



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS ALEGRETE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ANDRÉ MELO SFALCIN

**AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO EM ARGAMASSAS UTILIZANDO A
TÉCNICA DE ULTRASSOM**

**Alegrete - RS
2019**

ANDRÉ MELO SFALCIN

**AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO EM ARGAMASSAS UTILIZANDO A
TÉCNICA DE ULTRASSOM**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, à Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Mestre Aldo Leonel Temp

Alegrete – RS

2019

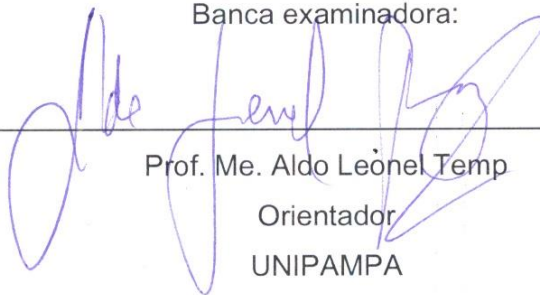
ANDRÉ MELO SFALCIN

**AVALIAÇÃO DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO EM ARGAMASSAS UTILIZANDO A
TÉCNICA DE ULTRASSOM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para a obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 26 de novembro de
2019.

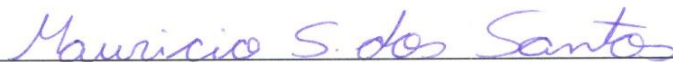
Banca examinadora:



Prof. Me. Aldo Leonel Temp

Orientador

UNIPAMPA



Prof. Me. Maurício Silveira dos Santos

UNIPAMPA



Eng. Danielli Duó

UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Supremo Deus, à minha amada família e a todos os que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para esta conquista.

RESUMO

É possível verificar, no Brasil, inúmeras patologias envolvendo as construções realizadas e várias delas estão relacionadas com os revestimentos argamassados. Além do mais, os revestimentos são muito importantes, pois são responsáveis por 10 a 30% do custo total da construção e 100% da estanqueidade da vedação em alvenaria comum. Diante do contexto apresentado, o presente trabalho objetivou estabelecer uma correlação entre os resultados de um ensaio não destrutivo, o ultrassom, e um ensaio destrutivo, o arrancamento, que determina a resistência de aderência à tração, uma das principais propriedades da argamassa. Para tal, foram construídas 10 placas de concreto que serviram como substrato, com dimensões de 25 cm de largura, 50 cm de comprimento e 4 cm de altura. As placas foram feitas conforme as recomendações da norma NBR 14081-2. Posteriormente, sobre cada placa, foram aplicadas argamassas industrializadas dos tipos Reboco Médio e Reboco Grosso, sendo 5 placas empregadas como substrato de cada um dos tipos de argamassa. A camada de argamassa possuía espessura de 2 centímetros. Em cada uma das 10 placas, na sequência, foram delimitadas 8 amostras, conforme as instruções da norma NBR 15630, para a realização dos procedimentos experimentais. Foram feitos, então, os ensaios de ultrassom, conforme a norma NBR 15630, e de arrancamento, consoante a norma NBR 13528. Através de análises estatísticas e gráficas, foram eliminados resultados considerados muito discrepantes com os demais e foi elaborada a correlação entre os ensaios, através do coeficiente de correlação de Pearson, medindo assim a força da interação entre os pares de dados. Para aqueles nos quais verificou-se uma correlação forte, foram elaboradas linhas de tendência e equações de regressão linear, que resultaram em previsões com mais de 60% de precisão para o Reboco Médio e mais de 50% de precisão para o Reboco Grosso. Foi possível concluir, então, que apesar de poucas placas terem apresentado uma correlação forte entre os resultados dos ensaios, as que apresentaram tal correlação propiciaram a construção de equações satisfatórias, cuja previsão de resistência ao arrancamento através dos dados do ultrassom foi muito próxima do valor real obtido, principalmente para o Reboco Médio. É possível, portanto, prever a resistência de arrancamento à tração da argamassa utilizando o ensaio de ultrassom.

Palavras-chave: Argamassa. Arrancamento. Resistência. Ultrassom. Correlação.

ABSTRACT

It is possible to verify, in Brazil, numerous pathologies involving the constructions made and many of them are related to the mortar coatings. In addition, coatings are very important as they account for 10 to 30% of the total cost of construction and 100% of the seal tightness of ordinary masonry. Given the context presented, the present work aimed to establish a correlation between the results of a non-destructive test, ultrasound, and a destructive test, the pullout, which determines the tensile bond strength, one of the main properties of the mortar. To this end, 10 concrete slabs were built that served as substrate, with dimensions of 25 cm wide, 50 cm long and 4 cm high. The plates were made according to the recommendations of NBR 14081-2. Subsequently, on each slab were applied industrialized mortars of the type Medium Plaster and Thick Plaster, being 5 slabs used as substrate of each type of mortar. The mortar layer was 2 centimeters thick. In each of the 10 plates, in sequence, 8 samples were delimited, according to the instructions of NBR 15630, to perform the experimental procedures. Ultrasound tests were performed according to NBR 15630 and pullout tests according to NBR 13528. Through statistical and graphical analyzes, results considered very discrepant with the others were eliminated and a correlation between the tests was elaborated, using Pearson's correlation coefficient, thus measuring the strength of the interaction between the data pairs. For those in which a strong correlation was found, trend lines and linear regression equations were developed, which resulted in forecasts with more than 60% accuracy for Medium Plaster and over 50% accuracy for Thick Plaster. It was concluded that, although few plates presented a strong correlation between the test results, those that presented such correlation provided the construction of satisfactory equations, whose prediction of pullout resistance through the ultrasound data was very close to the value obtained, mainly for Medium Plaster. It is therefore possible to predict the tensile strength of the mortar using the ultrasound test.

Keywords: Mortar. Uprooting. Resistance. Ultrasound. Correlation.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Módulo de elasticidade dinâmico da argamassa.....	22
Equação 2 - Velocidade de propagação da onda ultrassônica.....	22
Equação 3 - Média aritmética dos termos	26
Equação 4 - Variância	27
Equação 5 - Escore Padrão z.....	28
Equação 6 - Coeficiente de correlação	29
Equação 7 - Coeficiente angular	30
Equação 8 - Coeficiente linear	31
Equação 9 - Erro padrão de estimativa	31
Equação 10 - Margem de erro da estimativa.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Camadas que compõe o revestimento argamassado	6
Figura 2 - Formas de aplicação da camada de ligação	8
Figura 3 - Adesão adequada entre o revestimento e o substrato.....	14
Figura 4 - Princípio de funcionamento do ensaio de VPU	21
Figura 5 - Fluxograma de atividades do trabalho	33
Figura 6 – Foto do molde para a fabricação das placas.....	34
Figura 7 – Materiais separados para a elaboração do concreto do substrato	36
Figura 8 – Mistura resultante da elaboração do substrato	37
Figura 9 – Concreto nos moldes curando e formando o substrato.....	37
Figura 10 - Ilustração do corpo de prova e suas camadas.....	38
Figura 11 – Substratos após sua fabricação	38
Figura 12 – Moldes acoplados no substrato para garantir a espessura da argamassa	40
Figura 13 – Placas de concreto e Reboco Médio secando ao ar no laboratório	41
Figura 14 – Determinação da densidade de massa da mistura	42
Figura 15 – Placas de concreto e Reboco Grosso, prontas para serem desmoldadas	43
Figura 16 – Amostras desenhadas sobre a superfície da argamassa.....	44
Figura 17 – Medida direta no ensaio de ultrassom.....	45
Figura 18 – Medida indireta no ensaio de ultrassom.....	45
Figura 19 - Máquina de arrancamento para a realização do ensaio de aderência....	46
Figura 20 - Perfuração da argamassa com a serra copo	47
Figura 21 – Pastilhas do arrancamento coladas sobre a superfície	48
Figura 22 – Equipamento de tração acoplado na pastilha para arrancamento	48
Figura 23 – Tipos de ruptura ocorridos durante o ensaio	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Aderência entre a argamassa e alguns substratos.....	9
Gráfico 2 – Histograma de frequência do EP para a Ra (MPa) do Reboco Grosso ..	56
Gráfico 3 – Histograma de frequência do EP para o E (GPa) resultante da MD em ultrassom no Reboco Médio.....	61
Gráfico 4 – Histograma de frequência do EP para o E (GPa) resultante da MI em ultrassom no Reboco Médio.....	62
Gráfico 5 – Histograma de frequência do EP para o E (GPa) resultante da MD em ultrassom no Reboco Grosso ..	66
Gráfico 6 – Histograma de frequência do EP para o E (GPa) resultante da MI em ultrassom no Reboco Grosso ..	66
Gráfico 7 – Mapa de dispersão para a placa C13 com E (GPa) e Ra (MPa), Reboco Médio e MD ..	69
Gráfico 8 – Mapa de dispersão para a placa C13 com VPU (m/s) e Ra (MPa), Reboco Médio e MD ..	69
Gráfico 9 – Mapa de dispersão para a placa C13 com E (GPa) e Carga Máxima (kgf), Reboco Médio e MD.....	70
Gráfico 10 – Mapa de dispersão para a placa C13 com VPU (m/s) e E (GPa), Reboco Médio e MD ..	71
Gráfico 11 – Mapa de dispersão para a placa C15, Reboco Médio e MD.....	72
Gráfico 12 – Mapa de dispersão para a placa C11, Reboco Médio e MI ..	74
Gráfico 13 – Mapa de dispersão para a placa C14, Reboco Médio e MI ..	75
Gráfico 14 – Mapa de dispersão para a placa C21, Reboco Grosso e MD ..	76
Gráfico 15 – Mapa de dispersão para a placa C25, Reboco Grosso e MD ..	77
Gráfico 16 – Mapa de dispersão para todas as placas, Reboco Grosso e MI.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Espessuras para revestimentos em milímetros.....	5
Quadro 2 - Propriedades determinantes da trabalhabilidade das argamassas	13
Quadro 3 - Métodos empregados para avaliar a consistência e a plasticidade das argamassas.....	17
Quadro 4 - Algumas propriedades do concreto ou argamassa e os END relacionados às mesmas	23
Quadro 5 - Relação entre a VPU e a qualidade do concreto	24
Quadro 6 – Valores críticos para o coeficiente de correlação de Pearson.....	30
Quadro 7 – Valores da distribuição t de student.....	32
Quadro 8 - Densidade de massa aparente das argamassas	49
Quadro 9 – Valores de Ra (MPa) para o Reboco Médio com o tipo de ruptura	50
Quadro 10 – Medidas de tendência central para a resistência de aderência à tração do Reboco Médio	51
Quadro 11 – Medidas de variação para a resistência de aderência à tração do Reboco Médio	51
Quadro 12 – Média e desvio padrão geral para o arrancamento no Reboco Médio ..	52
Quadro 13 – Valores de Ra (MPa) para o Reboco Grosso com o tipo de ruptura	54
Quadro 14 – Medidas de tendência central para a resistência de aderência à tração do Reboco Grosso	55
Quadro 15 – Medidas de variação para a resistência de aderência à tração do Reboco Grosso.....	55
Quadro 16 – Média e desvio padrão geral para o arrancamento no Reboco Grosso	55
Quadro 17 – Módulo de Elasticidade Dinâmico da Argamassa, Reboco Médio	58
Quadro 18 – Medidas de tendência central para o E (GPa) do Reboco Médio.....	59
Quadro 19 – Medidas de Variação para o E (GPa) do Reboco Médio.....	59
Quadro 20 – Média e desvio padrão geral para MD do Reboco Médio.....	60
Quadro 21 – Média e desvio padrão geral para a MI	60
Quadro 22 – Módulo de Elasticidade Dinâmico da Argamassa para o Reboco Grosso	63
Quadro 23 – Medidas de tendência central para o E (GPa) do Reboco Grosso.....	64
Quadro 24 – Medidas de variação para o E (GPa) do Reboco Grosso.....	64
Quadro 25 – Média e desvio padrão geral para a MD do Reboco Grosso.....	65

Quadro 26 – Média e desvio padrão geral para a MI do Reboco Grosso	65
Quadro 27 – Correlação de E (GPa) e Ra (MPa) para o Reboco Médio, MD	68
Quadro 28 – Correlação de VPU (m/s) e Ra (MPa) para o Reboco Médio, MD.....	68
Quadro 29 – Correlação de E (GPa) e Carga Máxima (kgf) para o Reboco Médio, MD	70
Quadro 30 – Correlação de VPU (m/s) e E (GPa) para o Reboco Médio, MD	70
Quadro 31 – Margem de Erro para a placa C13, MD	72
Quadro 32 – Margem de Erro para a placa C15, MD	73
Quadro 33 – Correlação dos dados para o Reboco Médio, MI	73
Quadro 34 – Margem de Erro para a placa C11, MI	75
Quadro 35 – Margem de Erro para a placa C14, MI	75
Quadro 36 – Correlação dos dados para o Reboco Grosso, MD	76
Quadro 37 – Margem de Erro para a placa C21, MD	77
Quadro 38 – Margem de Erro para a placa C25, MD	78
Quadro 39 – Correlação dos dados para o Reboco Grosso, MI.....	78
Quadro 40 – Margem de erro para os dados do Reboco Grosso, MI.....	80
Quadro 41 - Quadro Resumo das Equações Elaboradas	81

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM – *American Society for Testing and Materials*
BS – *British Standard*
CP – Corpo de Prova
CP's – Corpos de Prova
CV – Coeficiente de Variação
CV's – Coeficientes de Variação
DP – Desvio Padrão
E – Margem de erro para uma medida
E (GPa) – Módulo de Elasticidade Dinâmico em gigapascais
END – Ensaio Não Destrutivo
EP – Escore Padrão z
IAEA – *International Atomic Energy Agency*
MD – Medida Direta
MI – Medida Indireta
NBR – Norma Brasileira
r – Coeficiente de correlação de Pearson
RP – Reboco Paulista
Ra (MPa) – Resistência de aderência à tração em megapascais
Se – Erro padrão de estimativa
Var - Variância
VPU – Velocidade de Pulso Ultrassônico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1) Objetivos do trabalho.....	2
1.1.1) Objetivo geral	2
1.1.2) Objetivos específicos.....	2
2 REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1) Revestimentos argamassados	4
2.2) Estrutura e composição dos revestimentos.....	6
2.2.1) Substrato.....	6
2.2.2) Chapisco	7
2.2.3) Emboço	9
2.2.4) Reboco.....	10
2.2.5) Camada única	11
2.3) Problemas recorrentes em revestimentos.....	11
2.4) Propriedades da argamassa e métodos de avaliação associados.....	12
2.4.1) Propriedades no estado fresco	12
2.4.1.1) Trabalhabilidade.....	12
2.4.1.2) Aderência inicial ao substrato	13
2.4.1.3) Retenção de água	14
2.4.1.4) Consistência e plasticidade.....	15
2.4.1.5) Densidade de massa e teor de ar incorporado	17
2.4.2) Propriedades da argamassa no estado endurecido	17
2.4.2.1) Aderência final	18
2.4.2.2) Capacidade de absorver deformações.....	19
2.4.2.3) Resistência mecânica	19
2.4.2.4) Durabilidade	20

2.5) Ensaio não destrutivo	20
2.5.1) Método do ultrassom na argamassa	21
2.5.2) Métodos combinados para a previsão de resistência no concreto e argamassa	23
2.6) Análises Estatísticas	25
2.6.1) Distribuições de Frequência.....	25
2.6.2) Medidas de tendência central	26
2.6.3) Medidas de variação	27
2.6.4) Medidas de posição	28
2.6.5) Correlação de resultados	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1) Materiais.....	33
3.1.1) Substrato.....	34
3.1.2) Argamassas	35
3.2) Métodos	35
3.2.1) Confecção do Substrato.....	35
3.2.2) Aplicação da argamassa sobre o substrato	39
3.2.2.1) Reboco Médio	39
3.2.2.2) Reboco Grosso	42
3.2.3) Ensaio de ultrassom.....	43
3.2.2) Ensaio de aderência.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1) Densidade de massa das misturas	49
4.2) Arrancamento no Reboco Médio.....	49
4.3) Análise conjunta dos dados para o arrancamento no Reboco Médio	52
4.4) Arrancamento no Reboco Grosso.....	53
4.5) Análise conjunta dos dados para o arrancamento no Reboco Grosso	55

4.6) Ensaio de Ultrassom Argamassa do tipo Reboco Médio	57
4.7) Análise conjunta dos dados para o ultrassom no Reboco Médio.....	59
4.8) Ultrassom no Reboco Grosso	62
4.9) Análise conjunta dos dados para o ultrassom no Reboco Grosso	65
4.10) Correlação dos resultados	67
4.10.1) Reboco médio, medida direta em ultrassom	67
4.10.2) Reboco médio, medida indireta em ultrassom	73
4.10.3) Reboco grosso, medida direta em ultrassom	76
4.10.4) Reboco grosso, medida indireta em ultrassom	78
5 CONCLUSÃO.....	82
5.1) Recomendações para trabalhos futuros.....	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXO A – Carga Máxima de Arrancamento nos Rebocos Médio e Grosso.....	91
ANEXO B – Desvios dos Valores de Resistência ao Arrancamento para os Rebocos Médio e Grosso	92
ANEXO C – Escore Padrão Z para o arrancamento nos Rebocos Médio e Grosso .	93
ANEXO D – Leitura do Ultrassom para os Rebocos Médio e Grosso.....	94
ANEXO E – Desvios do Módulo de Elasticidade para os Rebocos Médio e Grosso.	95
ANEXO F – Escore Padrão Z para o Módulo de Elasticidade das Argamassas	96
ANEXO G – Dados Resultantes para os Rebocos Médio e Grosso.....	97

1 INTRODUÇÃO

É perceptível que, no mercado da construção civil brasileira, existem problemas recorrentes envolvendo a durabilidade das construções. Após um curto período de tempo, muitas vezes, diversas patologias começam a aparecer, sem que sequer tenha se aproximado o tempo total de vida útil da edificação.

Isso evidencia a necessidade de um acompanhamento e de restaurações periódicas em obras porque, como escrito por Souza e Ripper (2001), a durabilidade de uma construção está estritamente relacionada com a adoção de um conjunto de decisões e procedimentos que garantam à estrutura e aos materiais que a compõe um desempenho satisfatório durante a sua vida útil.

Todavia, o problema estende-se para além do quesito conservação. A verificação de patologias em edificações recém finalizadas no Brasil (entende-se por recém finalizadas as obras entregues a 5 anos ou menos) tem sido comum.

Como escreveu Thomaz (1989), as condições econômicas de países em desenvolvimento, como o Brasil, fizeram com que as obras fossem conduzidas a grandes velocidades, com poucos rigores no controle de materiais e serviços. Tal fato, aliado a eventuais formações deficientes de arquitetos e engenheiros, sistemas de financiamento, políticas habitacionais inconsistentes e a fuga de recursos para atividades meramente especulativas, tem provocado gradativa queda na qualidade das construções brasileiras, a ponto de existirem edifícios que, nem sendo ocupados, já estão virtualmente condenados.

As causas das anomalias podem ser diversas. Diferentes pesquisadores, ao longo do tempo, têm tentado apontar qual etapa da obra seria a responsável pelo aparecimento da maioria dos problemas (SOUZA e RIPPER, 2001). Uma parte das edificações que repetidas vezes é um berço de anomalias é a fachada, justamente o acabamento estético que identifica a construção com seus arredores e que tem exposição direta às intempéries. Ademais, isso muitas vezes interfere no custo final das edificações (CHAVES, 2009).

Isso evidencia a importância de investimentos em pesquisa científica envolvendo argamassas, para que se propicie um bom acabamento às construções, aprimorando seu desempenho e durabilidade, buscando um estado de conservação

satisfatório. Uma maneira eficiente de tentar efetuar um controle de qualidade, identificando possíveis falhas, é a aplicação de ensaios não destrutivos.

Os ensaios não destrutivos permitem a observação de anomalias sem que haja a destruição do material e a interrupção do serviço, economizando tempo e recursos, constituindo assim uma maneira econômica e eficiente de avaliação (GRABOWSKI, PADARATZ e PINTO, 2008).

Um ensaio não destrutivo frequentemente utilizado na área de Engenharia é o ultrassom. Como escreveu Fonseca (2005), o ensaio pode ser aplicado em qualquer componente sem que ele seja destruído, inutilizado e sem que fiquem marcas. A onda ultrassônica, durante sua propagação, carrega informações a respeito do material em que se propaga através da variação de sua velocidade sônica e de sua frequência. É possível que tais oscilações possam ser interpretadas e correlacionadas com o posterior desempenho do material, como o seu comportamento quanto à aderência à tração, por exemplo.

Diante disso, esse trabalho visa estudar a relação entre os resultados obtidos com a aplicação do ultrassom na argamassa e a resistência de aderência à tração na mesma.

1.1) Objetivos do trabalho

Diante do contexto citado na Seção 1, o presente trabalho tem por objetivo:

1.1.1) Objetivo geral

Verificar a resistência de aderência à tração em argamassas combinando o método destrutivo com o não destrutivo.

1.1.2) Objetivos específicos

- Avaliar a resistência de aderência à tração nos sistemas de revestimento argamassados;

- Realizar verificações de pulso ultrassônico no revestimento argamassado utilizando o ultrassom;
- Desenvolver um estudo de correlação entre os resultados obtidos com os dois métodos distintos - destrutivo e não destrutivo – através de análises matemáticas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste tópico será feita uma revisão geral da literatura, buscando abordar temas e estabelecer definições diretamente relacionadas com o trabalho a fim de fundamentar, contextualizar e justificar o respectivo estudo. Iniciar-se-á com definições básicas a respeito de revestimentos constituídos de argamassa.

2.1) Revestimentos argamassados

Pode-se definir a argamassa, em linhas gerais, com um conceito apresentado na norma NBR 13281 (ABNT, 2005), o qual afirma que a argamassa consiste em uma mistura homogênea, composta por agregado miúdo, aglomerante inorgânico, água e um material aglutinante, podendo a mesma ser confeccionada e dosada em obra ou em instalação propriamente destinada a esse fim (argamassa industrializada). É comum, dependendo da finalidade, o emprego de aditivos químicos na mistura, visando a obtenção de uma melhoria nas propriedades durante os estados fresco e endurecido.

O revestimento em argamassa, por sua vez, consiste no cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas em argamassa, sendo já o acabamento decorativo final ou estando apto a recebê-lo (NBR 13529, 2013). O revestimento pode ser do tipo camada única, sendo constituído por chapisco e emboço, ou uma sobreposição de chapisco, emboço e reboco.

As principais funções de um revestimento argamassado são: proteger a base, corriqueiramente composta por alvenaria, de agentes agressivos, propiciando estanqueidade a fluidos externos juntamente com um isolamento termo acústico e, em suma, permitir que o acabamento resulte em uma camada homogênea, regularizada, promovendo a execução arquitetônica desejada (ABCP, 2002).

Para que cumpra devidamente a sua função, os revestimentos devem satisfazer a algumas condições estabelecidas na norma NBR 13749 (ABNT, 2013), sendo elas:

- Ser compatível com o acabamento decorativo (pintura, papel de parede, revestimento cerâmico e outros);

- Ter resistência mecânica decrescente ou uniforme, a partir da primeira camada em contato com a base, sem comprometer a sua durabilidade ou acabamento final;

- Ser constituído por uma ou mais camadas superpostas de argamassas contínuas e uniformes;

- Ter propriedade hidrofugante, em caso de revestimento externo de argamassa aparente, sem pintura e base porosa. No caso de não se empregar argamassa hidrofugante, deve ser executada pintura específica para este fim;

- Ter propriedade impermeabilizante, em caso de revestimento externo de superfícies em contato com o solo;

- Resistir à ação de variações normais de temperatura e umidade do meio, quando externos.

Além disso, a NBR 13749 (ABNT, 2013) também especifica as espessuras que as camadas de revestimento devem possuir. Elas podem ser vistas no Quadro 1.

Quadro 1 - Espessuras para revestimentos em milímetros

Revestimento	Espessura (mm)
Parede Interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede Externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos Interno e Externo	$e \leq 20$

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013).

Diante do que foi dito fica claro, portanto, que o acabamento de paredes em argamassa, principalmente o revestimento de sua face externa, está submetido a um considerável grau de agressividade advindo das intempéries e da relação da estrutura com o meio, tornando-se um possível berço de patologias caso haja ali irregularidades.

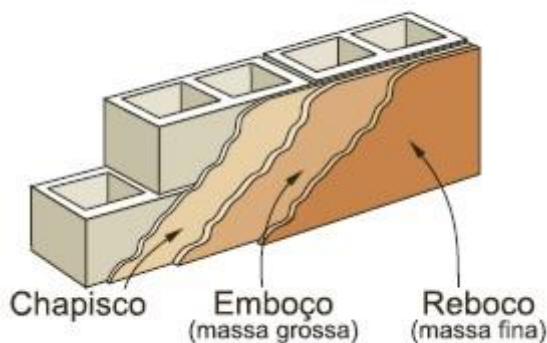
É necessário que se tenha em mente a importância de um revestimento de tal tipo, pois o mesmo é responsável, em média, por 30 a 40% da espessura da parede, 50% do isolamento acústico, 30% do isolamento térmico, 10 a 30% do custo total da construção e 100% da estanqueidade da vedação em alvenaria comum (ABCP, 2002).

2.2) Estrutura e composição dos revestimentos

As vedações verticais envolvendo argamassa são componentes de um sistema de revestimento complexo com vários elementos, dentre os quais divide-se a empregabilidade em revestimento externo, de substrato de alvenaria ou estrutura de concreto, e o revestimento interno (JUNIOR, 2004).

O sistema usual de acabamento de parede em argamassa é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Camadas que compõe o revestimento argamassado



Fonte: Fórum da Construção, 2015.

Serão comentados, a seguir, aspectos relevantes sobre cada parte que compõe esse sistema.

2.2.1) Substrato

O substrato é a superfície a ser revestida pela argamassa. A classificação do substrato, também chamado de base, pode se dar através de sua função (estrutural ou de vedação), por sua textura superficial, por sua capacidade de absorção ou sucção de água, por sua porosidade, dentre outras. Tal base pode ser constituída em alvenaria ou concreto, sendo a primeira feita por blocos ou tijolos de diversas naturezas (JUNIOR, 2004).

