

ARLAN DO CARMO MENDONÇA

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO *Grits* NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA
PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

M539i
2018

Mendonça, Arlan do Carmo, 1990-
Incorporação do resíduo *grits* na produção de argamassa
para uso na construção civil / Arlan do Carmo Mendonça. –
Viçosa, MG, 2018.
xvi, 130 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Rita de Cássia Silva Sant Anna Alvarenga.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 71-76.

1. Argamassa. 2. Resíduos industriais. 3. Resíduos com
material de construção. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 691.5

ARLAN DO CARMO MENDONÇA

**INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO *Grits* NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA
PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2018.



José Ivo Ribeiro Júnior
(Coorientador)



Reginaldo Carneiro da Silva



Leonardo Gonçalves Pedroti
(Presidente da banca)

“A grande conquista é o resultado de pequenas
vitórias que passam despercebidas”

Paulo Coelho

Dedico este trabalho ao meu avô

Lantenack (*in memorian*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pelo dom da vida, pela oportunidade de aqui estar, pelas pessoas com quem convivo e por todas as bênçãos que me foram concedidas nesta jornada.

Aos meus pais, Odail e Luciana, pelo exemplo de integridade e caráter, pelo amor sem medida, incentivo, compreensão e exemplos de vida.

À Prof^a Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga, pela oportunidade de me aceitar como seu orientado, pela excelente orientação e por toda sua dedicação a esta pesquisa.

Ao Prof. Leonardo Gonçalves Pedroti, por ter aceitado a árdua tarefa de orientar minha pesquisa na reta final. Seus conselhos foram de grande valor para este trabalho.

Ao Prof. José Ivo Ribeiro Júnior, por aceitar fazer parte da pesquisa. Seus conselhos foram memoráveis para o planejamento e avaliação deste trabalho.

Agradeço à minha namorada Bárbara Raquel, por todo seu carinho e amor, paciência, amparo, dedicação, compreensão e ajuda em todas as coisas e em todos os momentos.

Aos amigos do mestrado, Mateus, Leonardo, Carol, Elder, Priscilla, Elisa, Márcia, Edivaldo, Roseli e Lorena, agradeço pelos momentos de descontração e incentivo.

Expresso a minha profunda gratidão a todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil, em especial aos amigos do Laboratório de Materiais de Construção, pelas contribuições na jornada acadêmica.

À Prefeitura Municipal de Muriaé, por acreditar e incentivar o aperfeiçoamento de seus funcionários.

À minha irmã Dayane, pela companhia, compreensão e ajuda na jornada deste trabalho. Ao meu primo/cunhado Wemerson, pela ajuda e amizade.

Finalmente, agradeço ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado. Sem essa contribuição, no início do mestrado, não seria possível o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE SIGLAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações iniciais	1
1.2. Justificativa e relevância do tema	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo principal	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Estrutura da diSSERTAÇÃO	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Resíduos sólidos	5
2.2. Indústria da celulose	5
2.2.1. Destinações dos resíduos sólidos	6
2.2.2. Matérias-primas	7
2.2.3. Ciclo produtivo da celulose	7
2.3. Resíduos sólidos da indústria da celulose e papel	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1. Mistura	15
3.1.1. Componentes	15
3.1.1.1. Cimento	16
3.1.1.2. Cal	17
3.1.1.3. Areia	17
3.1.1.4. Grits	19
3.1.1.5. Água e aditivo	22
3.2. Limites dos componentes	23
3.3. Método experimental	24
3.4. Propriedades das misturas	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32

4.1.	Caracterização das argamassas – 1ª etapa -----	32
4.1.1.	Índice de consistência -----	32
4.1.2.	Resistência à tração na flexão -----	33
4.1.3.	Resistência à compressão -----	35
4.1.4.	Absorção de água por capilaridade e absorção por imersão -----	37
4.1.5.	Densidade de massa aparente no estado fresco e endurecido e teor de ar incorporado -----	40
4.1.6.	Módulo de elasticidade dinâmico-----	46
4.1.7.	Pressuposições da análise de variância -----	48
4.1.8.	Otimização das argamassas da 1ª etapa-----	48
4.2.	Caracterização das argamassas – 2ª etapa -----	49
4.2.1.	Caracterização do índice de consistência-----	50
4.2.2.	Resistência à tração na flexão -----	51
4.2.3.	Resistência à compressão -----	53
4.2.4.	Absorção de água por capilaridade e absorção por imersão -----	55
4.2.5.	Densidade de massa aparente no estado fresco e endurecido-----	57
4.2.6.	Módulo de elasticidade dinâmico-----	61
4.2.7.	Pressuposições da análise de variância -----	63
4.2.8.	Otimização das argamassas da 2ª etapa-----	63
4.3.	Caracterização das argamassas – 3ª etapa -----	64
4.3.1.	Caracterização do índice de consistência-----	64
4.3.2.	Verificação do traço otimizado -----	65
4.3.3.	Microscopia eletrônica de varredura -----	65
4.3.4.	Aderência à tração -----	68
5.	CONCLUSÕES -----	69
5.1.	Conclusões gerais -----	69
5.2.	Sugestões para trabalhos futuros-----	70
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	71
	Apêndice A -----	77
	Apêndice B-----	81
	Apêndice C-----	83
	Apêndice D -----	91
	Apêndice E-----	93
	Apêndice F-----	95

Apêndice G	98
Apêndice H	100
Apêndice I	102
Apêndice J	103
Apêndice K	104
Apêndice L	106
Apêndice M	108
Apêndice N	112
Apêndice O	114
Apêndice P	116
Apêndice Q	119
Apêndice R	120
Apêndice S	121
Apêndice T	122
Apêndice U	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de polpação <i>kraft</i> , linha verde.....	8
Figura 2 – Processo de polpação <i>kraft</i> , linha vermelha.....	9
Figura 3 – Processo de polpação <i>kraft</i> , linha azul.....	10
Figura 4 – Fluxograma dos ensaios realizados nos materiais.....	16
Figura 5 – Curva granulométrica da areia.....	19
Figura 6 – Curva granulométrica do <i>grits in natura</i> e do <i>grits</i> modificado.....	20
Figura 7 – Faixas granulométricas do <i>grits</i>	20
Figura 8 – Difração de raios-X do <i>grits</i>	23
Figura 9 – Fluxograma dos delineamentos das misturas de argamassas.....	25
Figura 10 – Região experimental da primeira etapa do delineamento.....	26
Figura 11 – Aparelhagem utilizada no ensaio de ultrassom.....	29
Figura 12 – Preparo das amostras para o ensaio de microscopia eletrônica de varredura.	30
Figura 13 – Equipamentos utilizados no ensaio de microscopia eletrônica de varredura.	31
Figura 14 – Gráfico da resistência à tração na flexão pelas idades de ensaio das argamassas analisadas na 1ª etapa.....	33
Figura 15 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da resistência à tração na flexão aos 28 dias, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; <i>grits</i> : 43%).....	34
Figura 16 – Gráfico da resistência à compressão pelas idades de ensaio das argamassas analisadas na 1ª etapa.....	36
Figura 17 – Estimativa das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da resistência à	

compressão aos 28 dias, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; <i>grits</i> : 43%).....	37
Figura 18 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; <i>grits</i> : 43%)	40
Figura 19 – Gráfico da resposta de componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; <i>grits</i> : 43%)	43
Figura 20 – Gráfico da resposta de componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da densidade de massa aparente no estado fresco, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; <i>grits</i> : 43%)	43
Figura 21 – Estimativas das respostas de componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação do teor de ar incorporado, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; <i>grits</i> : 43%)	45
Figura 22 – Estimativa das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; <i>grits</i> : 43%).....	47
Figura 23 – Gráfico da resistência à tração na flexão pelas idades de ensaio das argamassas analisadas na 2 ^a etapa	51
Figura 24 – Estimativa das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da resistência à tração na flexão aos 28 dias, tendo como mistura de referência (cimento/ <i>grits</i> : 94,84%; cal: 5,16%)	52
Figura 25 – Gráfico da resistência à compressão pelas idades de ensaio das argamassas analisadas na 2 ^a etapa	53

