamassa com adição de borracha. Porém, isso não significa que o material não possa ser empregado, mas que pode ser utilizado para outros fins que não exigem que a resistência mecânica seja determinante. Conforme pode ser visto na Tabela 1, foram estudados 6 traços pelo autor, cada traço possui um sub-traço, sendo um com à adição de borracha e outro sem adição, mostrando a comparação dos resultados de compressão axial, para as idades 3, 7 e 28 dias.

Tabela 1 – Resultados de compressão axial

Resistência à compressão axial (MPa)			
Traços	Idades		
	3 dias	7 dias	28 dias
1:3 - s/ adição	22,0	26,2	27,5
1:3 - sc/ adição	13,9	14,7	19,1
1:5 - s/ adição	9,3	12	15,5
1:5 - c/ adição	7,6	9,0	15,4
1:7 - s/ adição	5,2	5,9	7,9
1:7 - c/ adição	4,4	5,9	7,9

Fonte: adaptado segundo Meneguini (2003).

Eldin e Senouci (1993) *apud* Meneguini (2003), ao substituírem agregados graúdos por borracha de pneus no concreto, constataram uma diminuição na resistência à compressão de 85% comparado ao concreto tradicional. Os autores notaram ainda uma diminuição de 25% do peso do concreto em relação ao comum, e quando foi substituído agregados de menor granulometria por borracha de pneus com granulometria similar, ocorreu uma menor perda de resistência à compressão quando comparado com a substituição dos agregados graúdos. Os autores argumentam que quando for aplicado em argamassas a perda será bem menor que se comparado ao concreto.

Ferreira (2009) relata que o aumento da quantidade de borracha no traço diminui significativamente a resistência à compressão, sendo assim, resistindo menos em comparação aos traços sem a adição. A borracha sofreu diminuição de resistência ao longo do teste em laboratório, o qual comprovou para o autor que o material sofre deformações. “A argamassa tendo menor módulo de elasticidade, permite maior deformação sob carga, dando à argamassa maior mobilidade, sendo um material ideal para absorver impactos” (MENEGUINI, 2003). Conforme a Tabela 2, apresentada por Meneguini (2003), é possível observar que existe uma pequena diferença entre a argamassa com adição e sem adição de borracha, sendo que a argamassa com menor resultado de módulo permite maior deformação sob cargas.

Tabela 2 – Resultados do módulo de elasticidade

Traços	Idades		
	3 dias	7 dias	28 dias
1:3 - s/ adição	21,63	27,54	26,21
1:3 - sc/ adição	13,37	22,25	27,78
1:5 - s/ adição	10,87	19,16	20,10
1:5 - c/ adição	8,37	15,18	17,53
1:7 - s/ adição	5,97	10,12	5,92
1:7 - c/ adição	3,45	12,10	8,57

Fonte: adaptado segundo Meneguini (2003).

Lee et al. (1993), ao fazerem ensaios com a adição de borracha de granulometria de 10 *mesh* em teores em massa de 0%, 2%, 4% e 6%, observaram que conforme o aumento da quantidade de borracha no traço, a resistência à compressão diminuía. Meneguini (2003), utilizou em sua pesquisa as proporções para adição de 0%, 5% e 15% e granulometria de 20 e 40 *mesh*, e observou que a resistência a tração diminuía, independente do traço, em comparação com o sem adição de borracha. Quando ocorre o gelo-desgelo também acontece a diminuição de resistência a flexão segundo o autor. Segundo Yilmaz e Degrimenci *apud* Junior (2014), “a adição contínua de borracha fragmentada com dimensões entre 4,75mm e 0,425mm, em até 40% em volume do agregado miúdo parece manter trabalhabilidade adequada comparada com a referência sem a borracha”.

Na Tabela 3, verifica-se que a adição de partículas de borracha proporciona uma melhor absorção de esforços na resistência à flexão, resistindo o compósito por mais tempo até romper por completo. Observa-se que a adição de 10% de resíduo proporcionou um acréscimo de 56%, e com a adição de 20% de borracha um aumento de 23%, comprovando uma melhoria na resistência a fratura total, aperfeiçoando assim o compósito (FERREIRA, 2009).

Tabela 3 – Resultados de flexão aos 28 dias

Porcentagem de borracha (%)	Força Ruptura (KN)	Tensão Ruptura (Mpa)
0	1,30	1,625
10	2,03	2,542
20	1,60	2,000
30	1,27	1,583

Fonte: Adaptado conforme Ferreira (2009).

Conforme Junior *apud* Tupçú e Avcular (1997), “a incorporação de borracha como agregado aumenta a capacidade de absorção de impactos”. Os autores concluíram que a adição da borracha diminui a resistência da pasta de cimento, mas pode ser minimizada por um tratamento apropriado da superfície da borracha.

Albuquerque et al. (2002), em seu trabalho de pesquisa concluiu que partículas de borrachas com tamanhos maiores que 4mm atuam de forma negativa, sendo um dos problemas maiores a aderência entre matriz e agregado, sendo a mesma amenizada com o tratamento da borracha. De acordo com Guoqiang et al. (2004) estudos realizados recentemente, com o objetivo de melhorar a interação matriz-agregado na pasta de cimento, foram realizados um pré-tratamento nas partículas da borracha com tratamentos aparentes (item 2.2.3), obtendo resultados promissores nas propriedades mecânicas.

No trabalho realizado por Segre (1999), foi definido dois traços: um traço com a adição de borracha sem tratamento e outro traço com adição de borracha com tratamento. Segundo o autor, os resultados com o tratamento com uma solução de hidróxido de sódio resultaram em valores satisfatórios de propriedades mecânicas e de aderência, além da diminuição da porosidade e da densidade, comprovando a influência do tratamento no desempenho do material.

Ferreira (2009), percebeu que ao substituir o agregado miúdo natural nas proporções de 10%, 20% e 30% por borracha, o peso da argamassa reduziu em 1,83%, 4,96% e 5,11% em relação ao traço sem adição. O autor também avaliou a absorção de água, a qual resultou em aumento da absorção de água por capilaridade em relação à amostra, mas a quantidade de água que era absorvida reduzia à medida que se aumenta a proporção da borracha no traço.

Meneguini (2003), relata em seu trabalho, que a adição de borracha de pneus usados com o tratamento de NaOH pode ser utilizada na substituição da areia no traço, tendo como principal finalidade melhorar trabalhabilidade da massa de cimento e até mesmo, em outros momentos pode ser utilizada em diferentes trabalhos da construção civil.

Conforme Ferreira (2009), a substituição de um agregado por outro mais leviano, como a borracha, torna a argamassa mais leve, apresentando uma massa

unitária menor e o teor de ar incorporado maior, sendo assim, quanto maior a adição de borracha, melhor o isolamento térmico.

2.2.2 Propriedades térmicas

Segundo Pessette et al. (2012), a utilização de borracha no traço melhora significativamente o isolamento térmico. Em estudo feitos pelo autor com concretos e argamassas, foi possível visualizar que em um traço para 10% de substituição do agregado graúdo no concreto e 20% na substituição do agregado miúdo na argamassa, foram obtidos índices de redução de 20% para o concreto e de 60% para a argamassa, sendo considerado valores muito significativos, evidenciando assim que é possível utilizar argamassas em função do isolamento térmico em prol do conforto visando atender os critérios da NBR 15575, norma de desempenho.

Segundo Ferreira (2009), quando a borracha é adicionada à uma mistura, abre-se um número de vazios na argamassa, pois a borracha atrai o ar, e os dois juntos proporcionam a estanqueidade na transmitância térmica de um ambiente ao outro, contribuindo para o isolamento. Callister (2006) em sua tese complementa:

A propriedade da condutividade térmica definida como fenômeno no qual o calor é transmitido das regiões de temperatura maiores para regiões de temperatura inferiores em uma substância. Capacidade calorífica como a propriedade que indica a capacidade de um material em absorver calor da vizinhança externa, ou seja, a quantidade de energia necessária para produzir um aumento unitário na temperatura. E a propriedade da difusividade térmica definida como velocidade de propagação do calor no material (CALLISTER, 2006).

Meneguini (2003) em seu trabalho descreve que através de ensaios realizados, os resultados apresentados com a substituição por borracha apresentaram valores significativos, atendendo a normas C 208 -95 da ASTM (*Standart Specification for cellulosic fiber Insulating Board*), e que sim, podem ser utilizados como isolantes térmicos. O autor ainda complementa, que os valores atingidos são abaixo da norma citados acima.

2.2.3 Tratamento dos resíduos de borracha

Conforme citado por Meneguini (2003), a proposta do autor e de outros autores é trazer uma argamassa com a substituição de agregados miúdos naturais pela borracha, com o intuito de alçar valores significativos, iguais ou maiores que a argamassa tradicional. O autor procurou fazer os tratamentos simples, de forma superficial e que atendessem o resultado esperado.

Fioriti et al. (2012), em seu trabalho procurou melhorar a aderência entre as partículas de borracha e a matriz do cimento, sendo como uma possível solução a utilização de hidróxido de sódio (NaOH). O tratamento foi realizado da seguinte maneira:

Inicialmente a borracha foi submetida a uma lavagem em uma solução saturada (composição 1:1 em massa) de NaOH e água a 20°C, ficando o material imerso por aproximadamente 30 minutos, sendo agitado periodicamente, e depois lavado com água corrente para retirada do NaOH. A água com NaOH foi neutralizada para posterior descarte (FIORITI et al., 2012, pg 2).

Lee et al. (1998) tratou a borracha com uso de ácido carboxílicos a fim de melhorar as propriedades e características de ligação com o agregado. O autor visualizou em sua pesquisa uma melhora de 17% na resistência à compressão e 48,5 % na resistência à flexão. Já Albuquerque et al. (2001), empregou em seu trabalho a adição de um aditivo polimérico de base acrílica e estireno – butadieno, resultando em uma diminuição da queda da resistência de compressão de 20%.

Junior (2014), concluiu em seu trabalho que o tratamento da borracha com solução de hidróxido de sódio é considerado o mais utilizado pelos pesquisadores, visto que o resultado esperado é o mais satisfatório principalmente na aderência entre a borracha-agregado. Meneguini (2013) complementa, o tratamento melhora significativamente as argamassas, seja na aderência da adesão entre a argamassa e a borracha como também, um aumento considerável na trabalhabilidade, sendo que em alguns casos, substituindo o uso de aditivos. Meneguini (2013), ainda ressalta que o tratamento com hidróxido de sódio melhora a aderência ao desgaste à abrasão.

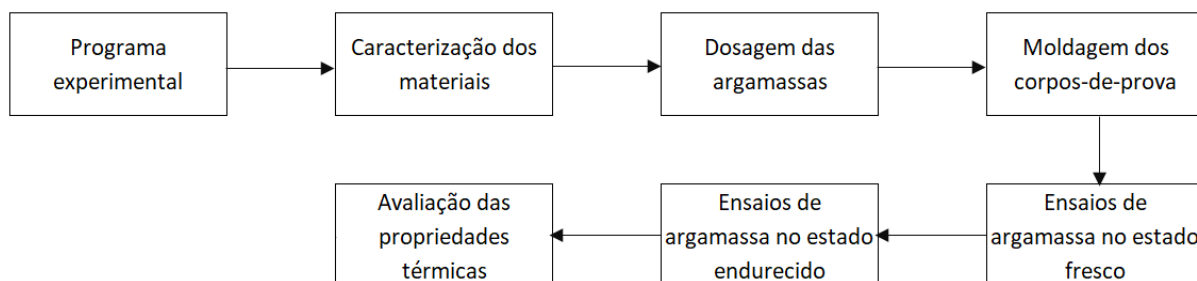
Segre (1999), utilizou em seu trabalho a adição de 10% de borracha em uma solução sem tratamento e outra com tratamento de NaOH. O autor percebeu que na

elaboração da argamassa com borracha sem tratamento ocorreu descontinuidade na aderência entre a matriz e a borracha, já o traço com o resíduo tratado era possível perceber uma uniformidade, apresentado uma melhor aderência entre a matriz e o agregado. Conforme o autor, ao fazer o ensaio com micrografias, depois que ocorreu a fratura, foi possível perceber que parte da borracha permaneceu na matriz do cimento, com aspecto liso, comprovando assim, a eficiência de utilizar o tratamento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesse capítulo serão expostos os materiais que serão utilizados para o desenvolvimento dessa pesquisa, bem como os ensaios empregados para sua caracterização e os métodos que foram aplicados para avaliar as argamassas produzidas. A metodologia empregada pode ser analisada de maneira sucinta no fluxograma expresso na Figura 1. Cada uma das etapas presentes no fluxograma será detalhada ao longo do capítulo.

Figura 1 – Fluxograma das etapas a serem desenvolvidas na metodologia



Fonte: autora (2018).

3.1 Materiais utilizados

Nessa seção está descrito os materiais que foram empregados para a realização desse estudo. Os materiais foram caracterizados de acordo com as suas respectivas normatizações estabelecidas pela ABNT, utilizando os equipamentos disponíveis no Laboratório de Tecnologias da Construção (LATEC) da UNIVATES.

3.1.1 Cimento

Foi empregado na execução das argamassas o cimento Portland CP IV 32 – RS, devido a sua grande disponibilidade no mercado local e ampla utilização no estado.

A massa específica do cimento foi determinada de acordo com a NBR 16605 (ABNT, 2017), através do frasco de *Le Chatellier* (Figura 2). O ensaio deve ser realizado duas vezes, pelo mesmo operador e o mesmo equipamento, tendo diferença máxima de 0,02 g/cm³ entre eles. O resultado do teste é obtido pela equação 1.

$$\gamma = \frac{m}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

Onde:

m: massa do material ensaiado (g);

V: volume deslocado pela massa do material ensaiado (V'₁-V'₂) (cm³);

V'₁ e V'₂: valores corrigidos de V₁ e V₂, respectivamente, a partir da calibração da escala do frasco volumétrico (cm³).

Figura 2 – Massa específica do Cimento



Fonte: autora (2019).

Foi realizada a caracterização do cimento CP IV 32 segundo a norma, que resultou em uma massa específica de $2,806 \text{ g/cm}^3$.

3.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado foi areia média (Figura 3), seca em estufa, proveniente da extração pluvial regional e fornecida pelo Laboratório da Univates (LATEC). A composição granulométrica e o módulo de finura do material serão determinados conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003), enquanto que a massa específica e massa unitária foram determinadas de acordo com a NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 45 (ABNT, 2006), respectivamente.

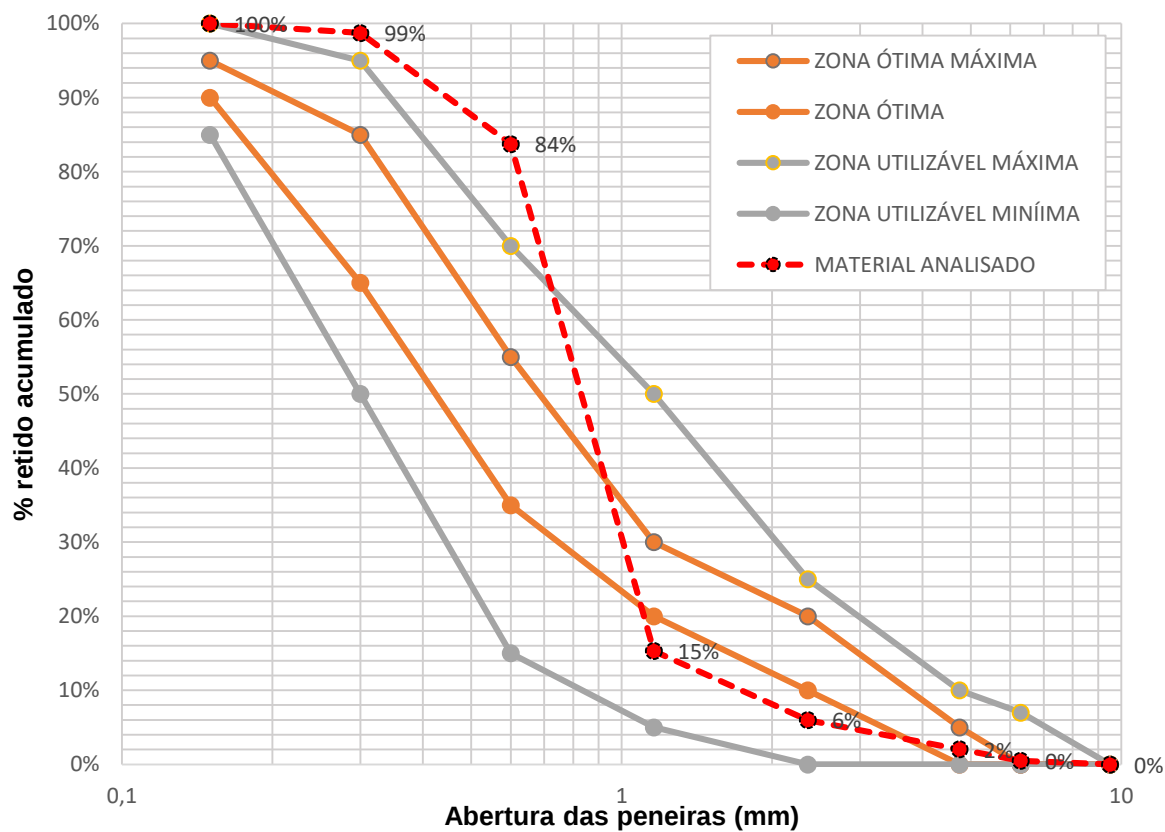
Figura 3 – Areia Média



Fonte: autora (2019).