É importante salientar que o comportamento e as propriedades dos revestimentos possuem uma relação direta com as propriedades do substrato. Por

esse motivo, a norma brasileira NBR 7200 (ABNT, 1998) estabelece uma gama de parâmetros necessários para a execução de um bom acabamento em argamassa, incluindo condições a que devem satisfazer as bases.

Segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998), o grau de absorção da base deve ser adequado, para propiciar uma boa microancoragem e a rugosidade superficial também, garantindo a macroancoragem. Para tal, o substrato com elevada absorção, exceto parede com bloco de concreto, deve ser previamente molhado. Caso exista infiltração no local, a mesma deve ser eliminada. Além disso, a base precisa ser regular para que a argamassa seja aplicada em espessura uniforme e o substrato precisa estar limpo, livre de pó, eflorescência, graxa, óleo, incrustações ou qualquer coisa que prejudique a aderência. Bases irregulares devem ser corrigidas antes da aplicação do material.

A NBR 7200 (ABNT, 1998) também salienta o cuidado a ser tomado com bases submetidas a esforços que gerem deformações diferenciais consideráveis, tais como coberturas, balanços e platibandas. Para tal, deve ser criada uma zona que suporte movimentações diferenciais através do emprego de telas metálicas ou semelhantes. Em conjunto, recomenda-se a execução de juntas que separem acabamentos em argamassa aplicados sobre substratos compostos por materiais diferentes, permitindo que cada parte se movimente separadamente.

Como a interface entre o revestimento e a base pode ser uma fonte de patologias envolvendo problemas de aderência insuficiente, é recomendada a execução de uma camada de preparo, corriqueiramente denominada chapisco, sobre a qual posteriormente será aplicado o emboço (SANTOS, 2008).

2.2.2) Chapisco

O chapisco é utilizado em alguns revestimentos e em outros não. Como discutido por Santos (2008), o chapisco não é considerado uma camada de revestimento, mas sim uma camada de ligação entre o revestimento e a base, que tem como função cobrir e regularizar a superfície do substrato, melhorando a aderência na interface da argamassa com a base.

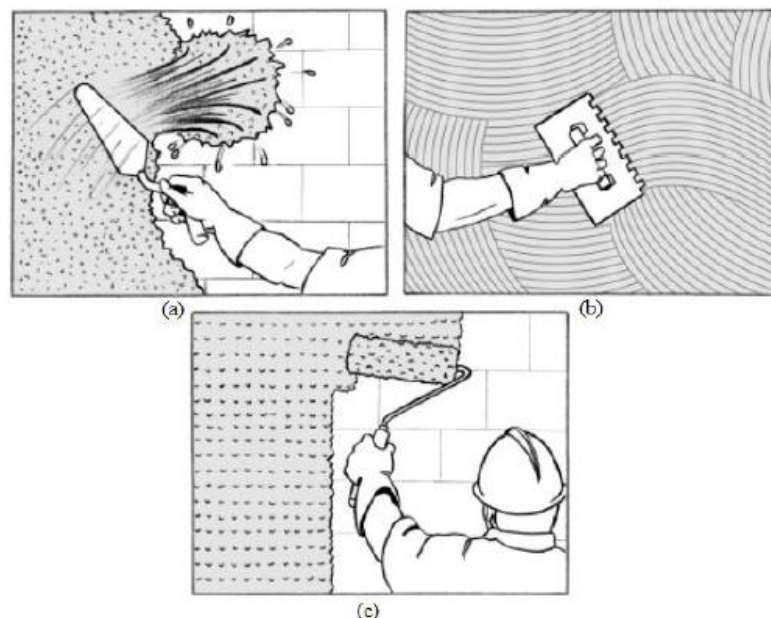
Para o recebimento do chapisco, o substrato precisa ser molhado com o intuito de que os poros dos blocos não absorvam a água necessária à cura do mesmo. No

entanto, o excesso de umidade, principalmente em locais frios, pode inviabilizar a aderência. Preferencialmente deve-se optar por argamassa industrializada, pois a mesma está menos suscetível a erros comuns de dosagem em obra, propiciando assim melhor aderência. O chapisco deve ser feito com argamassa fluida de cimento e areia, no traço 1:3 em volume, podendo ser adicionado aditivo adesivo na mistura. A dimensão máxima característica da areia deve ser de 5 mm para o chapisco, 3 mm para o emboço e 1 mm para o reboco (YAZIGI, 2009).

Segundo Leal (2003), a aplicação do chapisco pode ocorrer no método tradicional, no qual a argamassa fluida deve ser lançada energicamente sobre a base, a aplicação pode se dar por desempenadeira dentada, o que geralmente ocorre com argamassa industrializada e o chapisco também pode ser rolado, aplicado com um rolo de textura acrílica. O chapisco rolado geralmente tem sua aplicação direcionada a revestimentos internos.

Na Figura 2, são apresentadas as formas de aplicação da camada de ligação, que correspondem a: a) chapisco convencional, b) chapisco desempenado e c) chapisco rolado.

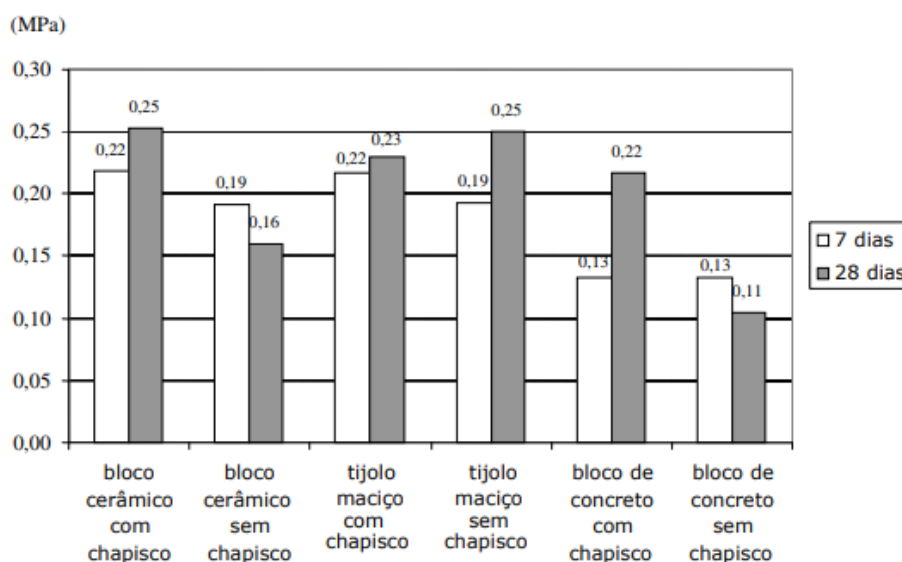
Figura 2 - Formas de aplicação da camada de ligação



Fonte: Comunidade da Construção (2002)

Conforme pode ser observado no Gráfico 1, extraído de um artigo publicado por Kazmierczak, Brezezinski e Collatto (2007), a utilização ou não de chapisco e a composição do substrato possuem uma influência significativa sobre a resistência de aderência à tração da argamassa. Sobre o chapisco é aplicado o emboço.

Gráfico 1 - Aderência entre a argamassa e alguns substratos



Fonte: KAZMIERCZAK, BREZEZINSKI e COLLATTO (2007)

Atualmente, existem máquinas manuais e de projeção para a aplicação do chapisco na base.

2.2.3) Emboço

O emboço é definido, de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013), como uma camada feita para regularizar e cobrir a superfície do substrato ou do chapisco, formando uma superfície que permita o recebimento de outra camada de acabamento final, sendo ela de cerâmica, tinta ou reboco.

De acordo com Yazigi (2009), são traços usuais de emboço os seguintes:

- Emboço externo: traço 1:1:4 de cimento, cal em pasta e areia grossa, em volume.
- Emboço interno: traço 1:1:6 de cimento, cal em pasta e areia grossa, em volume.

A areia utilizada na mistura deve ser de rio, não de cava e nunca salitrada. A execução do emboço só pode ser iniciada após a pega completa do chapisco e

preferencialmente deve ser feita com o auxílio de faixas mestras, taliscas de madeira, sendo a argamassa preparada mecanicamente ou dosada em central. O desempenho da superfície deve ser efetuado com régua de alumínio, tendo ela de ser apoiada nas faixas mestras para regularização (YAZIGI, 2009).

Se, por acaso, o emboço se torna o acabamento final, trata-se de um revestimento em camada única (JUNIOR, 2004). O emboço normalmente constitui a parte mais grossa e ancoradora do revestimento.

2.2.4) Reboco

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013) o reboco pode ser definido como a última camada de revestimento, utilizada para cobrir o emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo que consistirá no acabamento final. Pelo fato de ser a camada que confere a textura final aos revestimentos de múltiplas camadas, a argamassa constituinte deve apresentar uma capacidade elevada de absorção de deformações, sendo livre de fissuras, trincamentos e imperfeições, principalmente nas fachadas externas (JUNIOR, 2004).

O reboco só poderá ser executado 24 horas após a pega completa do emboço e após o assentamento de marcos e peitoris. Arestas e cantos vivos devem ser protegidos por cantoneiras nas superfícies a serem revestidas. O mesmo deve ser protegido das intempéries durante sua execução, a fim de evitar que sua secagem se processe de maneira muito rápida, pois o acabamento precisa possuir aspecto uniforme e superfície plana, não sendo tolerado nenhum tipo de empeno (YAZIGI, 2009).

Normalmente, para a execução dos rebocos, são utilizadas argamassas finas industrializadas, tanto interna como externamente. Tais materiais são à base de cal hidratada e areia classificada, necessitando apenas de adição de água e mistura para sua utilização. Argamassas de fachadas, normalmente, possuirão propriedades hidrófugas adicionais, protegendo as fachadas das construções contra a penetração de água da chuva. Além de cal hidratada e areia classificada, portanto, pode ser utilizado cimento Portland e aditivo impermeabilizante em sua composição. O reboco possui espessura pequena, de 3 a 5 mm, e deve apresentar propriedades satisfatórias de desempenho (YAZIGI, 2009).

2.2.5) Camada única

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013) o revestimento do tipo camada única é aquele sobre o qual é aplicado o acabamento final, substituindo o emboço e o reboco. A camada única possui traço diferente do emboço, mas deve ser aplicada sobre o chapisco obedecendo as regras já citadas na seção 2.2.4. Segundo a ABCP (2002), o revestimento do tipo camada única também é conhecido como “reboco paulista” (RP).

Atualmente, ao menos no mercado da região porto alegre, majoritariamente utiliza-se o RP com areias cada vez mais finas, priorizando o acabamento, mas, muitas vezes, comprometendo propriedades como a estabilidade de volume e a resistência de aderência. A experiência tem mostrado que nem sempre a velocidade e a economia pretendidas com o método compensam, tendo em vista que será necessário investir em reparos em decorrência de problemas ocasionados por má dosagem (RECENA, 2012).

2.3) Problemas recorrentes em revestimentos

Problemas ou patologias em edificações podem ser definidos como manifestações que indicam uma deterioração estrutural, que faz com que a construção apresente um desempenho insatisfatório, se confrontada com as finalidades a que se propunha (SOUZA e RIPPER, 2001).

É frequente a ocorrência de manifestações patológicas em argamassas. Dependendo da magnitude dos ocorridos, os problemas podem variar entre a depreciação dos imóveis problemáticos por comprometimento da estética das fachadas, o comprometimento da estanqueidade das paredes causando danos internos e ainda outros incidentes mais graves que podem, inclusive, colocar em risco patrimônios materiais ou a integridade física de algumas pessoas (RECENA, 2012).

As patologias em revestimentos podem ter diversas causas. Dentre as principais, pode-se destacar algumas frequentes: a qualidade dos materiais empregados, a dosagem ou o uso inadequado das argamassas, inadequada concepção, deficiência ou ausência de projetos de revestimentos, a qualidade da

execução, falta ou deficiência na fiscalização e a falta de manutenção (RECENA, 2012).

2.4) Propriedades da argamassa e métodos de avaliação associados

Nessa seção serão discutidas as principais propriedades que caracterizam as argamassas e a maneira de avaliá-las.

2.4.1) Propriedades no estado fresco

As principais propriedades da argamassa no estado fresco são: trabalhabilidade, aderência inicial ao substrato, retenção de água, consistência e plasticidade, densidade de massa e teor de ar incorporado.

2.4.1.1) Trabalhabilidade

De acordo com Recena (2012), a trabalhabilidade pode ser definida como um conceito subjetivo que indica a facilidade ou dificuldade de colocar a argamassa em sua posição final, sem comprometer a tarefa no que tange a rendimento e custo. Dessa forma, o quão trabalhável deve ser uma argamassa dependerá de sua finalidade de utilização. Argamassas destinadas ao revestimento de paredes, por exemplo, devem possuir uma plasticidade maior do que as destinadas ao assentamento de elementos de alvenaria.

A trabalhabilidade é uma propriedade complexa, resultante de um conjunto de diversas outras propriedades, como consistência, plasticidade, retenção de água, exsudação, coesão, densidade de massa e adesão inicial (CARASEK, 2007). A definição geral de cada um desses conceitos pode ser vista no Quadro 2.

Na sequência serão discutidos alguns dos principais fatores que possuem influência direta na trabalhabilidade.

Quadro 2 - Propriedades determinantes da trabalhabilidade das argamassas

Propriedades	Definição
Consistência	Maior ou menos facilidade de a argamassa deformar-se sob a ação de cargas.
Plasticidade	Propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação aplicadas.
Retenção de água e de consistência	Capacidade de a argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água.
Coesão	Refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante.
Exsudação	Tendência de separação da água (pasta) da mistura, de modo que a água sobe e os agregados descem pelo efeito da gravidade. Argamassas de consistência fluida apresentam maior tendência à exsudação.
Densidade de massa	Relação entre a massa e o volume de material.
Adesão inicial	Capacidade de união inicial da argamassa fresca ao substrato.

Fonte: Adaptado de CARASEK (2007)

2.4.1.2) Aderência inicial ao substrato

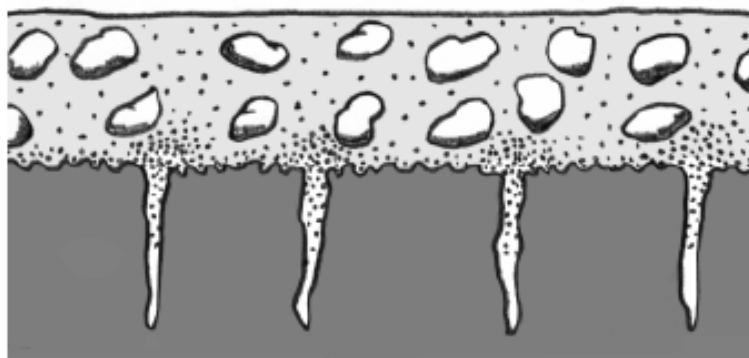
Pode ser definida como a capacidade da mistura de ancorar-se na superfície da base juntamente aos poros, às reentrâncias e saliências após “arremessada” em direção à parede. A ancoragem é seguida do endurecimento gradativo da pasta (SANTOS, 2008). Entenda-se adesão por sinônimo de aderência.

A adesão é uma propriedade de alta importância, resultado do comportamento de um sistema, dependendo tanto das características da argamassa como do substrato. A aderência pode ser dividida em três etapas: instantânea, microaderência e macroaderência (RECENA, 2012)

A aderência instantânea é aquela que ocorre logo após o impacto da argamassa com o substrato, sendo fruto do vácuo formado no processo de deformação que a argamassa experimenta quando projetada sobre a base. Enquanto a pressão formada na interface é equilibrada, a argamassa permanecerá aderida ao

substrato até que se inicie a microaderência. Tal aderência inicial dependerá diretamente da coesão e da plasticidade da argamassa (RECENA, 2012). Micro e macroancoragem serão consideradas propriedades do estado endurecido. A Figura 3 ilustra o processo de ancoragem.

Figura 3 - Adesão adequada entre o revestimento e o substrato



Fonte: Comunidade da Construção (2019)

No Brasil não existem normas especificando métodos para a avaliação da adesão inicial.

2.4.1.3) Retenção de água

A retenção de água pode ser caracterizada como a capacidade da argamassa de liberar demoradamente, para o meio ambiente ou para substratos porosos, a água empregada em sua confecção. Quanto maior a quantidade de água utilizada, maior o volume de água evaporada, tendo como consequência a retração, independentemente da capacidade da argamassa de reter água (RECENA, 2012).

Usualmente a argamassa feita e utilizada em obra para revestimento possui sua quantidade de água dosada de maneira empírica, com o intuito de facilitar a trabalhabilidade. Nesses casos, verifica-se um consumo muito elevado de água, que pode chegar a 30% da massa total do material seco, razão pela qual dificilmente não haverá fissuras (RECENA, 2012).

Caso a argamassa possua elevada capacidade de retenção de água, a perda de água de amassamento será lenta e acontecerá em conjunto com o progressivo ganho de resistência, garantindo a estruturação do material, minimizando a diminuição do volume e a probabilidade de existirem fissuras. Além disso, a retenção de água

também está diretamente ligada com a capacidade de aderência ao substrato, sendo fundamental para a união dos elementos que compõe uma parede e a formação de um todo compacto (RECENA, 2012).

Alguns materiais utilizados na argamassa possuem uma relação direta com sua capacidade de retenção de água. O cimento e a cal hidratada, por suas finas partículas, são típicos exemplos, pois a água fica retida em torno de suas partículas. O emprego de uma quantidade elevada de cimento, no entanto, promoverá a retração, apesar de melhorar a aderência à base (ABCP, 2002).

Também é comum o uso de aditivos para melhorar a retenção de água na mistura. Existem aditivos que possuem a função específica de retentores de água, mas também podem ser utilizados incorporadores de ar, que reduzem a exsudação (separação de água da mistura) através da adição de bolhas de ar. Por esse motivo, muitas vezes os aditivos incorporadores de ar são utilizados em substituição à cal, principalmente em argamassas industrializadas, melhorando sua trabalhabilidade no estado fresco. No entanto, no estado endurecido os mesmos não substituem a cal pois não possuem propriedades aglomerantes (JUNIOR, 2004).

A retenção pode ser medida através de um ensaio demonstrado na norma brasileira NBR 13277 (ABNT, 2005). O ensaio consiste em medir a massa de água retida pela argamassa após a sucção realizada por meio de uma bomba de vácuo a baixa pressão, através de um funil de filtragem. A retenção de água se altera de acordo com a composição da argamassa. A utilização de cal hidratada, aditivos incorporadores de ar e aditivos retentores de água surtem melhoras significativas (CARASEK, 2007).

2.4.1.4) Consistência e plasticidade

A consistência de uma argamassa pode ser classificada em seca, plástica e fluida, estando diretamente ligada com a relação entre os grãos dos agregados, o aglomerante e as bolhas de ar existentes dentro da mistura. Dessa forma, pode ser facilmente modificada por aditivos, principalmente o incorporador de ar (CARASEK, 2007).

A plasticidade, por sua vez, é adequada para cada mistura, de acordo com a finalidade desejada para a mesma. Pode-se dizer, quanto ao comportamento

reológico das argamassas, que diz respeito à sua maior ou menor fluidez, que a consistência está ligada à capacidade da argamassa em resistir ao escoamento. A plasticidade, por sua vez, está relacionada com a viscosidade da argamassa, sendo ambas as principais propriedades que compõe o que se chama de “trabalhabilidade” (CARASEK, 2007).

Existem diferentes métodos consagrados para medir a consistência, o que permite uma avaliação indireta da trabalhabilidade e possibilita um controle da argamassa no estado fresco. Alguns exemplos são o teste de penetração do cone, normalizado nos Estados Unidos pela ASTM C 780 (ASTM, 1996), e o *dropping ball*, dirigido pela norma britânica BS 4551 (BSI, 2013), ensaios que através da penetração de um corpo no interior da argamassa avaliam sua consistência, medindo principalmente a tensão de escoamento (CARASEK, 2007).

Métodos que impõem à argamassa uma deformação por meio de vibração ou choque medem conjuntamente consistência e plasticidade. Um exemplo é um ensaio popular no Brasil, conhecido como teste de avaliação do índice de consistência pelo espalhamento do tronco de cone na mesa (ou *flow table*), regulado pela NBR 13276 (ABNT, 2019).

Uma proposta recente e completa para avaliar a trabalhabilidade é o chamado *squeeze flow*. Tal ensaio consiste na medida do esforço necessário para a compressão uniaxial de uma amostra cilíndrica posta entre duas placas paralelas, sendo o esforço aplicado por uma máquina universal de ensaios. Além disso, o ensaio permite outras variações que possibilitam a simulação de diversas situações reais, permitindo uma avaliação criteriosa. Uma desvantagem é a necessidade de equipamentos caros (CARASEK, 2007). O ensaio do *squeeze flow* é prescrito pela norma brasileira NBR 15839 (ABNT, 2010).

Pode-se citar, também, os testes de Vane e Gtec. Apesar de ser originalmente utilizado em mecânica dos solos, o teste Vane vem sendo adaptado por diferentes grupos de pesquisa para uma avaliação reológica das argamassas (CARASEK, 2007).

O Quadro 3 mostra alguns métodos que podem ser empregados para avaliar a consistência e/ou a plasticidade das argamassas.

Quadro 3 - Métodos empregados para avaliar a consistência e a plasticidade das argamassas.

Método	Norma reguladora	Propriedade avaliada	Parâmetro reológico que controla o fenômeno
Mesa de consistência (<i>flow table</i>)	NBR 7215; NBR 13276	Consistência e plasticidade	Viscosidade
Penetração do cone	ASTM C 780	Consistência	Tensão de escoamento
Vane teste	BS 1377 e ASTM D 4648 (solos)	Consistência	Tensão de escoamento
Gtec teste	-	Consistência, plasticidade e coesão	Tensão de escoamento e viscosidade

Fonte: Adaptado de CARASEK, 2007

2.4.1.5) Densidade de massa e teor de ar incorporado

Massa específica ou densidade de massa do material é a relação entre sua massa e o volume, podendo ou não incluir os vazios presentes na mistura (SANTOS, 2008). Quanto mais leve for uma argamassa, melhor será sua trabalhabilidade a longo prazo, reduzindo os esforços do operário e rendendo mais. A densidade de massa varia conforme o teor de ar incorporado e a massa específica dos constituintes, principalmente os agregados (CARASEK, 2007). A densidade de massa no estado fresco é determinada pelo método prescrito na NBR 13278 (ABNT, 2005).

O teor de ar incorporado, por sua vez, é a quantidade de ar existente em um certo volume de argamassa. Tal propriedade possui relação direta com a massa específica (SANTOS, 2008). Sua determinação pode ser feita tanto através do método gravimétrico, baseado na já citada NBR 13278 (ABNT, 2005), quanto pelo método pressiométrico, baseado em normas internacionais como a ASTM C780 (ASTM, 1996).

2.4.2) Propriedades da argamassa no estado endurecido

As principais propriedades da argamassa no estado endurecido são: aderência final, capacidade de absorver deformações, resistência mecânica e durabilidade.

2.4.2.1) Aderência final

A aderência (ou adesão) da argamassa após o ganho de resistência, que diz respeito à ancoragem da mesma no substrato, pode ser definida como a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base. A adesão está diretamente ligada às propriedades do substrato, pois é resultante da interação dos dois materiais. A adesão pode ser considerada de três maneiras: a resistência de aderência à tração, resistência de aderência ao cisalhamento e extensão de aderência (área de contato efetivo) (CARASEK, 2007).

Em linhas gerais, tal fenômeno acontece através da penetração de parte da argamassa nos poros do substrato, sendo que parte da água de amassamento ocasiona o processo de hidratação do cimento dentro do poro até que o mesmo solidifique, fixando a argamassa à base como se a mesma estabelecesse ali raízes ou âncoras, daí o termo “ancoragem” (RECENA, 2012).

A medida da aderência à tração ou arrancamento da argamassa, um dos enfoques do presente trabalho, é prevista na norma brasileira NBR 13528 (ABNT, 2010) para argamassas inorgânicas de revestimento e pela norma NBR 14081-4 (ABNT, 2012) para argamassas colantes de assentamento de placas cerâmicas. Os ensaios podem ser feitos em laboratório ou em obra.

O ensaio para revestimentos inorgânicos consiste em furar o reboco com uma serra copo diamantada, delimitando um corpo de prova (CP) de 2 centímetros. Posteriormente, cola-se uma pastilha metálica na superfície do CP delimitado, acoplando-a ao equipamento de tração que aplicará seus esforços até a ruptura; conforme orientado pela NBR 13528 (ABNT, 2010).

O ensaio para argamassas colantes de assentamento de placas cerâmicas é semelhante. Nesse caso, porém, não se fura a camada de argamassa com uma serra copo. A pastilha metálica a ser acoplada no equipamento de tração é colada sobre peças cerâmicas assentadas na argamassa; conforme orientado pela NBR 14081-4 (ABNT, 2012).

Outra forma de avaliar a aderência potencial à tração é a especificada na NBR 15258 (ABNT, 2005). Tal metodologia consiste em uma avaliação em laboratório, pois são adotados padrões como o substrato e a climatização do ambiente. Embora os resultados possuam uma menor variabilidade, tal procedimento não necessariamente

representa a resistência real da argamassa utilizada em obra, devido à sua padronização.

2.4.2.2) Capacidade de absorver deformações

Consiste na aptidão do revestimento de absorver de forma eficiente as deformações advindas de respostas dadas por diferentes materiais às solicitações oriundas das repetidas variações térmicas e/ou higrométricas (RECENA, 2012).

O revestimento só possui a responsabilidade de absorver as pequenas deformações cujas causas foram citadas no parágrafo acima. Deformações de grande amplitude, como as advindas de recalques de fundação, por exemplo, não estão em sua alçada (CASAREK, 2007).

Tal capacidade está ligada a diferentes fatores, como a espessura das camadas, as juntas de trabalho do revestimento, a técnica de execução e o módulo de deformação da argamassa (SANTOS, 2008). O módulo de deformação pode ser determinado através de um ensaio não-destrutivo que emprega ondas ultrassônicas, baseado na norma NBR 15630 (ABNT, 2008).