Figura 26 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da resistência à compressão aos 28 dias, tendo como mistura de referência (cimento/ <i>grits</i> : 94,84%; cal: 5,16%)	54
Figura 27 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade, tendo como mistura de referência (cimento/ <i>grits</i> : 94,84%; cal: 5,16%) ..	57
Figura 28 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido, tendo como mistura de referência (cimento/ <i>grits</i> : 94,84%; cal: 5,16%).....	59
Figura 29 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da densidade de massa aparente no estado fresco, tendo como mistura de referência (cimento/ <i>grits</i> : 94,84%; cal: 5,16%)	60
Figura 30 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico, tendo como mistura de referência (cimento/ <i>grits</i> : 94,84 %; cal: 5,16 %)	62
Figura 31 – Fotomicrografia da superfície de ruptura da argamassa – zoom de 150 x..	66
Figura 32 – Fotomicrografia da superfície de ruptura da argamassa – zoom de 500 x..	66
Figura 33 – Fotomicrografia da superfície de ruptura da argamassa – zoom de 1000 x	67
Figura 34 – Fotomicrografia da superfície de ruptura da argamassa – zoom de 2000 x	67
Figura 35 – Fotomicrografia da superfície de ruptura da argamassa – zoom de 3000 x	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais produtores de papel e celulose no mundo.....	6
Tabela 2 – Resumo dos resultados dos ensaios proposto para o cimento	17
Tabela 3 – Resumo dos resultados dos ensaios proposto para a areia.....	18
Tabela 4 – Massa específica e massa em condição saturado superfície seca, materiais pulverulentos e absorção de água do <i>grits in natura</i> e do <i>grits</i> modificado.....	21
Tabela 5 – Composição química por EDX do <i>grits</i>	22
Tabela 6 – Traços gerados pelo delineamento <i>extreme vertice design</i> para as argamassas da primeira etapa	27
Tabela 7 – Estimativa dos índices de consistência (<i>flow table</i>) – argamassas da 1ª etapa	32
Tabela 8 – Resultado de absorção de água aos 10 e 90 minutos e coeficiente de capilaridade para os 13 traços de argamassa da 1ª etapa.....	38
Tabela 9 – Resultado de absorção por imersão e índice de vazios dos traços de argamassa da 1ª etapa.....	38
Tabela 10 – Resultado de densidade de massa aparente no estado endurecido, no estado fresco e teor de ar incorporado para os traços de argamassa da 1ª etapa	41
Tabela 11 – Resultado de módulo de elasticidade para os traços de argamassa da 1ª etapa	46
Tabela 12 – Resumo da desejabilidade para os traços de argamassa da 1ª etapa considerando as seguintes propriedades: tração na flexão, compressão, densidade de massa no estado fresco e endurecido e módulo de elasticidade dinâmico	49
Tabela 13 – Resumo da desejabilidade para os traços de argamassa da 1ª etapa considerando as seguintes propriedades: absorção por capilaridade e absorção por imersão	49
Tabela 14 – Traços a serem ensaiados nas argamassas da 2ª etapa.....	50
Tabela 15 – Resultado de determinação do índice de consistência (<i>flow table</i>) – argamassas da 2ª etapa.....	50

Tabela 16 – Resultado de absorção de água aos 10 e 90 minutos e coeficiente de capilaridade para os traços de argamassa da 2ª etapa.....	55
Tabela 17 – Resultado de absorção por imersão e índice de vazios dos traços de argamassa da 2ª etapa.....	56
Tabela 18 – Resultado de densidade de massa aparente no estado endurecido para os traços de argamassa da 2ª etapa.....	58
Tabela 19 – Resultado de módulo de elasticidade para os traços de argamassa da 2ª etapa	61
Tabela 20 – Resumo da desejabilidade para os traços de argamassa da 2ª etapa.....	64
Tabela 21 – Resultado de determinação do índice de consistência (<i>flow table</i>) – argamassas da 3ª etapa.....	64
Tabela 22 – Caracterização da argamassa da terceira etapa.....	65
Tabela 23 – Comparação entre o traço final confeccionado com <i>grits</i> e areia, com relação à sua aderência à tração	68

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CIB – Conselho Internacional da Construção

CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

IBA – Indústria Brasileira de Árvores

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LMC – Laboratório de Materiais de Construção

MIT – *Massachusetts Institute of Technology*

NBR – Norma Brasileira

NMM – Núcleo de Microscopia e Microanálise

UFV – Universidade Federal de Viçosa

LISTA DE SÍMBOLOS

E_d – módulo de elasticidade dinâmico

v – velocidade de propagação da onda ultrassônica

ρ_e – densidade de massa aparente do corpo de prova

μ – coeficiente de Poisson

km – quilômetro

% – porcentagem

g/cm^2 – grama por centímetro quadrado

g/cm^3 – grama por centímetro cúbico

$g/(dm^2 \times min^{1/2})$ – grama por decímetro quadrado vezes raiz quadrada de minuto

mm – milímetro

min – minuto

$^{\circ}C$ – grau Celsius

– diâmetro de abertura de malha

mS/cm – milisiemens por centímetro

x_1 – componente cimento

x_2 – componente areia

x_3 – componente *grits*

MPa – megapascal

kg/m^3 – quilograma por metro cúbico

mm/ μs – milímetro por microssegundo

RESUMO

MENDONÇA, Arlan do Carmo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Incorporação do Resíduo *Grits* na Produção de Argamassa para Uso na Construção Civil.** Orientador: Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga. Coorientadores: Leonardo Gonçalves Pedroti e José Ivo Ribeiro Júnior.

A grande parte dos países do mundo passam pelo problema de como lidar com seus resíduos sólidos. Em sua grande maioria, esses resíduos são dispostos em aterros sanitários, esses muitas vezes desprovidos de controle de qualidade. O resíduo *grits* é gerado na produção da celulose, através do processo *kraft*. As empresas de celulose depositam seus resíduos em grandes pátios para depois serem levados para aterros sanitários. Esse processo acaba ocupando grandes áreas para deposição final e acumulam grandes custos de transporte e manutenção. Neste trabalho, apresenta-se um estudo sobre a incorporação do resíduo sólido *grits* na produção de argamassas para a construção civil em substituição à areia. Utilizou-se o planejamento de misturas para auxiliar na elaboração das misturas a serem ensaiadas, bem como a análise dos resultados e a otimização dos mesmos. Nos traços de argamassa com os maiores teores de *grits* foi necessário à utilização de aditivo plastificante para controlar o índice de consistência *flow table* dentro do padrão estabelecido. A pesquisa foi dividida em três etapas: a primeira etapa contemplou uma mistura de três componentes (cimento, areia e *grits*). Os resultados apresentados indicam que a substituição da areia pelo *grits* não piorou as propriedades das argamassas. Escolheu-se o seguinte traço desejável: cimento: 15% e *grits*: 85%; a segunda etapa contemplou uma mistura entre o traço desejável da primeira etapa e a cal. Em todas as propriedades notou-se uma interação entre os componentes cimento/*grits* e a cal. Escolheu-se o seguinte traço desejável: cimento: 13,45%, *grits*: 76,23% e cal: 10,32%; a terceira etapa contemplou a verificação das propriedades encontradas na segunda etapa. A partir do estudo realizado é possível afirmar que o resíduo sólido *grits* pode ser utilizado em argamassas para uso na construção civil em substituição à areia.

ABSTRACT

MENDONÇA, Arlan do Carmo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Incorporation of the *Grits* Residue in the Production of Mortar for Use in Civil Construction.** Adviser: Rita de Cássia Silva Sant'Anna Alvarenga. Co-advisers: Leonardo Gonçalves Pedroti and José Ivo Ribeiro Júnior.

Most of the world's countries face the problem of how to handle their solid waste. For the most part, these wastes are disposed of in landfills, these often lacking in quality control. The grits residue is generated in the pulp production through the kraft process. Pulp companies deposit their waste in large yards to be taken to landfills. This process ends up occupying large areas for final deposition and accumulates large transportation and maintenance costs. In this work, a study is presented on the incorporation of the solid waste grits in the production of mortars for the civil construction in substitution to the sand. Blend planning was used to assist in the preparation of the mixtures to be tested, as well as the analysis of the results and the optimization of the mixtures. In the mortar traces with the highest grit contents it was necessary to use a plasticizer additive to control the flow table consistency index within the established standard. The research was divided in three stages: the first stage contemplated a mixture of three components (cement, sand and grits). The results indicated that the replacement of sand by grits did not worsen the properties of mortars. The following desirable trait was chosen: cement: 15% and grits: 85%; the second step contemplated a mixture between the desirable trace of the first step and lime. In all the properties an interaction between the components cement / grits and the lime was noticed. The following desirable trait was chosen: cement: 13.45%, grits: 76.23% and lime: 10.32%; the third step contemplated the verification of the properties found in the second step. From the study carried out it is possible to state that the solid residue grits can be used in mortars for use in civil construction instead of sand.