Neste estudo a granulometria máxima passante da areia foi de 4,76mm, sendo representado no Gráfico 1, a areia resultou em um módulo de finura de 2,05mm. A massa específica da areia resultou em 2,63 g/cm³, enquanto que a massa unitária obtida foi de 1,533 g/cm³.

Gráfico 1 - Granulometria da Areia



Fonte: autora (2019).

3.1.3 Água

Para realização do estudo foi utilizada a água disponibilizada na rede de abastecimento do LATEC – UNIVATES.

3.1.4 Resíduos de pneu

O resíduo de pneu (Figura 4) empregado nessa pesquisa foi fornecido pela empresa Léo Recapagens, localizada no município de Arroio de Meio – RS. O material é oriundo da banda de rodagem, gerado durante o processo de recapagem dos pneus, e é composto tanto pelo pó do resíduo quanto por fragmentos mais alongados em formato fibroso de maiores dimensões.

Figura 4 – Fragmentos de borracha



Fonte: autora (2019).

3.1.4.1 Caracterização dos resíduos

Não existem normas específicas para a caracterização desse tipo de material, logo as características básicas dos resíduos foram determinadas a partir das normas vigentes empregadas para o agregado miúdo (KURZ, 2013). Portanto, a análise granulométrica e o módulo de finura seguiram os procedimentos estabelecidos pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) (Figura 5), enquanto que a massa específica e massa unitária (Figuras 6 e 7) foram definidas conforme as determinações da NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 45 (ABNT, 2006), respectivamente, visto que, para definir a massa específica se utilizou querosene ao invés de água. Em virtude da baixa

capacidade de absorção de água do material, não há necessidade de realizar o ensaio de determinação de absorção.

Figura 5 – Ensaio de peneiramento



Fonte: autora (2019).

Figura 6 – Massa específica da borracha



Fonte: autora (2019).

Figura 7 – Ensaio de massa unitária



Fonte: autora (2019).

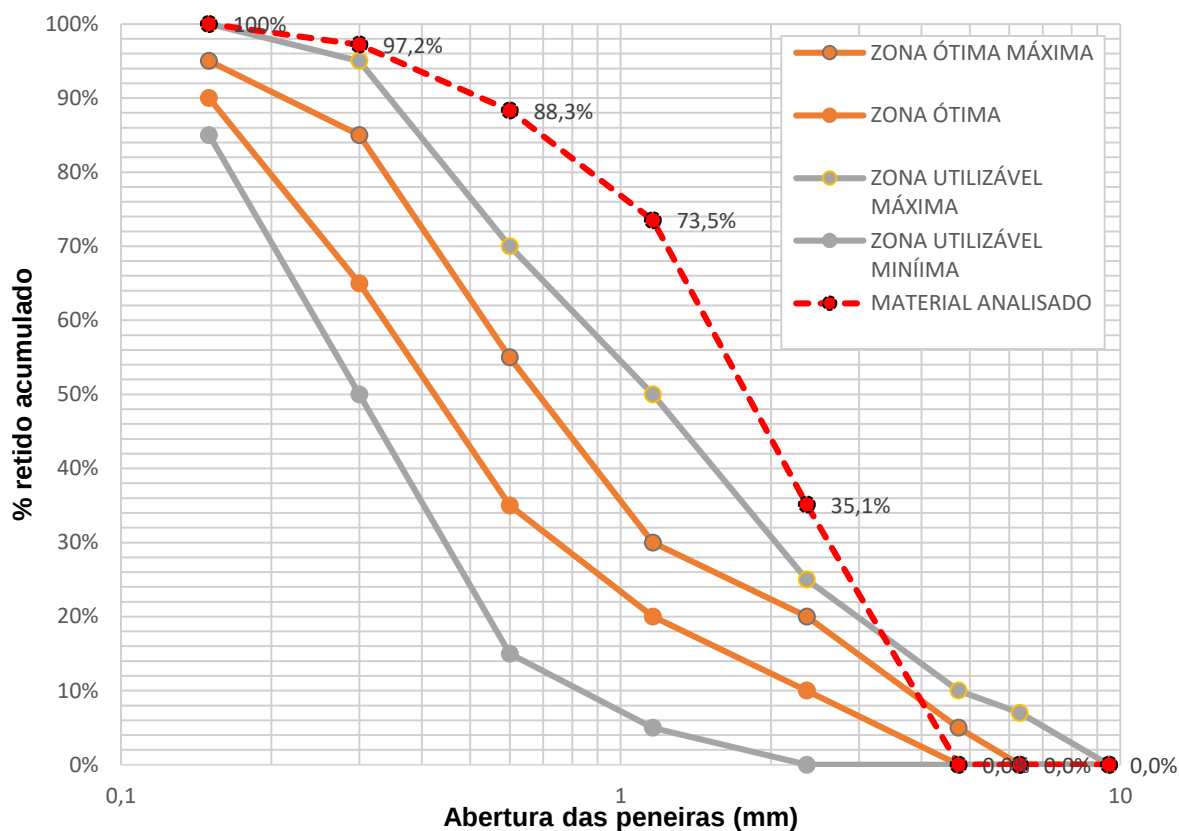
A massa específica da borracha resultou em $1,08 \text{ g/cm}^3$, enquanto que a massa unitária obtida foi de $0,349 \text{ g/cm}^3$.

Os resultados obtidos para os agregados são condizentes com a literatura e se aproximam com os encontrados pela autora Pcziecek (2017) e Meneguini (2005), principalmente na obtenção dos resultados para borracha, que é o agregado principal no traço.

Através do ensaio de granulometria NBR 7211 (ABNT, 2009), foi determinado a granulometria da borracha, obtendo assim uma curva granulométrica determinada pelo ensaio de peneiramento.

O peneiramento se dá pela pesagem de material que passa por cada peneira através da abertura inicial desejada. Neste estudo a granulometria máxima passante da borracha foi de $2,36 \text{ mm}$, sendo representado no Gráfico 2 com o valor de 100% de material por estar peneira.

Gráfico 2 – Curva granulométrica do resíduo de borracha



Fonte: autora (2019).

No ensaio de granulometria da borracha foi notado uma composição granulométrica bem irregular. Segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), é definido como agregado fino quando sua granulometria é menor que 2,40 mm, enquanto os agregados médios são aqueles com granulometria entre 2,40 a 3,30 mm.

3.1.4.2 Tratamento dos resíduos

Os resíduos de borracha passaram por um processo de tratamento antes de serem utilizados na argamassa, com o intuito de aumentar a hidrofiliabilidade do material e remover as impurezas orgânicas existentes em virtude da sua origem (pneus inservíveis). O produto químico empregado nesse processo foi o hidróxido de sódio comercial, em virtude dos melhores resultados conforme as referências pesquisadas.

A borracha foi submetida a um tratamento em solução aquosa saturada de hidróxido de sódio comercial (Figura 8), sendo utilizado na proporção 1 Kg de NaOH

para 20L de água, devendo ficar submersa na solução por um período de 1 hora, sendo agitada eventualmente. Meneguini (2005) utilizou em seu estudo uma relação mais consistente, de 110g de NaOH para 100g de água. Posteriormente, o resíduo foi lavado em água corrente para remoção total do produto químico.

A fim de garantir que o NaOH tenha sido removido por completo dos resíduos de borracha, foi feita a medição do pH da água antes da adição do produto e após a lavagem do material. Os resíduos foram lavados até ser atingido o pH inicial da água. Ao final do processo o material foi seco a temperatura ambiente no laboratório da Univates.

Figura 8 - Tratamento da borracha



Fonte: autora (2019).

3.1.5 Blocos cerâmicos

O substrato dos protótipos foi construído com tijolos cerâmicos maciços de dimensões 19 cm x 9 cm x 5 cm. Foi empregado esse tipo de elemento em virtude da melhor aderência à argamassa, além de ser uma das variedades mais empregadas na construção civil.

3.1.5.1 Absorção de água do bloco cerâmico

A absorção de água do bloco cerâmico maciço seguiu os procedimentos normatizados pelo Anexo B da NBR 15270 – 2 (ABNT, 2017).

Para iniciar o ensaio, as amostras foram limpas (remoção de pó e partículas soltas) e secas em estufa a temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até ser obtida massa constante. Cada amostra foi pesada, caracterizando assim sua massa seca (m_s).

Posteriormente, os corpos-de-prova foram totalmente submersos em um recipiente com água à temperatura ambiente, de modo que esse recipiente foi aquecido gradativamente até a água atingir seu ponto de ebulição. As amostras permaneceram por um período de 2 horas em água fervente, sendo repostas, sempre que necessário, a quantidade de água evaporada.

Em seguida, os corpos-de-prova passaram a ser resfriados a temperatura ambiente (sempre submersos em água). Após resfriadas, as amostras foram retiradas da água, secas com um pano úmido e pesadas, caracterizando assim a massa úmida do material (m_u).

Na Tabela 4 pode ser visualizado os valores de absorção de água para cada amostra, sendo o valor médio resultante de 22,39 % para os blocos.

Tabela 4 - Absorção de água no bloco

CP's	Seca (g)	Saturado (g)	Absorção (%)
REF 01	2384,60	2878,80	20,72
REF 02	2325,10	2921,10	25,63
REF 03	2316,30	2837,00	22,48
REF 04	2335,50	2856,40	22,30
		Média	22,39

Fonte: autora (2019).

3.1.5.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão dos blocos cerâmicos maciços foi determinada de acordo com o preconizado na NBR 15270 – 2 (ABNT, 2017), sendo empregados pelo menos 2 corpos-de-prova para o ensaio.

Na Tabela 5, pode ser observado os valores encontrados para cada amostra analisada, sendo que foi utilizado 3 amostras, uma a mais que a norma solicita. Resultado em um valor médio de 17,58 MPa.

Tabela 5 – Resistência a compressão (MPa)

CP1	17,11
CP2	16,81
CP3	18,82
Média	17,58

Fonte: autora (2019).

3.2 Determinação da dosagem e produção das argamassas

A dosagem utilizada na pesquisa em questão foi determinada em laboratório, constituído por cimento e agregado miúdo natural. Para a definição do traço referência desse estudo, foram reproduzidos em laboratório os traços empregados nas pesquisas de Ferreira (2009) e Meneguini (2003), sendo eles 1:3, 1:5 e 1:7, com proporções em massa. Posteriormente, foram realizados os ensaios tanto no estado fresco quanto endurecido, a fim de analisar qual deles teria melhor desempenho em relação a adesão entre a argamassa e o substrato, a trabalhabilidade, a resistência à compressão, e a resistência de aderência à tração. Nesta primeira parte do estudo foram confeccionados 3 corpos-de-prova prismáticos medindo 4 cm x 4 cm x 16 cm para cada traço, onde a ruptura ocorreu aos 28 dias de idade.

3.3 Programa experimental

O programa experimental consiste no emprego de um traço referência determinado em laboratório, constituído por cimento e agregado miúdo natural. Conforme descrito no item 3.2, a definição do traço de referência foi a partir da dosagem de três traços, 1:3, 1:5 e 1:7 (cimento:areia), em proporção de massa, sendo utilizado aquele que apresentou melhores resultados para: índice de consistência, retenção de água, ensaio de tração na flexão e compressão e aderência à tração.

Após a definição do traço de referência, foram executados os traços contendo resíduos de borracha em sua composição. Para a confecção desses traços, o agregado miúdo natural foi substituído, em massa, por resíduos de borracha nas proporções de 5%, 10% e 15%, com o intuito de analisar a influência desse tipo de material no comportamento físico, mecânico e térmico das argamassas. Os resíduos

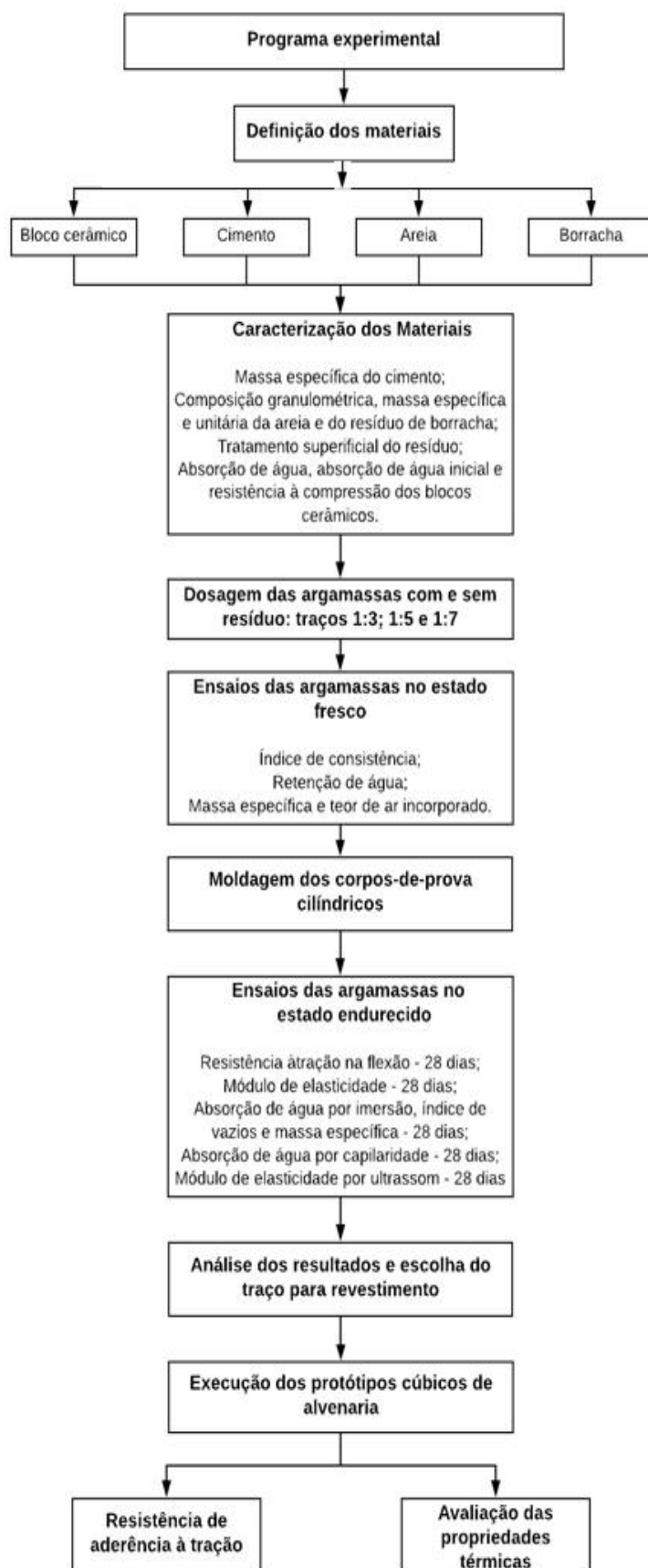
de pneus passaram por um tratamento de lavagem em solução saturada de hidróxido de sódio comercial, conforme descrito no item 3.1.4.2.

Para avaliar as propriedades físicas e mecânicas das argamassas, bem como sua resistência de aderência, foram realizados ensaios laboratoriais tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Além disso, também foi avaliado o conforto térmico através da construção de protótipos de mini casas com tijolos cerâmicos revestidas com as argamassas que serão analisadas. As dimensões dos protótipos podem ser vistas no item 3.6.

As características das argamassas no estado endurecido foram avaliadas aos 28 dias de idade, sendo definida como a idade padrão. Já a verificação do desempenho térmico foi realizada através da medição de temperatura durante um mês, sendo os dados coletados a cada hora, dentro de um período de 24 horas diárias, conforme descrito no item 3.10.

A fim de compreender melhor o desenvolvimento do programa experimental desse estudo, foi elaborado um fluxograma detalhado, conforme pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma detalhado do programa experimental



Fonte: autora (2018).