2.4.2.3) Resistência mecânica

Os esforços aplicados sobre os revestimentos se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento, e a resistência mecânica é a sua capacidade de suportá-los. A norma NBR 13281 (ABNT, 2005) especifica as resistências exigidas para cada classe de argamassa em parâmetros como compressão e tração na flexão.

A determinação das resistências à compressão e à tração na flexão pode ser feita através da NBR 13279 (ABNT, 2005). A resistência à tração por compressão diametral, por sua vez, é especificada pela NBR 7222 (ABNT, 2011). Todos são ensaios efetuados em máquinas universais através de corpos de prova (CP's) cilíndricos com dimensões padronizadas e tempo adequado de cura.

2.4.2.4) Durabilidade

A durabilidade consiste na capacidade da argamassa em resistir ao ataque de meios e agentes agressivos, mantendo inalteradas suas características físicas e mecânicas enquanto utilizada (SANTOS, 2008).

Em outras palavras, é a capacidade de a argamassa manter sua estabilidade física e química ao longo do tempo em condições normais de exposição ao ambiente, sem deixar de cumprir as funções para as quais foi projetada considerando a aplicação de esforços previstos. Pode-se dizer que a umidade está intimamente ligada com a presença de umidade e de sais solúveis passíveis de serem lixiviados (RECENA, 2012).

No que diz respeito à durabilidade no quesito aderência, pode-se dizer que a mesma é diretamente influenciada pela condição superficial inicial do substrato, pelos materiais componentes da argamassa, pela capacidade de retenção de água e pela espessura do revestimento (SANTOS, 2008).

A durabilidade pode ser avaliada e medida por envelhecimento natural ou acelerado. O envelhecimento acelerado consiste em submeter os CP's a ciclos repetidos de molhagem e secagem. O controle do processo pode ser feito por difração de raios X, pela determinação qualitativa das fases e por evolução do comportamento mecânico na forma de resistência à compressão simples. Cabe verificar, também, o aparecimento de manifestações patológicas ao longo do tempo (FILHO *et al*, 2011).

2.5) Ensaios não destrutivos

Além dos ensaios citados na seção 2.4 para a avaliação de determinadas propriedades da argamassa, também podem ser utilizados ensaios não destrutivos (END). Como o próprio nome já sugere, ensaios destrutivos muitas vezes danificam ou comprometem o desempenho do concreto ou da argamassa analisados. Por esse motivo a utilização de END pode apresentar-se, muitas vezes, como uma alternativa mais moderna e interessante, que facilita a análise e interpretação dos resultados. Algumas vantagens são: ocasionar pouco ou nenhum dano à estrutura, serem aplicados a elementos em uso e permitir a detecção de problemas em estágio inicial (CHIES, 2014).

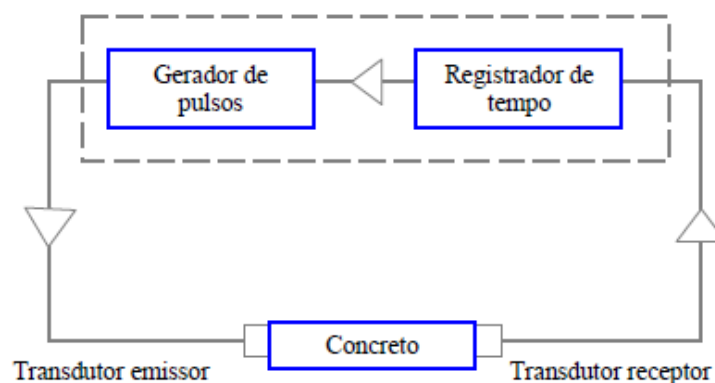
De maneira geral, existem duas classes de END utilizados na Engenharia Civil. A primeira consiste em métodos que visam estimar a resistência do material, tais como a esclerometria, resistência à penetração e o método da maturidade. A segunda classe, por sua vez, visa identificar características e defeitos internos do material através da propagação de ondas e da termografia. Alguns métodos, inclusive, fornecem a localização, o diâmetro e o estado de corrosão das armaduras dentro do concreto (CHIES, 2014).

2.5.1) Método do ultrassom na argamassa

O ensaio de velocidade de pulso ultrassônico (VPU) consegue aliar flexibilidade, baixo custo, boa capacidade de detecção e capacidade de fornecimento de informações sobre o material. Por esse motivo, sua aplicação na Engenharia Civil tem sido cada vez mais difundida, desde a avaliação da degradação das propriedades mecânicas do concreto e da argamassa até a detecção de microfissuração e variações de compacidade (LORENZI, 2009).

O equipamento de ultrassom conta com um gerador de pulsos, responsável por excitar um transdutor piezoelétrico (emissor). Eles produzem ondas ultrassônicas que são transmitidas através do material analisado. Em outras palavras, uma série de pulsos elétricos gerados pelo aparelho é aplicada no transdutor, que converte as pulsações em energia mecânica, no formato de ondas com frequência nominal geralmente localizada na faixa de dezenas de quilohertz (LORENZI, 2009). O método de funcionamento do ultrassom pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Princípio de funcionamento do ensaio de VPU



É importante, ainda, buscar garantir uma superfície de contato satisfatória entre os transdutores e o material. Para tal, é normalmente empregada alguma substância acoplante, tal como gel, graxa, vaselina ou silicone, entre as faces dos transdutores e a superfície analisada (LORENZI, 2009).

A velocidade do som possui relação direta com o material do meio analisado, dependendo somente das características do material e não da geometria do corpo. Dessa forma, a velocidade das ondas ultrassônicas transitando em um material sólido depende basicamente da densidade e das propriedades elásticas do meio de transmissão (LORENZI, 2009).

De acordo com a norma britânica BS 1881: Part 203 (BSI, 1986), que emprega método similar ao da norma brasileira NBR 15630 (ABNT, 2008), a relação citada é demonstrada através da Equação 1.

Equação 1 - Módulo de elasticidade dinâmico da argamassa

$$Ed = \rho \cdot V^2 \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{1-\nu} \quad (1)$$

Termos da Equação 1:

Ed – Módulo de elasticidade dinâmico da argamassa (N/m²);

ρ – Densidade de massa da argamassa (kg/m³);

V – Velocidade de propagação de onda (km/s);

ν – Coeficiente de Poisson.

A velocidade da onda ultrassônica pode ser obtida pela Equação 2.

Equação 2 - Velocidade de propagação da onda ultrassônica

$$V = \frac{d}{t} \quad (2)$$

Termos da Equação 2:

V – Velocidade de propagação da onda ultrassônica (km/s);

d – Altura do corpo de prova (km);

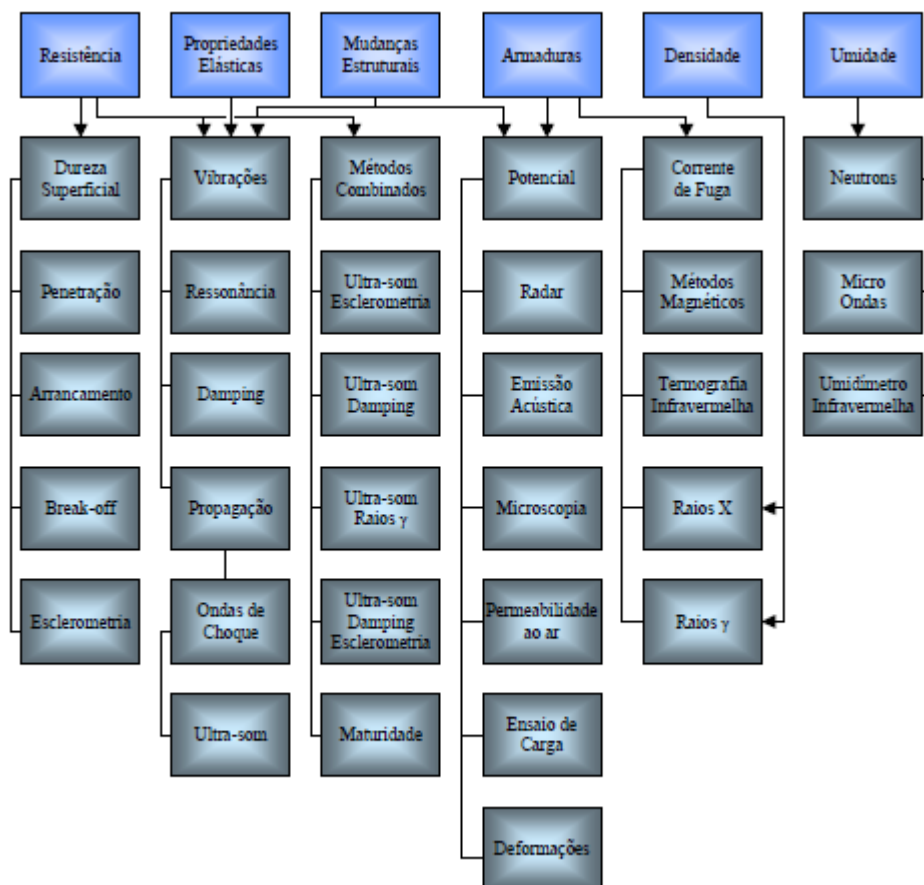
t – Tempo decorrido na propagação (s) – fornecido pelo equipamento.

O coeficiente de Poisson, por sua vez, consiste na razão entre a deformação transversal e longitudinal quando o corpo de prova é submetido a uma carga de compressão axial (CALLISTER, 2002). Segundo Carneiro (1999) apud Silva e Campiteli (2008), para argamassas o valor varia entre 0,1 e 0,2, sendo diretamente proporcional à capacidade de deformação da argamassa.

2.5.2) Métodos combinados para a previsão de resistência no concreto e argamassa

A aplicação de métodos combinados, que consistem na correlação entre os resultados obtidos por ensaios destrutivos e não destrutivos, vem sendo estudada com mais intensidade na Engenharia Civil, em decorrência das vantagens oferecidas por END citadas no início da seção 2.5. O Quadro 4 mostra propriedades do concreto e da argamassa e os respectivos END, utilizados para determinar ou correlacionar tais propriedades. Os ensaios destrutivos para a obtenção de algumas foram citados na seção 2.4.

Quadro 4 - Algumas propriedades do concreto ou argamassa e os END relacionados às mesmas



Fonte: Adaptado de LORENZI (2009)

Com os métodos e equações demonstrados na seção 2.5.1, é possível tentar obter correlações entre a VPU e a resistência do material analisado, seja concreto ou argamassa. Considerando que a resistência de um material está fortemente

relacionada com a densidade do mesmo, o ensaio de VPU pode ser empregado para estimá-la de forma indireta, sem que seja necessária a retirada de amostras do material. Tal método evita que a investigação da resistência provoque danos que podem ser caros, ou resultem em um reparo cuja interface com o material será constituída numa zona mais vulnerável à deterioração (LORENZI, 2009).

Além disso, a qualidade dos materiais de construção pode ser, muitas vezes, relacionada com sua compacidade, de maneira que a VPU pode ser utilizada tanto para avaliar a qualidade das estruturas quanto as propriedades mecânicas, como resistência à compressão e módulo de elasticidade. Dessa forma, teoricamente, seria possível estabelecer correlações entre a qualidade do concreto e a VPU, e entre a VPU e a resistência mecânica (LORENZI, 2009). Tais correlações podem ser vistas no Quadro 5.

Quadro 5 - Relação entre a VPU e a qualidade do concreto

VPU	Qualidade do Concreto
> 4500	EXCELENTE
3500 < VPU < 4500	ÓTIMO/BOM
3000 < VPU < 3500	BOM / DUVIDOSO
2000 < VPU < 3000	REGULAR
VPU < 2000	RUIM

Fonte: IAEA, 2002

No entanto, não se pode esquecer de que há vários parâmetros que podem afetar as leituras da VPU. Dentre eles, pode-se destacar o tipo de cimento, o tipo de agregado, o teor de umidade, a relação água/cimento, a idade da mistura, a dimensão e graduação dos agregados, a técnica de moldagem empregada, o tamanho das amostras, as condições de cura, etc. A eficiência da técnica para estimar resistências, portanto, é considerada como limitada, devido a um excessivo número de variáveis. No entanto, é vista como útil para estudos comparativos de resistência ao longo do tempo ou de mapeamento de variações de resistência em uma estrutura (LORENZI, 2009).

A norma britânica BS 1881:Part 203 (BSI, 1986) afirma que a VPU possui como principais as seguintes aplicações: determinação da homogeneidade do concreto ou argamassa, determinação da existência de fissuras, estimativa da resistência mecânica através de curvas de correlação apropriadas e o monitoramento da evolução da resistência.

Já foram realizados trabalhos no segmento como os de SILVA e CAMPITELI (2008), os quais demonstraram um resultado positivo na correlação do ultrassom com as propriedades mecânicas da argamassa. Em trabalhos como o de LORENZI (2009), que objetivou a construção de relações entre o ultrassom e as propriedades mecânicas do concreto, foi necessária uma análise mais complexa dos resultados em decorrência do grande número de variáveis envolvidas. Para tal análise empregou-se o sistema de Redes Neurais Artificiais, uma simulação da forma de raciocínio humana, estabelecendo correlações não lineares e múltiplas entre dados de entrada conhecidos e resultados obtidos.

O presente trabalho, de maneira similar, visa correlacionar o método da VPU com a resistência de aderência à tração em argamassas.

2.6) Análises Estatísticas

Nessa seção serão explicadas, com o devido embasamento literário, as análises estatísticas a serem realizadas nos ensaios efetuados, com o intuito de validar os dados e obter conclusões concretas.

2.6.1) Distribuições de Frequência

Uma distribuição de frequência consiste em uma tabela ou gráfico que mostra classes ou intervalos das entradas de dados com uma contagem do número de entradas em cada classe. A frequência de uma classe, portanto, é o número de entrada de dados nela (LARSON e FARBER, 2010).

Cada classe possui um limite inferior, que consiste no menor número que possa pertencer à classe, e um limite superior, que é o maior número que pode pertencer a ela. A largura de classe é a distância entre os limites inferiores de classes consecutivas. A amplitude, por sua vez, consiste na diferença entre a maior e a menor entrada de dados. É aconselhável que o número de classes esteja entre 5 e 20, caso contrário, será difícil detectar padrões. (LARSON e FARBER, 2010).

A distribuição de frequência constitui o tipo de tabela mais importante para a Estatística Descritiva, por isso requer especial atenção. Uma boa representação pode

ser feita através de histogramas de frequência; representação gráfica efetuada por meio de retângulos justapostos. (FONSECA e MARTINS, 2006).

2.6.2) Medidas de tendência central

São medidas que possibilitam representar um conjunto de dados, relativos a um determinado fenômeno, de maneira resumida. Consistem em orientações quanto à posição da distribuição no eixo x e possibilitam comparações de séries de dados entre si, representando os fenômenos através de valores médios em torno dos quais tendem a concentrar-se os resultados (FONSECA e MARTINS, 2006).

Uma das medidas de tendência central é a média. A média consiste na soma das entradas dividida pelo número de entradas, como mostra a Equação 3.

Equação 3 - Média aritmética dos termos

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N} \quad (3)$$

Termos da Equação 3:

\bar{x} – Média aritmética dos termos (unidade do termo);

$\sum x$ – Somatório de todos os dados de entrada (unidade dos dados de entrada);

N – Número total de dados (unidade dos dados).

Outra importante medida de tendência central é a mediana. A mediana de um conjunto de dados é o valor que está no meio quando os dados são postos em ordem crescente ou decrescente. Dessa forma, a mediana divide o conjunto em duas partes iguais. Se o número total de dados for ímpar, a mediana é o elemento do centro, se for par, é a média das duas entradas do meio (LARSON e FARBER, 2010).

A moda de um conjunto, por sua vez, é a entrada de dados que ocorre com maior frequência. Se nenhuma entrada é repetida, o conjunto não tem moda. Se dois números ocorrem com maior frequência, os dois são a moda e o conjunto é denominado bimodal, e assim sucessivamente (LARSON e FARBER, 2010).

2.6.3) Medidas de variação

São utilizadas para avaliar o grau de variabilidade ou dispersão em torno da média. Medem, dessa maneira, a representatividade da média dentro do conjunto. Pode-se citar, por exemplo, a amplitude total, que consiste na diferença entre o maior e o menor dos valores do conjunto. Têm-se como exemplo, também, o desvio médio de cada valor, que consiste na diferença entre ele e a média; os desvios são considerados em módulo, pois por definição não existe desvio negativo. (FONSECA e MARTINS, 2006).

A variância (Var), por sua vez, consiste na média aritmética dos quadrados dos desvios, como mostra a Equação 4.

Equação 4 - Variância

$$\sigma^2 = \frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{N} \quad (4)$$

Termos da Equação 4:

σ^2 – Variância (unidades do termo)²;

X_i – Elemento “i” do conjunto de dados (unidade do dado);

\bar{x} – Média dos valores do conjunto (unidade dos termos);

N – Número total de elementos do conjunto.

Outra importante medida de variação é o desvio padrão (DP), que consiste na raiz quadrada da variância. Por fim, tem-se o coeficiente de variação (CV), que é a simples divisão do desvio padrão pela média aritmética dos termos (LARSON e FARBER, 2010).

Para resultados tipicamente de pouca variação, considera-se que a distribuição possui pequena dispersão quando o coeficiente valer até 10%, média dispersão quando estiver entre 10% e 20% e elevada dispersão se superior a 20%. No entanto, outros analistas consideram o padrão citado demasiado rígido, principalmente para resultados que conhecidamente costumam ser mais variáveis. Tais analistas consideram que o mais adequado é que uma baixa dispersão seja o que estiver com um CV menor ou igual a 15%, uma média dispersão com CV entre 15% e 30% e elevada dispersão com CV superior a 30% (FONSECA e MARTINS, 2006).

De qualquer forma, para um CV superior a 10%, por mais que ainda possa ser classificada como uma medida de baixa dispersão, é bem provável que algum valor já difira significativamente da média (FONSECA e MARTINS, 2006).

2.6.4) Medidas de posição

A principal utilizada no trabalho foi o Escore Padrão z (EP). De acordo com Larson e Farber (2010), o z-escore representa o número de desvios padrão que um dado valor x está a partir da média de todos os valores. Para calcular o EP deve-se utilizar a Equação 5.

Equação 5 - Escore Padrão z

$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (5)$$

Termos da Equação 5:

Z – Escore Padrão z (adimensional);

X_i – Elemento “i” do conjunto de dados (unidade do dado);

\bar{x} – Média dos valores do conjunto (unidade dos termos);

σ – Desvio Padrão dos dados (unidade dos termos).

Quando a distribuição é em forma de sino, o que seria o mais adequado para a convergência dos valores, sabe-se, pela regra empírica que aproximadamente 95% dos dados está dentro de 2 desvios padrão da média. Quando esses valores de distribuição são transformados em z-escore, portanto, 95% dos z-escores devem estar entre -2 e 2. Um EP fora dessa amplitude ocorrerá em apenas 5% do tempo e será considerado incomum. Um EP maior do que 3 ou menor do que -3, por conseguinte, já não é mais incomum, é muito incomum de acordo com a regra empírica, ocorrendo em apenas 0,3% do tempo (LARSON e FARBER, 2010).

2.6.5) Correlação de resultados

O objetivo da correlação de dados é estabelecer uma relação entre duas variáveis, até então desconexas. Uma delas será uma variável independente, e ocupará o eixo x, e outra será a variável dependente, ocupando o eixo y e dependendo

do correspondente valor de x. Dessa forma, y será a imagem da abcissa x dentro dos pares ordenados. Em outras palavras $y = f(x)$ (LARSON e FARBER, 2010).

Um bom passo para iniciar uma correlação é a construção de um diagrama de dispersão. O diagrama de dispersão consiste em um gráfico, onde são postos os pares que se deseja correlacionar. Tal gráfico permite uma identificação visual do tipo de relação, caso haja uma correspondência forte entre os dados. Visualmente é possível identificar se a correlação é linear negativa, linear positiva, não linear ou se não há uma correlação (LARSON e FARBER, 2010).

Para medir a força e a direção da conexão entre os dados é adequado que se utilize o coeficiente de correlação produto momento de Pearson, também conhecido como “r”. Ele pode ser calculado a partir da Equação 6. Ainda segundo Larson e Farber, quanto mais próximo de 1 ou -1 for o valor do coeficiente de correlação, mais forte será a relação existente entre os dados. Como nesse trabalho foram utilizados ensaios de alta variabilidade, considerou-se como forte as correlações com valor, em módulo, superior a 0,5.

Equação 6 - Coeficiente de correlação

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n\sum x^2 - (\sum x)^2}\sqrt{n\sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (6)$$

Termos da Equação 6:

r – Coeficiente de correlação (adimensional);

n – Número total de pares (unidades);

x – Valores de x dos pares (unidade dos dados);

y – Valores de y dos pares (unidade dos dados).

A amplitude do coeficiente é de -1 até 1. Se x e y possuem uma correlação linear positiva forte, o valor é próximo a 1. Se x e y possuem uma correlação linear negativa forte, o valor é próximo a -1. Se não há correlação ou se ela é fraca, o valor de “r” está mais próximo de zero. Isso não significa que não há uma relação entre x e y, mas sim que essa relação não é linear (LARSON e FARBER, 2010).

Para testar significância de um coeficiente “r” foi criada uma tabela de significância, que relaciona o número de pares da amostra com o valor a partir do qual “r” é considerado significativo, levando em consideração um erro máximo admitido α . A tabela pode ser visualizada no Quadro 6.

Se for verificado que a significância da correlação linear é existente, então será possível escrever a equação para a linha de regressão que descreve os dados. Dessa forma, será possível empregar valores de x para prever valores de y, através da equação. Para montar uma reta de regressão, que tem por base uma equação do tipo $y = ax + b$, é necessário determinar os valores do coeficiente angular “a” e do coeficiente linear “b”. Isso pode ser feito através das Equações 7 e 8, respectivamente (LARSON e FARBER, 2010).

Equação 7 - Coeficiente angular

$$a = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (7)$$

Termos da Equação 7:

a – Coeficiente angular (adimensional);

n – Número total de pares (unidades);

x – Valores de x dos pares (unidade dos dados);

y – Valores de y dos pares (unidade dos dados).

Quadro 6 – Valores críticos para o coeficiente de correlação de Pearson

Nº de pares	α = 5%	α = 1%
4	0,95	0,999
5	0,878	0,959
6	0,811	0,917
7	0,754	0,875
8	0,707	0,834
9	0,666	0,798
10	0,632	0,765
11	0,602	0,735
12	0,576	0,708
13	0,553	0,684
14	0,532	0,661
15	0,514	0,641
16	0,497	0,623
17	0,482	0,606
18	0,468	0,59
19	0,456	0,575
20	0,444	0,561
25	0,396	0,505
30	0,361	0,463
35	0,335	0,43
40	0,312	0,402

Fonte: LARSON e FARBER (2010).

Equação 8 - Coeficiente linear

$$b = \frac{\Sigma y}{n} - a \frac{\Sigma x}{n} \quad (8)$$

Termos da Equação 8:

b – Coeficiente linear (adimensional);

n – Número total de pares (unidades);

x – Valores de x dos pares (unidade dos dados);

y – Valores de y dos pares (unidade dos dados);

a – Coeficiente angular (adimensional).

Após a construção de uma equação de regressão linear, é possível calcular um erro padrão de estimativa através da Equação 9. Com o erro padrão de estimativa é possível, ainda, estabelecer um intervalo de previsão, dentro do qual certamente estaria o valor de y buscado. O intervalo de previsão é obtido através da Equação 10 (LARSON e FARBER, 2010).

Equação 9 - Erro padrão de estimativa

$$Se = \sqrt{\frac{\Sigma y^2 - b\Sigma y - a\Sigma xy}{n - 2}} \quad (9)$$

Termos da Equação 9:

Se – Erro padrão de estimativa (unidade dos dados);

b – Coeficiente linear (adimensional);

n – Número total de pares (unidades);

x – Valores de x dos pares (unidade dos dados);

y – Valores de y dos pares (unidade dos dados);

a – Coeficiente angular (adimensional).

Equação 10 - Margem de erro da estimativa

$$E = tcSe \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{n(xi - \bar{x})^2}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2}} \quad (10)$$

Termos da Equação 10:

E – Margem de erro da estimativa (unidade dos dados);

Se – Erro padrão de estimativa (unidade dos dados);

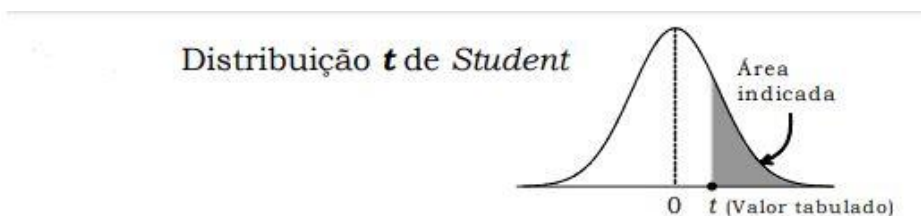
tc – Valor crítico da distribuição t de *student*,

- n – Número total de pares (unidades);
- x – Valores de x dos pares (unidade dos dados);
- xi – Valor de x em análise (unidade do dados);
- \bar{x} – Média dos valores do conjunto (unidade dos termos).

O valor t_c da distribuição t de *student* pode ser obtido a partir do Quadro 7, para um conjunto de dados com n-2 graus de liberdade, sendo n o número de pares.

Dessa forma é estabelecida uma margem de erro para o resultado estimado a partir da regressão linear, chamado de \hat{y} . O valor real de y certamente estará entre $\hat{y}-E$ e $\hat{y}+E$, ou seja, o valor estimado mais ou menos a margem de erro (LARSON e FARBER, 2010).