1. Introdução

1.1. Considerações iniciais

O crescimento populacional, à ocupação acelerada de centros urbanos, às novas tecnologias e a industrialização, provocou uma tomada de consciência generalizada dos seres humanos, levado a uma preocupação com o Meio Ambiente e com os impactos sofridos pelo planeta Terra. Os seres humanos buscam soluções sustentáveis para amenizar os impactos, garantindo assim nossa sobrevivência, bem como a qualidade de vidas das gerações futuras.

Segundo o Conselho Internacional da Construção (CIB), o setor da Construção Civil é apontado como o maior consumidor dos Recursos Naturais. Toda vez que construímos e urbanizamos nossos centros urbanos, estamos explorando e utilizando recursos naturais, como jazidas minerais, que acabam alterando a capacidade de produção de oxigênio nas florestas, o clima e a qualidade das águas dos rios, que são fundamentais para a sobrevivência humana.

O ser humano possui a capacidade de explorar recursos minerais e produzir bens de consumo muito maior do que a capacidade que o meio ambiente se recupera. Portanto, o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável tornaram-se questões vitais, resultando na gestão de resíduos sólidos.

A indústria de celulose e papel é uma das mais promissoras áreas de negócio no país, tendo um aumento de produção ano após ano. Segundo Ibá (2016), a perspectiva é que em 2017, a produção brasileira de celulose ultrapasse os 19 milhões de toneladas, passando a ocupar a terceira posição no ranking mundial. Segundo Bellote *et al.* (1998) para cada 100 toneladas de celulose produzida, aproximadamente 48 toneladas de resíduos são geradas. Então, estimasse que em 2017 a indústria de celulose e papel produziu aproximadamente 9 milhões de toneladas de resíduos sólidos.

A necessidade de preservação de recursos naturais, aliada a necessidade de dispor os resíduos gerados nos processos industriais de maneira adequada assim como de tornar as atividades humanas em geral mais sustentáveis, tem sido objeto de estudos das empresas e

das instituições de pesquisa nos últimos anos. Estas necessidades se relacionam de maneira complexa, visto que a reciclagem e a utilização de materiais alternativos participam da solução destas necessidades.

Isso posto, surge a necessidade da utilização dos resíduos produzidos na indústria de celulose e papel em materiais do cotidiano. Um dos resíduos gerados é o *grits*. O *grits* é um material granular de cor mais clara com granulometria semelhante à areia. Baseando na semelhança granulométrica apresentada entre o *grits* e a areia e as características químicas apresentadas pelo *grits*, surge a necessidade em avaliar a influência da incorporação do *grits* em argamassas para uso em construção.

1.2. Justificativa e relevância do tema

Apesar da construção civil ser uma das atividades que mais impactam negativamente o meio ambiente, sua demanda continua em constante crescimento. Ampliações e reformas de hospitais e escolas, déficit habitacional, crescimento urbano e desenvolvimento econômico ilustram algumas das principais demandas da atividade. A construção civil é responsável por grande parcela do consumo de recursos naturais do planeta Terra. Porém, estes recursos são finitos e, com o consumo atual, existem grandes chances da sua escassez em curto espaço de tempo. Nesse cenário atual da construção civil, surge a necessidade da utilização de novos materiais para substituição aos que são naturais e, portanto, de fontes não renováveis.

Um dos grandes problemas mundiais se refere à destinação dos lixos gerados. Eles são gerados pela própria construção civil, por siderúrgicas, metalúrgicas, pela indústria de papel de celulose, dentre outros. Há muitos anos, esses resíduos industriais estão sendo estudados para novamente serem inseridos no ciclo de produção. Um desses estudos resultou na incorporação da escória produzida nas siderúrgicas na produção de novos cimentos, surgindo daí um novo produto, que há muitos anos vem sendo utilizado na construção civil.

Nessa busca pelo reaproveitamento de resíduos, surgem alguns estudos sobre o *grits*, provenientes da indústria de papel e celulose. A incorporação do resíduo *grits* tem sido aplicada para melhoramento em estradas florestais, na fabricação de tijolos de solo/cimento, na substituição do agregado graúdo para concretos e, mais recentemente, alguns estudos sobre a substituição do agregado miúdo em argamassas. Todavia, esses

estudos realizados não esgotam o assunto e ainda não foram suficientes para explicar a influência do *grits* no comportamento das argamassas.

Neste sentido, existe a necessidade de um estudo mais detalhado sobre o assunto, abordando um conjunto de análises para avaliar a viabilidade da adição do *grits* em argamassas de assentamento para alvenaria estrutural.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a influência da adição do resíduo sólido *grits* na elaboração de traços de argamassas para uso na construção civil.

1.3.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- verificar a possibilidade de utilização do resíduo *grits* na elaboração de argamassas de revestimento;
- efetuar a caracterização mecânica dos traços confeccionados com o resíduo *grits*;
- efetuar a caracterização física dos traços confeccionados com o resíduo *grits*;
- avaliar o teor máximo de *grits* para produção de argamassas, de modo que elas mantenham as características similares às de uma argamassa confeccionada com cimento, cal e areia;
- efetuar a caracterização morfológica dos traços confeccionados com o resíduo *grits*.

1.4. Estrutura da dissertação

Para a devida apresentação deste trabalho, este documento foi dividido em cinco capítulos. Em cada um deles estão agrupadas as informações relacionadas a uma etapa dos estudos realizados.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre aspectos importantes relacionados ao tema em estudo. Inicialmente, é realizada uma contextualização sobre a problemática que envolve os resíduos sólidos. Em sequência, aborda-se, mais

especificamente, sobre a indústria da celulose, bem como seu processo de produção de resíduos. Finalmente, é apresentado um breve resumo sobre pesquisas que foram desenvolvidas com o resíduo *grits*.

No Capítulo 3 é apresentada toda a metodologia proposta neste trabalho, como processo de obtenção das misturas, componentes do planejamento experimental, os métodos necessários para extrair as variáveis resposta, a definição dos limites dos componentes do método experimental aplicado, além da caracterização dos materiais constituintes desta pesquisa.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados deste trabalho, iniciando com a caracterização das misturas com três componentes (cimento, areia e *grits*), passando pela caracterização das misturas com dois componentes (cimento/*grits* e cal) e finalizando com a verificação da mistura ideal.

Finalmente, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões acerca da metodologia desenvolvida, bem como é apresentado uma mistura ideal proposta para este trabalho. Além disso, são apresentadas algumas sugestões de trabalho futuros.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Resíduos sólidos

Os resíduos ou descartes industriais, vêm sofrendo, ao longo dos anos, um disciplinamento legal cada vez mais rigoroso. Neste sentido, existe a preocupação em regular sua geração, disposição e monitoramento. Essas práticas fazem parte da concepção de gestão ambiental (RIBEIRO, 2010).

Segundo Daskalopoulos e Probert (1997), a gestão de resíduos pode ser definida como uma metodologia que busca o controle de sua geração, sua disposição temporária ou armazenamento, transferência, processamento e disposição final.

2.2. Indústria da celulose

A indústria da celulose enquadra-se na divisão 17, grupo 17.1, classe 17.10-9 na Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE, de acordo com o IBGE. Nesta classificação, agrupam-se as empresas responsáveis pela “fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel”.

Dores *et al.* (2007) dizem que a indústria de celulose e papel é um dos principais segmentos da cadeia produtiva de produtos florestais, tendo como principal matéria prima a madeira em tora. O setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda a madeira produzida para o setor industrial em todo o país. Os 9% restantes vêm de florestas nativas legalmente manejadas, (IBÁ, 2015). O Brasil é o quarto maior produtor de celulose e o nono maior produtor de papel, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais produtores de papel e celulose no mundo

Celulose		Papel	
País	Milhões (toneladas)	País	Milhões (toneladas)
1° EUA	57,42	1° China	106,61
2° China	18,88	2° EUA	72,88
3° Canadá	17,29	3° Japão	25,12
4° Brasil	16,46	4° Alemanha	22,10
5° Suécia	11,50	9° Brasil	10,40

Fonte: Ibá, 2015 - adaptado pelo autor

2.2.1. Destinações dos resíduos sólidos

As destinações mais utilizadas no tratamento dos resíduos sólidos são: reciclagem e aterros controlados (RIBEIRO, 2010).