3.3.1 Confeção das placas, aplicação do chapisco e execução das argamassas

A primeira etapa do programa experimental foi a confecção de 3 placas cerâmicas no tamanho de 40 x 50 cm, com blocos cerâmicos cuja a dimensão, (19 x 9 x 5 cm), é típica da construção convencional, utilizado em vedação.

As placas foram confeccionadas no laboratório da Univates, sendo que, para a produção das placas foi utilizada a argamassa polimérica para assentamento dos blocos, para acelerar o processo de produção dos protótipos. Após o assentamento, aguardou-se 72 horas para aplicação do chapisco.

O traço definido para aplicação do chapisco foi de 1:3, sendo um dos traços convencionais mais utilizados. Na Tabela 6, pode ser visto a quantidade unitária de cada material empregado na confecção do chapisco.

Tabela 6 – Quantidade utilizada de cada material para chapisco

Água	1,6735	l
Areia	5,4	Kg
Cimento CPV	2,485	Kg

Fonte: autora (2019).

Após aplicação do chapisco, aguardou-se pelo menos 72 horas para o assentamento de argamassa nas placas. Cada placa era composta por um dos traços conforme citado no item 3.3. Sendo utilizado para cada traço as seguintes proporções de material, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Traço para escolha do referência

Materiais	1:3	1:5	1:7
Água (L)	2,24	2,12	2,44
Areia (Kg)	10,99	12,13	12,89
Cimento CP IV (Kg)	5,11	3,41	4,6
A/C	0,43	0,62	0,53

Fonte: autora (2019).

Antes de fazer a aplicação da argamassa com a caixa de queda, certificou-se que a placa estivesse com a forma posicionada de modo a garantir espessura de argamassa de revestimento de pelo menos 1,5 cm. A aplicação da argamassa através da caixa de queda serve para manter a energia de aplicação sempre constante. Conforme a Figura 10, pode ser observado a placa posicionada de acordo com a espessura citada e após a argamassa aplicada.

Figura 10 - Espessura da argamassa e argamassa aplicada



Fonte: autora (2019).

3.3.2 Resultado dos ensaios no estado fresco

Conforme o propósito da pesquisa, realizou-se análise das argamassas de revestimentos no estado fresco, através do ensaio de determinação do índice de consistência e o ensaio de determinação da retenção de água. Logo após, aplicou-se a argamassa nos substratos.

A proposta dos ensaios no estado fresco é avaliar o comportamento das argamassas para definição do traço referência. Na Tabela 8 pode ser observado que o índice de consistência se alterou conforme a proporção do a/c (Tabela 7).

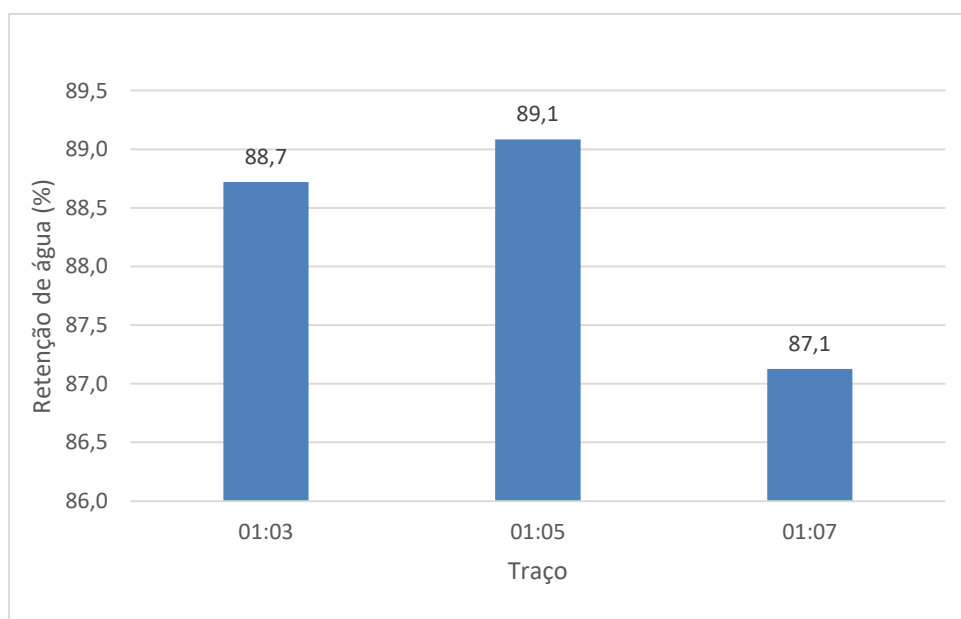
Tabela 8 – Índice de Consistência

Traços	Índice de consistência (mm)		Média (mm)
1:3	304	301	302,5
1:5	300	270	285
1:7	340	340	340

Fonte: autora (2019).

Através do Gráfico 3, pode ser analisado os resultados de retenção de água nos três traços estudados.

Gráfico 3 – Resultados de retenção de água



Fonte: autora (2019).

Segundo a NBR 13277 (ABNT,2005), os valores admitidos para o ensaio de retenção são de 80% a 90%, sendo determinados como “Normal”, e maior que 90%

sendo “Alto”. Observa-se que nos três traços estudados todos ficaram dentro do padrão estabelecido por norma.

3.3.3 Traço escolhido e ensaio no estado fresco

Para determinação deste estudo, conforme citado no item 3.3, os corpos-de-prova e as placas foram ensaiados aos 28 dias de idade. Como pode ser visto nas Tabelas 9 e 10, os três traços atingiram valores elevados por se tratar de uma argamassa de revestimento.

Tabela 9 – Resistência à compressão

AMOSTRA	TRAÇO		
	1:3,0	1:5,0	1:7,0
Amostra 1 (MPa)	27,01	12,45	5,51
Amostra 2 (MPa)	27,01	12,07	5,52
Amostra 3 (MPa)	29,39	10,86	5,93

Fonte: autora (2019).

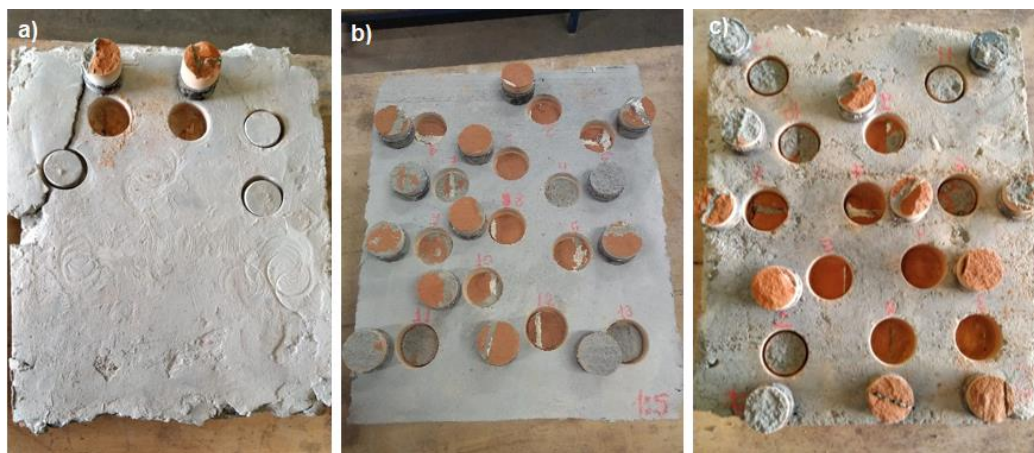
Tabela 10 – Resistência na flexão

AMOSTRA	TRAÇO		
	1:3,0	1:5,0	1:7,0
Amostra 1 (MPa)	4,77	2,78	2,18
Amostra 2 (MPa)	5,76	4,17	3,38
Amostra 3 (MPa)	5,96	3,57	3,38

Fonte: autora (2019).

Um dos ensaios mais importantes em argamassas é o de aderência à tração e sua capacidade de aderência ao substrato. Na Figura 11 pode ser observado as possíveis formas de ruptura em cada corpo-de-prova.

Figura 11 – Ensaio de arrancamento no estado endurecido – a) Traço 1:3 b) Traço 1:5 c) Traço 1:7

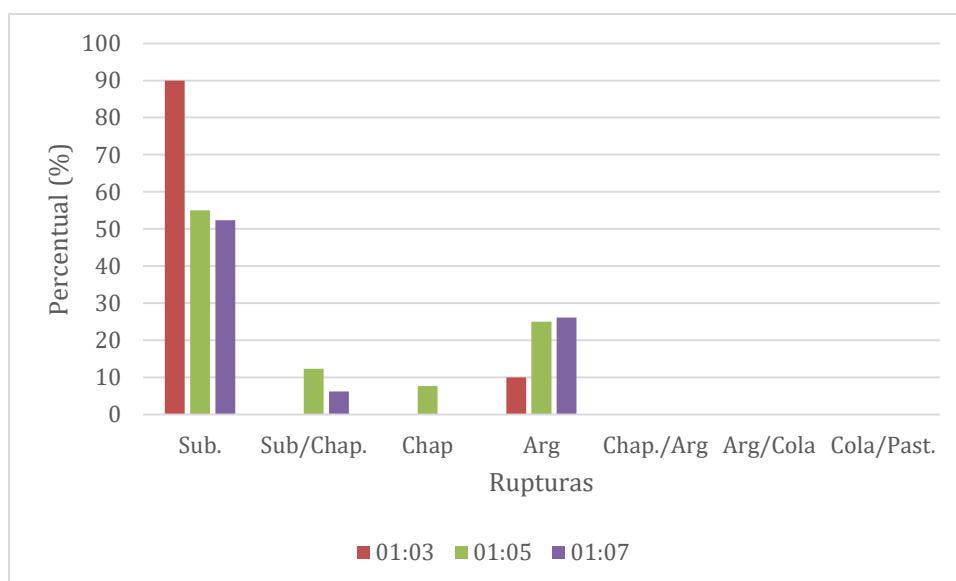


Fonte: autora (2019).

Na argamassa de traço 1:3 não foi possível realizar todos os 12 furos, conforme determina a norma, em função da elevada resistência mecânica da argamassa, sendo dessa maneira descartada do estudo.

No Gráfico 4 pode ser visualizado onde ocorreu o maior número de ruptura no substrato. Percebe-se que no traço 1:3, apesar de ser possível realizar apenas dois furos na placa, as rupturas ocorreram no substrato. Os traços 1:5 e 1:7, os valores para o resultado de arrancamento foram praticamente idênticos, onde o percentual de ruptura no substrato foi de 55% e 52% (1:5, 1:7), e para a ruptura na argamassa foi de 25% e 26% (1:5 e 1:7).

Gráfico 4 – Percentual de rupturas nas interfaces



Fonte: autora (2019).

Os traços 1:5 e 1:7 atingiram resultados satisfatórios, obtendo valores elevados nos ensaios de aderência, de tração na flexão e de compressão (Tabela 9 e 10). Entretanto, para fins de comparação, optou-se pelo traço 1:5, por ser empregado pelos autores Meneguini (2003) e Ferreira (2009), e assim permitir relações comparativas com os resultados futuros.

3.4 Produção das argamassas

A partir da dosagem de melhor eficiência, foram confeccionados os traços com adição de resíduos de borracha, sendo que o agregado miúdo natural foi substituído em 5%, 10% e 15%, em massa, pelo resíduo. As argamassas foram confeccionadas na argamassadeira da marca VibronMix, modelo MIX20 de eixo vertical fixo, com tamanho de 45 x 35 x 55 cm (comprimento x largura x altura), e peso aproximado de 40 Kg, com volume de 20 litros, disponível no LATEC, seguindo os procedimentos estabelecidos pela NBR 13276 (ABNT, 2016).

3.5 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Foram confeccionados 7 corpos-de-prova cilíndricos para cada traço, totalizando 28 corpos de provas, com diâmetro de 50 mm e 100 mm de altura, seguindo os procedimentos estabelecidos pela NBR 5738 (ABNT, 2016). Além disso, foram produzidos para cada traço 9 corpos-de-prova prismáticos, com dimensões de 4 cm de largura, 4 cm de espessura e 16 cm de comprimento, totalizando 36 amostras, sendo moldados de acordo com as normatizações da NBR 13279 (ABNT, 2005).

A cura dos corpos-de-prova foi realizada em câmara úmida, disponível no LATEC, à temperatura de $23^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade acima de 95%. A desmoldagem dos corpos-de-prova cilíndricos foi realizada 24h após as moldagens, enquanto que os prismáticos foram desenformados após 48h de sua confecção, conforme preconização da NBR 13279 (ABNT, 2005). Todos os corpos-de-prova retornaram à câmara após a desmoldagem e permaneceram até a data dos ensaios.

3.6 Protótipos de alvenaria

Foram confeccionados 4 protótipos em formato de cubos, medindo 38 cm x 35 cm cada, em alvenaria de tijolos cerâmicos maciços de dimensões 19 cm x 9 cm x 5 cm. Os protótipos foram produzidos no campus da Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, nas proximidades do LATEC, e ficaram expostos em ambiente externo, a fim de simular o comportamento real deles quando expostos as condições climáticas externas locais.

Foram confeccionadas, em laboratório, 5 placas de substrato cerâmico revestido com argamassa, de espessura de 1,5 cm, sendo utilizadas taliscas para atingir a espessura desejada, conforme executado por Kurz (2013). A argamassa foi sarrafeada e desempenada, a fim de se obter uma superfície lisa. O revestimento aplicado ficou de acordo com os traços definidos em laboratório, conforme especificado no item 3.4.

Os tijolos foram assentados e chapiscados com argamassa de traço 1:3. O chapisco foi executado 72 horas após o assentamento da alvenaria e 72 horas após aplicação do chapisco foi aplicada a argamassa. Após a cura das placas de substrato cerâmico revestido com argamassa, foram montados os 4 protótipos em formato cúbicos, conforme especificado no início dessa seção. Cada protótipo foi revestido conforme o traço de argamassa escolhido (item 3.3.3), sendo eles o traço referência e suas respectivas variações de teor de resíduos de borracha, conforme a quantidade em massa de areia. Além disso, a cobertura das minis casas eram de placas cerâmicas.

3.7 Ensaios da argamassa no estado fresco

Durante o estado fresco da argamassa foram realizados ensaios relacionados com propriedades consideradas importantes nessa condição, visto que afetam na qualidade final da argamassa. Dessa forma, foram determinados o índice de consistência, a retenção de água, a massa específica e o teor de ar incorporado nas argamassas.

3.7.1 Determinação do índice de consistência

O índice de consistência foi determinado por meio da mesa de consistência (*Flow Table*), conforme as determinações da NBR 13276 (ABNT, 2016). Através desse ensaio foi possível verificar a necessidade de aumentar a fluidez da argamassa, seja pelo acréscimo de aditivo ou aumento da relação a/c (LEAL, 2012).

A realização do ensaio se dá pelo preenchimento de um molde troncônico, centralizado em uma mesa plana, em três camadas com alturas semelhantes, sendo que em cada uma delas devem ser aplicados, respectivamente, quinze, dez e cinco golpes, distribuídos uniformemente, com o auxílio de um soquete. Em seguida, deve ser realizado o rasamento da argamassa com o auxílio de uma régua metálica com movimentos de vai-e-vem sobre toda a superfície.

Posteriormente, retira-se o molde e aciona-se a manivela da mesa, de modo que ela suba e caia trinta vezes em trinta segundos. Após a última queda, deve ser medido o diâmetro do espalhamento da argamassa em três pontos distintos, como pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 – Ensaio da consistência



Fonte: autora (2019).

3.7.2 Determinação da retenção de água

A determinação da retenção de água seguiu os procedimentos normatizados pela NBR 13277 (ABNT, 2005).

O ensaio consiste em submeter a argamassa a uma sucção realizada por discos de papel de filtro colocados sobre a argamassa fresca, por meio de uma pressão, ocasionada por uma massa padrão assentada sobre os discos durante 15 minutos, como podemos ver na Figura 13. A retenção de água foi obtida através da equação 2.

$$R_a = \left[1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF \cdot (m_a - m_v)} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

R_a: retenção de água (%);

m_a: massa do conjunto com argamassa (g);

m_s: massa do conjunto após sucção (g);

m_v: massa do conjunto vazio (g);

AF: fator água/argamassa fresca.

O fator de água/argamassa fresca foi definido pela equação 3.

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad (3)$$

Onde:

m: soma dos materiais componentes da argamassa (g);

m_w: massa total de água acrescentada à mistura (g).

Segundo a NBR 13277 (ABNT, 1995), são admitidos valores para retenção de água de 80% a 90% analisados como normal, e maior que 90% como alto. Na Figura 13 pode ser observado o equipamento empregado para esse ensaio.