Quadro 7 – Valores da distribuição t de student



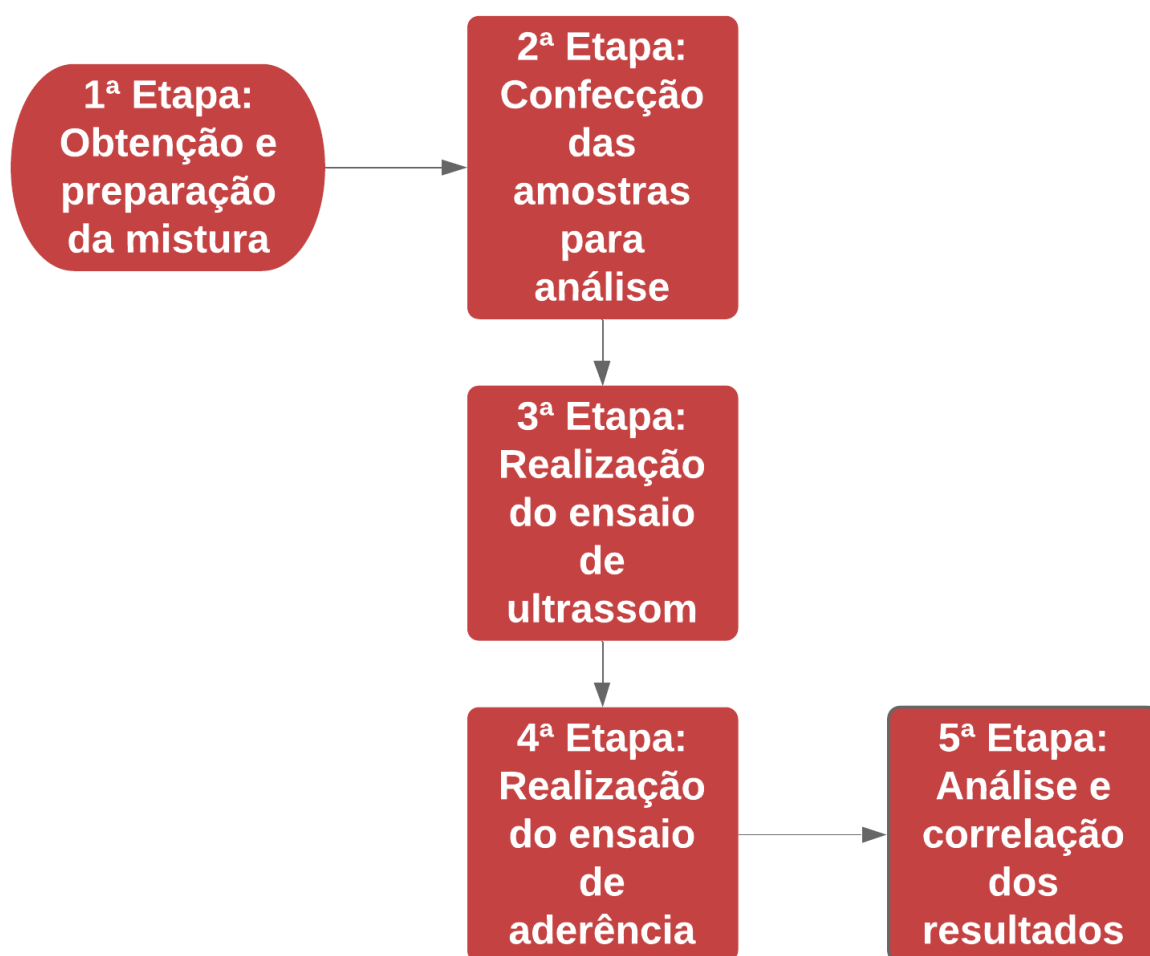
gl	Área na cauda superior								
	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0025	0,001	0,0005
1	1,000	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,60
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,610
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,894	6,869
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297	4,781
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930	4,318
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,140
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,610	3,922
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,850
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,104	3,485	3,768
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,078	3,450	3,725
26	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,689
28	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,660
30	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,030	3,385	3,646
35	0,682	1,306	1,690	2,030	2,438	2,724	2,996	3,340	3,591
40	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551

Fonte: LARSON e FARBER (2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo serão explicados detalhes referentes às misturas utilizadas, à metodologia de avaliação e ao processo de caracterização dos revestimentos analisados. Para um melhor entendimento dos passos seguidos na elaboração do trabalho, foi confeccionado um fluxograma com a sequência dos procedimentos, que pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma de atividades do trabalho



Fonte: Do autor, 2019

3.1) Materiais

A seguir serão descritos os materiais que foram utilizados no trabalho, incluindo a configuração adotada para as amostras do programa experimental.

3.1.1) Substrato

Os CP's ensaiados foram fabricados em moldes de madeira existentes na universidade, como o mostrado na Figura 6. As amostras possuíam formato retangular e a sua base era constituída por placas de concreto, que faziam o papel de substrato. Os moldes possuíam dimensões internas de 25 cm de largura, 50 cm de comprimento e 4 cm de espessura, exatamente o tamanho exigido pela norma NBR 14081-2 (ABNT, 2015) para as placas de concreto do substrato.

Tal concreto deveria possuir, ainda de acordo com a norma NBR 14081-2 (ABNT, 2015), relação água/cimento de 0,45 a 0,5 e consumo mínimo de cimento de 400kg/m³. Como traço indicativo (em massa seca) tinha-se por sugestão da norma 1: 2,6: 1,3 (cimento: areia: brita), e esse foi o traço empregado.

Figura 6 – Foto do molde para a fabricação das placas



Fonte: Do autor, 2019.

Para a confecção do substrato, portanto, foi utilizado um cimento pozolânico Cimpor CP IV 32 RS, da marca InterCement. A areia utilizada possui uma granulometria média e estava à umidade ambiente, armazenada dentro do laboratório e coberta por uma lona. A brita do tipo 1 também possuía umidade ambiente. A água era água tratada, da torneira.

Durante a execução percebeu-se a necessidade de incorporar um aditivo à mistura, pois a mesma estava muito seca e intrabalhável. Utilizou-se, portanto, um aditivo superplastificante, do tipo ADVA CAST 585, com alto poder de redução de água, desenvolvido para fornecer excelente manutenção de abatimento e resistência à segregação. A quantidade utilizada foi de 0,5% da massa de cimento.

3.1.2) Argamassas

Para este trabalho foram adotadas argamassas industrializadas para revestimentos argamassados. O emprego exclusivo das mesmas se dá por questões de precisão e praticidade. As argamassas industrializadas são fornecidas dosadas e ensacadas (bastando adicionar água de acordo com as recomendações do fabricante), com as propriedades asseguradas pelo fabricante, evitando uma dosagem *in loco* com imprecisões, que poderiam resultar em dados experimentais inconclusivos ou incoerentes. Além disso, foi possível avaliar o desempenho mecânico de revestimentos argamassados industrializados que circulam diariamente no mercado brasileiro, através do ensaio de tração.

Foram escolhidos dois tipos diferentes de argamassa, sendo denominadas pelo fabricante por Reboco Médio e Reboco Grosso. Foram fabricados, portanto, 5 placas por tipo de argamassa, totalizando 10 placas.

3.2) Métodos

A seguir serão descritos os métodos e procedimentos dos ensaios que compõe o programa experimental, mencionados no fluxograma da Figura 5.

3.2.1) Confecção do Substrato

O concreto para a confecção do substrato padrão foi executado na betoneira pertencente ao laboratório de Engenharia Civil da Unipampa Alegrete, seguindo a sugestão de traço da norma NBR 14081-2 (ABNT, 2015) de 1: 2,6: 1,3 (cimento: areia:

brita); com relação água/cimento de 0,45. Primeiramente os materiais foram pesados e separados, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Materiais separados para a elaboração do concreto do substrato



Fonte: Do autor, 2019.

Foram adicionados, então, os materiais na betoneira, nessa ordem: brita, água, metade da areia, cimento e restante da areia. Após um tempo de mistura, percebeu-se que o concreto ficaria demasiadamente seco e pouco trabalhável. Inseriu-se, então, o aditivo superplastificante e permitiu-se que a mistura mecânica continuasse até que fosse atingida a consistência desejada, percebida visualmente. A mistura resultante pode ser vista na Figura 8.

O concreto foi, então, inserido nos moldes para que tomasse o formato retangular desejado, que caracteriza o substrato dos CP's, como mostra a Figura 9.

Figura 8 – Mistura resultante da elaboração do substrato



Fonte: Do autor, 2019.

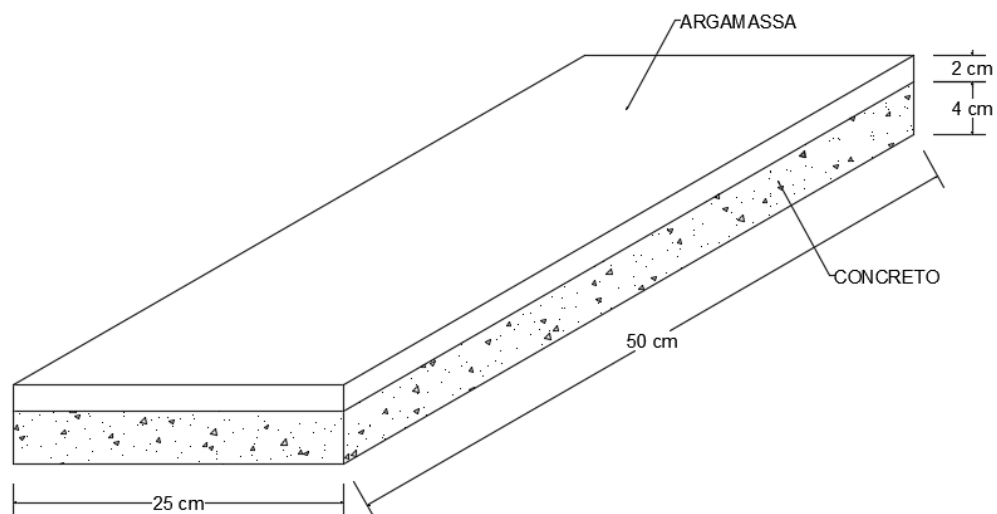
Figura 9 – Concreto nos moldes curando e formando o substrato



Fonte: Do autor, 2019.

O substrato seguiu as dimensões mostradas na Figura 10, extraídas da norma NBR 14081-2 (ABNT, 2015). Como o substrato possuía 4 cm de altura, não precisou ser armado. Sobre o substrato, posteriormente, foi adicionada uma camada de argamassa com 2 cm de espessura. Tal camada também pode ser visualizada na Figura 10.

Figura 10 - Ilustração do corpo de prova e suas camadas



Fonte: Do autor, 2019.

As placas foram armazenadas em uma câmara úmida por 28 dias, para que possuíssem uma cura adequada. Elas podem ser vistas na Figura 11.

Figura 11 – Substratos após sua fabricação



Fonte: Do autor, 2019.

3.2.2) Aplicação da argamassa sobre o substrato

Nessa seção será explicado, de maneira detalhada, o processo de aplicação da argamassa sobre o substrato de concreto já mencionado.

3.2.2.1) Reboco Médio

A aplicação da argamassa industrializada do tipo Reboco Médio, sobre os substratos de concreto, foi feita exatos 28 dias após a fabricação das placas de concreto destinadas a esse fim.

Primeiramente a argamassa foi inserida, ainda em pó, na argamassadeira do laboratório de Engenharia Civil da Unipampa Alegrete. A água foi sendo adicionada aos poucos, enquanto a mistura era efetuada. O processo de mistura durou 1 minuto e 30 segundos, conforme recomendação do fabricante, até que a pasta se tornasse homogênea e sem grumos secos. A quantidade de água utilizada foi a recomendação máxima do fabricante, visando uma melhor trabalhabilidade, que vale aproximados 5,1 litros para cada 25 kg, o mesmo que 200 g de água para cada 1 kg de argamassa.

Após a mistura a argamassa foi aplicada sobre o substrato seguindo as recomendações da norma NBR 14081-2 (ABNT, 2015), sendo uma primeira camada espalhada com a parte lisa da desempenadeira dentada num movimento de vaivém, apoiado firmemente sobre a superfície. Tal procedimento é essencial para garantir uma boa aderência.

Os mesmos moldes utilizados para a fabricação das placas de concreto, foram empregados para garantir que a camada de argamassa possuísse os almejados 2 cm de espessura, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Moldes acoplados no substrato para garantir a espessura da argamassa



Fonte: Do autor, 2019.

Após a aplicação a superfície foi, então, rasada; a desmoldagem ocorreu 48 horas depois e as placas foram deixadas no laboratório para secar ao ar por um período de 28 dias, visando a adequada hidratação do cimento. Elas podem ser vistas na Figura 13.

Figura 13 – Placas de concreto e Reboco Médio secando ao ar no laboratório



Fonte: Do autor, 2019.

Ademais, também foi realizada a determinação da densidade de massa da mistura, seguindo as orientações da NBR 13278 (ABNT, 2005). O recipiente foi pesado, primeiramente, vazio e, posteriormente, cheio de água, tendo seu volume determinado.

Em seguida foram introduzidas suavemente, com uma colher, porções de argamassa no recipiente cilíndrico, formando três camadas aproximadamente iguais. Em cada camada foram aplicados 20 golpes ao longo do perímetro da argamassa. Após o golpeamento, foram efetuadas três quedas do recipiente com altura aproximada de 3 cm, e ele foi rasado com a espátula. Registrou-se, então, a massa do recipiente cilíndrico contendo argamassa. Uma etapa do processo pode ser visualizada na Figura 14.

Figura 14 – Determinação da densidade de massa da mistura



Fonte: Do autor, 2019.

3.2.2.2) Reboco Grosso

A aplicação da argamassa industrializada do tipo Reboco Grosso, sobre os substratos de concreto, foi feita 28 dias após a fabricação das placas de concreto destinadas a esse fim.

Os processos de mistura, inserção de água e aplicação da argamassa no substrato seguiram as mesmas normas e recomendações do fabricante já citadas na

seção 3.2.2.1, empregadas para o Reboco Médio. As amostras confeccionadas podem ser vistas na Figura 15.

Figura 15 – Placas de concreto e Reboco Grosso, prontas para serem desmoldadas



Fonte: Do autor, 2019.

Para essas amostras também foi realizada a determinação da densidade de massa da mistura. As placas foram desmoldadas 48 horas após o espalhamento e secaram ao ar por 28 dias.

3.2.3) Ensaio de ultrassom

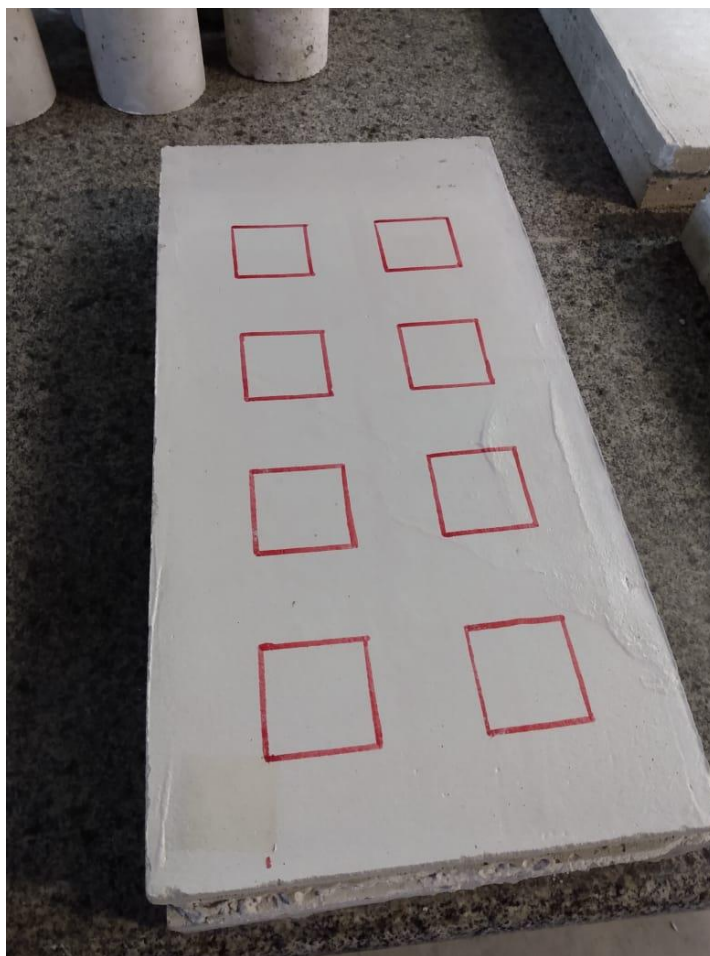
O ensaio de ultrassom, que foi efetuado visando a determinação do módulo de elasticidade dinâmico da argamassa, foi realizado exatos 28 dias após a aplicação da argamassa no substrato de concreto. Todo o processo seguiu as recomendações normativas da NBR 15630 (ABNT, 2008).

Antes da execução do ensaio, era necessário que as amostras a serem extraídas posteriormente no arrancamento à tração fossem delimitadas pois, por se tratar de uma tentativa de correlação, os ensaios precisavam ser realizados exatamente nos mesmos pontos da placa. Foram desenhadas, então, as amostras sobre a superfície da placa, possuindo cada uma a área de 25 cm² e estando distantes 5 cm, tanto das bordas quanto entre si, como recomenda a NBR 15630 (ABNT, 2008). Tal delimitação pode ser vista na Figura 16.

Foi realizada, primeiramente, a limpeza da superfície a ser ensaiada, removendo toda a poeira ou qualquer resíduo que pudesse atrapalhar o ensaio.

Aplicou-se, então, o gel na superfície dos transdutores, de forma que, ao serem comprimidos contra as faces do CP, houvesse seu extravasamento. Posteriormente posicionou-se os transdutores na superfície do CP, realizando medidas diretas (faces opostas), como mostra a Figura 17 e medidas indiretas (lado a lado), como mostra a Figura 18.

Figura 16 – Amostras desenhadas sobre a superfície da argamassa



Fonte: Do autor, 2019.

Figura 17 – Medida direta no ensaio de ultrassom



Fonte: Do autor, 2019.

Figura 18 – Medida indireta no ensaio de ultrassom



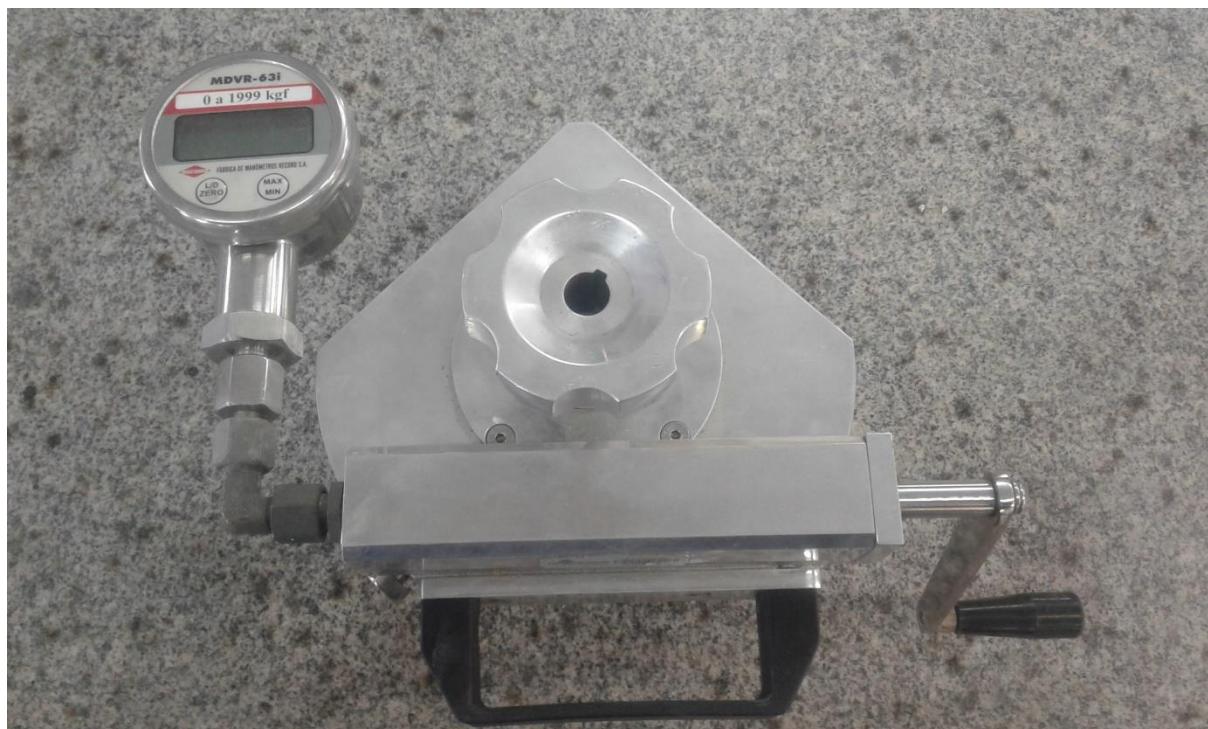
Fonte: Do autor, 2019.

Registrou-se, então, a leitura de velocidade efetuada. O módulo de elasticidade dinâmico da argamassa foi obtido, posteriormente, através da Equação 1, vista na seção 2.5.1.

3.2.2) Ensaio de aderência

O ensaio de aderência à tração foi realizado de acordo com as diretrizes da norma brasileira NBR 13528 (ABNT, 2010). Para a realização do ensaio foi utilizado o dinamômetro da Figura 19, que segue as especificações normativas.

Figura 19 - Máquina de arrancamento para a realização do ensaio de aderência



Fonte: Do autor, 2019.

Primeiramente a superfície da argamassa foi limpa com um pano úmido, para a remoção do gel utilizado no ensaio de ultrassom. Após a superfície encontrar-se seca, ela foi furada com uma serra copo de 50 mm de diâmetro de broca, como mostra a Figura 20. Tal furo serve para separar o corpo de prova das laterais, permitindo que ele continue unido com o substrato de concreto apenas pela interface substrato/argamassa, através de sua ancoragem.

Os furos foram realizados no espaçamento quadrado previamente delimitado, com 25 cm². Durante a perfuração cuidou-se para que a broca ultrapassasse toda a espessura da camada de argamassa, que possuía 2 cm, e furasse levemente o substrato de concreto, conforme a recomendação normativa; separando totalmente a amostra de suas laterais.

Figura 20 - Perfuração da argamassa com a serra copo



Fonte: Do autor, 2019.

Após a perfuração, a superfície foi limpa e toda a poeira resultante foi aspirada. Procedeu-se, então, com a colagem das pastilhas metálicas sobre as amostras delimitadas. Para tal, utilizou-se a cola do tipo solda plástica, já utilizada em outros trabalhos da área e recomendada pelo orientador.

Embora a embalagem prometa que a secagem da cola ocorra em apenas 10 minutos, não foi isto que se verificou na prática, pois, 10 ou até 15 minutos após a colagem a cola ainda estava úmida. Talvez a umidade relativa do ar, bem elevada no dia da realização do ensaio, tenha influenciado a reação química da cola.

Em decorrência do motivo supracitado, optou-se por colocar a placa com as pastilhas recém coladas em uma estufa, à temperatura constante, com aproximadamente 40 °C por pelo menos 6 horas. Após a secagem em estufa as placas ainda foram deixadas para esfriar ao ar por pelo menos 30 minutos, evitando que a

cola estivesse mole e isto afetasse os resultados do arrancamento. Os resultados da colagem podem ser vistos na Figura 21.

Figura 21 – Pastilhas do arrancamento coladas sobre a superfície



Fonte: Do autor, 2019.

Após o esfriamento das placas, procedeu-se com o acoplamento do dinamômetro nas pastilhas, como mostra a Figura 22, e a aplicação gradual de carga até a ruptura. Foi registrada a carga máxima atingida juntamente com a forma de ruptura da amostra.

Figura 22 – Equipamento de tração acoplado na pastilha para arrancamento



Fonte: Do autor, 2019.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão mostrados e discutidos os resultados obtidos nos procedimentos experimentais realizados ao longo do trabalho.

4.1) Densidade de massa das misturas

Durante a aplicação da argamassa no substrato de concreto, foi realizada também a determinação da densidade de massa, segundo a norma NBR 13278 (ABNT, 2005). Os resultados obtidos podem ser vistos no Quadro 8.

Quadro 8 - Densidade de massa aparente das argamassas

Tipo de argamassa	Densidade (g/cm³)
Reboco Médio	1,71
Reboco Grosso	1,97

Fonte: Do autor, 2019.

De acordo com Carasek (2007), uma argamassa com densidade entre 1,4 e 2,3 é considerada normal. A norma brasileira NBR 6120 (ABNT, 2019) classifica argamassas de cal, cimento e areia como possuindo uma densidade de 1,90 g/cm³. Por conseguinte, o resultado está dentro da normalidade esperada.

4.2) Arrancamento no Reboco Médio

Aqui serão demonstrados os resultados obtidos com o ensaio de arrancamento efetuado nas placas revestidas com Reboco Médio. Para uma melhor compreensão dos dados, serão aplicadas análises de distribuições de frequência, medidas de tendência central, medidas de variação e medidas de posição dos dados; tanto por placa quanto para o tipo de argamassa.

As leituras de carga para o RM, juntamente com as leituras do RG, podem ser vistas no Anexo A. Com o resultado do arrancamento foi possível determinar a resistência de aderência à tração (R_a), dividindo a carga máxima suportada por cada amostra, em Newtons, pela área do corpo de prova, que correspondia a 19,63 cm². Montou-se com os valores resultantes o Quadro 9, que mostra a resistência R_a e o tipo de ruptura observado.

Quadro 9 – Valores de Ra (MPa) para o Reboco Médio com o tipo de ruptura

			Arrancamento RM - Ra (MPa) e tipo de ruptura	
Placa	Amostra	Ra (MPa)	NBR 13281 (condição mínima 0,20MPa)	Tipo de Ruptura
C11	1	0,31	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	2	0,32	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	3	0,32	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	4	0,35	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	5	0,32	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	6	0,35	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	7	0,32	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	8	0,28	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
C12	1	0,38	Atende	Ruptura na argamassa
	2	0,37	Atende	Ruptura na argamassa
	3	0,34	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	4	0,33	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	5	0,31	Atende	Ruptura em argamassa
	6	0,33	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	7	0,39	Atende	Ruptura em argamassa
	8	0,26	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
C13	1	0,29	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	2	0,31	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	3	0,36	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	4	0,30	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	5	-		-
	6	0,24	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	7	0,22	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	8	0,33	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
C14	1	0,28	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	2	0,28	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	3	0,49	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	4	0,31	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	5	0,34	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	6	0,37	Atende	Ruptura em argamassa
	7	0,50	Atende	Ruptura em argamassa
	8	0,39	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
C15	1	0,29	Atende	Ruptura em argamassa
	2	0,33	Atende	Ruptura em argamassa
	3	0,31	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	4	0,31	Atende	Ruptura em argamassa
	5	0,34	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	6	0,33	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	7	0,32	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	8	0,39	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato

Fonte: Do autor, 2019.