Reciclagem

A reciclagem é considerada a melhor forma para a destinação dos resíduos, pois colabora com a redução dos espaços físicos e dos riscos que podem aparecer com o acúmulo deste material no meio ambiente.

Segundo BRASIL, IBGE (2015), o grau de reciclagem de resíduos é um indicador de desenvolvimento sustentável de uma indústria, segmento ou país. De acordo com a instituição na mesma publicação:

[...] a reciclagem de materiais é um dos aspectos mais importantes no gerenciamento sustentável de resíduos. Ao lado da reutilização e da redução da geração de resíduos, é uma das atividades-chave para solucionar o problema do destino final dos resíduos sólidos, compondo a mundialmente conhecida estratégia dos “três Rs” (reduzir, reutilizar, reciclar) (BRASIL. IBGE, 2015).

Aterros controlados

Os aterros controlados são espaços físicos onde o resíduo sólido é depositado. Estes espaços devem possuir uma superfície impermeabilizada e a fundação deve ser geotecnicaamente estável. Esses tratamentos devem ser utilizados e verificados para garantir que não ocorram a contaminação de águas superficiais.

A disposição em aterros controlados constitui uma operação de custo, relativamente elevado. Além de dispor de uma grande área física para a construção dos aterros, devem

contar também com uma equipe especializada, acompanhado por um profissional habilitado para a sua construção e manutenção. Daskalopoulos e Probert (1997) estimavam que os custos de disposição de resíduos em aterros variavam entre US\$ 10 a US\$ 25 por tonelada.

A Resolução Conama nº 357 de 2005 diz que, em caso de contaminação, a correção e tratamento do material depositado devem ser imediatas:

[...] os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis (BRASIL. Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005).

2.2.2. Matérias-primas

A celulose é produzida, principalmente, a partir de árvores cultivadas, tendo como principais matérias-primas o eucalipto, seguido do pinus. O eucalipto é a principal espécie pelo fato da mesma apresentar um crescimento acelerado, chegando em média a 30 metros em sete anos. Outro fator importante é a proporção de fibras e celulose.

Atualmente, a área de árvores plantadas no Brasil totaliza 7,74 milhões de hectares. Deste total, 71,9% é ocupada por eucalipto, tendo como principais produtores os estados de Minas Gerais (25,2%), São Paulo (17,6%) e Mato Grosso do Sul (14,5%). O plantio de pinus ocupa 20,5% concentrando-se no Paraná (42,4%) e em Santa Catarina (34,1%), (IBÁ, 2015).

2.2.3. Ciclo produtivo da celulose

O principal processo produtivo de celulose utilizado na atualidade é o *kraft* – palavra alemã que significa “força”. Segundo Gullichen e Fogelholn (2000), o processo *kraft* foi patenteado em 1867, tendo sua primeira planta industrial em 1885 na Suécia, sendo esta metodologia produtiva uma evolução do processo Soda.

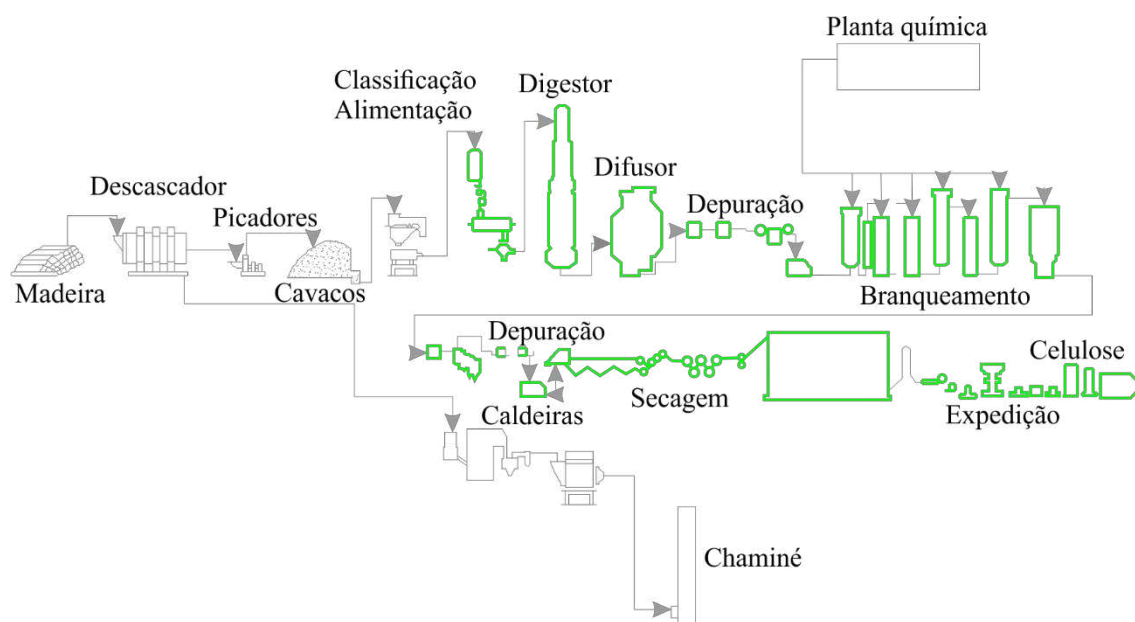
O processo de polpação *kraft* é dividido em três etapas: linha verde – circuito da polpa, linha vermelha – circuito de recuperação do licor preto e linha azul – circuito de recuperação do licor branco.

Linha verde – Circuito da polpa

Segundo Wolff (2008), a linha verde tem início com o aquecimento dos cavacos de madeira em vasos pressurizados (digestores) acompanhado de uma solução aquosa constituída de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), resultando em uma polpa, escura ou licor negro, necessitando de branqueamento. Assim sendo, a polpa escura é enviada para a seção de lavagem (difusor), onde parte dos produtos químicos utilizados no processo e os compostos orgânicos dissolvidos são retirados. A polpa lavada é encaminhada para a etapa de peneiramento (depuração).

Estágio por estágio, a massa vai ganhando alvura requerida para o produto, chegando como “massa branqueada” ao final. A massa é submetida a uma sequência final de peneiramento, seguindo para o último estágio do processo, a secagem, onde a celulose branqueada é seca, formando-se uma folha contínua. O material formado é resfriado, cortado, enfardado, pesado e expedido, (WOLFF, 2008). Na Figura 1 é apresentada a linha verde no processo de polpação *kraft*.