Figura 13 – Ensaio de determinação da retenção de água



Fonte: autora (2019).

3.7.3 Determinação da massa específica e do teor de ar incorporado

A massa específica e o teor de ar incorporado foram definidos de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005).

A realização do ensaio se deu pela inserção da argamassa em um recipiente cilíndrico em três camadas de alturas semelhantes, sendo aplicado 20 golpes sobre o perímetro de cada uma delas. Em seguida, foi efetuado três quedas do recipiente a uma altura aproximada de 3 cm, com o intuito de eliminar os vazios existentes entre a parede do recipiente e a argamassa. Após, foi realizado o rasamento da superfície com movimentos de vai-e-vem com o auxílio de uma régua metálica, e removido o excesso de materiais aderidos a parede externa do recipiente, e por fim, pesado o conjunto massa com argamassa (Figura 14). A massa específica foi determinada através da equação 4.

$$d = \frac{m_c - m_v}{V_r} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

d: densidade da argamassa no estado fresco (kg/m³);

m_c : massa do recipiente contendo a argamassa (g);

m_v : massa do recipiente cilíndrico vazio (g);

V_r : volume do recipiente cilíndrico (mm^3).

Já o teor de ar incorporado na argamassa foi definido pela equação 5.

$$A = 100 \cdot \left(1 - \frac{d}{d_t}\right) \quad (5)$$

Onde:

A: teor de ar incorporado na argamassa (%);

d: densidade de massa da argamassa no estado fresco (g/cm^3);

d_t : densidade de massa teórica da argamassa (g/cm^3).

Enquanto que a densidade teórica da argamassa foi obtida por meio da equação 6.

$$d_t = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad (6)$$

Onde:

d_t : densidade de massa teórica da argamassa (g/cm^3);

m_i : massa seca de cada componente da argamassa, mais a massa da água;

γ_i : massa específica de cada componente da argamassa.

Figura 14 – Massa específica



Fonte: autora (2019).

3.8 Ensaios da argamassa no estado endurecido

A análise das argamassas no estado endurecido foi realizada por meio dos seguintes ensaios laboratoriais: resistência à flexão, módulo de elasticidade, absorção de água por imersão, índice de vazios, massa específica e absorção por capilaridade.

3.8.1 Resistência à tração na flexão

A determinação da resistência à tração na flexão das argamassas estudadas seguiu as normatizações especificadas pela NBR 13279 (ABNT, 2005). A ruptura ocorreu aos 28 dias de idade, sendo ensaiados para cada traço em estudo 3 corpos-de-prova prismáticos medindo 4 cm x 4 cm x 16 cm, totalizando assim 12 corpos-de-prova por dosagem. Na Figura 15 pode ser visto a realização desse ensaio.

Figura 15 – Ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: autora (2019).

3.8.2 Resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão das argamassas avaliadas seguiu a NBR 13279 (ABNT, 2005). A ruptura das amostras aconteceu aos 28 dias de idade, sendo para cada traço estudado 3 corpos-de-prova prismáticos medindo 4 cm x 4cm x 16 cm. Na Figura 16 pode ser visto a realização desse ensaio.

Figura 16 - Resistência à tração na compressão



Fonte: autora (2019).

3.8.3 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade seguiu as padronizações de ensaio estabelecida pela NBR 8522 (ABNT, 2017). O ensaio foi realizado em cinco corpos-de-prova cilíndricos para cada traço, medindo 5 cm x 10 cm, na idade de 28 dias. Conforme indicação da norma, dois deles foram rompidos à compressão para determinar a carga de ruptura. A execução do ensaio pode ser vista na Figura 17.

Figura 17 – Módulo de elasticidade



Fonte: autora (2019).

3.8.4 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica

A absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica no estado endurecido foram determinados de acordo com as preconizações da NBR 9778 (ABNT, 2009), sendo ensaiado dois corpos-de-prova para cada traço.

Para dar início ao procedimento, os corpos-de-prova foram retirados da câmara úmida aos 28 dias de idade e levados à estufa para secagem durante 72h, à temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, a fim de verificar a sua massa em condição seca. Posteriormente as amostras foram submersas em água por um período de 72h, com a finalidade de determinar a sua massa em condição saturada. Em seguida, os corpos-de-prova foram mantidos em fervura durante 5h em volume de água constante (Figura 18). Logo após, as amostras foram pesadas em balança hidrostática, e em seguida secas com um pano úmido e tiveram sua massa saturada após imersão e fervura determinadas.

A absorção de água, o índice de vazios e a massa específica foram determinados através das equações 7, 8 e 9 respectivamente.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (7)$$

Onde:

A: absorção de água (%);

m_{sat} : massa da amostra saturada em água após imersão e fervura;

m_s : massa da amostra seca em estufa.

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \cdot 100 \quad (8)$$

Onde:

I_v : índice de vazios (%);

m_i : massa da amostra saturada imersa em água após fervura.

$$p_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (9)$$

Onde:

I_v : índice de vazios (%);

m_i : massa da amostra saturada imersa em água após fervura.

Figura 18 - Ensaio de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica



Fonte: autora (2019).

3.8.5 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade das argamassas em análise foi determinada de acordo com as especificações regidas pela NBR 15259 (ABNT, 2005), sendo ensaiado para cada traço 3 corpos-de-prova prismáticos, medindo 4 cm x 4 cm x 16 cm, aos 28 dias de idade.

O ensaio consiste em colocar os corpos-de-prova em um recipiente com lâmina de água de espessura de 5 ± 1 mm (Figura 19). As amostras devem ser peadas antes de iniciar o ensaio e suas bases devem ser previamente lixadas com lixa grossa. Após o início do ensaio, devem ser registradas a massa de cada corpo-de-prova, aos 10 minutos e 90 minutos. A absorção de água foi determinada através da equação 10.

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad (10)$$

Onde:

A_t : absorção de água por capilaridade para cada tempo (g/cm^2);

m_t : massa do corpo-de-prova para cada tempo (g);

m_0 : massa inicial do corpo-de-prova (g);

t : corresponde aos tempos de 10 e 90 minutos (segundos);

16: a área do corpo-de-prova (cm²).

Figura 19 – Ensaio de absorção por capilaridade



Fonte: autora (2019).

3.8.6 Módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica

De acordo com Metha e Monteiro (2009), o pulso ultrassônico é um método que tem como finalidade medir o tempo de propagação das ondas. Segundo o autor, as ondas longitudinais variam na frequência de 20 kHz a 150 kHz.

Conforme Silva et al. (2008), neste método o aparelho faz a leitura da velocidade da onda de propagação ao longo do corpo-de-prova, o qual é associado ao módulo de deformação. Segundo Jones (1967), a deformação é determinada através da equação 11.

$$E = p \cdot v^2 \cdot \frac{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)}{1-\mu} \quad (11)$$

Onde:

p : densidade do corpo-de-prova (kg/m³);

v : velocidade de propagação da onda ultrassônica (mm/ μ s);

μ : coeficiente de Poisson (admite-se 0,2 para argamassas).

O módulo de deformação pelo ultrassom em argamassas em análise, foi determinado de acordo com a NBR 15630 (ABNT, 2008), e devendo a argamassa atender os requisitos da NBR 13276 (ABNT, 2016). Para a realização do ensaio foram necessários pelo menos três corpos-de-prova para cada traço, com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm, aos 28 dias de idade. A superfície do ensaio estava limpa, lisa e livre de sujeiras. Na a Figura 20 pode ser visto o ensaio sendo realizado e a leitura no aparelho.

Figura 20 – Módulo de deformação por ultrassom – a) Ensaio de ultrassom b) Equipamento de ultrassom



Fonte: autora (2019).

3.9 Ensaios da argamassa de revestimento dos protótipos – Resistência de aderência à tração

Uma das principais características da argamassa no estado endurecido é a sua capacidade de aderência ao substrato. De acordo com Junior (2005), a aderência é influenciada tanto pelas condições do substrato, como por exemplo, a porosidade e a resistência mecânica, quanto pelas circunstâncias de aplicação de assentamento dos materiais da base, e da capacidade de retenção de água, da consistência e do teor de ar incorporado da argamassa.

Com o intuito de determinar a resistência de aderência da interface base-argamassa, foi realizado um ensaio semi-destrutivo regido pela NBR 13528 (ABNT,

2010). O ensaio consiste na perfuração de 12 corpos-de-prova para cada situação, com o auxílio do serra-copo, até que seja perfurado de 1 mm a 5 mm dentro do substrato. Em seguida, deve-se colar as pastilhas e posteriormente realizar o ensaio de arrancamento por meio do equipamento de tração (Figura 21).

Figura 21 – Ensaio de resistência à aderência



Fonte: autora (2019).

3.10 Avaliação das propriedades térmicas dos protótipos revestidos com argamassa

A avaliação das propriedades térmicas foi realizada através da coleta de dados de temperatura e umidade através de um *data log*, ao longo de um período de 1 mês de exposição ao ambiente externo, durante 24 horas, com intervalos de hora em hora. Nas Figuras 22 e 23 pode ser visto os protótipos que foram estudados e o aparelho que foi verificado os dados.

Figura 22 – Protótipos analisados



Fonte: autora (2019).

Figura 23 – Datalog



Fonte: autora (2019).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta etapa tem como finalidade apresentar os resultados obtidos no estudo segundo a proposta inicial, avaliando as propriedades físicas e térmicas das argamassas de revestimentos produzidas com resíduos de pneus aplicadas em protótipos de alvenaria cerâmica.

4.1 Resultado dos materiais para o traço utilizado

Conforme descrito no item 3, esse estudo foi baseado em avaliações iniciais para posterior aplicação de um traço referência. Na Tabela 11 pode ser observado a quantidade de material empregada para a realização do traço referência e dos traços com diferentes teores de substituição.

Tabela 11 – Traços

Materiais	1:5 (REF.)	5% borracha	10% borracha	15% borracha
Água (l)	4,47	4,08	4,80	4,65
Areia (Kg)	22,05	22,05	22,05	22,05
Cimento CP IV (Kg)	4,41	4,41	4,41	4,41
Borracha (Kg)	0	1,48	2,96	4,44
A/C	1,01	0,93	1,09	1,05

Fonte: autora (2019).

4.2 Ensaio no estado fresco

Nesta seção estão dispostos os resultados do estado fresco da argamassa que foram realizados, que são: índice de consistência, determinação da retenção de água, determinação da massa específica e o teor de ar incorporado.

4.2.1 Índice de consistência NBR 13276:2016

Para a determinação do índice de consistência foi definido um valor de desvio padrão na argamassa, aceitando-se 20mm para mais ou para menos. Dessa forma foi possível observar que conforme se aumenta o teor de adição de borracha menor é sua trabalhabilidade. Portanto, para fins de padronização, foi determinado que o índice de consistência das argamassas ensaiadas deveria ficar dentro da faixa de 280 ± 20 mm.

A Tabela 12 apresenta o resultado do índice de consistência obtido para cada traço em estudo. Verifica-se que a adição de borracha na argamassa diminuiu a trabalhabilidade e aumentou a consistência da mistura. Observando a Tabela 11, nota-se que a relação de a/c para cada traço em estudo manteve-se muito próxima uma das outras.

Tabela 12 – Índice de consistência

Traço	Índice de consistência (mm)		Média (mm)
Ref.	300	295	297,5
5% bor.	270	256	263
10% bor.	275	275	275
15% bor.	260	260	260

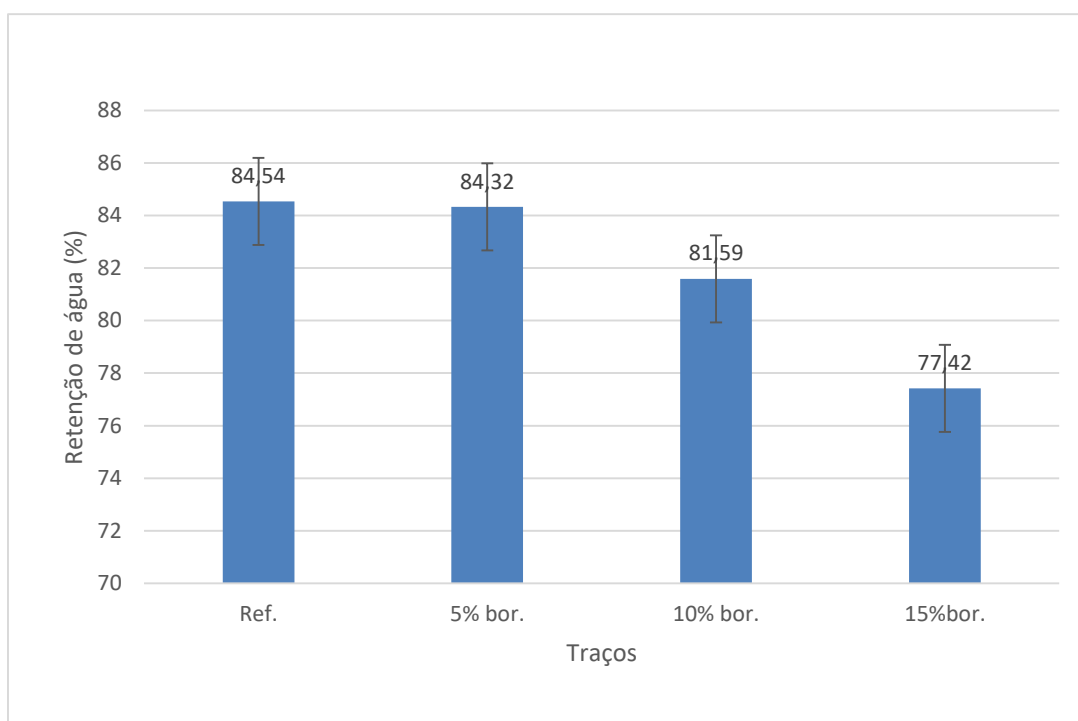
Fonte: autora (2019).

Com base nas pesquisas desenvolvidas pelos autores que serviram de referência para o desenvolvimento desse estudo, sabe-se que poderia ter sido empregado o uso aditivos ou outras adições a fim de melhorar a trabalhabilidade das argamassas. Entretanto, optou-se por não seguir os mesmos critérios dos autores de referência, pois os valores para a relação a/c eram muito baixos, resultando em valores elevados para resistência mecânica e, conseqüentemente, possíveis fissuras. Neste trabalho desenvolveu-se uma argamassa com propriedades que possibilitam a aplicação como revestimento em edificações.

4.2.2 Determinação da retenção de água

No Gráfico 5, pode ser verificado o resultado da retenção de água em cada um dos ensaios. É possível observar que conforme aumenta o teor de adição de borracha, menor é a retenção de água, ou seja, o traço com 15% de borracha perdeu mais água que os outros traços. Sendo caracterizado como retenção normal para o traço referência e com adição de 5% e 10%, sendo o traço com 15% com baixa capacidade de retenção de água, o que dificulta sua aplicação ao substrato, diminuindo a trabalhabilidade da argamassa.

Gráfico 5 – Retenção de água

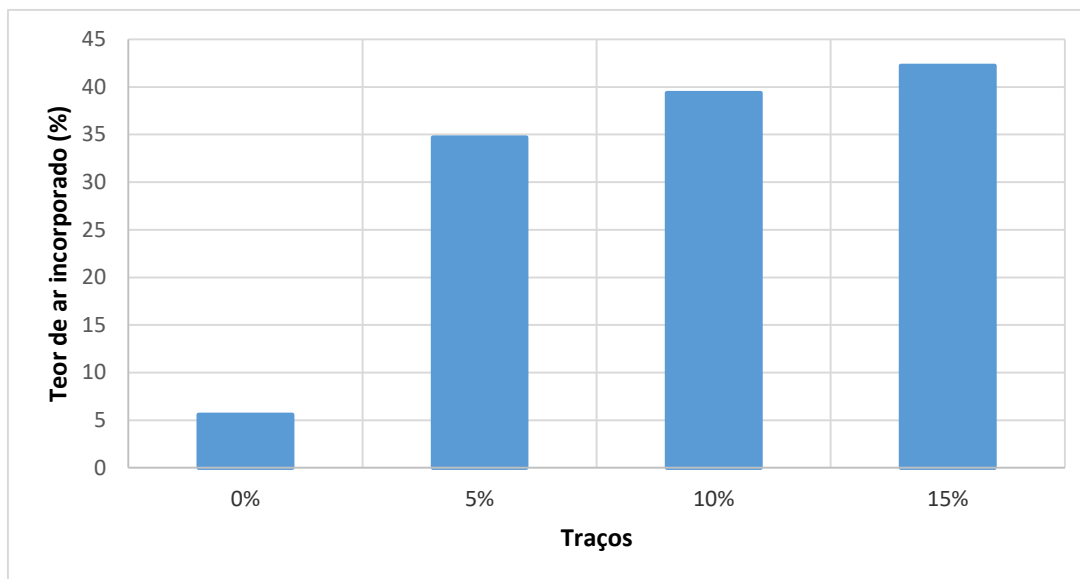


Fonte: autora (2019).