Vale ressaltar que a amostra 5 da placa C13 foi rompida acidentalmente durante a perfuração com a serra copo. Aplicando as medidas de tendência central demonstradas na seção 2.6.2 sobre os valores de Ra (MPa), montou-se o Quadro 10. Quadro 10 – Medidas de tendência central para a resistência de aderência à tração do Reboco Médio

Medidas de tendência central - Ra (MPa), RM			
Placa	Média	Mediana	Moda
C11	0,32	0,32	0,32
C12	0,34	0,33	0,33
C13	0,29	0,30	-
C14	0,37	0,35	0,28
C15	0,33	0,32	0,31 e 0,33

Fonte: Do autor, 2019.

Com os valores do Quadro 10 foi calculado o desvio para cada uma das amostras. Os resultados podem ser vistos no Anexo B. Utilizando tais dados, foram determinadas as medidas de variação para o arrancamento no RM, conforme a seção 2.6.3. As medidas de variação calculadas estão demonstradas no Quadro 11.

Quadro 11 – Medidas de variação para a resistência de aderência à tração do Reboco Médio

Medidas de variação - Ra (MPa), RM				
Placa	Amplitude	Var	DP	CV (%)
C11	0,07	0,00	0,02	6,78
C12	0,13	0,00	0,04	11,30
C13	0,13	0,00	0,04	13,53
C14	0,23	0,01	0,08	22,72
C15	0,11	0,00	0,03	9,11

Fonte: Do autor, 2019.

É possível observar como, para valores menores em módulo (mais próximos de zero), a média, a mediana e a moda deixam de ser um resultado significativo para fins comparativos pois, como os números são pequenos, as diferenças são decimais. Outro fato que evidencia isso é o de que, apesar de os três valores citados serem bem próximos em alguns casos do Quadro 10, há um coeficiente de variação diferente de zero que pode ser visto no Quadro 11.

Em quase todos os casos o CV foi baixo, com a exceção das placas C13 e C14. Na placa C13 o CV foi próximo a 15%. Dessa forma, por mais que os dados ainda possam ser classificados como de baixa variabilidade, possivelmente algum valor terá

de ser descartado, por destoar muito dos demais e não ser estatisticamente justificável.

Na placa C14 a variação é alta, superior aos 20%. Segundo Fonseca e Martins (2006), trata-se de um conjunto de dados com média dispersão. Possivelmente mais de um valor terá de ser descartado, por ser estatisticamente incoerente. Tais resultados serão verificados no cálculo do Escore Padrão z.

4.3) Análise conjunta dos dados para o arrancamento no Reboco Médio

Com a análise estatística individual placa por placa já efetuada, realizou-se a análise conjunta de todos os dados, através do Escore Padrão (EP), ou z-escore. Todos os resultados do arrancamento para o Reboco Médio foram, portanto, inseridos em conjunto e obteve-se os valores de média geral e DP, mostrados no Quadro 12. Os valores do EP foram então calculados, como mostra o Anexo C.

Quadro 12 – Média e desvio padrão geral para o arrancamento no Reboco Médio

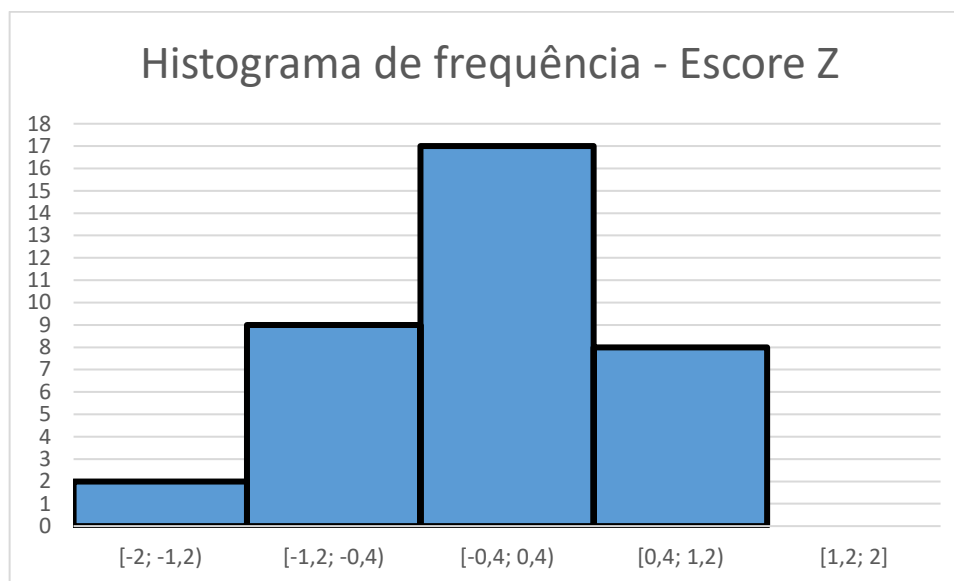
Média Geral – MD (Ra - MPa)	Desvio Padrão Geral – MD (Ra - MPa)
0,33	0,05

Fonte: Do autor, 2019.

Como pode ser visto no Anexo C, os valores de Ra (MPa) de 0,49 e 0,50, que correspondem respectivamente às amostras 3 e 7 da placa C14, tiveram de ser desconsiderados pois estão mais localizados a mais de 2 desvios padrões da média. Já o valor de 0,22, correspondente à amostra 7 da placa C13, também foi desconsiderado, pois por mais que seu EP seja ainda levemente inferior a -2 em módulo, se aproxima muito desse valor e destoa significativamente dos demais. Restaram, assim, 36 resultados para as placas de Reboco Médio.

Para uma melhor visualização da distribuição de frequência relativa aos EP's do Anexo C, construiu-se o histograma do Gráfico 6. É possível observar que, embora haja uma lacuna na região periférica correspondente ao intervalo [1,2; 2), a maioria dos resultados encontra-se no centro da distribuição, ou seja, está bem próxima à média. Além disso, o formato da distribuição é de sino, quase que perfeito.

Gráfico 1 – Histograma de frequência do EP para a Ra (MPa) do Reboco Médio



Fonte: Do autor, 2019.

4.4) Arrancamento no Reboco Grosso

Serão demonstrados, aqui, os resultados obtidos com o ensaio de arrancamento efetuado nas placas revestidas com Reboco Grosso. Novamente serão aplicadas análises de distribuições de frequência, medidas de tendência central, medidas de variação e medidas de posição dos dados; tanto por placa quanto para o tipo de argamassa.

As leituras de carga para o podem ser vistas no Anexo A. Com o resultado do arrancamento foi possível determinar a resistência de aderência à tração (Ra), que pode ser verificada no Quadro 13 juntamente com o tipo de ruptura ocorrido.

Aplicou-se as medidas de tendência central aos valores de resistência encontrados. Os resultados podem ser vistos no Quadro 14. Os desvios, por sua vez, estão localizados no Anexo B. Com eles foi possível determinar as medidas de variação, demonstradas no Quadro 15.

Quadro 13 – Valores de Ra (MPa) para o Reboco Grosso com o tipo de ruptura

			Arrancamento RG - Ra (MPa) e tipo de ruptura	
Placa	Amostra	Ra (MPa)	NBR 13281 (condição mínima 0,20MPa)	Tipo de Ruptura
C21	1	0,35	Atende	Ruptura em argamassa
	2	0,24	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	3	0,28	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	4	0,28	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	5	0,31	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	6	0,29	Atende	Ruptura em argamassa
	7	0,25	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	8	0,33	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
C22	1	0,32	Atende	Ruptura em argamassa
	2	0,26	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	3	0,30	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	4	0,30	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	5	0,29	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	6	0,34	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	7	0,25	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	8	0,31	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
C23	1	0,30	Atende	Ruptura em argamassa
	2	0,29	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	3	0,38	Atende	Ruptura em argamassa
	4	0,35	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	5	0,43	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Cola
	6	0,30	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
	7	0,38	Atende	Ruptura em argamassa
	8	0,31	Atende	Ruptura em argamassa
C24	1	0,36	Atende	Ruptura em argamassa
	2	0,38	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
	3	0,39	Atende	Ruptura em argamassa
	4	0,30	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
	5	0,30	Atende	Ruptura em argamassa
	6	0,29	Atende	Ruptura em argamassa
	7	0,39	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
	8	0,36	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
C25	1	0,29	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
	2	0,23	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
	3	0,32	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
	4	0,26	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
	5	0,29	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
	6	0,25	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
	7	0,25	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato
	8	0,25	Atende	Ruptura na Interface Argamassa/Substrato

Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 14 – Medidas de tendência central para a resistência de aderência à tração do Reboco Grosso

Medidas de tendência central - Ra (MPa), RG			
Placa	Média	Mediana	Moda
C21	0,29	0,28	0,28
C22	0,30	0,30	0,30
C23	0,34	0,33	0,3 e 0,38
C24	0,35	0,36	0,3; 0,36 e 0,39
C25	0,27	0,26	0,25

Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 15 – Medidas de variação para a resistência de aderência à tração do Reboco Grosso

Medidas de variação - Ra (MPa), RG				
Placa	Amplitude	Var	DP	CV (%)
C21	0,11	0,00	0,03	11,84
C22	0,09	0,00	0,03	8,83
C23	0,14	0,00	0,05	14,04
C24	0,10	0,00	0,04	11,51
C25	0,08	0,00	0,03	9,29

Fonte: Do autor, 2019.

É possível observar no Quadro 15 que todos os dados representam medidas de baixa dispersão, com CV inferior a 15%. No entanto, nas amostras com CV superior a 10% é possível que algum valor tenha de ser desconsiderado, principalmente a placa C23, que apresenta o valor de 14,04%.

4.5) Análise conjunta dos dados para o arrancamento no Reboco Grosso

Com a análise estatística individual das placas já efetuada, novamente realizou-se a análise conjunta de todos os dados, através do Escore Padrão (EP), ou z-escore. Todos os resultados do arrancamento para o Reboco Grosso foram, portanto, postos em conjunto e obteve-se os valores de média geral e DP, mostrados no Quadro 16. Os valores de EP foram então calculados e constam no Anexo C.

Quadro 16 – Média e desvio padrão geral para o arrancamento no Reboco Grosso

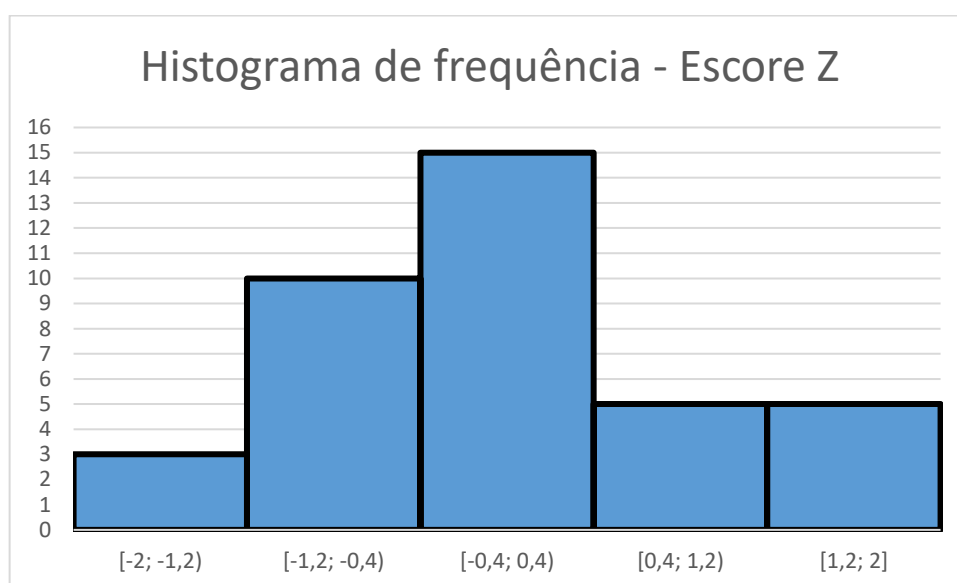
Média Geral – MD (Ra – MPa)	Desvio Padrão Geral – MD (Ra – MPa)
0,31	0,04

Fonte: Do autor, 2019.

É possível constatar que os dois últimos valores do Anexo C ficaram mais de dois desvios padrões distantes da média geral, sendo assim desconsiderados. Os valores correspondem, respectivamente, às amostras 3 da placa C24 e 5 da placa C23.

Para uma melhor visualização da distribuição de frequência relativa aos EP's do Anexo C, construiu-se o histograma do Gráfico 7. Pode-se observar que, embora a distribuição não seja perfeitamente simétrica ela é satisfatória, pois a maioria dos valores encontra-se no meio e a forma geral é aproximada à de um sino.

Gráfico 2 – Histograma de frequência do EP para a Ra (MPa) do Reboco Grosso



Fonte: Do autor, 2019.

Vale ressaltar que, ao longo do ensaio de arrancamento, foram observados três tipos de ruptura que podem ser vistos na Figura 23.

Figura 23 – Tipos de ruptura ocorridos durante o ensaio



Fonte: Do autor, 2019.

Os tipos de ruptura mostrados na Figura 23 são: na interface argamassa/substrato, na própria argamassa e na interface cola/argamassa, nessa ordem. Os resultados foram verificados conforme as orientações da norma NBR 13528 (ABNT, 2010). Foi constatado, no Reboco Médio, que a maior parte das rupturas ocorreu na interface cola/argamassa. No Reboco Grosso, por sua vez, houve um equilíbrio entre as rupturas na interface cola/argamassa e na interface argamassa/substrato. Ademais, as resistências ao arrancamento foram maiores para o Reboco Médio. Através disso, pode-se inferir que o Reboco Médio aderiu melhor ao substrato.

4.6) Ensaio de Ultrassom Argamassa do tipo Reboco Médio

Aqui serão demonstrados os resultados obtidos com o ensaio de ultrassom efetuado nas placas revestidas com Reboco Médio. Para uma melhor compreensão dos dados, serão aplicadas análises de distribuições de frequência, medidas de tendência central, medidas de variação e medidas de posição dos dados; tanto por placa quanto para o tipo de argamassa.

Os resultados da leitura de ultrassom para o RM podem ser visualizados no Anexo D. Com a VPU resultante do ensaio é possível, utilizando a Equação 1, obter o módulo de elasticidade dinâmico da argamassa – E (GPa). O módulo foi, portanto, calculado e seus resultados podem ser vistos no Quadro 17. Para tal, empregou-se como coeficiente de Poisson o valor de 0,2, conforme recomendação da norma NBR 15630 (ABNT, 2008).

Aplicando as medidas de tendência central nos resultados obtidos para o E (GPa), obtém-se os dados mostrados no Quadro 18. Com os dados foi possível calcular os desvios, que constam no Anexo E. Ademais, foram determinadas também as outras medidas de variação, demonstradas no Quadro 19.

Quadro 17 – Módulo de Elasticidade Dinâmico da Argamassa, Reboco Médio

Módulo de Elasticidade E (GPa) da argamassa RM			
Placa	Amostra	Medida direta - E (GPa)	Medida indireta - E (GPa)
C11	1	22,02	3,14
	2	22,76	3,14
	3	21,10	4,03
	4	22,52	4,03
	5	20,66	4,19
	6	22,02	4,19
	7	20,45	3,90
	8	20,89	3,90
C12	1	30,98	4,80
	2	30,20	4,80
	3	30,59	4,80
	4	30,98	4,80
	5	30,98	4,84
	6	31,79	4,84
	7	30,98	4,90
	8	30,98	4,90
C13	1	27,69	5,56
	2	25,78	5,56
	3	25,19	4,98
	4	25,19	4,98
	5	25,19	4,90
	6	27,03	4,90
	7	27,03	5,09
	8	25,78	5,09
C14	1	20,55	4,03
	2	18,66	4,03
	3	19,23	4,70
	4	19,13	4,70
	5	19,23	4,54
	6	19,23	4,54
	7	19,23	4,48
	8	19,23	4,48
C15	1	10,02	4,51
	2	10,02	4,51
	3	9,81	4,51
	4	11,12	4,51
	5	10,65	4,90
	6	11,36	4,90
	7	11,12	4,54
	8	11,49	4,54

Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 18 – Medidas de tendência central para o E (GPa) do Reboco Médio

Medidas de tendência central - E (GPa), RM						
Placa	Medida direta			Medida indireta		
	Média	Mediana	Moda	Média	Mediana	Moda
C11	21,55	21,56	22,02	3,81	3,96	Todos
C12	30,94	30,98	30,98	4,84	4,82	4,80
C13	26,11	25,78	25,19	5,13	5,03	Todos
C14	19,31	19,23	19,23	4,44	4,51	Todos
C15	10,70	10,89	10,02 e 11,12	4,62	4,53	4,51

Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 19 – Medidas de Variação para o E (GPa) do Reboco Médio

Medidas de variação - E (GPa), RM					
Medida Direta					
Placa	Amplitude	Var	DP	CV (%)	
C11	2,32	0,69	0,83	3,85	
C12	1,59	0,18	0,42	1,35	
C13	2,50	0,87	0,93	3,57	
C14	1,89	0,25	0,50	2,60	
C15	1,67	0,39	0,63	5,85	
Medida Indireta					
Placa	Amplitude	Var	DP	CV (%)	
C11	1,05	0,16	0,40	10,58	
C12	0,10	0,00	0,04	0,88	
C13	0,66	0,07	0,26	5,00	
C14	0,67	0,06	0,25	5,63	
C15	0,39	0,03	0,17	3,60	

Fonte: Do autor, 2019.

É possível observar no Quadro 18 que, praticamente em todas as placas, os valores resultantes de média, mediana e moda foram bem próximos. Isso indica a proximidade dos resultados. Para algumas placas, todos os valores foram a moda, em decorrência de todos se repetirem duas vezes.

O CV foi baixo em todas as placas, passando de 10% apenas na placa C11. Dessa forma, as medidas são de baixa dispersão

4.7) Análise conjunta dos dados para o ultrassom no Reboco Médio

Com a análise estatística individual das placas já efetuada, é necessário realizar também uma análise conjunta de todos os dados para um mesmo tipo de argamassa, independentemente da placa à qual pertençam. Isso é importante pois

amostras compostas por um mesmo tipo de mistura, produzidas praticamente sob os mesmos padrões, precisam apresentar características semelhantes.

Para a avaliação geral dos dados a ser realizada escolheu-se o método do Escore Padrão (EP), ou z-escore. Todos os resultados do ultrassom para o Reboco Médio foram, portanto, postos em conjunto e obteve-se os valores de média geral e DP, mostrados nos Quadros 20 e 21. Os valores de EP foram então calculados, como consta no Anexo F.

Quadro 20 – Média e desvio padrão geral para MD do Reboco Médio

Média Geral – MD (E – GPa)	Desvio Padrão Geral – MD (E – GPa)
21,72	6,84

Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 21 – Média e desvio padrão geral para a MI

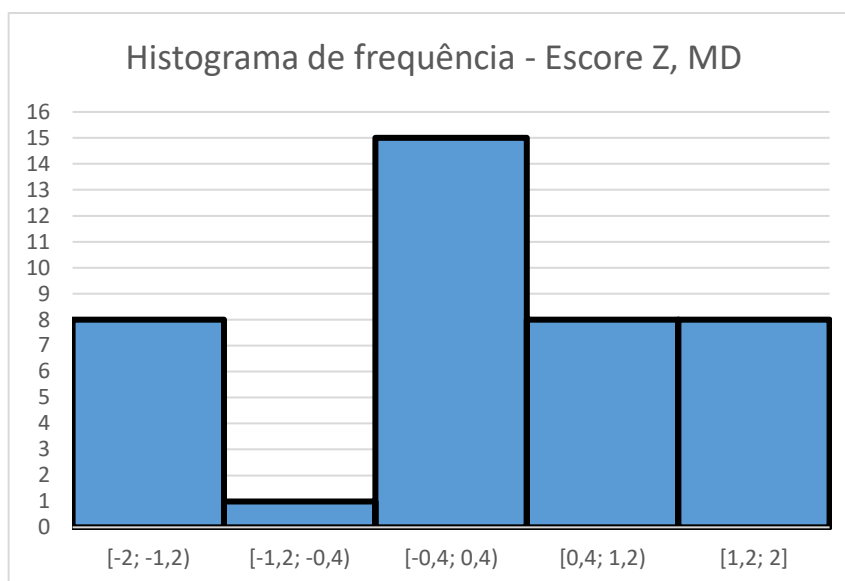
Média Geral – MI (E – GPa)	Desvio Padrão Geral – MI (E – GPa)
4,57	0,51

Fonte: Do autor, 2019.

Como mostra o Anexo F, todos os resultados para a MD estiveram dentro do intervalo considerado comum, entre -2 e 2. Analisando sob uma perspectiva geral, portanto, nenhum deles precisa ser descartado, pois todos são coerentes. Já nos resultados obtidos para a MI, mostrados no Anexo F, houveram dois resultados incoerentes, com escore padrão superior, em módulo, a -2. De acordo com Larson e Farber (2010) esse resultado é um escore incomum, e precisa ser descartado. Os dados correspondem às amostras 1 e 2 da placa C11.

Para uma melhor visualização e interpretação dos dados, foi construído um histograma de frequência para o EP calculado; tanto para a MD, como visto no Gráfico 3, quanto para a MI, como visto no Gráfico 4.

Gráfico 3 – Histograma de frequência do EP para o E (GPa) resultante da MD em ultrassom no Reboco Médio



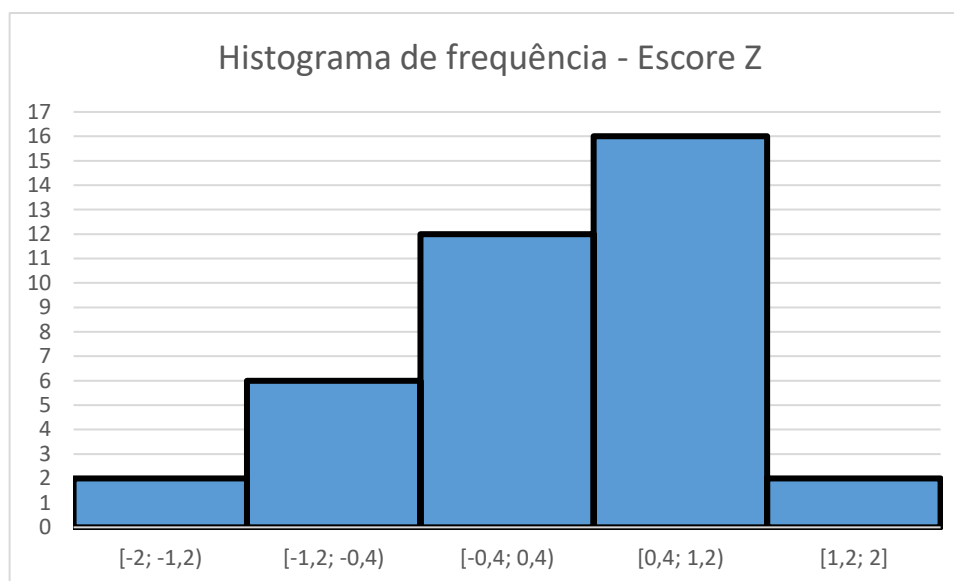
Fonte: Do autor, 2019.

O histograma do Gráfico 3 foi construído com 40 resultados, pois para a MD em ultrassom todos os dados foram estatisticamente validados, nenhum foi descartado. Observa-se que, por mais que haja uma lacuna no intervalo $[-1,2; 0,4)$, a distribuição de frequência é satisfatória, pois a maior parte dos resultados esteve entre $-0,4$ e $0,4$ desvios padrões da média.

O Gráfico 4, por sua vez, foi constituído com apenas 38 resultados, tendo em vista que dois foram descartados, mais especificamente as amostras 1 e 2 da placa C11, pois não condiziam estatisticamente com os demais.

No Gráfico 4 é possível observar que, embora a distribuição de frequência ainda não seja a mais ideal, com um perfeito formato de sino, ela se aproxima do mesmo, tendo a maior parte de seus resultados concentrados em uma região não periférica da distribuição. Em outras palavras, pode-se considerar que os dados estão distribuídos de maneira satisfatória.

Gráfico 4 – Histograma de frequência do EP para o E (GPa) resultante da MI em ultrassom no Reboco Médio



Fonte: Do autor, 2019.

4.8) Ultrassom no Reboco Grosso

Aqui serão demonstrados os resultados obtidos com o ensaio de ultrassom efetuado nas placas revestidas com Reboco Grosso. Para uma melhor compreensão dos dados, serão aplicadas análises de distribuições de frequência, medidas de tendência central, medidas de variação e medidas de posição dos dados; tanto por placa quanto para o tipo de argamassa.

Os resultados obtidos no ensaio de ultrassom para o Reboco Grosso podem ser vistos no Anexo D. Com a VPU resultante foi calculado o módulo E (GPa), e seus resultados estão no Quadro 22. Para tal, empregou-se também como coeficiente de Poisson o valor de 0,2, conforme recomendação da norma NBR 15630 (ABNT, 2008).

Quadro 22 – Módulo de Elasticidade Dinâmico da Argamassa para o Reboco Grosso

Módulo de Elasticidade E (GPa) da argamassa RG			
Placa	Amostra	Medida direta - E (GPa)	Medida indireta - E (GPa)
C21	1	27,41	3,58
	2	25,11	3,58
	3	25,11	4,38
	4	25,11	4,38
	5	27,41	4,07
	6	27,41	4,07
	7	27,41	4,02
	8	27,41	4,02
C22	1	28,04	4,19
	2	26,80	4,19
	3	28,04	4,19
	4	28,04	4,19
	5	28,04	4,19
	6	28,04	4,19
	7	28,04	4,19
	8	28,04	4,19
C23	1	28,04	4,96
	2	28,04	4,96
	3	28,04	4,73
	4	28,04	4,73
	5	30,05	4,55
	6	28,04	4,55
	7	28,04	4,55
	8	25,66	4,55
C24	1	28,04	4,58
	2	29,36	4,58
	3	31,51	4,35
	4	33,09	4,35
	5	33,09	4,41
	6	30,77	4,41
	7	30,77	4,14
	8	31,51	4,14
C25	1	31,90	4,17
	2	30,05	4,17
	3	32,69	4,14
	4	31,51	4,14
	5	29,02	4,30
	6	30,05	4,30
	7	30,05	4,07
	8	27,72	4,07

Fonte: Do autor, 2019.