Figura 1 – Processo de polpação *kraft*, linha verde



Fonte: Wolff, 2008 - adaptado pelo autor

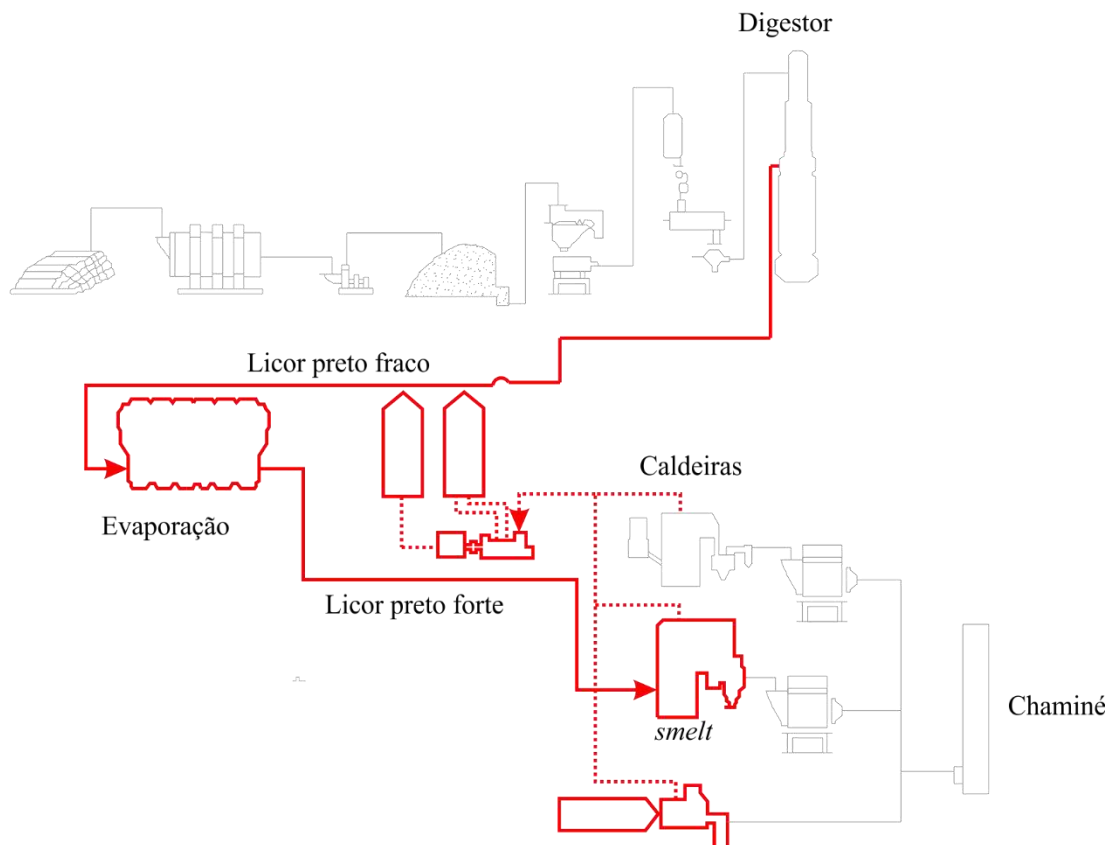
Linha vermelha – Circuito de recuperação do licor preto

No digestor ocorre a formação de um licor preto fraco. Este licor passa por um processo de evaporação, onde sua concentração chega até 72% de sólidos, transformando-se em licor preto forte. Posteriormente, este produto é enviado para a caldeira de recuperação química (GULLICHEN E FOGELHOLN, 2000).

Segundo Wolff (2008), no processo de queima, haverá conversão de compostos orgânicos ligados ao sódio (Na) em carbonato de sódio (NaCO_3) e, os ligados ao enxofre (S), em sulfeto de sódio (Na_2S), podendo resultar ainda em sulfato de sódio (Na_2SO_4). A esta massa de sais minerais fundidos dar-se o nome de *smelt*.

O *smelt* é dissolvido em um licor branco fraco, transformando-se em licor verde. O licor verde passa por um processo de purificação em um clarificador, onde ocorre a eliminação do *dregs*. Na Figura 2 é apresentada a linha vermelha no processo de polpação *kraft*.

Figura 2 – Processo de polpação *kraft*, linha vermelha



Fonte: Wolff, 2008 - adaptado pelo autor

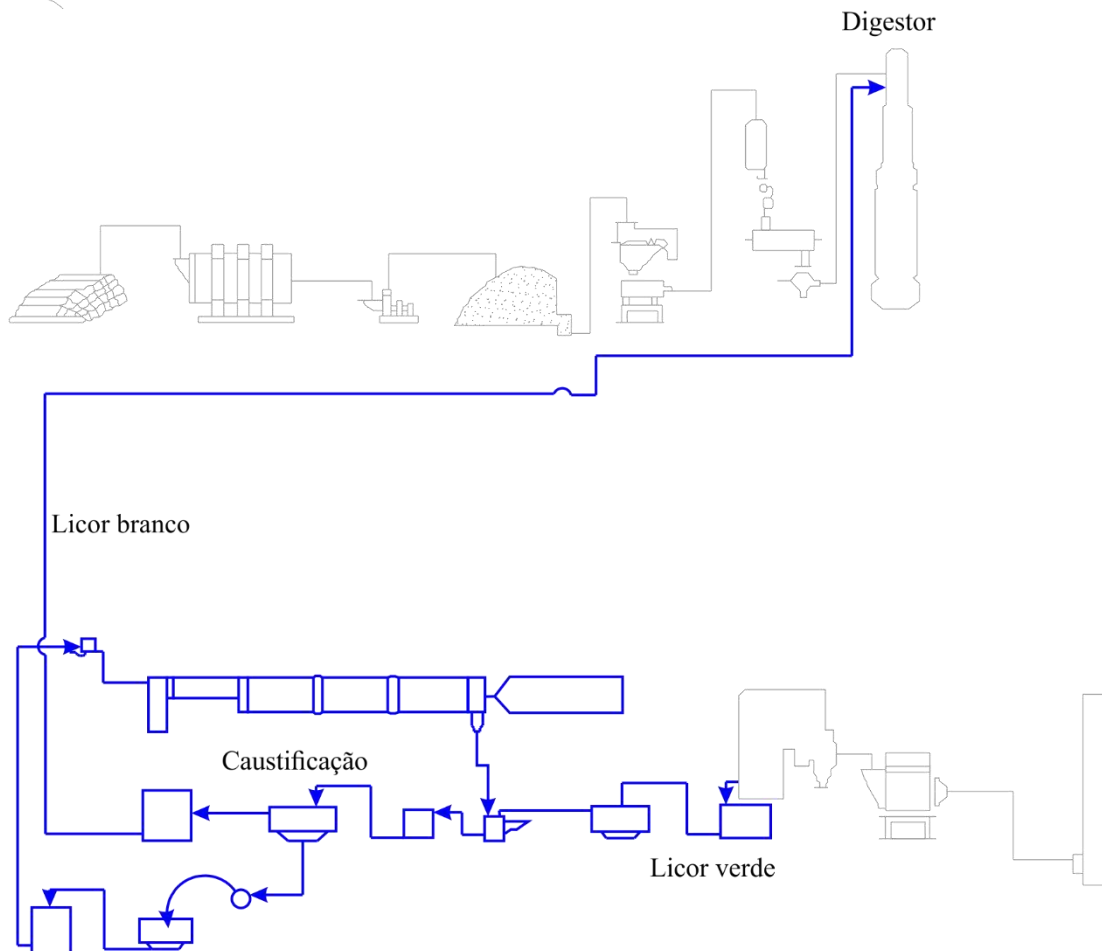
Linha azul – Circuito de recuperação do licor branco

Esta etapa se inicia com o bombeamento do licor verde clarificado para o extintor de cal. No extintor, o licor verde é misturado com a cal, formando o licor branco ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$) e a lama de cal (CaCO_3). A cal que não reage neste processo, sedimenta-se no fundo do classificador. Este resíduo gerado é conhecido como *grits*.

A mistura formada pela lama de cal e o licor branco segue por gravidade para os caustificadores. Em seguida, a mistura é encaminhada para os clarificadores para a separação da lama de cal do licor branco. O licor clarificado é bombeado para os digestores,

fechando o “ciclo sódio” (caustificação). A lama de cal segue para a lavagem, onde é adicionado água para a diluição da soda (NaOH), recebendo o nome de licor branco fraco, que é enviado para a caldeira de recuperação para dissolver o *smelt*, (WOLFF, 2008). Na Figura 3 é apresentada a linha azul no processo de polpação *kraft*.

Figura 3 – Processo de polpação *kraft*, linha azul



Fonte: Wolff, 2008 - adaptado pelo autor

O *grits* é um material insolúvel que através da hidratação da cal virgem (CaO) ou da cal do forno de cal para hidróxido de cal (Ca(OH)₂) é gerado e retirado do sistema através do sistema de “rosca de Arquimedes”. A caracterização do *grits* indica que o material é constituído basicamente por cálcio (MACHADO *et al.* (2003, 2006); PEREIRA *et al.* (2005); SOUZA E CARDOSO (2008). Possui uma aparência semelhante à das areias, pedregulhos e calcários (CaCO₃). Pode apresentar também quantidades de CaO, Ca(OH)₂ e Na₂CO₃ (MACHADO *et al.*, 2006). O pH menor que 12 do *grits* deve ser controlado para sua correta destinação (GREEN e HOUGH, 1992)

2.3. Resíduos sólidos da indústria da celulose e papel

A indústria de celulose e papel produz uma quantidade enorme de resíduos que, na grande maioria das vezes, são descartados sem o devido cuidado. Nos últimos anos, pesquisadores ao redor do mundo estão desenvolvendo diversas pesquisas no intuito de reaproveitar estes materiais. A seguir, apresenta-se um breve resumo sobre alguns trabalhos que foram desenvolvidos neste tema.