4.2.3 Determinação da massa específica e do teor de ar incorporado

De acordo com o Gráfico 6, nota-se que o teor de ar aumenta conforme o teor de adição de borracha aumenta, ou seja, quanto maior a quantidade de borracha no traço, maior será o número de vazios. Pode-se observar na Tabela 13, que conforme se aumenta a quantidade de borracha menor é a massa específica do traço, resultando em uma argamassa mais leve. Abaixo estão apresentados os resultados do teor de ar incorporado em cada traço em estudo (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Teor de ar incorporado



Fonte: autora (2019).

Tabela 13 – Massa específica da argamassa

Traço	d (g/cm ³)
REF	2,025
5% Bor.	1,941
10% Bor.	1,810
15% Bor.	1,730

Fonte: autora (2019).

Através da equação 6, expressa no item 3.7.3, foi possível determinar a densidade teórica da argamassa, resultando em 2,14 g/cm³ para o traço sem adição de borracha e para o traço com adição de 5%, 10%, 15% a densidade obtida foi de 2,806 g/cm³.

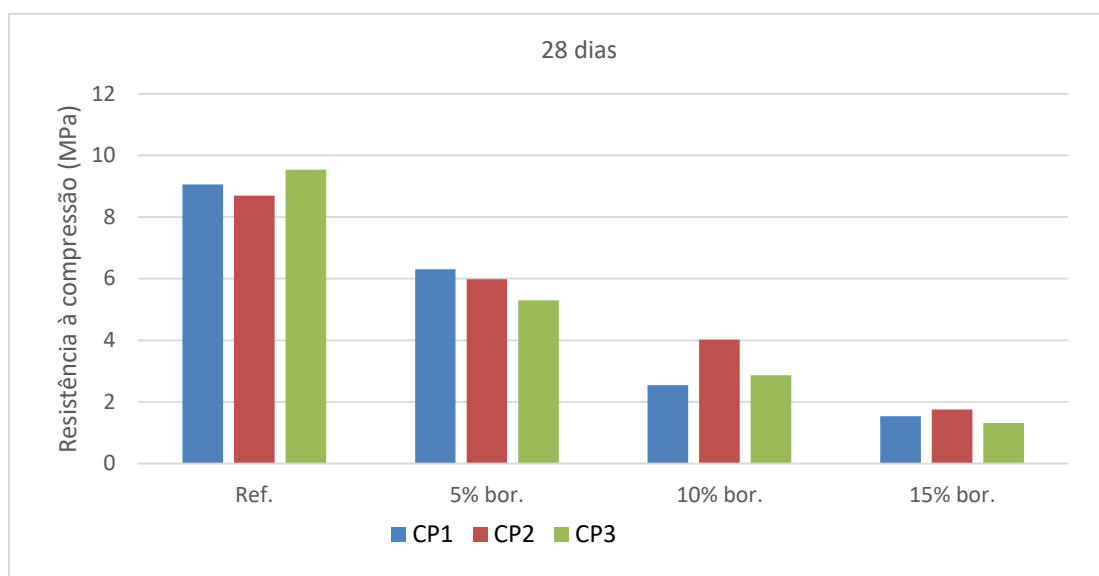
4.3 Ensaios no estado endurecido

Nesta seção estão dispostos os resultados de resistência à tração na flexão e à compressão, módulo de elasticidade, absorção de água por imersão, índice de vazios, absorção por capilaridade, módulo de elasticidade dinâmico e pelo ultrassom, aderência à tração.

4.3.1 Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão NBR 13279:2005

A seguir serão demonstrados em forma de gráfico os valores encontrados para o ensaio de tração na compressão e à flexão das argamassas. Foram moldados 3 corpos-de-prova para cada traço a fim de avaliar o comportamento aos 28 dias de idade.

Gráfico 7 – Resistência à compressão



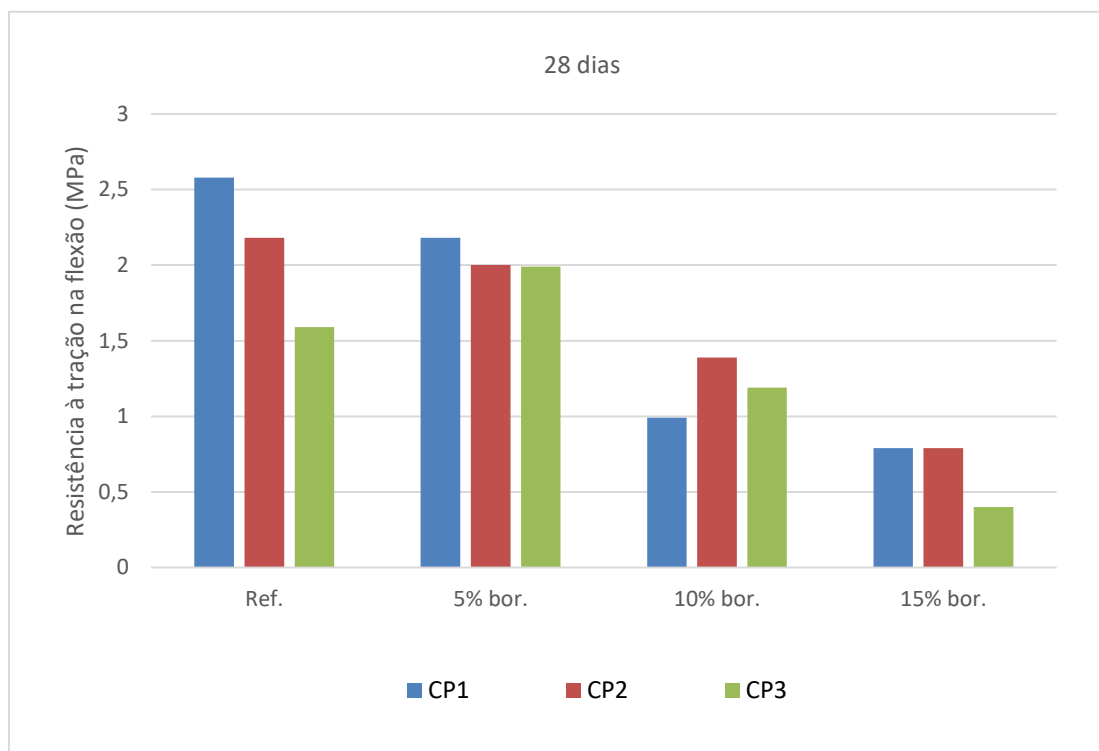
Fonte: autora (2019).

A partir dos resultados encontrados no Gráfico 7, nota-se que a resistência à compressão diminuiu em todos os traços com adição de borracha. Ferreira (2009) ao fazer o ensaio de resistência à compressão visualizou que conforme se aumentava a quantidade de borracha no traço, se diminuía a resistência. Concluindo que a quantidade de borracha tende a reduzir a resistência à compressão se comparado ao traço referência. Conforme os dados levantados por Ferreira (2009), em comparação ao traço sem borracha o percentual de perda conforme aumenta-se o teor é de 21%, 28%, 44% (10% de bor., 15% de bor., 20% de bor.). O teor de perda desse estudo em comparação com o traço referência obteve os seguintes resultados: 35%, 65% e 83% (5% de bor., 10% de bor., 15% de bor.), sendo resultados bem distantes do obtido pelo autor referência.

Meneguini (2005) observou que no traço 1:5 o resultado para a resistência à compressão do traço sem adição foi 15,50 MPa, e para o traço com 10% de borracha foi de 15,40 MPa.

A partir do Gráfico 8, pode ser observado que a resistência à tração na flexão não resultou em valores acentuados das tensões como no ensaio de compressão.

Gráfico 8 – Resistência à tração na flexão

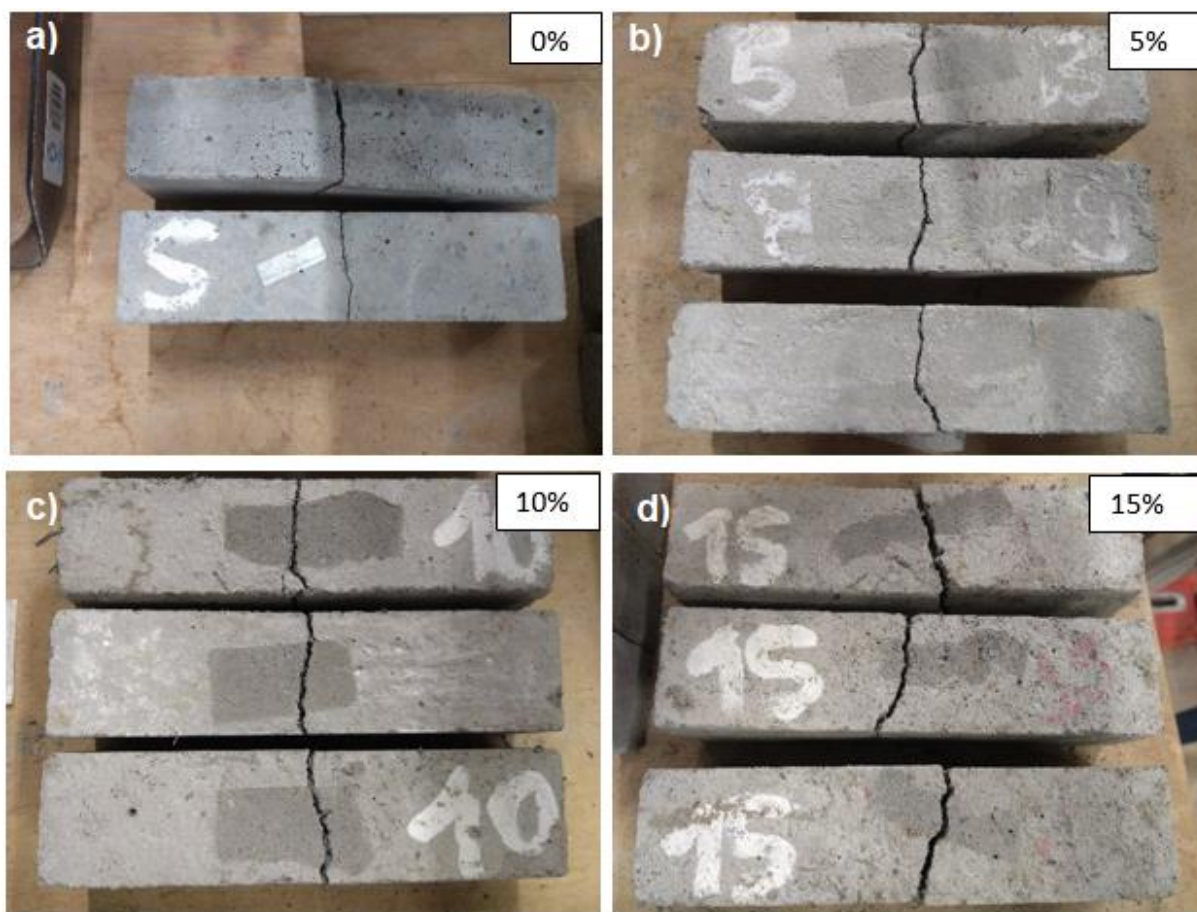


Fonte: autora (2019).

Pode ser observado no Gráfico 8, que nos traços com 10% e 15% de borracha obteve-se valores menores que o traço referência, mas no traço com 5% de borracha alguns resultados foram maiores e outros menores que ao traço referência. A resistência média foi de 2,11 MPa para o traço referência e 2,05 MPa para o traço com 5%.

Na Figura 24 pode ser observado o comportamento das fissuras no ensaio de resistência a compressão. No traço referência a fissura se propagou praticamente como uma reta, já os traços com borracha, conforme o teor é aumentado, o caminho que a fissura se desloca ao longo da área do corpo-de-prova é maior. Segundo Ferreira (2009), estes desvios ocorrem, pois, a força é absorvida pelas partículas de borracha, os quais retardam levemente a sua trajetória até o rompimento total.

Figura 24 – Fissuras nas proporções de cada traço de borracha – a) 0% de substituição; b) 5% de substituição; c) 10% de substituição; d) 15% de substituição



Fonte: autora (2019).

Na Figura 24 foi visto que, a abertura das fissuras nos corpos-de-prova era dificultada conforme a proporção de borracha adicionada no traço, ou seja, a ruptura frágil passou a ser mais dúctil, e o tempo de ruptura foi aumentado.

4.3.2 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é uma característica muito importante para argamassa de revestimento. Uma das principais características é observar a deformação na argamassa pela composição de borracha. Visto isso, Meneguini (2005) reforça que, quanto menor o módulo de elasticidade, maior a deformação, permitido assim maior mobilidade e melhor aderência a grandes impactos.

Conforme pode ser visto na Tabela 14, o módulo de elasticidade reduziu de valor conforme a adição de borracha na argamassa, reforçando assim os resultados encontrados pelos autores referência.

Tabela 14 – Módulo de elasticidade

CP's	Resist. Compressão (MPa)	Resist. Efetiva (MPa)	Deformação em 30% (MPa)	Módulo (Gpa)	Média (GPa)
Ref. - I1	8,76	7,94	0,02	13,25	14,38
Ref. - I2	8,76	9,02	0,02	14,97	
Ref. - I2	8,76	8,63	0,02	14,92	
5% Bor. - I1	5,35	4,96	0,02	9,78	10,05
5% Bor. - I2	5,35	5,39	0,01	10,64	
5% Bor. - I3	5,35	4,83	0,02	9,74	
10% Bor. - I1	3,54	3,71	0,01	8,08	12,13
10% Bor. - I2	3,54	3,54	0	17,76	
10% Bor. - I3	3,54	3,58	0,01	10,55	
15% Bor. - I1	1,08	1,04	-0,04	2,12	2,01
15% Bor. - I2	1,08	0,95	0,04	2,24	
15% Bor. - I3	1,08	0,99	0,03	1,68	

Fonte: autora (2019).

Segre (1999) complementa com os resultados encontrados, que a borracha apresenta baixo índice de elasticidade ao ser comparada com o cimento, sendo assim, ela é capaz de deformar mais se comparado com um traço sem adição das mesmas.

Meneguini (2005) relata em seu estudo que o módulo é uma medida da resistência à deformação elástica do material, ou seja, quanto menor o valor da deformação melhor o resultado. Conforme a literatura a borracha tende a aumentar a ductilidade das argamassas, sendo assim, aumenta a tenacidade.

4.3.3 Absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica

O ensaio de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica foi ensaiado aos 28 dias de idade, com 3 corpos-de-prova para cada traço.

Na Tabela 15, pode ser visto que conforme adicionou-se borracha no traço, maior foi o resultado de índice de vazios e de absorção, onde que o índice de vazios aumento 32% do traço referência para o traço com 15% de borracha. Já a absorção por imersão aumento 52% do traço referência para o traço com 15% de borracha. A

massa específica, como era esperado, diminuiu 30% de seu peso em relação ao traço com 15% de borracha para o traço referência.

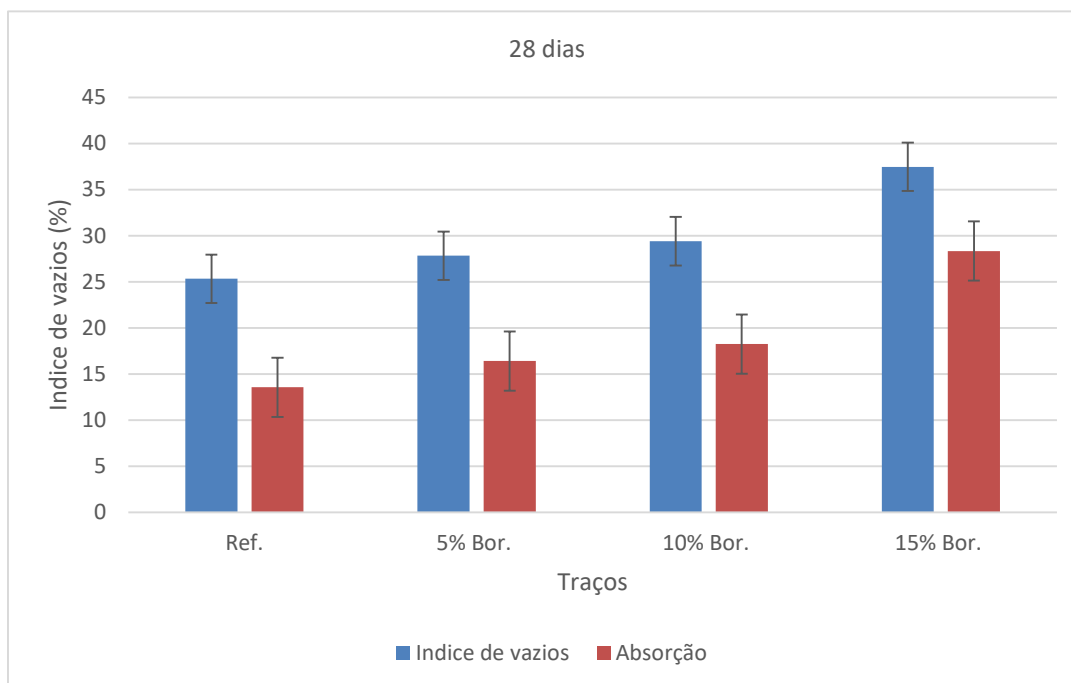
Tabela 15 – Resultados absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica

CP's	Índice de vazios (%)	Absorção (%)	Massa Específica (g/cm³)
Referência	25,31	13,56	1,91
Referência			1,84
5% Bor. - I1	27,82	16,40	1,692
5% Bor. - I2			1,70
10% Bor. - I1	29,39	18,24	1,61
10% Bor. - I2			1,61
15% Bor. - I1	37,46	28,33	1,33
15% Bor. - I2			1,32

Fonte: autora (2019).