Aplicando as medidas de tendência central nos resultados obtidos para o E (GPa), obtém-se os dados mostrados no Quadro 23. Com eles foram calculados os desvios, demonstrados no Anexo E, e as medidas de variação, que constam no Quadro 24.

Quadro 23 – Medidas de tendência central para o E (GPa) do Reboco Grosso

Medidas de tendência central - E (GPa), RG						
Placa	Medida direta			Medida indireta		
	Média	Mediana	Moda	Média	Mediana	Moda
C21	26,55	27,41	27,41	4,01	4,05	Todos
C22	27,89	28,04	28,04	4,19	4,19	4,19
C23	28,00	28,04	28,04	4,70	4,64	4,55
C24	31,02	31,14	30,77; 33,09 e 31,51	4,37	4,38	Todos
C25	30,38	30,05	30,05	4,17	4,16	Todos

Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 24 – Medidas de variação para o E (GPa) do Reboco Grosso

Medidas de variação - E (GPa), RG				
Medida Direta				
Placa	Amplitude	Var	DP	CV (%)
C21	2,31	1,25	1,12	4,20
C22	1,24	0,17	0,41	1,47
C23	4,40	1,21	1,10	3,94
C24	5,05	2,60	1,61	5,20
C25	4,97	2,27	1,51	4,96
Medida Indireta				
Placa	Amplitude	Var	DP	CV (%)
C21	0,81	0,08	0,29	7,17
C22	0,00	0,00	0,00	0,00
C23	0,41	0,03	0,17	3,55
C24	0,43	0,02	0,15	3,54
C25	0,23	0,01	0,08	1,98

Fonte: Do autor, 2019.

Média, mediana e moda foram bem semelhantes em praticamente todas as placas, o que demonstra a proximidade dos resultados obtidos. O coeficiente de variação para todas foi baixo, inferior a 15% e abaixo, inclusive, de 10%. Os dados são, portanto, de baixa variação.

4.9) Análise conjunta dos dados para o ultrassom no Reboco Grosso

Novamente realizou-se uma análise conjunta de todos os dados para as cinco placas. Para a avaliação geral escolheu-se o método do Escore Padrão (EP), ou z-escore. Todos os resultados do ultrassom para o Reboco Grosso foram, portanto, postos em conjunto e obteve-se os valores de média geral e DP, mostrados nos Quadros 25 e 26. Os valores de EP foram então calculados, como consta no Anexo F.

Quadro 25 – Média e desvio padrão geral para a MD do Reboco Grosso

Média Geral – MD (E – GPa)	Desvio Padrão Geral – MD (E – GPa)
28,76	2,07

Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 26 – Média e desvio padrão geral para a MI do Reboco Grosso

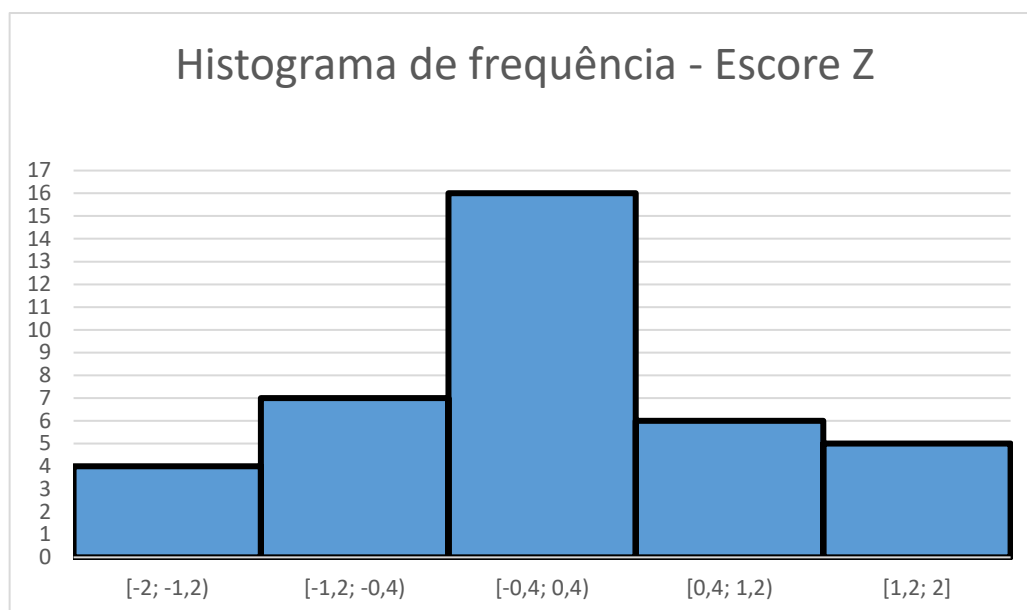
Média Geral – MI (E – GPa)	Desvio Padrão Geral – MI (E – GPa)
4,29	0,29

Fonte: Do autor, 2019.

Os dados incoerentes, que correspondem a mais de 2 desvios padrões da média em módulo, foram destacados. No Anexo F, para a MD, observa-se dois valores que correspondem às amostras 4 e 5 da placa C24. Na MI existem 6 valores incoerentes, que correspondem, respectivamente, às amostras 1 e 2 da placa C11, 1 e 2 da placa C21 e 1 e 2 da placa C23.

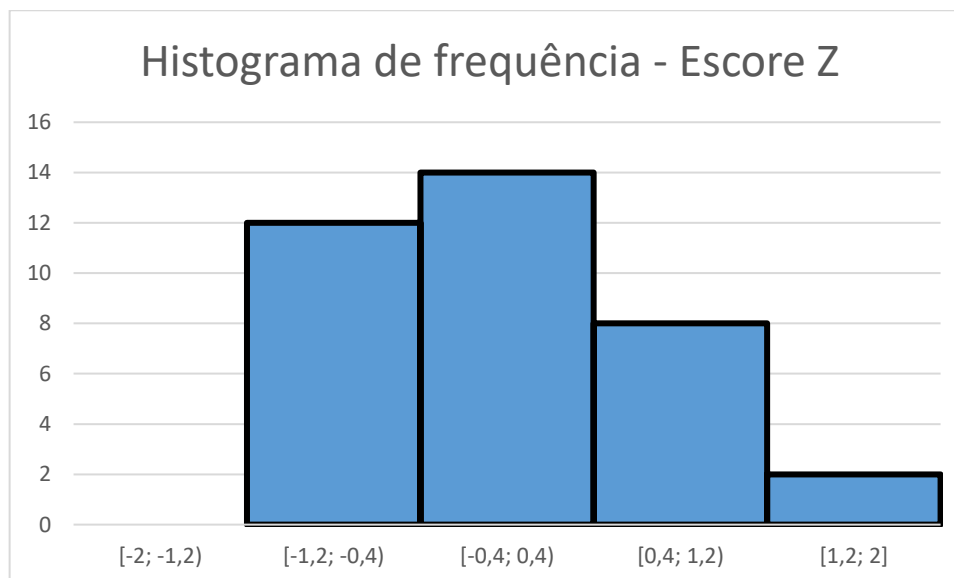
Dessa maneira, restaram 38 dados para a leitura direta e 36 para a indireta. Com eles, para uma melhor visualização da distribuição do Escore Padrão, foram construídos os histogramas que podem ser visualizados nos Gráficos 5 e 6.

Gráfico 5 – Histograma de frequência do EP para o E (GPa) resultante da MD em ultrassom no Reboco Grosso



Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 6 – Histograma de frequência do EP para o E (GPa) resultante da MI em ultrassom no Reboco Grosso



Fonte: Do autor, 2019.

É perceptível no Gráfico 5 que, para a MD, a distribuição segue formato aproximado ao de sino e a maioria dos valores está no intervalo do meio, sendo, portanto, satisfatória e apropriada. Já no Gráfico 6, pode-se observar que, embora a distribuição não seja de todo simétrica, a maioria dos valores também se encontra entre -0,4 e 0,4 desvios padrões da média, o que é um padrão satisfatório.

4.10) Correlação dos resultados

Nessa seção será demonstrada a tentativa de correlação entre os dados resultantes dos ensaios de ultrassom e arrancamento.

Serão elaborados diferentes tipos de verificação. O eixo das abcissas, ou seja, o dado de entrada x será preenchido alternadamente por valores referentes ao ultrassom, como o E (GPa) e a VPU (m/s), pois o objetivo é tentar utilizar o ultrassom para prever o resultado de R_a (MPa). A resistência à tração, portanto, será y , uma função de x , caso a correlação seja encontrada. A verificação foi feita tanto para os dados obtidos através da MD, quanto para a MI em ultrassom.

4.10.1) Reboco médio, medida direta em ultrassom

Após a desconsideração de alguns resultados não coerentes nas seções 4.3, 4.5, 4.7 e 4.9, é necessário que se tenha uma visão geral dos pares de dados resultantes, para a tentativa de correlação. Eles podem ser vistos no Anexo G.

Em seguida, já foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson, utilizando a Equação 6, para cada uma das placas e para o tipo de argamassa, verificando, de acordo com os critérios mostrados no Quadro 6, a existência de significância no resultado; considerando um nível de confiança de 95%. Os dados podem ser vistos nos Quadros 27, 28, 29 e 30.

Por mais que a literatura recomende que apenas sejam montadas equações de regressão para conjuntos onde a correlação possua significância, pode-se observar que os critérios para a verificação da significância são demasiadamente rígidos para a presente situação, onde tenta-se relacionar dois ensaios de média a grande variabilidade. Portanto, foram montadas equações de regressão e gráficos de dispersão, utilizando as Equações 7 e 8, para todos os conjuntos que apresentarem uma correlação forte, seja por placa ou por tipo de argamassa; já com a consciência de que a margem de erro poderia ser um pouco elevada.

Os parâmetros para determinar se uma correlação é forte ou fraca foram demonstrados na seção 2.6.5.

Quadro 27 – Correlação de E (GPa) e Ra (MPa) para o Reboco Médio, MD

Correlação de E (GPa) e Ra (MPa) - Reboco Médio, MD			
Placa	Coefficiente R	Tipo de correlação	Significância ($\alpha=0,05$)
C11	-0,45	Negativa fraca	Inexistente
C12	0,26	Positiva fraca	Inexistente
C13	-0,68	Negativa forte	Inexistente
C14	-0,23	Negativa fraca	Inexistente
C15	0,61	Positiva forte	Inexistente
Todas	0,04	Inexistente	Inexistente

Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 28 – Correlação de VPU (m/s) e Ra (MPa) para o Reboco Médio, MD

Correlação de VPU (m/s) e Ra (MPa) - Reboco Médio, MD			
Placa	Coefficiente R	Tipo de correlação	Significância ($\alpha=0,05$)
C11	-0,45	Negativa fraca	Inexistente
C12	0,26	Positiva fraca	Inexistente
C13	-0,68	Negativa forte	Inexistente
C14	-0,23	Negativa fraca	Inexistente
C15	0,61	Positiva forte	Inexistente
Todas	0,03	Inexistente	Inexistente

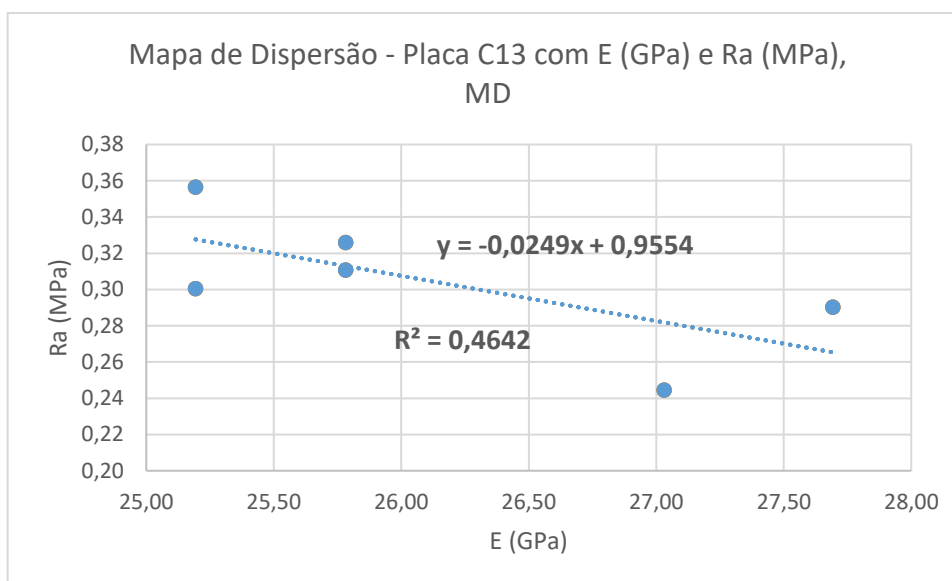
Fonte: Do autor, 2019.

Em ambas as relações efetuadas nos Quadros 27 e 28, os resultados foram praticamente iguais. Isso ocorre porque o Módulo de Elasticidade E (GPa) advém da VPU (m/s); sendo obtido através da Equação 1. É uma boa demonstração de que não seria necessário calcular o E (GPa) para prever a Ra (MPa).

Observa-se que para as placas C13 e C15 as correlações foram fortes, apesar de uma ser positiva e a outra negativa. Assim sendo, foram montados mapas de dispersão para ambas as situações. Os próprios mapas já mostram a linha de tendência, equação de regressão e o valor do coeficiente R ao quadrado. Os correspondentes à placa C13 podem ser vistos nos Gráficos 7, 8, 9 e 10.

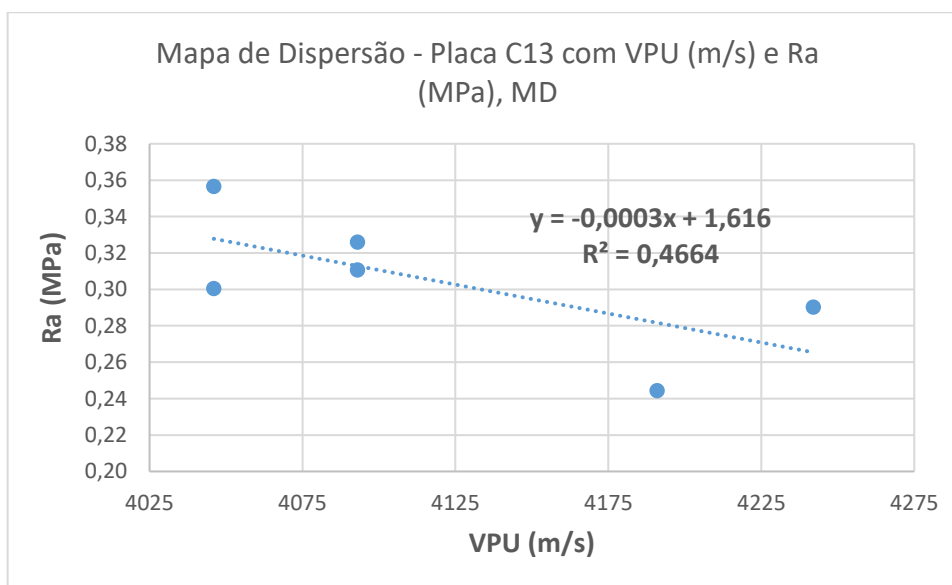
É possível observar nos Gráficos 7 e 8 que, embora as equações sejam diferentes, por representarem valores diferentes, a posição dos dados no gráfico e o valor de R^2 são idênticos. Isso confirma a proximidade dos resultados obtidos nos Quadros 27 e 28.

Gráfico 7 – Mapa de dispersão para a placa C13 com E (GPa) e Ra (MPa), Reboco Médio e MD



Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 8 – Mapa de dispersão para a placa C13 com VPU (m/s) e Ra (MPa), Reboco Médio e MD



Fonte: Do autor, 2019.

Em seguida montou-se as correlações entre E (GPa) com a Carga Máxima (kgf) suportada no ensaio de arrancamento e entre VPU (m/s) e os valores de E (GPa), ambas ainda correspondentes à placa C13. Os resultados podem ser vistos nos Quadros 29 e 30, respectivamente.

Quadro 29 – Correlação de E (GPa) e Carga Máxima (kgf) para o Reboco Médio, MD

Correlação de E (GPa) e Carga Máxima (kgf) - Reboco Médio, MD			
Placa	Coefficiente R	Tipo de correlação	Significância ($\alpha=0,05$)
C11	-0,45	Negativa fraca	Inexistente
C12	0,26	Positiva fraca	Inexistente
C13	-0,68	Negativa forte	Inexistente
C14	-0,23	Negativa fraca	Inexistente
C15	0,61	Positiva forte	Inexistente
Todas	0,04	Inexistente	Inexistente

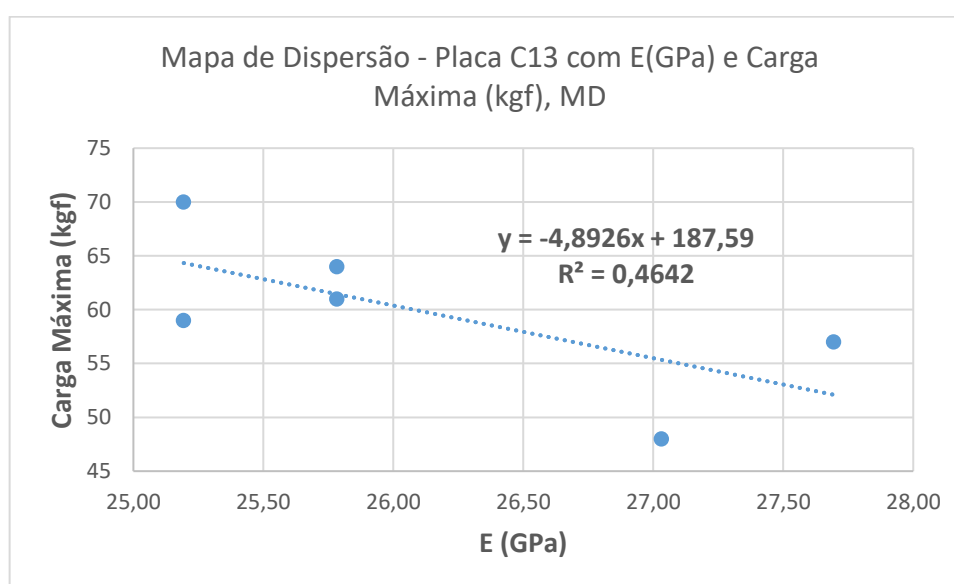
Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 30 – Correlação de VPU (m/s) e E (GPa) para o Reboco Médio, MD

Correlação de VPU (m/s) e E (GPa) - Reboco Médio, MD			
Placa	Coefficiente R	Tipo de correlação	Significância ($\alpha=0,05$)
C11	-1,00	Negativa forte	Total
C12	-1,00	Negativa forte	Total
C13	1,00	Positiva forte	Total
C14	1,00	Negativa forte	Total
C15	1,00	Positiva forte	Total
Todas	1,00	Positiva forte	Total

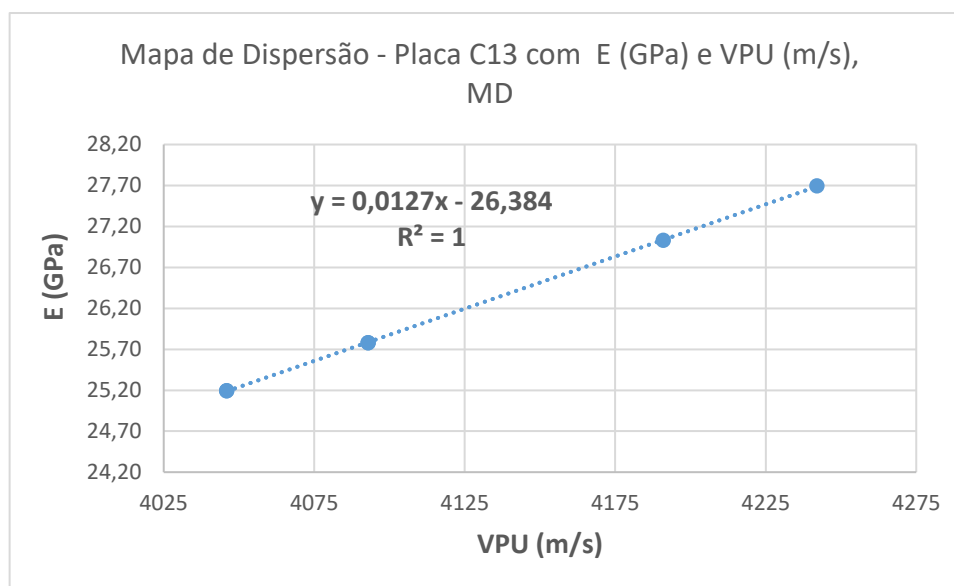
Fonte: Do autor, 2019.

Para uma melhor visualização dos resultados foram elaborados os Gráficos 9 e 10, correspondentes aos dados analisados nos Quadros 29 e 30 para a Placa C13. Gráfico 9 – Mapa de dispersão para a placa C13 com E (GPa) e Carga Máxima (kgf), Reboco Médio e MD



Fonte: Do autor, 2019.

Gráfico 10 – Mapa de dispersão para a placa C13 com VPU (m/s) e E (GPa), Reboco Médio e MD



Fonte: Do autor, 2019.

É interessante notar que os resultados do Quadro 29 foram iguais aos resultados dos Quadros 27 e 28. Isso ocorreu porque existe uma relação linear entre a Carga Máxima (kgf) e o valor de Ra (MPa), pois Ra (MPa) consiste apenas na divisão da Carga Máxima (kgf) pela área do corpo de prova, que era um valor constante (19,63 cm²). Ao mesmo tempo, existe uma relação forte e de significância total entre VPU (m/s) e o Módulo de Elasticidade E (GPa), como mostra o Quadro 30. Essa relação é estabelecida através da Equação 1. O mesmo ocorre para todas as placas, pois trata-se de correspondências físico-matemáticas.

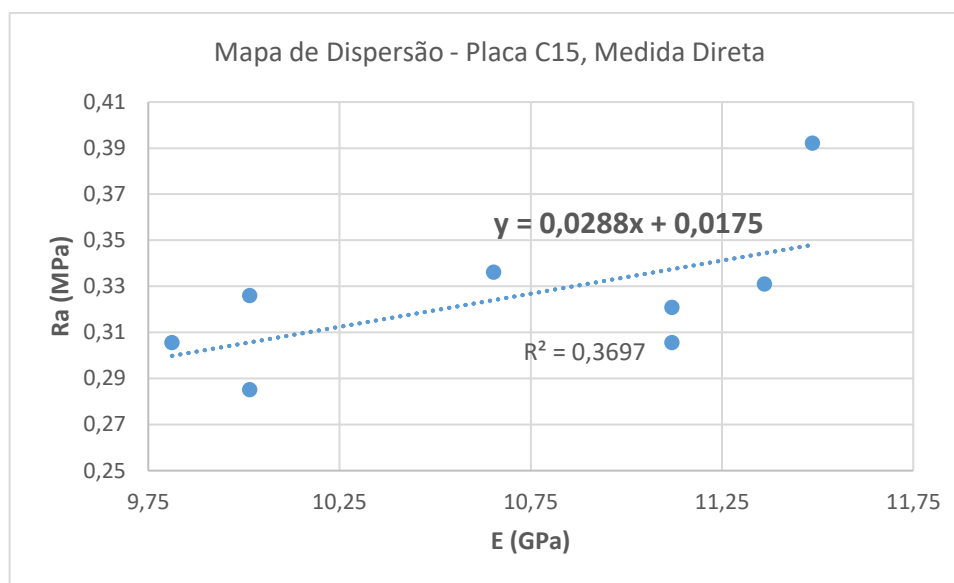
Ademais, a posição dos dados no Gráfico 9 é igual à dos Gráficos 7 e 8, confirmando a igualdade das relações. A Equação é diferente apenas por representar valores diferentes. No Gráfico 10, a perfeita linearidade dos pares reafirma o que foi visto no Quadro 30, demonstrando a correlação forte e de total significância entre VPU (m/s) e E (GPa).

Dessa forma, basta ter no eixo x um dado correspondente ao ultrassom e no eixo y um resultado do arrancamento para um mesmo par, independentemente de qual grandeza seja. Se no eixo x VPU (m/s) ou E (GPa), se no eixo y Carga Máxima (kgf) ou Ra (MPa), a correlação estabelecida para o par será a mesma. No restante do trabalho, então, foi analisado apenas o E (GPa) juntamente com o valor de Ra

(MPa) correspondente, pois esses foram os dados utilizados como exemplo nas análises já efetuadas em seções anteriores.

O Gráfico 11, por sua vez, mostra a dispersão entre E (GPa) e Ra (MPa) para a Placa C15, outra que, além da Placa C13, possuiu uma correlação forte nos pares de dados.

Gráfico 11 – Mapa de dispersão para a placa C15, Reboco Médio e MD



Fonte: Do autor, 2019.

Foram calculados, então, com a utilização das Equações 9 e 10, o erro padrão de estimativa (Se) e a margem de erro (E), estabelecendo assim um intervalo de previsão. Para tal, foi utilizada uma margem de confiança de 95% para a distribuição t de *student*, visualizada no Quadro 6. Os resultados para as placas C13 e C15, respectivamente, podem ser vistos nos Quadros 31 e 32.