Ahmadi *et al.* (2001) avaliaram a incorporação de resíduo da indústria de celulose à concretos em substituição à areia. Os resultados indicaram que os resíduos da indústria de celulose podem ser utilizados em substituição à areia em concretos.

Gemelli *et al.* (2001) avaliaram a incorporação de resíduos da indústria de celulose à argamassas em substituição à areia como agregado miúdo. Os resultados indicam que com relação a estudos microestruturais e morfológicos, os resíduos podem ser perfeitamente incorporados às argamassas em substituição à areia.

Machado *et al.* (2003) avaliaram a incorporação do resíduo industrial *grits* a um latossolo no intuito de melhorar suas características mecânicas para sua aplicação em pavimentos de estradas florestais. Os resultados indicam que o resíduo tem potencialidade para a estabilização de solos em pavimentos de estradas florestais, tendo como melhor resultado o *grits* tratado a 600 °C.

Pinto (2005) avaliou a aplicação industrial de resíduos da indústria de celulose e papel no processo de produção de agregados leves de argila expandida. Os resultados indicam que a incorporação destes resíduos contribuiu para a melhoria na qualidade do produto.

Modolo (2006) objetivou encontrar soluções para valorização de resíduos da indústria de celulose e papel incorporando-os no setor da construção civil, como em cimento e misturas betuminosas para vias e pavimentos rodoviários. Os resultados indicam que a incorporação de até 5 % de *grits* na produção de cimento não alterou, significativamente, os valores de resistência mecânica. Em misturas betuminosas, o *grits* assegurou melhor trabalhabilidade à mistura, além de elevar a resistência da mesma.

Wolff (2008) analisou a viabilidade técnica da utilização dos resíduos da indústria de celulose e papel na produção da cerâmica vermelha para a produção de tijolos. A formulação do trabalho baseou-se na proporção de óxidos de cálcio, potássio e sódio e na distribuição granulométrica dos resíduos, com intuito de obter uma maior resistência

mecânica após a queima. Os resultados indicam que o uso do *dregs*, *grits* e lama de cal tornou possível a formação de fases cristalinas responsáveis pelo ganho de resistência mecânica à flexão do material cerâmico.

Castro *et al.* (2009) avaliaram a incorporação de *grits* e *dregs* na produção de clínquer de cimento. Os resultados indicam que essa incorporação pode ser um processo eficaz para a gestão de resíduos, vislumbrando a parte ambiental e econômica.

Ribeiro (2010) também analisou a influência da incorporação dos resíduos sólidos, *dregs* e *grits*, na produção de materiais cerâmicos. Os resultados indicam que a incorporação de ambos os resíduos promoveu a diminuição da porosidade, aumento da massa específica aparente, diminuição da absorção de água e aumento da resistência mecânica. O teor que proporcionou os melhores resultados foi a adição de 10% de *dregs* e 10% de *grits*.

Lima (2010) analisou a viabilidade da utilização do resíduo *grits* como agregado graúdo no concreto em substituição à rocha natural gnaiss. Os resultados indicam que, embora o resíduo não tenha se enquadrado nas recomendações normativas para o ensaio de abrasão “Los Angeles”, a substituição da rocha natural pelo gnaiss levou a um aumento na resistência à compressão, até 50% de substituição. Porém, essa substituição influenciou negativamente a trabalhabilidade do concreto.

Garcia *et al.* (2010) avaliaram a utilização de resíduo da indústria de celulose na fabricação de argamassa sendo acrescentado à mistura. Os resultados indicam que o resíduo da indústria de celulose pode ser aplicado como material componente em argamassa sem prejudicar suas qualidades.

Muller (2012) avaliou a durabilidade de uma argamassa mista de revestimento interno de paredes e tetos com substituição de areia por uma mistura entre *dregs/grits*. Os resultados indicam que a durabilidade não foi prejudicada com a incorporação da mistura na argamassa, podendo substituir a areia.

Alvares (2012) avaliou a incorporação do resíduo *grits* na produção de argamassa para construção de habitações de interesse social. O trabalho partiu da moldagem de corpos de prova cilíndricos de argamassa com diferentes teores de *grits* na mistura areia/*grits* para se determinar a resistência à compressão axial. Com base nestes ensaios, foi possível determinar o melhor teor de *grits* que deveria ser utilizado. As misturas variaram os teores de areia/*grits* nas seguintes proporções, respectivamente: 0 e 100%, 20 e 80%, 40 e 60%, 60 e 80%, 80 e 20% e 100 e 0%. Os resultados indicaram que o uso do *grits* em substituição

à areia na fabricação de argamassa melhorou o desempenho mecânico da mesma. O autor sugeriu que se deve utilizar argamassa com 100% de *grits* como agregado miúdo.

Pinheiro *et al.* (2013) avaliaram a viabilidade de incorporação do resíduo *grits* na fabricação de blocos prensados de encaixe de solo-cimento. Os resultados indicam que o uso do *grits*, em substituição ao solo, melhorou as condições físicas e mecânicas do bloco. Os autores recomendaram que a máxima porcentagem aceitável para garantir as características de plasticidade, possibilidade de fabricação, desforma e cura atendendo as prescrições normativa foi de 37,5%.

Pitronda *et al.* (2013) avaliaram a incorporação de resíduo da indústria de celulose a cimento na produção de concretos para serem utilizados na construção civil. Os pesquisadores concluíram que a utilização de resíduo da indústria de celulose pode ser utilizada em situações onde se tenha um baixo nível de carregamento.

Marques *et al.* (2014) avaliaram a integração dos resíduos *dregs* e *grits* na construção civil através da incorporação destes em argamassas de revestimento. Os resultados indicam um bom potencial de aproveitamento dos resíduos. Os autores recomendaram que o resíduo pode substituir, em até 10%, a massa do agregado natural.

Modolo (2014) analisou a valorização de resíduos industriais da indústria de celulose e papel com matérias-primas alternativas na indústria da construção civil. Os resultados indicaram que o *grits* contribuiu para a melhoria na construção de pavimentos, podendo ser testados em escala industrial.

Seyyedalipour *et al.* (2014) avaliaram a incorporação de resíduos da indústria de celulose à fabricação de concretos. Eles concluíram que os resíduos podem ser utilizados em substituição à produtos naturais em concretos.

Zanela *et al.* (2014) avaliaram a durabilidade de paredes e tetos com argamassas mistas utilizando resíduos da indústria de papel e celulose em substituição à areia. Eles simularam condições naturais e artificiais: incidência solar direta (teste de radiação ultravioleta), ataque por solução de pulverização (teste de pulverização salina), aquecimento natural das paredes e incidência em tetos por energia solar indireta (degradação térmica) e incêndios residenciais (teste termogravimétrico). Os resultados mostraram que as argamassas contendo os resíduos da indústria de celulose e papel mostraram similaridade às argamassas contendo apenas areia com relação a degradabilidade térmica a radiação termogravimétrica

e ultravioleta. Porém apresentou resultados significativamente menores quando exposto a ambientes salgados.

Mesquita *et al.* (2015) avaliaram a aplicação do resíduo *grits* à argamassa por meio de testes físicos e químicos. Os autores concluíram que a adição do *grits* é uma alternativa potencial em substituição à areia.

Torres (2016) analisou a viabilidade técnica da utilização dos resíduos sólidos alcalinos *dregs* e *grits* ao clínquer como matéria prima na indústria de cimento. Os resultados mostraram que as adições dos resíduos em até 10% foram satisfatórias.

Santos *et al.* (2018) avaliaram a incorporação do resíduo *dregs* na produção de argamassas em substituição à cal hidratada. Os resultados mostraram que as misturas com maior proporção de cimento e menor proporção de resíduo tiveram os melhores resultados para os ensaios mecânicos de resistência à flexão e à compressão. As misturas com maiores teores de resíduo apresentaram maiores resultados para os ensaios físicos de densidade aparente e absorção de água

Em todos os trabalhos notou-se que o resíduo *grits* apresentou em sua composição mineralógica o carbonato de cálcio como principal composto. O resíduo *grits* foi classificado como um resíduo não perigoso e inerte, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 10004:2004. A partir desta breve descrição foi possível notar que o *grits* possui potencial para ser reutilizado como material de construção dentro da construção civil.