No Gráfico 9, pode ser visto a relação do resultado do índice de vazios com a absorção dos corpos-de-prova.

Gráfico 9 – Índice de Vazios e absorção

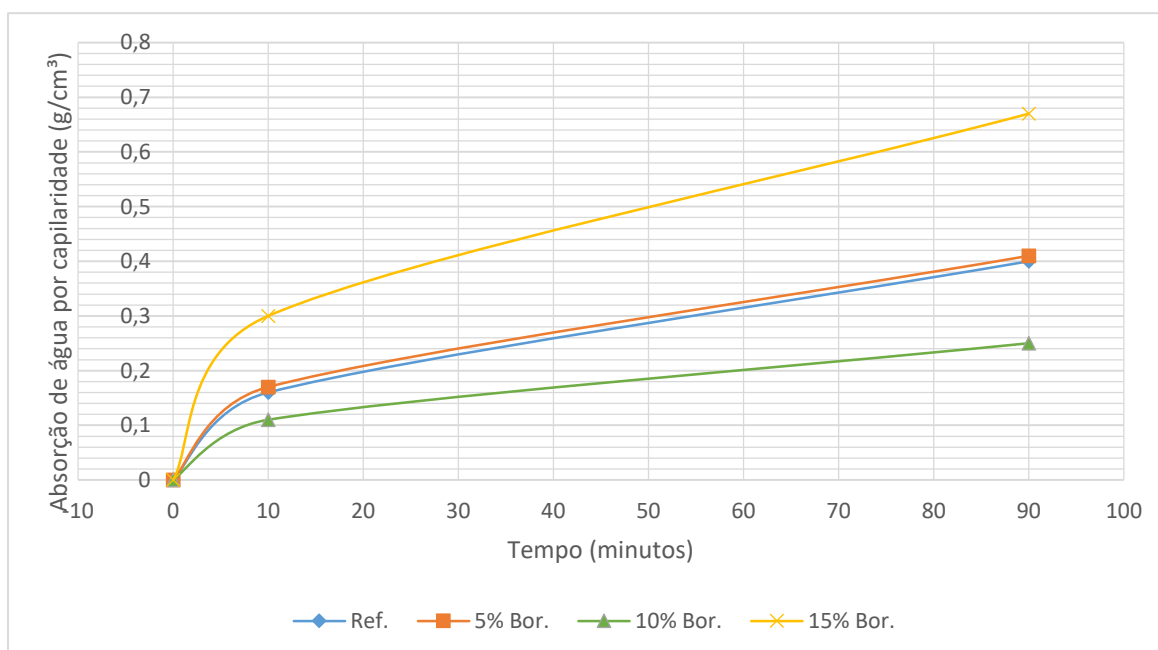


Fonte: autora (2019).

4.3.4 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção foi realizado aos 28 dias de idade, com três corpos-de-prova para cada traço, sendo realizadas as leituras iniciais após os 10 e 90 min. Conforme pode ser visto no Gráfico 10, os valores apresentados são das médias encontradas para cada traço.

Gráfico 10 – Absorção de água por capilaridade



Fonte: autora (2019).

Pode de ser observado através do gráfico apresentado, que conforme ocorre o aumento do teor de borracha, maior é o valor de absorção de água no traço. De acordo com Ferreira (2009), conforme a quantidade de borracha adicionada, menor é o peso das amostras, pois a borracha além de possuir massa específica menor que a dos outros materiais, também aumenta o número de vazios na argamassa. Se tratando de percentuais a quantidade absorvida em relação ao peso das amostras, o traço contendo borracha apresenta redução na absorção.

4.3.5 Módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica

O ensaio módulo de elasticidade ocorreu aos 28 dias de idade, onde foram utilizados 2 corpos-de-prova para determinar a compressão e 3 corpos-de-prova para determinar o módulo através da onda ultrassônica.

Observa-se na Tabela 16, que o resultado de deformação para o ensaio diminui com a adição de borracha, ou seja, quanto mais poroso é o material, menor é o resultado encontrado para o módulo. Quanto maior o número de vazios que contém a amostra, menor o peso, e mais difícil das ondas se propagarem pela amostra, ou seja, quanto menor o módulo de deformação, maior é sua deformação.

Pode se perceber que conforme a resistência à compressão diminui, menor o módulo de elasticidade pelo Ultrassom, e maior a deformação do material.

Tabela 16 – Módulo de elasticidade pelo ultrassom

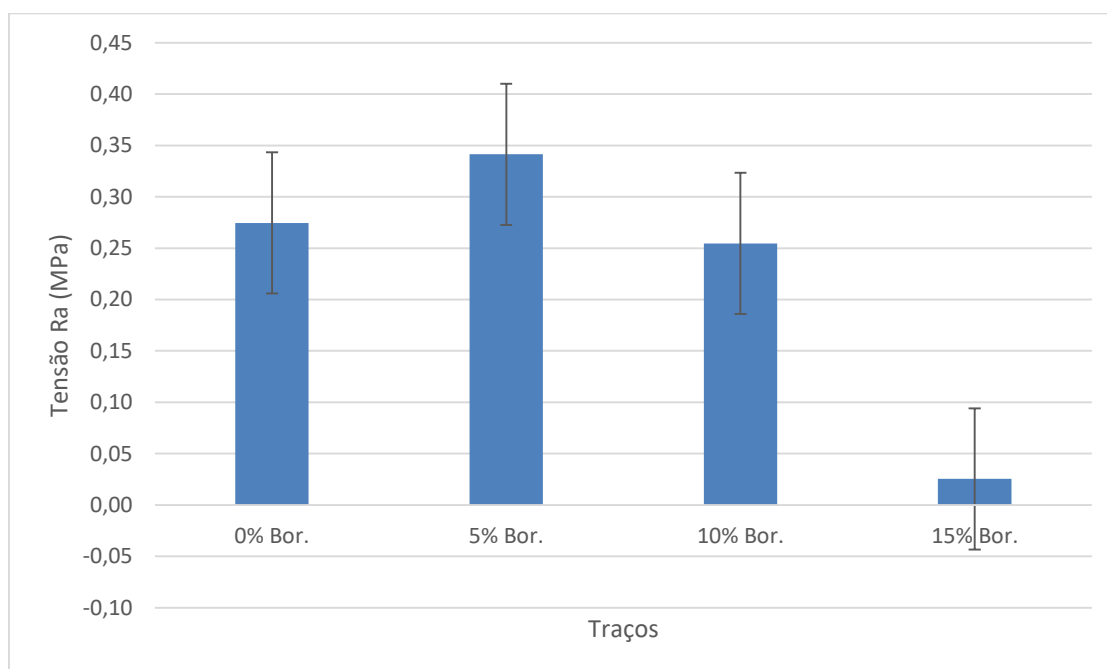
CP's	Altura (mm)	tempo (µs)	Velocidade (m/s)	Dens. estado fresco (kg/m³)	Deformação (MPa)	Média (GPa)
Ref. - I1	161	58	2735	2024	13625	13,08
Ref. - I2	161	60,6	2640	2024	12695	
Ref. - I2	161	60,1	2662	2024	12908	
5% Bor. - I1	162	66	2424	1940	10259	11,59
5% Bor. - I2	160,4	69,5	2302	1940	9252	
5% Bor. - I3	162,5	55,4	2888	1940	14562	
10% Bor. - I1	162	69,9	2289	1810	8535	9,66
10% Bor. - I2	162	66,2	2417	1810	9516	
10% Bor. - I3	162,4	61,7	2593	1810	10952	
15% Bor. - I1	160	108,2	1479	1730	3405	3,31
15% Bor. - I2	161	108,7	1472	1730	3373	
15% Bor. - I3	161	112,5	1422	1730	3148	

Fonte: autora (2019).

4.3.6 Ensaio da argamassa de revestimento dos protótipos – Resistência de aderência à tração

Para análise dos resultados da resistência a aderência à tração em cada corpo de prova, foi ponderado os resultados conforme os parâmetros apresentados pela NBR 13528 (ABNT, 2010). Os resultados de aderência à tração são apresentados através da média resultante do ensaio, conforme o Gráfico 11.

Gráfico 11 – Resultado de aderência à tração



Fonte: autora (2019).

Conforme pode ser observado o traço com 5% de borracha resultou em valores mais satisfatórios que o traço referência. Já o traço com 15% de resíduo não foi encontrado os valores como era o esperado. O traço com 10%, ficou próximo do traço referência. Alguns valores encontrados que eram muito discrepantes foram retirados do cálculo da média.

Na Tabela 17, pode ser observado os valores que a norma NBR 13749 (ABNT, 2013) estabelece para revestimentos de paredes e tetos e os limites de aderência à tração em uma argamassa de revestimento.

Tabela 17 – Resistência para argamassa (NBR 13749:2013)

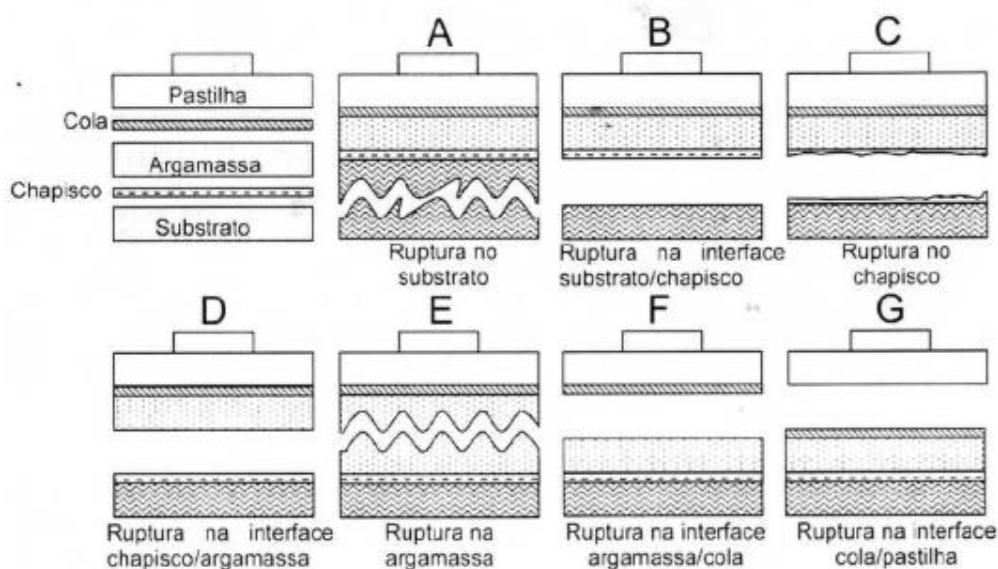
Local		Acabamento	RA (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou Base para reboco	≥0,20
		Cerâmica ou laminado	≥0,30
	Externa	Pintura ou Base para reboco	≥0,30
		Cerâmica	≥0,30
Teto			≥0,20

Fonte: autora (2019).

Conforme pode ser analisado através dos valores encontrados no ensaio de aderência (Gráfico 11) e os valores que são estabelecidos pela norma (Tabela 17), somente o traço com 5% de borracha foi o que atingiu o valor esperado e normatizado para ser aplicado em um revestimento externo. O traço com 15% de borracha não atingiu nenhum dos valores estabelecido pela norma. Já o traço referência e o com 10% de borracha podem ser utilizados em tetos ou em paredes internas.

Na Figura 25, pode ser analisado as possíveis formas de ruptura em uma argamassa de revestimento com chapisco segundo a NBR 13528:2010.

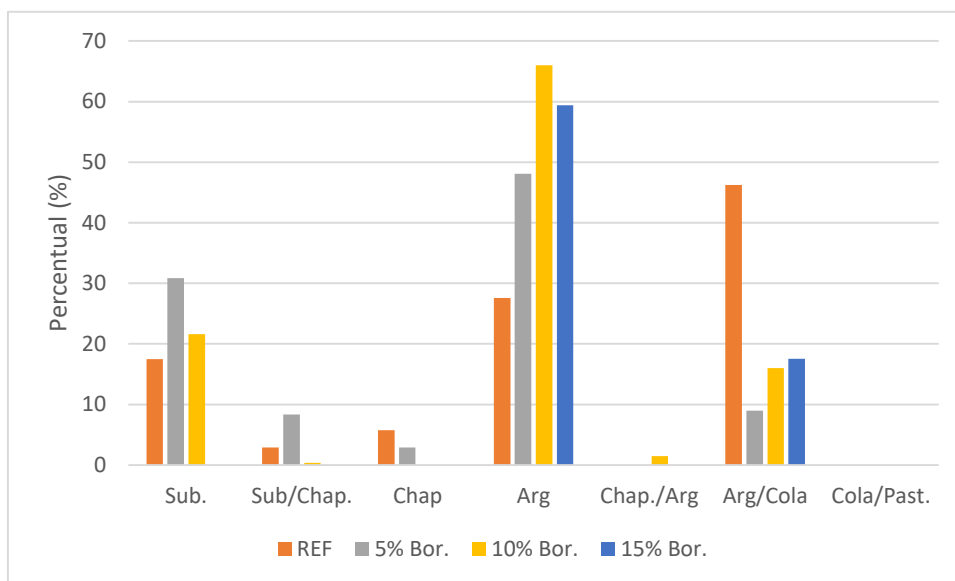
Figura 25 – Possíveis formas de ruptura no revestimento com chapisco



Fonte: NBR 13528 (ABNT, 2010).

No Gráfico 12 abaixo, foi feito um levantamento do percentual de ruptura das interfaces.

Gráfico 12 – Ruptura das interfaces NBR 13528:2010



Fonte: autora (2019).

Como pode ser observado, o traço com referência rompeu mais na interface da argamassa com a cola, comprovando assim que a resistência é maior que a obtida no ensaio. Já os traços com 5%, 10% e 15% de borracha, ocorreu a ruptura no substrato ou na argamassa, reforçando assim uma boa aderência na argamassa.

4.4 Avaliação das propriedades térmicas dos protótipos de revestimentos com argamassa

As avaliações térmicas dos protótipos ocorreram do dia 26/03 a 04/04, e do dia 17/04 a 20/05, totalizando 44 dias de coletas de dados. Neste período de 15 dias, entre o dia 04/04 e 17/04, não se tem resultados devido a problemas de coleta de dados no equipamento de *data log*. Nos apêndices A e B, pode-se observar os gráficos gerados ao longo do período estudado. Pode ser visto que no início do estudo, do dia 26/03 à 04/04/2019 (APÊNDICE A), a temperatura ambiente era menor ou igual que a temperatura interna dos protótipos. Diante disso, foram executadas pequenas aberturas na parte superior do protótipo para ocorrer as trocas térmicas, observando-se melhores resultados de temperatura após a data do dia 04/04. Períodos onde a temperatura ambiente se elevou consideravelmente e os protótipos mantiveram a temperatura interna mais amena, com menor amplitude térmica.

Em relação aos protótipos com e sem borracha, o resultado foi satisfatório e atendeu as expectativas. O traço com maior quantidade de borracha manteve a temperatura máxima mais baixa, e foi possível observar a maior diferença entre a temperatura máxima externa e interna, sendo visto que a temperatura não variou muito ao longo dos dias.