Quadro 31 – Margem de Erro para a placa C13, MD

Margem de erro placa C13, Medida Direta					
Equação	Valor previsto	Valor real	Erro Padrão (Se)	Margem de Erro	Intervalo
$y = -0,0249x + 0,9554$	0,27	0,29	0,0122	0,04	$0,23 < y < 0,31$
	0,31	0,31	0,0014	0,00	$y = 0,31$
	0,33	0,36	0,0142	0,05	$0,28 < y < 0,38$
	0,33	0,30	0,0138	0,04	$0,29 < y < 0,37$
	0,28	0,24	0,0189	0,06	$0,22 < y < 0,34$
	0,31	0,33	0,0063	0,02	$0,29 < y < 0,33$

Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 32 – Margem de Erro para a placa C15, MD

Margem de erro placa C15, Medida Direta					
Equação	Valor previsto	Valor real	Erro Padrão (Se)	Margem de Erro	Intervalo
$y = 0,0288x + 0,0175$	0,31	0,29	0,0085	0,02	$0,29 < y < 0,33$
	0,31	0,33	0,0082	0,02	$0,29 < y < 0,33$
	0,30	0,31	0,0022	0,01	$0,29 < y < 0,31$
	0,34	0,31	0,0131	0,03	$0,31 < y < 0,37$
	0,32	0,34	0,0048	0,01	$0,31 < y < 0,33$
	0,34	0,33	0,0056	0,02	$0,32 < y < 0,36$
	0,34	0,32	0,0069	0,02	$0,32 < y < 0,36$
	0,35	0,39	0,0179	0,05	$0,3 < y < 0,4$

Fonte: Do autor, 2019.

Nota-se que o valor previsto e o valor real, em ambos os casos, foram bem próximos. Por mais que a margem de erro seja um pouco elevada, a previsão é satisfatória.

4.10.2) Reboco médio, medida indireta em ultrassom

Os dados resultantes para a MI no Reboco Médio estão no Anexo G.

Calculou-se, novamente, o coeficiente de correlação de Pearson com um nível de confiança de 95%. Os resultados podem ser vistos no Quadro 33.

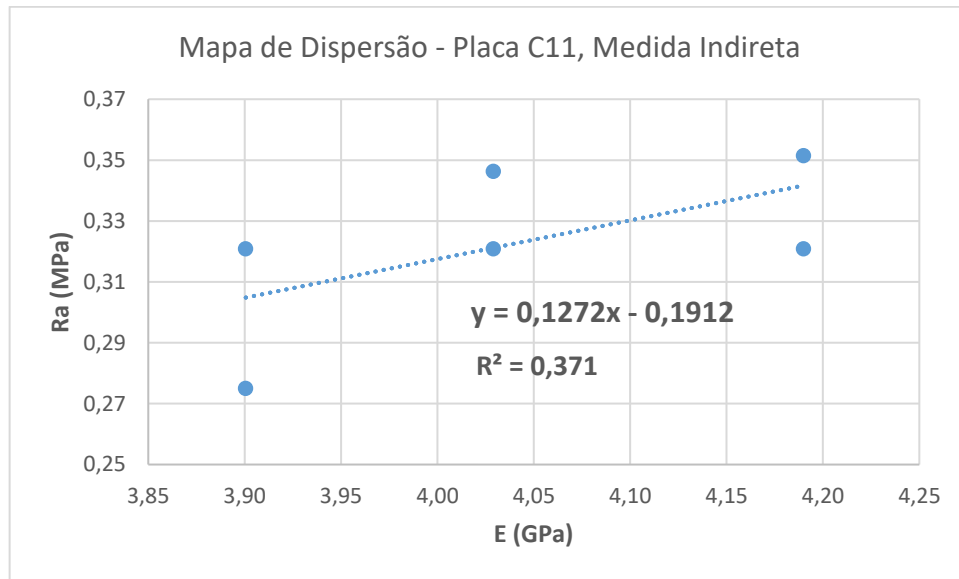
Quadro 33 – Correlação dos dados para o Reboco Médio, MI

Correlação de dados - Reboco Médio, MI			
Placa	Coeficiente R	Tipo de correlação	Significância ($\alpha=0,05$)
C11	-0,61	Negativa forte	Inexistente
C12	0,27	Positiva fraca	Inexistente
C13	0,03	Inexistente	Inexistente
C14	0,64	Positiva forte	Inexistente
C15	0,22	Positiva fraca	Inexistente
Todas	0,05	Inexistente	Inexistente

Fonte: Do autor, 2019.

Nas placas C11 e C14 houveram correlações fortes, apesar de serem opostas em sinal. Para essas placas, portanto, montou-se os mapas de dispersão já com as equações das regressões. Os mesmos podem ser vistos nos Gráficos 12 e 13.

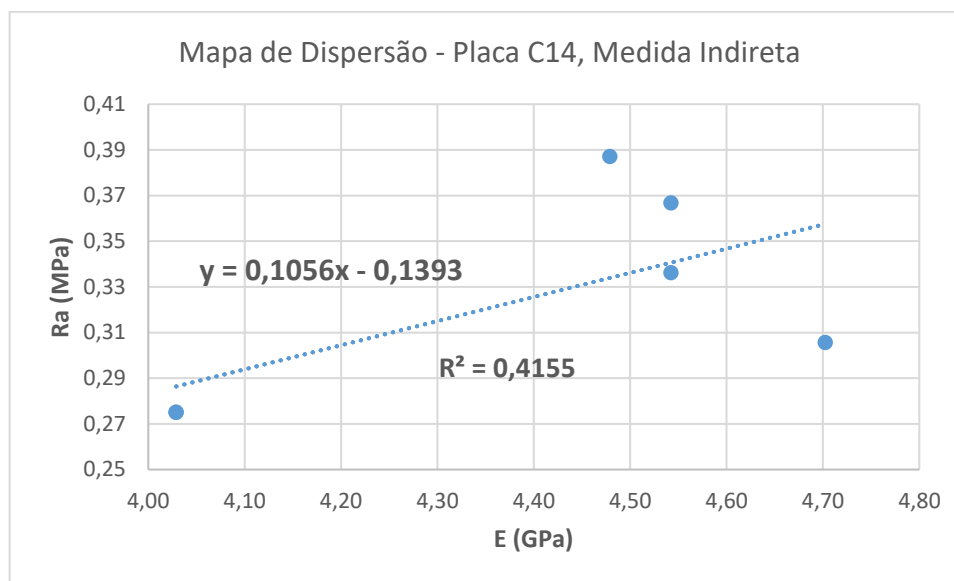
Gráfico 12 – Mapa de dispersão para a placa C11, Reboco Médio e MI



Fonte: Do autor, 2019.

Foram calculados, novamente, com a utilização das Equações 9 e 10, o erro padrão de estimativa (Se) e a margem de erro (E), estabelecendo assim um intervalo de previsão. Para tal, foi utilizada outra vez uma margem de confiança de 95% para a distribuição t de *student*, visualizada no Quadro 6. Os resultados para as placas C11 e C14, respectivamente, podem ser vistos no Quadros 34 e 35, mostrando que para a placa C11 os valores previsto e real foram próximos, tornando a equação satisfatória. Na placa C14, no entanto, alguns valores diferiram mais, como por exemplo 0,41 e, logo abaixo, 0,39, tornando a equação não tão satisfatória. No entanto, outros valores já foram mais próximos.

Gráfico 13 – Mapa de dispersão para a placa C14, Reboco Médio e MI



Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 34 – Margem de Erro para a placa C11, MI

Margem de erro placa C11, Medida Indireta					
Equação	Valor previsto	Valor real	Erro Padrão (Se)	Margem de Erro	Intervalo
$y = 0,1272x - 0,1912$	0,32	0,32	0,0002	0,00	$y = 0,32$
	0,32	0,35	0,0125	0,04	$0,28 < y < 0,36$
	0,34	0,32	0,0105	0,03	$0,31 < y < 0,37$
	0,34	0,35	0,0048	0,02	$0,32 < y < 0,36$
	0,30	0,32	0,0080	0,03	$0,27 < y < 0,33$
	0,30	0,28	0,0150	0,05	$0,25 < y < 0,35$

Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 35 – Margem de Erro para a placa C14, MI

Margem de erro placa C14, Medida Indireta					
Equação	Valor previsto	Valor real	Erro Padrão (Se)	Margem de Erro	Intervalo
$y = 0,1272x - 0,1912$	0,32	0,28	0,0231	0,08	$0,24 < y < 0,4$
	0,32	0,28	0,0231	0,08	$0,24 < y < 0,4$
	0,41	0,31	0,0507	0,17	$0,24 < y < 0,58$
	0,39	0,34	0,0252	0,08	$0,31 < y < 0,47$
	0,39	0,37	0,0099	0,03	$0,36 < y < 0,42$
	0,38	0,39	0,0043	0,01	$0,37 < y < 0,39$

Fonte: Do autor, 2019.

4.10.3) Reboco grosso, medida direta em ultrassom

Os dados resultantes para a MD do Reboco Grosso podem ser vistos no Anexo G. Calculou-se, novamente, o coeficiente de correlação de Pearson com um nível de confiança de 95%. Os resultados podem ser vistos no Quadro 36.

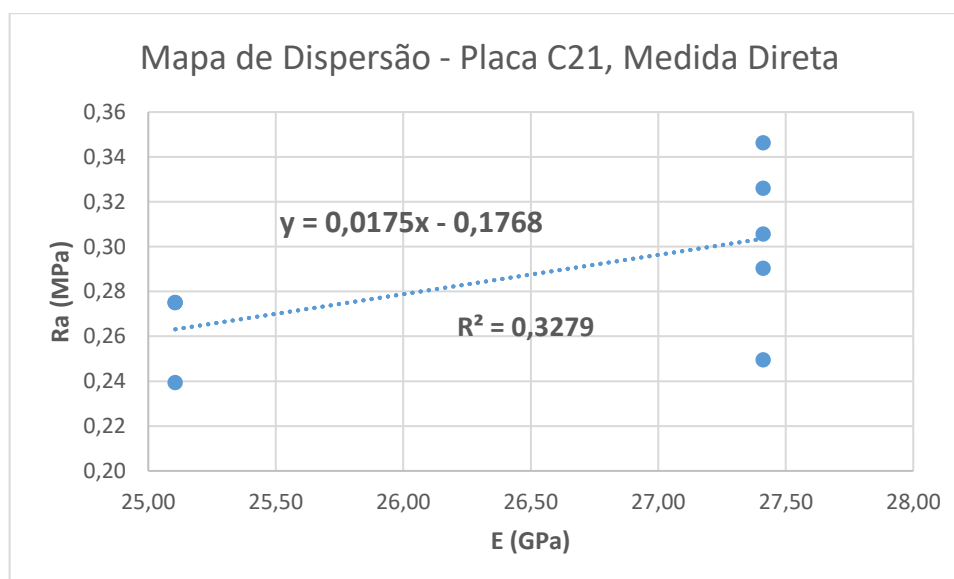
Quadro 36 – Correlação dos dados para o Reboco Grosso, MD

Correlação de dados - Reboco Grosso, MD			
Placa	Coefficiente R	Tipo de correlação	Significância ($\alpha=0,05$)
C21	-0,57	Negativa forte	Inexistente
C22	-0,44	Negativa fraca	Inexistente
C23	0,20	Positiva fraca	Inexistente
C24	-0,25	Negativa fraca	Inexistente
C25	0,53	Positiva forte	Inexistente
Todas	0,14	Positiva fraca	Inexistente

Fonte: Do autor, 2019.

As placas C21 e C25 demonstram uma correlação forte, embora uma seja positiva e a outra negativa. Ademais, tal relação é menor do que 0,6, menor em módulo do que as registradas para o Reboco Médio. Para essas placas, portanto, montou-se os mapas de dispersão já com as equações das regressões. Os mesmos podem ser vistos nos Gráficos 14 e 15.

Gráfico 14 – Mapa de dispersão para a placa C21, Reboco Grosso e MD

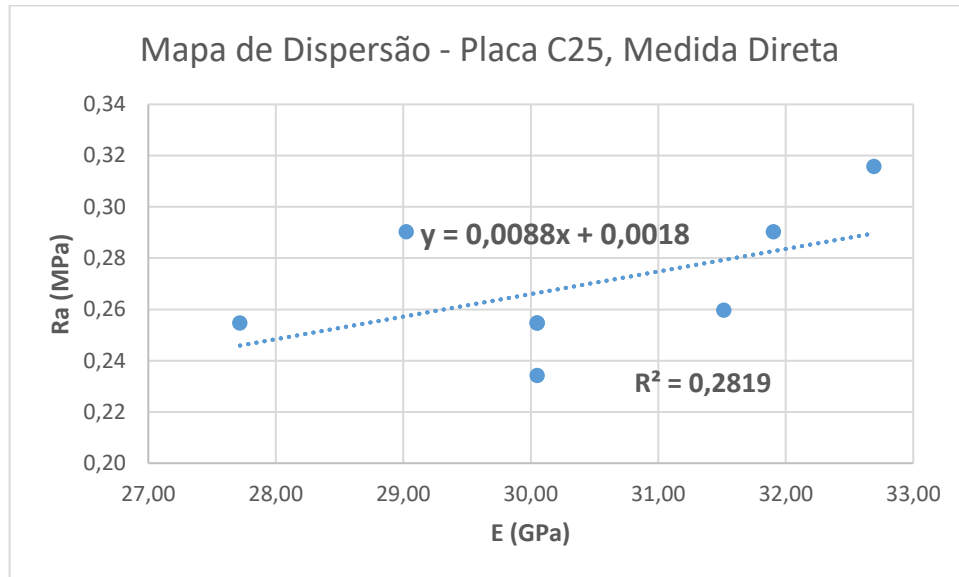


Fonte: Do autor, 2019.

Foram calculados, novamente, com a utilização das Equações 9 e 10, o erro padrão de estimativa (Se) e a margem de erro (E), estabelecendo assim um intervalo

de previsão. Para tal, foi utilizada outra vez uma margem de confiança de 95% para a distribuição t de *student*, visualizada no Quadro 6. Os resultados para as placas C21 e C25, respectivamente, podem ser vistos no Quadros 37 e 38.

Gráfico 15 – Mapa de dispersão para a placa C25, Reboco Grosso e MD



Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 37 – Margem de Erro para a placa C21, MD

Margem de erro placa C21, Medida Direta					
Equação	Valor previsto	Valor real	Erro Padrão (Se)	Margem de Erro	Intervalo
$y = 0,0175x - 0,1768$	0,30	0,35	0,0177	0,05	$0,25 < y < 0,35$
	0,26	0,24	0,0095	0,03	$0,23 < y < 0,29$
	0,26	0,28	0,0051	0,01	$0,25 < y < 0,27$
	0,26	0,28	0,0051	0,01	$0,25 < y < 0,27$
	0,30	0,31	0,0011	0,00	$0,29 < y < 0,31$
	0,30	0,29	0,0051	0,01	$0,29 < y < 0,31$
	0,30	0,25	0,0218	0,06	$0,24 < y < 0,36$
	0,30	0,33	0,0094	0,02	$0,28 < y < 0,32$

Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 38 – Margem de Erro para a placa C25, MD

Margem de erro placa C25, Medida Direta					
Equação	Valor previsto	Valor real	Erro Padrão (Se)	Margem de Erro	Intervalo
$y = 0,0088x + 0,0018$	0,38	0,29	0,0372	0,10	$0,28 < y < 0,48$
	0,35	0,23	0,0469	0,12	$0,23 < y < 0,47$
	0,40	0,32	0,0325	0,09	$0,31 < y < 0,49$
	0,37	0,26	0,0469	0,13	$0,24 < y < 0,5$
	0,33	0,29	0,0167	0,05	$0,28 < y < 0,38$
	0,35	0,25	0,0386	0,10	$0,25 < y < 0,45$
	0,35	0,25	0,0386	0,10	$0,25 < y < 0,45$
	0,31	0,25	0,0219	0,07	$0,24 < y < 0,38$

Fonte: Do autor, 2019.

Como já esperado, os valores foram menos convergentes do que para o Reboco Médio, tendo em vista que a correlação é mais fraca. Os resultados para a placa C21 foram piores do que os da placa C25, pois a margem de erro foi menor.

4.10.4) Reboco grosso, medida indireta em ultrassom

Os dados resultantes para a MI do Reboco Grosso estão no Anexo G. Calculou-se, novamente, o coeficiente de correlação de Pearson com um nível de confiança de 95%. Os resultados podem ser vistos no Quadro 39.

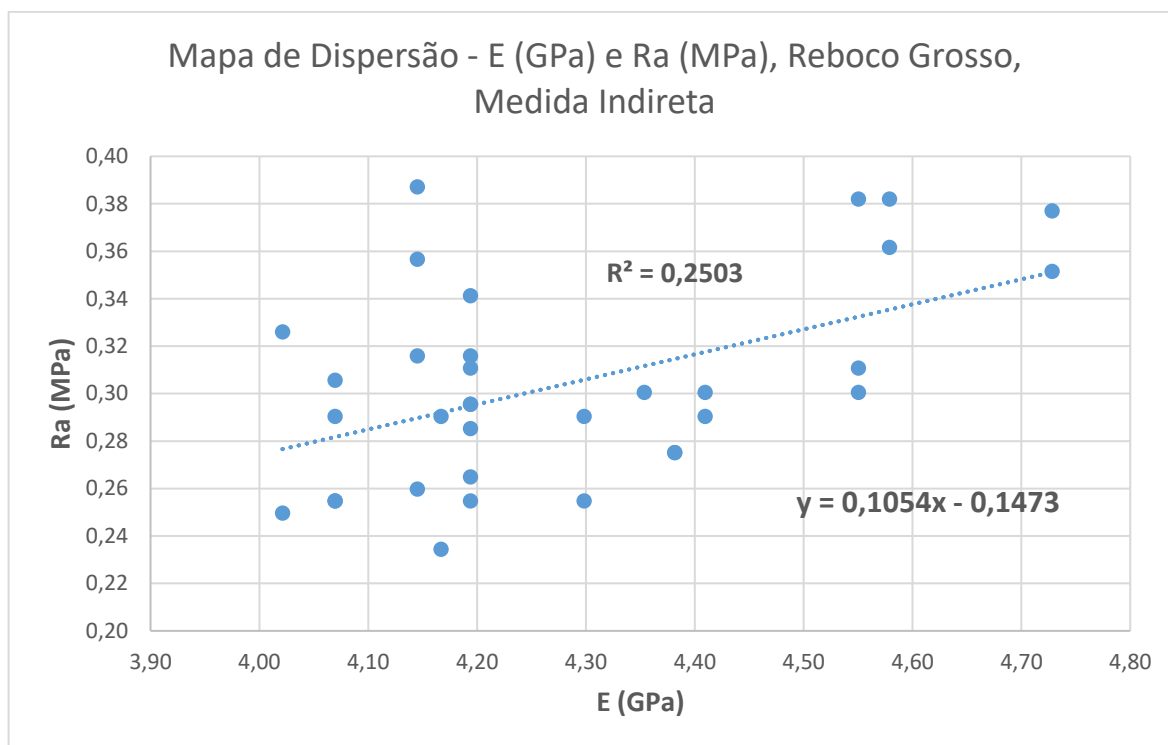
Quadro 39 – Correlação dos dados para o Reboco Grosso, MI

Correlação de dados - Reboco Grosso, MI			
Placa	Coeficiente R	Tipo de correlação	Significância ($\alpha=0,05$)
C21	0,32	Positiva fraca	Inexistente
C22	0,00	Inexistente	Inexistente
C23	0,49	Positiva fraca	Inexistente
C24	-0,09	Negativa fraca	Inexistente
C25	0,17	Positiva fraca	Inexistente
Todas	0,50	Positiva forte	Inexistente

Fonte: Do autor, 2019.

A princípio, todas as correlações são fracas. A relação que envolve os valores de todas as placas ao mesmo tempo é mediana, por esse motivo, foi elaborado o mapa de dispersão com a equação de regressão, mostrado no Gráfico 16, e foi calculada a margem de erro, conforme o Quadro 40.

Gráfico 16 – Mapa de dispersão para todas as placas, Reboco Grosso e MI



Fonte: Do autor, 2019.

Observa-se no Quadro 40 que a margem foi elevada, e muitas vezes acabou nem englobando o valor real, pois uma força de correlação de 0,5 não é suficiente para que se estabeleça um intervalo de previsão seguro. No entanto, mesmo assim, em algumas situações, o valor previsto foi semelhante ao real.

Para uma melhor compreensão das correlações efetuadas, foi montado um Quadro Resumo, que corresponde ao Quadro 41. O Quadro Resumo mostra as equações das correlações consideradas fortes, para as quais foi elaborada uma regressão linear, juntamente com o valor do respectivo R^2 e a placa à qual a equação faz referência.

Quadro 40 – Margem de erro para os dados do Reboco Grosso, MI

Margem de erro para todas as placas, Medida Indireta					
Equação	Valor previsto	Valor real	Erro Padrão (Se)	Margem de Erro	Intervalo
$y = 0,1054x - 0,1473$	0,31	0,28	0,0070	0,01	$0,3 < y < 0,32$
	0,31	0,28	0,0070	0,01	$0,3 < y < 0,32$
	0,28	0,31	0,0042	0,01	$0,27 < y < 0,29$
	0,28	0,29	0,0015	0,00	$y = 0,28$
	0,28	0,25	0,0048	0,01	$0,27 < y < 0,29$
	0,28	0,33	0,0087	0,02	$0,26 < y < 0,30$
	0,29	0,32	0,0037	0,01	$0,28 < y < 0,30$
	0,29	0,26	0,0053	0,01	$0,28 < y < 0,30$
	0,29	0,30	0,0001	0,00	$y = 0,29$
	0,29	0,30	0,0001	0,00	$y = 0,29$
	0,29	0,29	0,0017	0,00	$y = 0,29$
	0,29	0,34	0,0082	0,02	$0,27 < y < 0,31$
	0,29	0,25	0,0071	0,01	$0,28 < y < 0,30$
	0,29	0,31	0,0028	0,01	$0,28 < y < 0,30$
	0,35	0,38	0,0046	0,01	$0,34 < y < 0,36$
	0,35	0,35	0,0001	0,00	$y = 0,35$
	0,33	0,30	0,0056	0,01	$0,32 < y < 0,34$
	0,33	0,38	0,0088	0,02	$0,31 < y < 0,35$
	0,33	0,31	0,0038	0,01	$0,32 < y < 0,34$
	0,34	0,36	0,0047	0,01	$0,33 < y < 0,35$
	0,34	0,38	0,0083	0,02	$0,32 < y < 0,36$
	0,31	0,30	0,0020	0,00	$y = 0,31$
	0,32	0,30	0,0030	0,01	$0,31 < y < 0,33$
	0,32	0,29	0,0048	0,01	$0,31 < y < 0,33$
	0,29	0,39	0,0172	0,04	$0,25 < y < 0,33$
	0,29	0,36	0,0118	0,02	$0,27 < y < 0,31$
	0,29	0,29	0,0003	0,00	$y = 0,29$
	0,29	0,23	0,0102	0,02	$0,27 < y < 0,31$
	0,29	0,32	0,0046	0,01	$0,28 < y < 0,30$
	0,29	0,26	0,0053	0,01	$0,28 < y < 0,30$
0,31	0,29	0,0027	0,01	$0,30 < y < 0,32$	
0,31	0,25	0,0090	0,02	$0,29 < y < 0,33$	
0,28	0,25	0,0048	0,01	$0,27 < y < 0,29$	
0,28	0,25	0,0048	0,01	$0,27 < y < 0,29$	

Fonte: Do autor, 2019.

Quadro 41 - Quadro Resumo das Equações Elaboradas

Quadro Resumo das principais correlações			
Reboco	Placa	Equação	R²
Médio	C13, MD	$y = -0,0249x + 0,9554$	0,464
Médio	C15, MD	$y = 0,0288x + 0,0175$	0,370
Médio	C11, MI	$y = 0,1272x - 0,1912$	0,371
Médio	C14, MI	$y = 0,1272x - 0,1912$	0,416
Grosso	C21, MD	$y = 0,0175x - 0,1768$	0,328
Grosso	C25, MD	$y = 0,0088x + 0,0018$	0,282
Grosso	Todas	$y = 0,1054x - 0,1473$	0,250

Fonte: Do autor, 2019.

5 CONCLUSÃO

O ensaio de ultrassom é tipicamente uma verificação com uma variabilidade considerável. Apesar disso, os valores de módulo de elasticidade obtidos nesse trabalho foram, em sua grande maioria, estatisticamente validados. O valor do módulo de elasticidade foi maior para a medida direta do que para a medida indireta. Isso já era esperado, pois a medida direta levou em consideração a placa de concreto, cuja espessura era o dobro da camada de argamassa; levando em conta que o E (GPa) do concreto é, em suma, superior ao E (GPa) da argamassa.

Os módulos de elasticidade obtidos para o Reboco Grosso foram, em sua grande maioria, superiores aos E (GPa) obtidos para o Reboco Médio. Outro resultado justificável, tendo em vista que a densidade obtida para o Reboco Grosso foi superior. Isso era perceptível até no manuseio das placas, pois as placas de Reboco Grosso eram mais pesadas do que as placas de Reboco Médio, sendo que ambas possuíam substratos de mesmo material e espessura. O peso, portanto, era consequência da densidade elevada da argamassa ali adicionada.

Outro resultado que chama a atenção foi o de que o E (GPa) das placas de Reboco Grosso possuiu uma menor variabilidade, comparando as placas entre si, do que os resultados de E (GPa) no Reboco Médio, principalmente na MD. A principal evidência disso é a de que, nas placas de Reboco Médio, a maior diferença entre as médias de E (GPa) para a MD obtidas foi de 20,24 GPa. Nas placas de Reboco Grosso, por sua vez, a maior diferença verificada entre as médias foi de apenas 4,47 GPa, um valor 78% menor.

Embora existisse uma variação 78% menor nas leituras de ultrassom para as placas de Reboco Grosso, as análises estatísticas invalidaram 6 de seus resultados gerais, sendo que nas placas de Reboco Médio, com uma variação 78% maior, apenas 2 de seus resultados foram invalidados. Isso parece uma contradição, mas é justificável no momento em que se observa que uma análise estatística sempre leva em consideração a totalidade dos dados e a distribuição de sua variação em uma escala. Dados gerais com uma amplitude maior, “bem distribuídos” em uma escala, por exemplo, possuirão um DP maior, sendo menos sensíveis ao erro. Dados gerais naturalmente convergentes com baixa amplitude, por sua vez, serão mais sensíveis ao erro, como é o caso de Reboco Grosso.

É importante salientar que a grande divergência para resultados de leitura de ultrassom entre placas diferentes, no Reboco Médio, se deu em sua grande parte na medida direta. Na MD para o Reboco Médio, como já citado, a maior diferença entre médias de E (GPa) verificada foi de 78%. Na medida indireta, por sua vez, tal valor ficou na casa dos 25%; uma variabilidade consideravelmente menor. Isso é um indício de que, levando em consideração que a MI é feita apenas na superfície da argamassa, as placas foram quase que uniformes e bem constituídas na integridade física de sua camada de argamassa, pois uma camada ruim resultaria em resultados ruins e mais discrepantes.