3. Materiais e métodos

3.1. Mistura

O processo de obtenção da mistura é regulamentado por norma específica da Associação Brasileira de Normas Técnicas através da ABNT NBR 13276:2002 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.

Parsekian *et al.* (2010) recomendam, como referência para uma argamassa de qualidade, que o valor do índice de consistência, obtido pelo ensaio *flow table*, seja de 260 mm. Com isso, este trabalho utilizará uma consistência *flow table* no intervalo de 260 ± 10 mm.

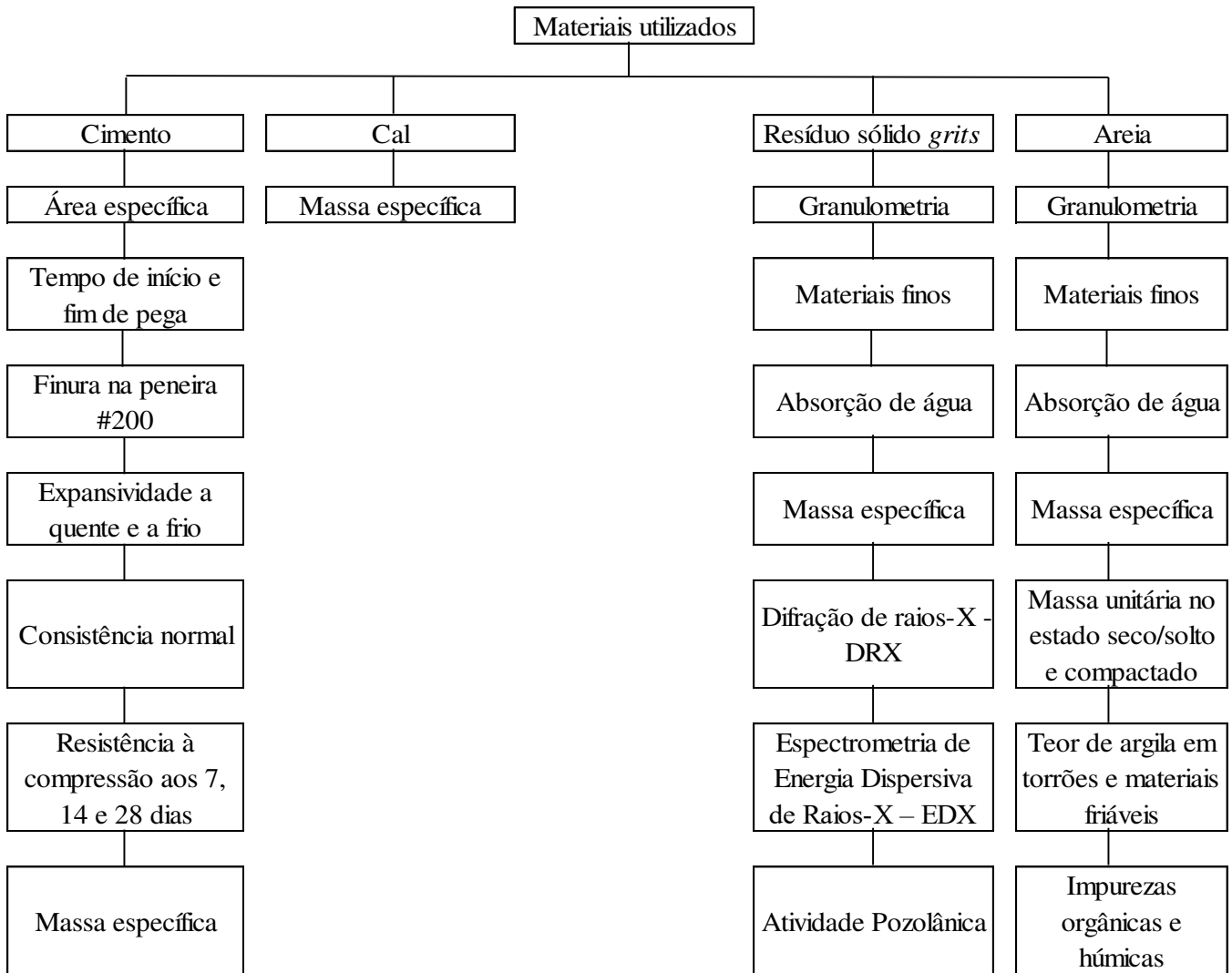
3.1.1. Componentes

A argamassa é formada, basicamente, pela simples mistura de três componentes: aglomerante, agregado miúdo e água, como segue:

- os aglomerantes utilizados nesta pesquisa foram o cimento Portland e a cal hidratada;
- os agregados miúdos utilizados foram a areia quartzosa lavada de rio e o resíduo *grits*;
- foi utilizado juntamente com a água, o aditivo plastificante.

Na Figura 4 é apresentado o fluxograma dos ensaios realizados nos materiais componentes desta pesquisa e em sequência os resultados encontrados para cada material de forma individual.

Figura 4 – Fluxograma dos ensaios realizados nos materiais



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

3.1.1.1. Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o CP III-40-RS. O cimento foi adquirido pelo Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em sacos de 50 quilos e foi embalado em sacos plásticos e armazenado sobre paletes em ambiente adequado. A escolha do material se deve ao fato de ser um produto frequentemente utilizado na construção civil da região. Os ensaios de caracterização do cimento foram executados pelo corpo técnico do LMC e listados a seguir:

- área específica: NBR NM 76:1998;
- tempo de início e fim de pega: NBR NM 65:2003;
- finura na peneira #200: NBR 11579:2013;

- expansividade a quente e a frio: NBR 11582:2016;
- consistência normal: NBR NM 43;
- resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias: NBR 7215;
- massa específica: NBR NM 23.

Na Tabela 2 é apresentado o resumo dos resultados dos ensaios realizados no cimento Portland.

Tabela 2 – Resumo dos resultados dos ensaios proposto para o cimento

Ensaio Físicos e Mecânicos	Laboratório	Especificações - EB 208 ABNT NBR 5735:1991
Área específica - Blaine (cm ² /g)	390,77	-
Tempo de Início de Pega (h:min)	04:10	≥ 1
Tempo de Fim de Pega (h:min)	05:30	≤ 12
Finura na peneira #200 (%)	1,18	≤ 8
Expansibilidade a quente (mm)	0	≤ 5
Expansibilidade a frio (mm)	0	≤ 5
Consistência normal (%)	32	-
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	18,6	≥ 12
Resistência à compressão 14 dias (MPa)	27,7	≥ 23
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	38,5	≥ 40
Massa específica (g/cm ³)	2,934	-

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Viçosa

3.1.1.2. Cal

A cal utilizada na pesquisa foi a CH III – cal hidratada comum de uso imediato. A cal foi adquirida pelo Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Viçosa em sacos de 20 quilos e foi armazenado sobre paletes em ambiente adequado. A escolha do material se deve ao fato de ser um produto frequentemente utilizado na construção civil da região, além de não ser preciso “curtir” ou “descansar”. Na cal, foi realizado o ensaio de massa específica conforme ABNT NBR NM 23 chegando-se a um valor de 2,315 g/cm³.

3.1.1.3. Areia

A areia utilizada na pesquisa foi proveniente do Rio Piranga, extraída no município de Porto Firme, estado de Minas Gerais. A areia foi adquirida pelo Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Viçosa e armazenada em sacos plásticos com, aproximadamente, 25 quilos em local apropriado. A escolha do material se deve ao fato de ser

um produto frequentemente utilizado na construção civil da região. Os ensaios de caracterização da areia foram executados pelo corpo técnico do LMC e listados a seguir:

- massa unitária no estado seco e solto e compactado: NBR NM 45;
- massa específica saturada superfície seca: NBR NM 52:2009;
- absorção: NBR NM 30:2001;
- material pulverulento: NBR NM 46:2003;
- teor de argila em torrões e materiais friáveis: NBR 7218:2010;
- impurezas orgânicas húmicas: NBR NM 49:2001;
- dimensão máxima característica: NBR NM 248:2003;
- módulo de finura/zona: NBR NM 248:2003;
- zona de distribuição granulométrica: NBR NM 248:2003.

Na Tabela 3 é apresentado o resumo dos resultados dos ensaios realizados na areia e na Figura 5 é apresentada a curva granulométrica da areia.