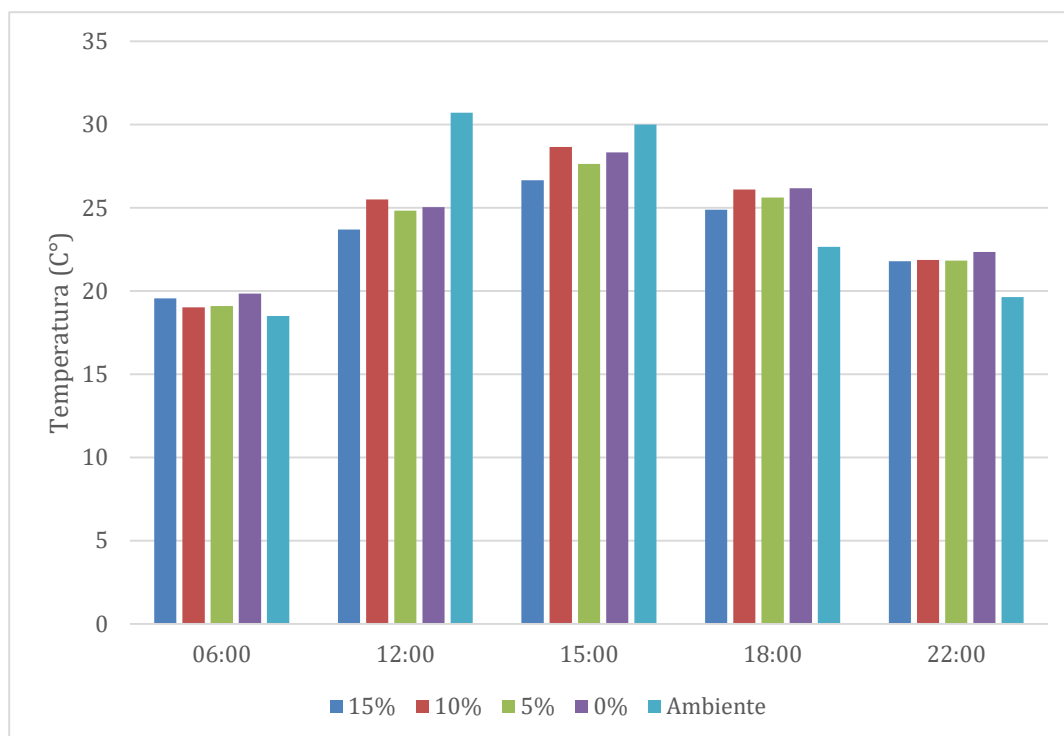
É possível observar que no final do dia a temperatura dos protótipos, ao ser comparada com a temperatura ambiente, diminui gradativamente, já a do ambiente tem uma variação brusca. Mas, como vantagem, quando o ambiente atinge temperaturas elevadas, os protótipos aumentam sua temperatura gradualmente e não chegam a temperatura alcançada pelo ambiente.

Ao ser analisado cada protótipo, foi observado que a temperatura daquele revestido com argamassa de 15% de borracha chegou ao seu valor máximo de temperatura de 40 °C, enquanto o com 0% atingiu 41,9 °C. Já o protótipo com traço de argamassa com 5% e 10% de borracha atingiram 40,2 °C e 40,6°C, respectivamente. Visto que o menor valor atingido pelo protótipo referência foi de 13,9 °C, enquanto os traços com borracha foram de 15,5 °C, 15,7° e 23,1 °C (5%,10%, 15%), comprova-se que a diminuição da temperatura no protótipo também é gradativa em todos os protótipos estudados. Também é importante comentar que o desempenho térmico na estação inverno pode ter resultados melhores em dias muito frios, devido a conservação de temperatura no ambiente e trazer ao ambiente o conforto térmico.

Vale destacar que no dia 02 de março a temperatura ambiente atingiu seu valor mais alto chegando aos 45,4 C°, às 15:00. Neste mesmo horário, as temperaturas em cada protótipo eram de 41 C°, 39,6 C°, 40,5 C°, 38,5 C° (0%, 5%, 10% e 15% de borracha), chegando a uma diferença de 6 C°. Às 16:00 deste mesmo dia, a temperatura ambiente já havia baixado praticamente 8 C°, enquanto que todos os protótipos estavam estáveis na casa dos 40 C°.

No Gráfico 13 pode ser feito uma análise da temperatura atingida em alguns determinados períodos, através do cálculo da média ao longo de todos os dias estudados. Percebe-se que a temperatura do ambiente aumenta rapidamente ao longo do dia, enquanto as dos protótipos aumentam gradualmente.

Gráfico 13 – Temperatura média em alguns horários



Fonte: autora (2019).

Percebe-se, em cima do gráfico apontado, que às 6:00 todos os protótipos estão praticamente com a mesma temperatura. Já às 22:00, a temperatura ambiente é a menor e os protótipos estão ainda diminuindo sua temperatura. Vale destacar que o protótipo referência tem a segunda temperatura mais elevada ao longo do dia, mas durante a noite ele não diminuiu sua temperatura, sendo que às 6:00 ele é o que possui a maior temperatura. Percebe-se que o protótipo referência não consegue esfriar tão rapidamente como os traços com adição.

Segundo a NBR 15575-1:2013 o desempenho térmico de uma edificação deve atender os critérios conforme a Tabela 18, para dias de verão.

Tabela 18 – Desempenho Térmico NBR 15575-1:2013

Nível de desempenho	Zonas bioclimáticas 1 a 7	Zona bioclimática 8
M	$T_{i, \text{máx}} \leq T_{e, \text{max}}$	$T_{i, \text{máx}} \leq T_{e, \text{max}}$
I	$T_{i, \text{máx}} \leq (T_{e, \text{max}} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \text{máx}} \leq (T_{e, \text{max}} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i, \text{máx}} \leq (T_{e, \text{max}} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i, \text{máx}} \leq (T_{e, \text{max}} - 2^{\circ}\text{C})$

Fonte: autora (2019).

A região do vale do taquari se encontra no nível de número 2, sendo que, T_i é a temperatura interna e T_e é a temperatura externa. Conforme a NRB 15575 (ABNT, 2013), os níveis de desempenho apresentados são classificados em mínimo (M), intermediário (I), e Superior (S), onde que, segundo a norma, somente os níveis I e S são recomendados para a estação verão. Conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), o desempenho térmico não se refere somente a valores de temperatura, mas tais como: tamanho da abertura para ventilação, proteção das aberturas, vedações externas, exposição solar. Analisando esses critérios é possível verificar que os protótipos analisados, deveriam ter maiores aberturas de ventilação para ocorrer as trocas de calor. Se tratando de exposição solar, somente as paredes que estão voltadas para o sul, são as que menos recebem radiação, mas não dá pra se dizer que seria um ponto negativo. Quanto a classificação os protótipos, conforme os dados analisados eles estão classificados em intermediários

Conforme visto no Gráfico 13, os resultados atendem a NBR 17555:2013 até ao final do dia, quando a temperatura interna acaba não diminuindo rapidamente como a externa.

A Tabela 19 apresenta alguns parâmetros destacados pela NBR 16401:2008, que estão relacionados com a temperatura operativa no ambiente, em relação a umidade relativa.

Tabela 19 – Parâmetro de Conforto NBR 16401-2:2008

Estação sazonal	Temperatura operativa	Umidade relativa
Verão	22,5°C a 25,5°C	65%
	23°C a 26°C	35%
Inverno	21,0°C a 23,5°C	60%
	21,5°C a 24,0°C	30%

Fonte: autora (2019).

Conforme Andreolli *apud* Perreira (2004), “temperatura operativa (TO) indica a sensação de calor ou frio sentida pelo corpo de um ser humano, combinando num único número os efeitos da temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar”.

Segundo o Gráfico 13, é possível perceber que somente às 15:00 a temperatura interna de cada protótipo ultrapassa o parâmetro de conforto da NBR 16401:2008, para a estação de verão. Como o estudo foi realizado nos primeiros meses do ano, não é possível fazer um comparativo com a estação de inverno.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de resíduo de borracha neste estudo tem o intuito de trazer novos resultados e aplicações no mercado construtivo, além de apresentar a importância da reciclagem de pneus, que tem como intenção diminuir o volume dos lixões e trazer um destino correto para os mesmos. É visto que em cima disso, é possível diminuir o custo e as energias para gerar o produto, acarretando assim um menor impacto gerado ao meio ambiente.

Nesta pesquisa, notou-se uma dificuldade em encontrar empresas que dispusessem de pneus de borracha no formato de fibra, pois o processo de recauchutagem transforma a borracha em partículas muito pequenas. Além disso, também foi possível visualizar que existem poucas empresas no Rio Grande do Sul que reutilizam esse tipo de material.

A adição de resíduos de borracha proveniente da recauchutagem, incorporada na argamassa de revestimento, procedeu em resultados satisfatórios tanto para estado fresco da argamassa, como também no estado endurecido.

A borracha adicionada no traço influenciou na redução da massa específica, resultando em uma argamassa mais leve e trabalhável. Diante disso, o teor de ar incorporado na argamassa foi maior, e a retenção de água diminuiu conforme aumento do teor de borracha. Também foi observado que conforme o aumento do teor de borracha no traço, mais rápido era a perda de trabalhabilidade da argamassa quando em contato com o substrato e maior a perda de água, o que está de acordo com o ensaio de retenção de água.

Pode ser visto que a resistência à compressão, diminuí a medida que é adicionado a borracha. Relacionando a resistência do traço referência para o traço com 10 % ocorreu a diminuição de 65 % da resistência. No ensaio de resistência à tração, é possível notar a diminuição traço referência, mas com uma variação menor. A redução do traço referência para o traço com 10% de borracha foi de 43% da resistência, para o traço 15% de borracha foi de 68% a redução.

Com adição de aditivo, os resultados para a resistência mecânica poderiam ser melhorados, mas, conforme a literatura, a adição de borracha em traços como a argamassa e concreto em comparação com um traço sem adição, sempre será menor ou igual a resistência mecânica, isso porque a borracha não tem função mecânica.

O aumento da quantidade de borracha é um fator determinante na quantidade de ar nos traços, sabe-se que o ar é um péssimo condutor térmico, e consequentemente um ótimo isolante. Visto isso, conforme os resultados obtidos para o ensaio de temperatura, acredita-se que com o aumento no tamanho dos protótipos seja possível obter melhores resultados e mais próximos de uma edificação real.

Segundo estudos feitos pelos autores referência, a borracha tratada com hidróxido de sódio poderia ser utilizada como material inerte. Vale também reforçar que a borracha com tratamento tem resultados positivos principalmente na aderência ao substrato. Conforme foi visto no ensaio de aderência à tração o traço com 5% de borracha obteve melhor resultado que o traço sem adição.

Durante o período em que os protótipos estavam sendo avaliados, não se visualizou nenhuma fissuração ao olho nu, e também foi analisado que os protótipos com borracha após dias de chuva secavam mais rapidamente que o referência.

Conforme os resultados obtidos para a resistência à aderência a tração o traço com 5% de borracha atingiu um resultado de 24% maior que o traço referência. Já o traço com 10% de borracha resultou em um valor de 8% menor que o traço referência e o traço com a substituição de 15% de borracha não atingiu os valores mínimos de aderência estabelecidos por norma. Conforme os resultados obtidos, foram visualizados que a ruptura ocorreu principalmente na argamassa, comprovando assim que a resistência à compressão para os traços de 10 e 15% de borracha resultou em valores muito baixos, conforme era o esperado.

Conclui-se que com a adição de borracha em quantidades adequadas, como de 5% a 10%, o resultado melhora quase todos os quesitos, comprovando a eficiência da borracha tanto na avaliação térmica, quanto na física e na mecânica. Também é importante observar que todos os trabalhos usados como referência para o desenvolvimento deste, foram somente aplicados em ensaios em laboratoriais.

Uma sugestão de possível trabalho seria a substituição da borracha pela areia em proporção de volume com a adição de aditivo (Plastificante) para melhorar a trabalhabilidade e diminuir a relação a/c, trazendo como resultado uma argamassa mais resistente e com a possibilidade de resultado mais elevados para a resistência mecânica, ou seja, atendendo os valores de resistência a aderência à tração de 0,30 MPa e mantendo os resultados da temperatura.

Diante dos resultados obtidos neste estudo é possível visualizar que a argamassa com adição de borracha podem desempenhar um resultado razoável para resistência mecânica e um bom comportamento quanto as propriedades físicas, para os ensaios de densidade, porosidade, densidade, sendo assim, foi comprovado que a borracha apresenta um bom desempenho térmico. Resultando em grandes vantagens para o usuário e para o meio ambiente, uma vez que reduz o uso de energia e gasto, e outra diminuindo o impacto no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. C.; ANDRADE, M. A. S.; NETO, Moms; CORREA, M.I.F.; CARDOSO, C.G.; MACEDO D.C.B.; CALMON, J.L. **Concreto com borracha de pneus: uma revisão bibliográfica**. 44º Congresso Brasileiro de concreto, Belo Horizonte, 2002.

ALMEIDA, Sílvia Martins de. **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto de cimento Portland através de ensaios de compressão simples e de frequência ressonante**. Dissertação (Mestrado em Materiais de Construção civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-96DR6D/dissertacaosilviomartinsdealmeida__1_.pdf?sequence=1>. Acesso em: 16 jun. 2018.

ALVES, A.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. **Influência da umidade do revestimento na resistência superficial avaliada por diferentes métodos de ensaio**. Artigo - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, In: 3º Congresso Português de argamassa de construção, APFAC, Goiás, 2010. Disponível em: <http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2044_2010.pdf> Acesso em: 01 mai. 2018.

ANDREOLLI, Samanta. **Avaliação do desempenho térmico de edificações em contêiner**. Trabalho de conclusão - Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2017. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1636/1/2017SamaraAndreolli.PDF>> Acesso em: 08 jun. 2019.

ARMANGE, Luciana Cristina: **Utilização de areia de fundição para o uso de argamassa**. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Programa de pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do estado de Santa Catarina, Joinville, 2005. Disponível em: <<http://tede.udesc.br/tede/tede/1674>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR NM 45 – **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, março, 2006.

_____. NBR NM 52 – **Agregados miúdos – Determinação da massa específica e da massa específica aparente**. Rio de Janeiro, outubro, 2009.

_____. NBR NM 248 – **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, julho, 2003.

_____. NBR 7175 – **Cal Hidratada para argamassas – Requisitos**. Rio de Janeiro, maio 2003.

_____. NBR 7215 – **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, agosto, 1997.

_____. NBR 8522 – **Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão**. Rio de Janeiro, novembro 2017.

_____. NBR 9778 – **Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, julho, 2009.

_____. NBR 13276 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, setembro, 2016.

_____. NBR 13277 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, setembro, 2005.

_____. NBR 13278 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, setembro, 2005.

_____. NBR 13279 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, setembro, 2005.

_____. NBR 13281 – **Argamassas para assentamento e revestimentos de paredes e tetos**. Rio de Janeiro, setembro 2005.

_____. NBR 13528 – **Revestimentos de parede e de tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência a tração**. Rio de Janeiro, Fevereiro, 2010.

_____. NBR 15259 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, setembro 2005.

_____. NBR 15270 – **Componentes cerâmicos – Blocos e tijolo para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaios.** Rio de Janeiro, novembro, 2017.

_____. NBR 15575 – **Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, julho, 2013.

_____. NBR 15630 – **Argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico da propagação de onda ultra-sônica.** Rio de Janeiro, setembro, 2008.

_____. NBR 16401 – **Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.** Rio de Janeiro, agosto, 2008.

_____. NBR 16605 – **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, junho, 2017.

AZEREDO, Hélio Alves de, 1921. **O edifício e seu acabamento.** 1º Ed., Traduzido por: Edgard Blücher, São Paulo, 1987.

BAÍÁ, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e execução de revestimento de argamassa.** 4ª edição, O nome da rosa editora Ltda – São Paulo –SP, 2008.

CAPORRINO, Cristina Furlan. **Patologias das anomalias e revestimentos argamassados.** 1º Ed., Editora Pini, São Paulo, 2015.

CALLISTER, Junior, W. D. **Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais.** Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2006.

CARASEK, Helena. **Materiais de construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de materiais. Argamassas.** In: Isaías, Geraldo Cechella. 2º Ed., São Paulo, IBRACON, 2010.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Perreira; CINCOTTO, Maria Alba. **Requisitos e Critérios de desempenho para revestimento de camada única em argamassa de cimento e cal.** In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS- SBTA. Escola de Engenharia Civil – UFG, ANTAC, Goiânia (MG), 2011. Disponível em: < <https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/29-requisitos-e-criterios-de-desempenho-para-revestimento-de-camada-unica-em-argamassar-de-cimento-e-cal>>. Acesso em: 11 ago. 2018.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim técnico n. 68.