Entretanto, como a MD leva em consideração a espessura da camada de argamassa, a grande variabilidade entre placas é um indício de que as placas do Reboco Médio talvez tenham ficado menos uniformes entre si do que as placas de Reboco Grosso.

Não seria possível nem recomendável fabricar novas amostras de Reboco Médio, pois a possível distinção entre espessuras das placas só foi verificada no momento da análise dos resultados, mais de 56 dias após a fabricação do substrato de concreto e mais de 28 dias após a aplicação da argamassa sobre a base. Visualmente, as placas pareciam satisfatoriamente uniformes. Apesar da possível discrepância entre placas, os dados ainda serviriam para elaborar uma boa correlação de resultados para cada placa individualmente, tendo em vista que no presente trabalho elas também foram individualmente analisadas, desde o princípio.

A comparação de resultados de ultrassom para uma mesma placa, no entanto, foi muito boa pois todos os resultados foram aproximados, tanto para Reboco Médio quanto para o Reboco Grosso, com raras exceções. Isso demonstra que houve uma uniformidade na fabricação de uma mesma placa e, como já dito, uma boa integridade geral de suas camadas de concreto e argamassa. Uma distinção maior poderia estar entre as placas de Reboco Médio, e não entre as amostras de uma mesma placa. Como já dito, apesar da possível discrepância uma boa correlação ainda poderia ser efetuada.

Quanto ao ensaio de arrancamento, observa-se que, apesar de ser um ensaio caracteristicamente de grande variabilidade, os dados foram coerentes e convergentes sendo, em sua maioria, estatisticamente validados. Vale ressaltar que a média de resistência ao arrancamento foi de 0,32 MPa para o Reboco Médio e 0,30

MPa para o Reboco Grosso, atingindo assim o valor de 0,3 MPa prometido pelo fabricante e atendendo os requisitos da norma NBR 13281 (ABNT, 2010). As argamassas foram classificadas na classe de maior resistência da norma citada, a classe A3.

A resistência R_a (MPa) para o Reboco Médio, em suma, foi maior do que a resistência para o Reboco Grosso, embora o módulo de elasticidade E (GPa) do Reboco Grosso tenha sido maior do que o módulo do Reboco Médio. Isso deve ser analisado conjuntamente com as formas de ruptura. No Reboco Médio, 67% das amostras romperam na interface cola/argamassa. Já no Reboco Grosso esse valor cai para 37,5%, estando praticamente empatado com a ruptura na interface argamassa/substrato, que contemplou 35% das rupturas. Esse pode ser um indício de que o Reboco Médio aderiu melhor ao substrato, formando um conjunto mais resistente com o concreto, rompendo assim na cola e não no conjunto.

O fato de nem todas as rupturas terem ocorrido em cola indica que a cola escolhida é adequada para o ensaio realizado. Chama a atenção o fato de, na placa C25, todas as rupturas terem ocorrido na interface argamassa/substrato. Os valores de resistência R_a (MPa), no entanto, foram condizentes com todos os demais.

No que diz respeito às correlações, a força das relações entre os resultados no Reboco Médio foi superior à do Reboco Grosso. O motivo pode ser o já citado de que, ao que os valores indicam, o Reboco Médio aderiu melhor ao substrato de concreto. Apesar de, segundo os autores citados, não haver grande significância nas correlações estabelecidas, pode-se dizer que as equações desenvolvidas, principalmente para correlações fortes superiores a 0,6 em módulo, os resultados foram significativos.

Por fim, conclui-se que é possível prever a resistência de arrancamento à tração da argamassa utilizando o ensaio de ultrassom, apesar de poucas placas terem apresentado uma correlação forte. As que apresentaram, no entanto, tiveram os valores previstos, através das equações desenvolvidas, muito semelhantes aos valores reais obtidos; principalmente para o Reboco Médio.

5.1) Recomendações para trabalhos futuros

Para futuros trabalhos nesse segmento recomenda-se que sejam fabricadas amostras separadas unicamente compostas por argamassa, a mesma argamassa utilizada para fabricar as placas, é claro. Isso porque nenhuma das formas de análise em ultrassom utilizadas nas placas (MD e MI) mediu especificamente as propriedades da argamassa. A MD incluiu o substrato de concreto, o que modifica substancialmente os resultados, e a MI não é a medida mais adequada, sendo recomendada apenas quando não for possível realizar a MD. Dessa forma, seria importante possuir medidas específicas do E (GPa) unicamente da argamassa, para fins comparativos.

Antes de realizar o ensaio de arrancamento é aconselhável que se mensure o diâmetro das amostras, pois elas podem ter variado, ainda que minimamente, após serem perfuradas com a serra copo. Tal variação alteraria os resultados da resistência ao arrancamento à tração.

Recomenda-se, também, um maior cuidado no momento da fabricação das amostras, principalmente comparando as placas entre si de maneira rígida, pois isso pode afetar significativamente os resultados, embora não os invalide. Se possível, também é ideal que se inicie a parte prática do trabalho com muita antecedência, permitindo assim que seja fabricado um maior número de placas e possíveis discrepâncias executivas sejam reparadas, através da fabricação de novas placas ou a realização de novos ensaios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de revestimentos em argamassa.** São Paulo. 2002. Disponível em: <<http://www.comunidade-da-construcao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro. 2019.

_____. **NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento.** Rio de Janeiro. 1998.

_____. **NBR 7215: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento.** Rio de Janeiro. 1998.

_____. **NBR 7222: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro. 2011.

_____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro. 2002.

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

_____. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos.** Rio de Janeiro. 2005.

_____. **NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro. 2010.

_____. **NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia.** Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação.** Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 14081-2: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios.** Rio de Janeiro. 2012.

_____. **NBR 14081-4: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro. 2012.

_____. **NBR 15258: Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração.** Rio de Janeiro. 2012.

_____. **NBR 15630: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica.** Rio de Janeiro. 2008.

_____. **NBR 15839: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze - flow.** Rio de Janeiro. 2010.

ASTM. American Society for Testing and Materials C780. **Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry.** Washington. 2017.

BSI. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BSI 1881 - 203: Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete.** Londres. 1986.

_____. **BSI 4551: Methods of Testing Mortars. Chemical Analysis and Physical Testing,** Londres. 2005.

CALLISTER JR., WILLIAM D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução.** Rio de Janeiro: LTC, 2002.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** In: ISAIA, G.C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** São Paulo, IBRACON, 2007. Cap. 28.

CHAVES, A.M.V.A. **Patologia e reabilitação de revestimentos de fachadas.** Guimarães: Universidade do Minho, 2009.

CHIES, J. A. **Ensaio não destrutivo em concreto: detecção de falhas no interior de estruturas de concreto com o uso de ultrassom.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística Aplicada.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

FILHO, J.F.; MENEZES, R.R; FERREIRA H.S.; SANTANA, L.N.L.; NEVES, G.A.; FERREIRA, H.C. Estudo da durabilidade de argamassas alternativas contendo

resíduos. **Cerâmica**, São Paulo, v. 57, n. 344, p. 395-403, out./dez. 2011. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132011000400004>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

FONSECA, E. **Determinação indireta das propriedades mecânicas do aço ASTM A36 laminado com o uso de ultrassom**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

FONSECA, J.S.; MARTINS, G. A. **Curso de Estatística**. São Paulo: Atlas, 2006.

GRABOWSKI, S.L., PADARATZ, I.J.M PINTO, R.C.A., Avaliação de placas de concreto com o método não destrutivo do Eco impacto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO (COBRACON 2008), 2008, Salvador. **Anais do 57º Congresso Brasileiro do Concreto**. Salvador: Instituto Brasileiro de Concreto, 2008, 12p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/283719492_DETECCAO_DE_FALHAS_EM ESTRUTURAS_DE_CONCRETO_ATRAVES_DE_ENSAIOS_ULTRASSONICOS>. Acesso em: 10 mai. 2019.

IAEA. International Atomic Energy Agency. **IAEA – TCS – 17: Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures**. Viena: 2002, 231 p.

JUNIOR, J. M. A. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. Brasília: Universidade de Brasília, 2004.

KAZMIERCZAK, C. S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO, D. Influência do Substrato na Resistência de Aderência à Tração e na Distribuição de Poros de uma Argamassa. **Estudos tecnológicos**, São Leopoldo, v. 3, n. 1, p. 47-58, jun. 2007. Disponível em: <http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos_tecnologicos/article/view/5729/2928>. Acesso em: 10 mai. 2019.

LEAL, F. E. C. B. **Estudo do desempenho do chapisco como procedimento de prevenção de base em sistemas de revestimento**. Brasília: Universidade de Brasília, 2003.

LORENZI, A. **Aplicação de redes neurais artificiais para estimativa da resistência à compressão do concreto a partir da velocidade de propagação de pulso ultrassônico**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

RECENA, Fernando Atonio Piazza. **Conhecendo argamassa**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.

REVESTIMENTO de argamassa. In: COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Manual de revestimentos de argamassa**. 2019. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemasconstrutivos/4/caracteristicas/o-sistema/61/caracteristicas.html>> - Acesso em: 29 mar. 2019.

REVESTIMENTOS com argamassa. In: FÓRUM DA CONSTRUÇÃO. **Revestimento com argamassa: você conhece todas as camadas?**. 2015. Disponível em: <<https://www.foxlux.com.br/blog/dicas/revestimento-com-argamassa/>> - Acesso em: 10 mai. 2019.

SANTOS, H. B. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.8, n. 4, p. 21-35, out./dez. 2008. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/6386/4701>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

SOUZA, V.C.M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 2001.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causa, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989.

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar**. São Paulo: Pini, 2009.

ANEXO A – Carga Máxima de Arrancamento nos Rebocos Médio e Grosso

Placa	Amostra	Reboco Médio	Placa	Amostra	Reboco Grosso
		Carga Máxima (kgf)			Carga Máxima (kgf)
C11	1	61,00	C21	1	68,00
	2	63,00		2	47,00
	3	63,00		3	54,00
	4	68,00		4	54,00
	5	63,00		5	60,00
	6	69,00		6	57,00
	7	63,00		7	49,00
	8	54,00		8	64,00
C12	1	74,00	C22	1	62,00
	2	72,00		2	52,00
	3	67,00		3	58,00
	4	64,00		4	58,00
	5	61,00		5	56,00
	6	64,00		6	67,00
	7	77,00		7	50,00
	8	52,00		8	61,00
C13	1	57,00	C23	1	58,00
	2	61,00		2	56,00
	3	70,00		3	74,00
	4	59,00		4	69,00
	5	-		5	84,00
	6	48,00		6	59,00
	7	44,00		7	75,00
	8	64,00		8	61,00
C14	1	54,00	C24	1	71,00
	2	54,00		2	75,00
	3	96,00		3	77,00
	4	60,00		4	59,00
	5	66,00		5	59,00
	6	72,00		6	57,00
	7	99,00		7	76,00
	8	76,00		8	70,00
C15	1	56,00	C25	1	57,00
	2	64,00		2	46,00
	3	60,00		3	62,00
	4	60,00		4	51,00
	5	66,00		5	57,00
	6	65,00		6	50,00
	7	63,00		7	50,00
	8	77,00		8	50,00

Fonte: Do autor, 2019.

ANEXO B – Desvios dos Valores de Resistência ao Arrancamento para os Rebocos Médio e Grosso

Reboco Médio			Reboco Grosso		
Placa	Amostra	Desvio	Placa	Amostra	Desvio
C11	1	0,01	C21	1	0,06
	2	0,00		2	0,05
	3	0,00		3	0,01
	4	0,03		4	0,01
	5	0,00		5	0,02
	6	0,03		6	0,00
	7	0,00		7	0,04
	8	0,05		8	0,04
C12	1	0,04	C22	1	0,02
	2	0,03		2	0,03
	3	0,00		3	0,00
	4	0,01		4	0,00
	5	0,03		5	0,01
	6	0,01		6	0,05
	7	0,05		7	0,04
	8	0,07		8	0,02
C13	1	0,00	C23	1	0,05
	2	0,02		2	0,06
	3	0,06		3	0,04
	4	0,01		4	0,01
	5	-		5	0,09
	6	0,05		6	0,04
	7	0,07		7	0,04
	8	0,03		8	0,03
C14	1	0,09	C24	1	0,02
	2	0,09		2	0,04
	3	0,12		3	0,05
	4	0,06		4	0,05
	5	0,03		5	0,05
	6	0,00		6	0,06
	7	0,14		7	0,04
	8	0,02		8	0,01
C15	1	0,04	C25	1	0,02
	2	0,00		2	0,04
	3	0,02		3	0,05
	4	0,02		4	0,01
	5	0,01		5	0,02
	6	0,01		6	0,01
	7	0,00		7	0,01
	8	0,07		8	0,01

Fonte: Do autor, 2019.

ANEXO C – Escore Padrão Z para o arrancamento nos Rebocos Médio e Grosso

Ra (MPa) Reboco Médio		Ra (MPa) Reboco Grosso	
Dados	Escore Padrão (z)	Dados	Escore Padrão (z)
0,22	-1,97	0,23	-1,64
0,24	-1,59	0,24	-1,52
0,26	-1,21	0,25	-1,28
0,28	-1,02	0,25	-1,16
0,28	-1,02	0,25	-1,16
0,28	-1,02	0,25	-1,16
0,29	-0,83	0,25	-1,16
0,29	-0,74	0,26	-1,05
0,30	-0,55	0,26	-0,93
0,31	-0,45	0,28	-0,69
0,31	-0,45	0,28	-0,69
0,31	-0,45	0,29	-0,46
0,31	-0,36	0,29	-0,46
0,31	-0,36	0,29	-0,34
0,31	-0,36	0,29	-0,34
0,32	-0,17	0,29	-0,34
0,32	-0,17	0,29	-0,34
0,32	-0,17	0,30	-0,22
0,32	-0,17	0,30	-0,22
0,32	-0,17	0,30	-0,22
0,33	-0,07	0,30	-0,11
0,33	-0,07	0,30	-0,11
0,33	-0,07	0,30	-0,11
0,33	-0,07	0,31	0,01
0,33	0,02	0,31	0,13
0,34	0,12	0,31	0,13
0,34	0,12	0,32	0,25
0,34	0,21	0,32	0,25
0,35	0,31	0,33	0,48
0,35	0,40	0,34	0,84
0,36	0,50	0,35	0,95
0,37	0,68	0,35	1,07
0,37	0,68	0,36	1,19
0,38	0,87	0,36	1,31
0,39	1,06	0,38	1,66
0,39	1,16	0,38	1,78
0,39	1,16	0,38	1,78
0,49	2,96	0,39	1,89
0,50	3,24	0,39	2,01
		0,43	2,84

Fonte: Do autor, 2019.

ANEXO D – Leitura do Ultrassom para os Rebocos Médio e Grosso

Leitura do Ultrassom VPU (m/s) da argamassa RM				Leitura do Ultrassom VPU (m/s) da argamassa RG			
Placa	Amostra	MD - VPU (m/s)	MI - VPU (m/s)	Placa	Amostra	MD - VPU (m/s)	MI - VPU (m/s)
C11	1	3783	1428	C21	1	3932	1420
	2	3846	1428		2	3763	1420
	3	3703	1618		3	3763	1572
	4	3825	1618		4	3763	1572
	5	3664	1650		5	3932	1515
	6	3783	1650		6	3932	1515
	7	3645	1592		7	3932	1506
	8	3684	1592		8	3932	1506
C12	1	4487	1766	C22	1	3977	1538
	2	4430	1766		2	3888	1538
	3	4458	1766		3	3977	1538
	4	4487	1766		4	3977	1538
	5	4487	1773		5	3977	1538
	6	4545	1773		6	3977	1538
	7	4487	1785		7	3977	1538
	8	4487	1785		8	3977	1538
C13	1	4242	1901	C23	1	3977	1672
	2	4093	1901		2	3977	1672
	3	4046	1798		3	3977	1633
	4	4046	1798		4	3977	1633
	5	4046	1785		5	4117	1602
	6	4191	1785		6	3977	1602
	7	4191	1818		7	3977	1602
	8	4093	1818		8	3804	1602
C14	1	3654	1618	C24	1	3977	1607
	2	3482	1618		2	4069	1607
	3	3535	1748		3	4216	1567
	4	3526	1748		4	4320	1567
	5	3535	1718		5	4320	1577
	6	3535	1718		6	4166	1577
	7	3535	1706		7	4166	1529
	8	3535	1706		8	4216	1529
C15	1	2551	1712	C25	1	4242	1533
	2	2551	1712		2	4117	1533
	3	2525	1712		3	4294	1529
	4	2688	1712		4	4216	1529
	5	2631	1785		5	4046	1557
	6	2717	1785		6	4117	1557
	7	2688	1718		7	4117	1515
	8	2732	1718		8	3954	1515

Fonte: Do autor, 2019.

ANEXO E – Desvios do Módulo de Elasticidade para os Rebocos Médio e Grosso

Desvios do E (GPa) - Rebocos Médio e Grosso							
Reboco Médio				Reboco Grosso			
Placa	Amostra	MD	MI	Placa	Amostra	MD	MI
		Desvio	Desvio			Desvio	Desvio
C11	1	0,47	0,68	C21	1	0,86	0,44
	2	1,21	0,68		2	1,44	0,44
	3	0,45	0,21		3	1,44	0,37
	4	0,96	0,21		4	1,44	0,37
	5	0,89	0,38		5	0,86	0,06
	6	0,47	0,38		6	0,86	0,06
	7	1,11	0,09		7	0,86	0,01
	8	0,67	0,09		8	0,86	0,01
C12	1	0,05	0,04	C22	1	0,16	0,00
	2	0,74	0,04		2	1,09	0,00
	3	0,35	0,04		3	0,16	0,00
	4	0,05	0,04		4	0,16	0,00
	5	0,05	0,00		5	0,16	0,00
	6	0,85	0,00		6	0,16	0,00
	7	0,05	0,07		7	0,16	0,00
	8	0,05	0,07		8	0,16	0,00
C13	1	1,58	0,43	C23	1	0,05	0,26
	2	0,33	0,43		2	0,05	0,26
	3	0,92	0,16		3	0,05	0,03
	4	0,92	0,16		4	0,05	0,03
	5	0,92	0,23		5	2,06	0,15
	6	0,92	0,23		6	0,05	0,15
	7	0,92	0,05		7	0,05	0,15
	8	0,33	0,05		8	2,34	0,15
C14	1	1,24	0,41	C24	1	2,98	0,21
	2	0,65	0,41		2	1,66	0,21
	3	0,08	0,26		3	0,50	0,02
	4	0,18	0,26		4	2,07	0,02
	5	0,08	0,10		5	2,07	0,04
	6	0,08	0,10		6	0,25	0,04
	7	0,08	0,04		7	0,25	0,23
	8	0,08	0,04		8	0,50	0,23
C15	1	0,68	0,11	C25	1	1,53	0,00
	2	0,68	0,11		2	0,32	0,00
	3	0,89	0,11		3	2,32	0,02
	4	0,42	0,11		4	1,14	0,02
	5	0,04	0,29		5	1,35	0,13
	6	0,66	0,29		6	0,32	0,13
	7	0,42	0,07		7	0,32	0,10
	8	0,79	0,07		8	2,66	0,10

Fonte: Do autor, 2019.

ANEXO F – Escore Padrão Z para o Módulo de Elasticidade das Argamassas

Escore Padrão Z para o E (GPa) - Rebocos Médio e Grosso							
Reboco Médio				Reboco Grosso			
Dados gerais - MD	Escore Padrão (z) - MD	Dados gerais - MI	Escore Padrão (z) - MI	Dados gerais - MD	Escore Padrão (z) - MD	Dados gerais - MI	Escore Padrão (z) - MI
9,81	-1,74	3,14	-2,81	25,11	-1,77	3,58	-2,48
10,02	-1,71	3,14	-2,81	25,11	-1,77	3,58	-2,48
10,02	-1,71	3,90	-1,31	25,11	-1,77	4,02	-0,93
10,65	-1,62	3,90	-1,31	25,66	-1,50	4,02	-0,93
11,12	-1,55	4,03	-1,06	26,80	-0,95	4,07	-0,76
11,12	-1,55	4,03	-1,06	27,41	-0,65	4,07	-0,76
11,36	-1,51	4,03	-1,06	27,41	-0,65	4,07	-0,76
11,49	-1,50	4,03	-1,06	27,41	-0,65	4,07	-0,76
18,66	-0,45	4,19	-0,74	27,41	-0,65	4,14	-0,50
19,13	-0,38	4,19	-0,74	27,41	-0,65	4,14	-0,50
19,23	-0,36	4,48	-0,17	27,72	-0,50	4,14	-0,50
19,23	-0,36	4,48	-0,17	28,04	-0,35	4,14	-0,50
19,23	-0,36	4,51	-0,11	28,04	-0,35	4,17	-0,42
19,23	-0,36	4,51	-0,11	28,04	-0,35	4,17	-0,42
19,23	-0,36	4,51	-0,11	28,04	-0,35	4,19	-0,33
20,45	-0,19	4,51	-0,11	28,04	-0,35	4,19	-0,33
20,55	-0,17	4,54	-0,05	28,04	-0,35	4,19	-0,33
20,66	-0,16	4,54	-0,05	28,04	-0,35	4,19	-0,33
20,89	-0,12	4,54	-0,05	28,04	-0,35	4,19	-0,33
21,10	-0,09	4,54	-0,05	28,04	-0,35	4,19	-0,33
22,02	0,04	4,70	0,27	28,04	-0,35	4,19	-0,33
22,02	0,04	4,70	0,27	28,04	-0,35	4,19	-0,33
22,52	0,12	4,80	0,46	28,04	-0,35	4,30	0,03
22,76	0,15	4,80	0,46	28,04	-0,35	4,30	0,03
25,19	0,51	4,80	0,46	28,04	-0,35	4,35	0,23
25,19	0,51	4,80	0,46	29,02	0,13	4,35	0,23
25,19	0,51	4,84	0,53	29,36	0,28	4,38	0,32
25,78	0,59	4,84	0,53	30,05	0,62	4,38	0,32
25,78	0,59	4,90	0,66	30,05	0,62	4,41	0,42
27,03	0,78	4,90	0,66	30,05	0,62	4,41	0,42
27,03	0,78	4,90	0,66	30,05	0,62	4,55	0,91
27,69	0,87	4,90	0,66	30,77	0,97	4,55	0,91
30,20	1,24	4,90	0,66	30,77	0,97	4,55	0,91
30,59	1,30	4,90	0,66	31,51	1,33	4,55	0,91
30,98	1,35	4,98	0,80	31,51	1,33	4,58	1,01
30,98	1,35	4,98	0,80	31,51	1,33	4,58	1,01
30,98	1,35	5,09	1,02	31,90	1,52	4,73	1,53
30,98	1,35	5,09	1,02	32,69	1,90	4,73	1,53
30,98	1,35	5,56	1,95	33,09	2,09	4,96	2,32
31,79	1,47	5,56	1,95	33,09	2,09	4,96	2,32

Fonte: Do autor, 2019.

ANEXO G – Dados Resultantes para os Rebocos Médio e Grosso

Dados Resultantes - Reboco Médio					Dados Resultantes - Reboco Grosso				
Placa	Amostra	E (GPa) - M. Direta	E (GPa) - M. Indireta	Ra (MPa)	Placa	Amostra	E (GPa) - M. Direta	E (GPa) - M. Indireta	Ra (MPa)
C11	1	22,02	-	0,31	C21	1	27,41	-	0,35
	2	22,76	-	0,32		2	25,11	-	0,24
	3	21,10	4,03	0,32		3	25,11	4,38	0,28
	4	22,52	4,03	0,35		4	25,11	4,38	0,28
	5	20,66	4,19	0,32		5	27,41	4,07	0,31
	6	22,02	4,19	0,35		6	27,41	4,07	0,29
	7	20,45	3,90	0,32		7	27,41	4,02	0,25
	8	20,89	3,90	0,28		8	27,41	4,02	0,33
C12	1	30,98	4,80	0,38	C22	1	28,04	4,19	0,32
	2	30,20	4,80	0,37		2	26,80	4,19	0,26
	3	30,59	4,80	0,34		3	28,04	4,19	0,30
	4	30,98	4,80	0,33		4	28,04	4,19	0,30
	5	30,98	4,84	0,31		5	28,04	4,19	0,29
	6	31,79	4,84	0,33		6	28,04	4,19	0,34
	7	30,98	4,90	0,39		7	28,04	4,19	0,25
	8	30,98	4,90	0,26		8	28,04	4,19	0,31
C13	1	27,69	5,56	0,29	C23	1	28,04	-	0,30
	2	25,78	5,56	0,31		2	28,04	-	0,29
	3	25,19	4,98	0,36		3	28,04	4,73	0,38
	4	25,19	4,98	0,30		4	28,04	4,73	0,35
	6	27,03	4,90	0,24		6	28,04	4,55	0,30
	8	25,78	5,09	0,33		7	28,04	4,55	0,38
C14	1	20,55	4,03	0,28	C24	8	25,66	4,55	0,31
	2	18,66	4,03	0,28		1	28,04	4,58	0,36
	4	19,13	4,70	0,31		2	29,36	4,58	0,38
	5	19,23	4,54	0,34		4	-	4,35	0,30
	6	19,23	4,54	0,37		5	-	4,41	0,30
	8	19,23	4,48	0,39		6	30,77	4,41	0,29
C15	1	10,02	4,51	0,29	C25	7	30,77	4,14	0,39
	2	10,02	4,51	0,33		8	31,51	4,14	0,36
	3	9,81	4,51	0,31		1	31,90	4,17	0,29
	4	11,12	4,51	0,31		2	30,05	4,17	0,23
	5	10,65	4,90	0,34		3	32,69	4,14	0,32
	6	11,36	4,90	0,33		4	31,51	4,14	0,26
	7	11,12	4,54	0,32		5	29,02	4,30	0,29
	8	11,49	4,54	0,39		6	30,05	4,30	0,25
					7	30,05	4,07	0,25	
					8	27,72	4,07	0,25	

Fonte: Do autor, 2019.