CINTRA, Cynthia Leonis Dias. **Argamassa para revestimento com propriedades termoacústica, produzida a partir de vermiculita expandida e borracha reciclada de pneus**. Tese (Doutorado em Tecnologia Mineral) – Programa de pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/718?show=full>> Acesso em: 10 mar. 2018.

COIMBRA, M. A; LIBARDI, W.; MORELLI, M.R.: **Estado da influência de cimentos na fluência em concretos para a construção civil**. Artigo, Departamento de Engenharia de Materiais, DEMa, Universidade Federal de s. Carlos – UFRCar, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v52n321/14.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2018.

ELDIN, N. N; SENOUCI, A.B: Rubber – Tire Particles as concrete aggregate. Journal of Materials in Civil Engineering, 1993.

FERREIRA, Eng. Civil Carlos Renê Gomes. **Análise de propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de argamassa e resíduos de borracha**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande Norte, Natal, 2009. Disponível em: <<http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/handle/123456789/12687>>. Acesso em: 02 ago. 2018.

FIORITI, César Fabiano; AKASAKI, Jorge Luís; SOUSA, Leandro; MARQUES, Maria Lidiane: **Influência de diferentes granulometrias de resíduos de pneus em argamassas**. Tese (Mestrado), Universidade Estadual Paulista – FEIS/ UNESP, São Paulo, 2012. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/932666-Influencia-de-diferentes-granulometrias-de-residuos-de-pneus-em-argamassas.html> >. Acesso em: 10 ago. 2018.

FONSECA, Gustavo Celso da. **Adição Minerais e as Disposições Normativas relativas à produção de concreto no Brasil: Uma abordagem Epistêmica**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: < <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/ISMS-8ALHAQ>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

GOLUB, Anderson; SILVA, Vitorino da. **Influência do uso de materiais alternativos em argamassa de revestimento interno: Avaliação quanto ao isolamento térmico**. Artigo, Universidade regional do Alto Uruguai e das Missões – URI, Erechim, 2017. Universidade regional do Alto Uruguai e das Missões – URI, Erechim, 2017. Disponível em: <http://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/154_628.pdf>. Acesso em> 30 mai. 2018.

GUIMARÃES, José Epitácio Passos. **A cal - Fundamentos e aplicações na Engenharia Civil**. - 2º Ed. – São Paulo: Editora Pini, 2002.

GUOQIANG, Li; STUBBLEFIELD, Michael A.; GARRICK, Gregory, EGGERS, John, ABADIE, Christopher; HUANG, Baoshan. Development of waste tire modified concrete. Department of Mechanical Engineering, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803, USA, 2004. Disponível em: < www.sciencedirect.com >. Acesso em: 30 mai. 2018.

JANTSCH, Ana Cláudia Akele. **Análise de desempenho de argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil apresentada no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7900/JANTSCH,%20ANA%20CLAUDIA%20AKELE.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV_Vanderley_John_-_Reciclagem_Residuos_Construcao_Civil.pdf> Acesso em: 30 mai. 2018.

JUNIOR, Francisco Alves da Silva. **Avaliação do efeito da adição de resíduos de borracha de pneu e brita calcária na formulação de componentes cimentícios**. Tese - Programa de pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências exatas e da terra, Natal, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12867>>. 17 mar. 2018.

JUNIOR, Antônio Neves de Carvalho. **Avaliação da aderência dos Revestimentos Argamassados: Uma contribuição à identificação do sistema de Aderência Mecânico**. Tese (Doutorado em Tecnologia Mineral) – Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <<https://scholar.google.com.br/citations?user=cauOVVUAAAAJ&hl=pt-BR>>. Acesso em: 05 abr. 2018.

KURZ, Mônica Navarini. **Análise da potencialidade do uso de resíduos de borracha de pneu, em argamassa de revestimento externo na cidade de Pelotas/RS**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017. Disponível em: <http://prograu.ufpel.edu.br/uploads/biblioteca/dissertacao_monica_navarini_kurz.pdf> . Acesso em: 02 ago. 2018.

LEAL, Márcio Manuel Rodrigues. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado**. Dissertação (Mestrado

em Construção Civil) – Instituto Politécnico de Setúbal, Setubal, Portugal, 2012. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10400.26/3954>>. Acesso em: 10 out. 2018.

LEE, B.I; BURNETT, L.; MILLER, T.; POSTAGE, B. e Cuneo J.: Tyre Rubber/ Cement Matrix Composites. Journal of Materials Science Letters, 1993.

LIMA, Jefferson Maia; PACHA, José Raimundo Serra; RAMIERES, Edgar Luiz da Conceição; SOUSA, Leonardo Pagotto; WETMASS, Whitney Suelyn. **Aplicação de resíduos inservíveis de pneus em concreto e argamassa**. Tese – Programa de pós-graduação em Engenharia, Faculdade Faci Wyden, Belém, 2016. < <https://even3.azureedge.net/processos/ArtigoBorrachaVIIMostraDevry.f7f70c740b4f462aaf99.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2018.

MENEGUINI, Eduardo César Antonelli. **Comportamento de argamassa com o emprego de pó de borracha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2003. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258622/1/Meneguini_EduardoCesarAntonelli_M.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2018.

METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. Hasparyk, Nicole Pagan: **Concreto Microestrutura. Propriedades e Materiais**. Arte alternativa, 2 Ed., São Paulo, IBRACON, 2014.

NEVILLE, A.M; Brooks, J. J.: **Tecnologia do concreto**. Tradução: Ruy Alberto Cremoni – 2 ed. – Porto Alegre, Bookman, 2013.

OLIVEIRA, Caroline de; MENEGOTTO, Mauro Leandro. UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEU NA CONFECÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO. **Anais do SEPE - Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFFS**, [S.l.], v. 4, n. 1, out. 2014. ISSN 2317-7489. Disponível em: <<https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/SEPE-UFFS/article/view/1445>>. Acesso em: 12 set. 2018.

PCZIECZEK, Adriane. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis**. 2017. 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2017. Disponível em: < https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/706/adriane_pczieczek_15160433350059_706.pdf >. Acesso em: 02 ago. 2018.

PEDRO, Diogo André Gomes. **Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011. Disponível em: < https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143094805/Tese%20_Diogo%20Pedro1.pdf >. Acesso em: 02 ago. 2018.

PEDRO, Diogo; BRITO, Jorge de; VEIGA, Rosário: **Argamassas fabricadas com materiais finos provenientes da trituração de pneus**. Teoria e Prática na engenharia civil, n. 19, p.63-76, maio, 2012. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art6_N19.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2018.

PESETTE, Janice Biz; PELISSER, Fernando. **Efeito da borracha reciclada de pneus na condutividade térmica de paredes de concreto**. Artigo (Título de Engenheiro Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2012/2. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/1538>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

PETRUCCI, Elagio G.R.: **Materiais de construção**. 11^o ed., Globo S.A, São Paulo, 1998.

PINHEIRO, Eduardo Gonçalves: **Modelos numéricos aplicados à vulcanização de pneus**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3132/tde-25082003-090611/pt-br.php>>. Acesso em: 10 ago. 2018.

REVISTA QUÍMICA NOVA: **Químicos para uma potência emergente**. Instituto de química – USP. Volume 32, nº4, junho-2009, ISSN:0100-4042. Disponível na Biblioteca Univates - Lajeado.

SANTOS, Heraldo Barbosa. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. Monografia - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Geras, Minas Gerais, 2008. <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia%20Heraldo%20Barbosa.pdf> >. Acesso em: 13 ago. 2018.

SANTOS, Antônio Carlos dos. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005. Disponível em: <http://web-resol.org/textos/antonio_carlos_dos_santos.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2018.

SEGRE, Nádia Cristina. **Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento**. 1999. 104 pg. Tese (Doutorado) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas, SP, 1999. Disponível em: <<http://biq.iqm.unicamp.br/arquivos/teses/vtIs000224301.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2018.

SILVA, Fernanda B.; BARROS, Mércia M. S. B. de; MONTE, Renata. **Determinação do Módulo de deformação de Argamassas: Avaliação dos Métodos de ensino e formatos de Corpo-de-Prova**. 2008. 10 pg. Artigo (Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Fortaleza, CE, 2008.

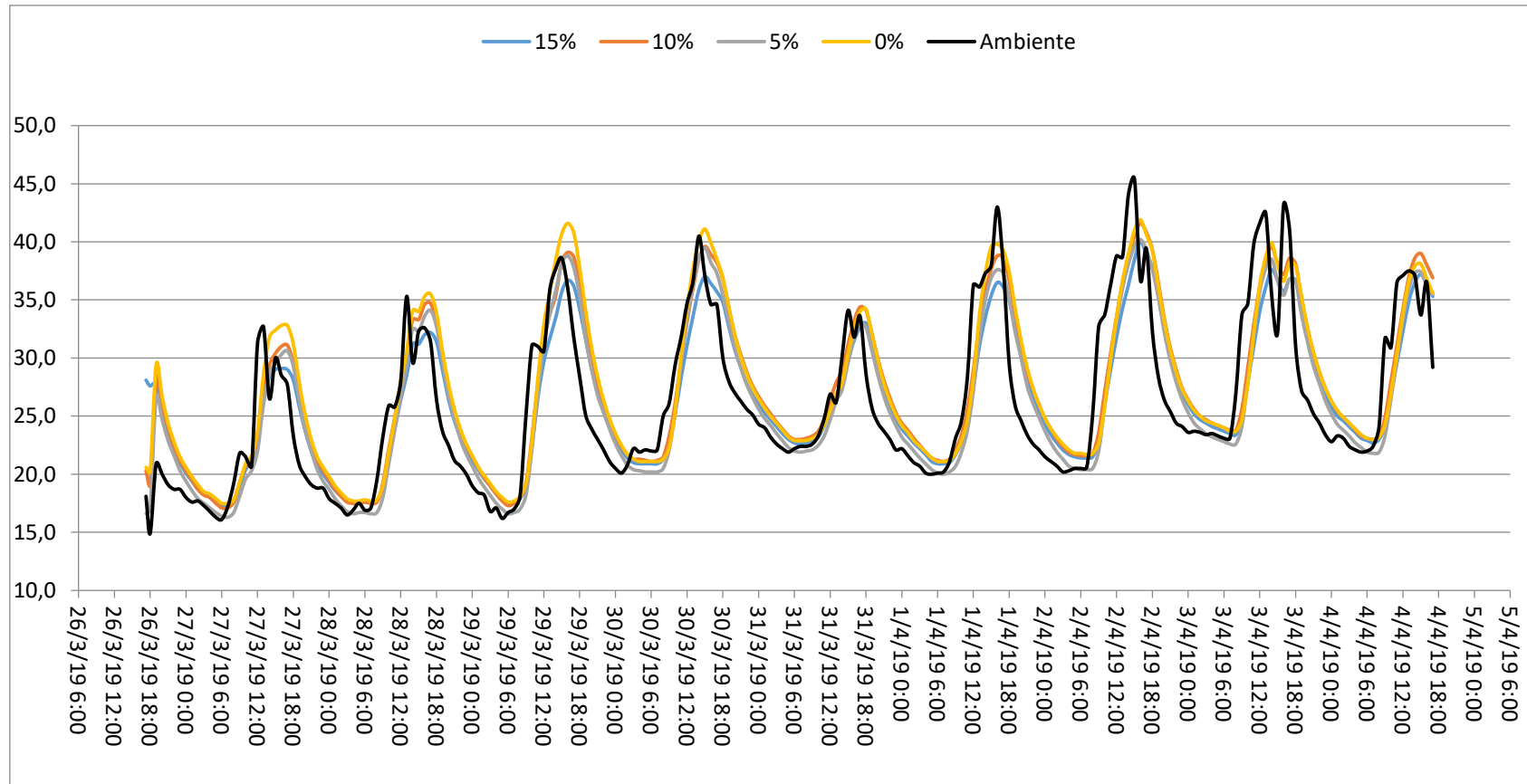
Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/entac2014/2008/artigos/A1942.pdf>>.
Acesso em: 11 ago. 2018.

SILVA, Narciso Gonçalves da; CAMPITELI, Vicente Coney. **Módulo de elasticidade dinâmico de argamassa de revestimento**. Artigo – Universidade tecnológica Federal do Paraná. 2º Encontro de Engenharia e Tecnológica dos campos Gerais. Agosto, 2008. Disponível: <http://www.pg.utfpr.edu.br/ppgep/anais/artigos/eng_civil/50%20MODULO%20ELASTICIDADE%20DINAM%20ARGAMASS%20REVESTIM.pdf>. Acesso em: 01 maio 2018.

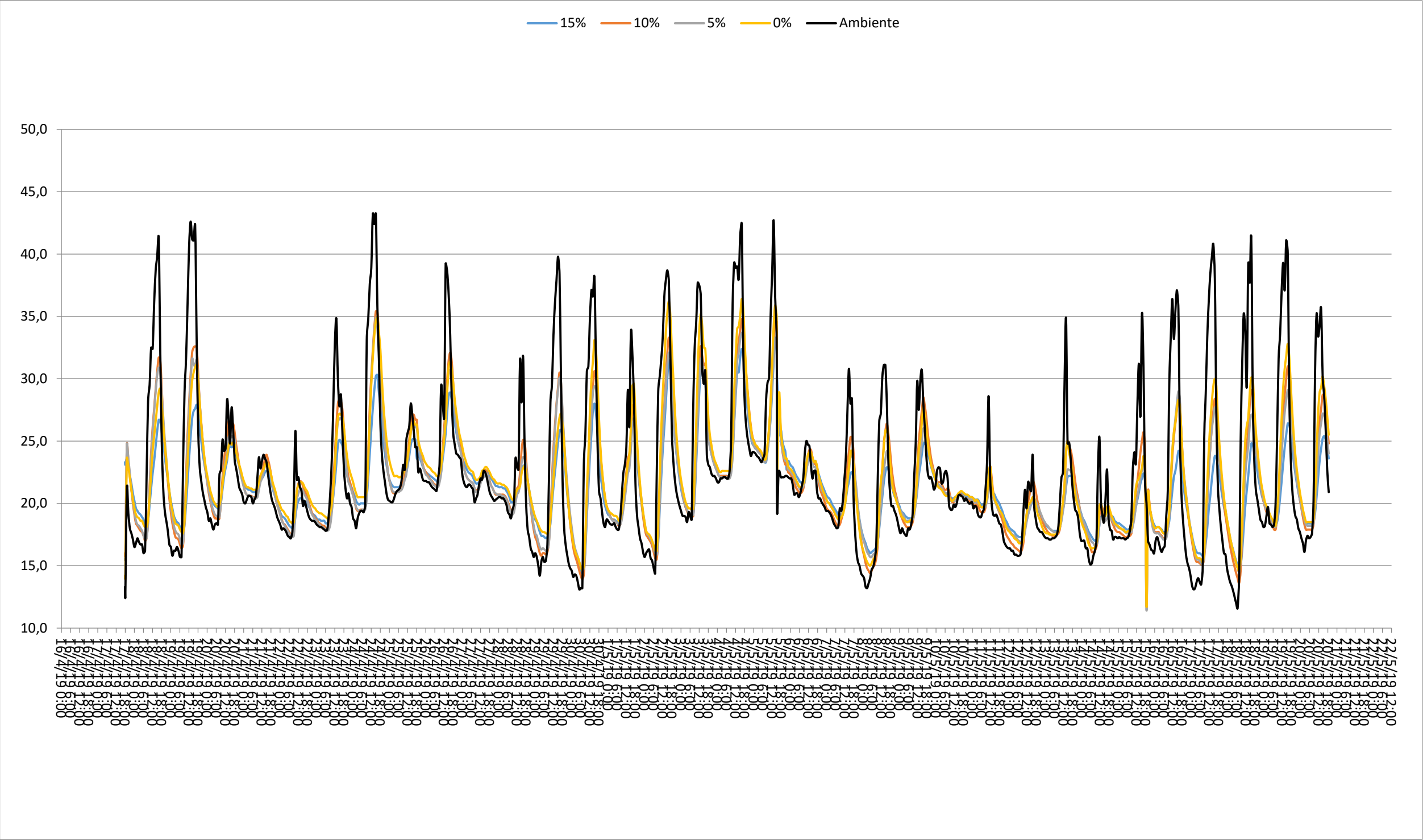
TECNOSIL, Grupo. Concreto: Aditivos para concreto: Principais tipos e para que servem. 2017. Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/aditivos-para-concreto-principais-tipos-e-para-que-servem-2/>>. Acesso em: 09 jun. 2018.

TUPÇU, I.B: The Properties of Rubberized concrets. Cement and concrete research. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0008884695000143>>. Acesso em: 16 jun. 2018.

APÊNDICE A



APÊNDICE B





UNIVATES

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br | 0800 7 07 08 09