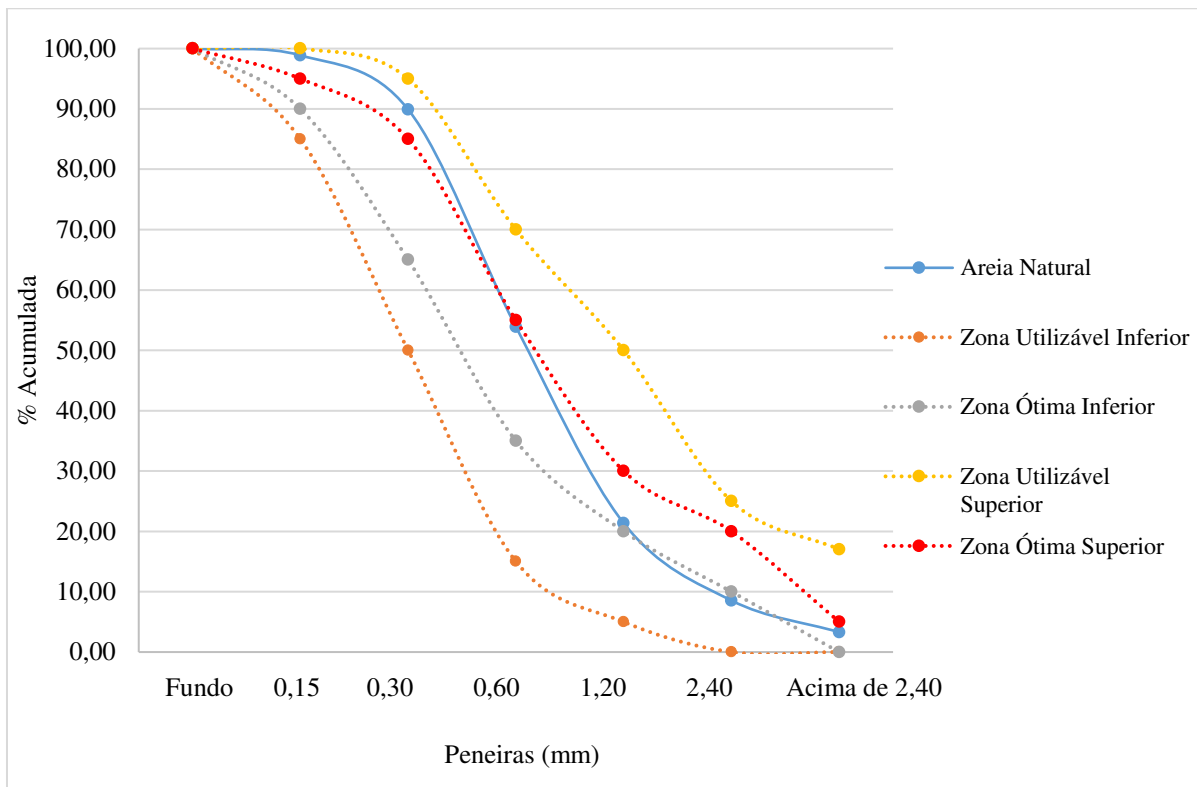
Tabela 3 – Resumo dos resultados dos ensaios proposto para a areia

Ensaio Físicos	Resultados de Laboratório	Especificações NBR 7211:2009 (*)
Massa Unitária no estado Seco e Solto (kg/dm ³)	1,43	-
Massa Unitária no estado Compactado (kg/dm ³)	1,49	-
Massa Específica Saturada Superfície Seca (g/cm ³)	2,63	-
Absorção (%)	0,8	-
Massa Específica Aparente (g/cm ³)	1,07	-
Material Pulverulento (%)	0,87	3 a 5
Teor de Argila em Torrões e Materias Friáveis (%)	0,055	3
Impuresas Orgânicas Húmicas - Comparação da Coloração	mais clara	mais clara
Dimensão Máxima Característica (mm)	4,8	-
Módulo de finura / Zona	2,81 / Ótima	2,20 a 2,90
Zona da Distribuição Granulométrica	Utilizável	Ótima ou Utilizável

(*) ABNT NBR 7211:2009 - Agregados para concreto - Especificações

Fonte: Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Viçosa

Figura 5 – Curva granulométrica da areia



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

3.1.1.4. Grits

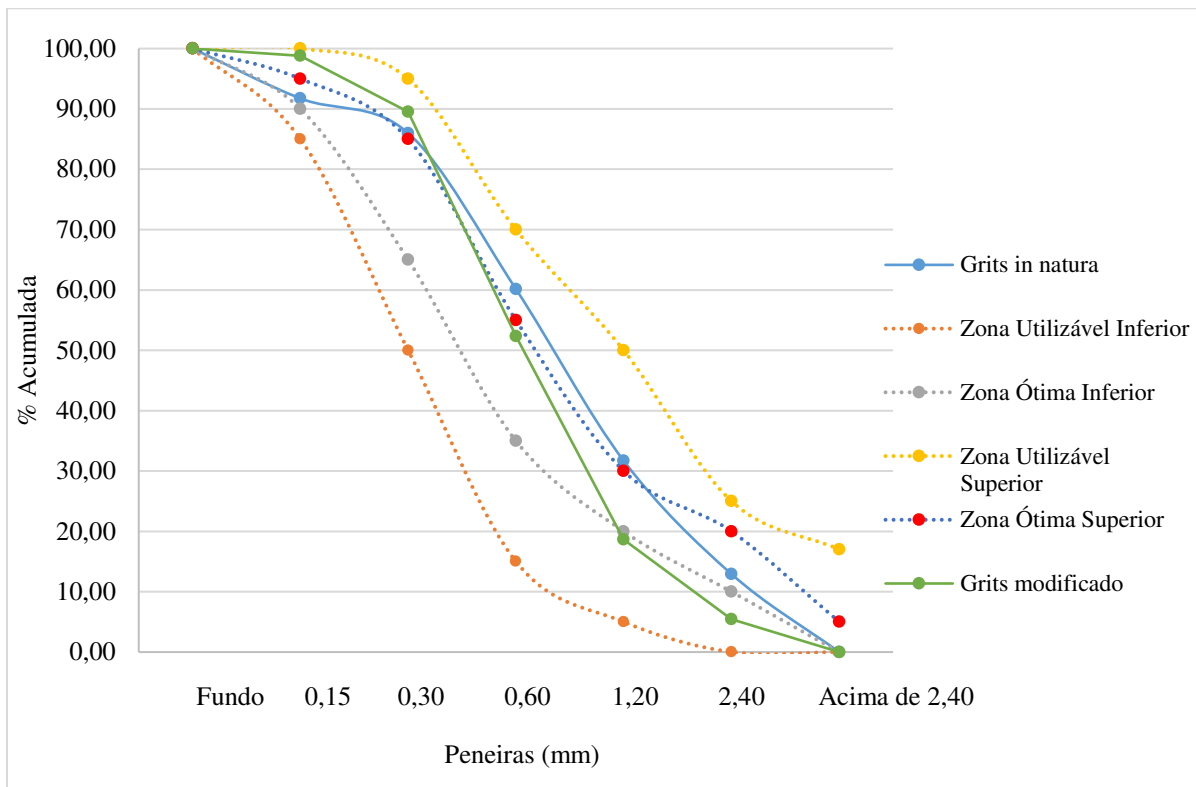
O resíduo sólido *grits* utilizado foi doado pela empresa Cenibra Celulose Nipo-Brasileira S.A, localizado na cidade de Belo Oriente, Minas Gerais, na rodovia BR 381 – km 172 e encontra-se armazenado no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Viçosa. Todo o *grits* foi peneirado na peneira de 4,8 mm antes da realização dos ensaios.

- Composição granulométrica

O ensaio para determinação da composição granulométrica foi realizado considerando as recomendações da NBR NM 248:2003.

Na Figura 6 é apresentada a curva granulométrica do *grits in natura* e do *grits* modificado. A composição granulométrica dos agregados, areia e *grits in natura*, apresenta uma discrepância entre as faixas granulométricas. Para evitar uma influência nos resultados, o *grits in natura* foi dividido em frações, Figura 7, e foi feita uma nova composição granulométrica com as mesmas proporções das faixas granulométricas apresentadas pela areia, dando origem ao *grits* modificado.

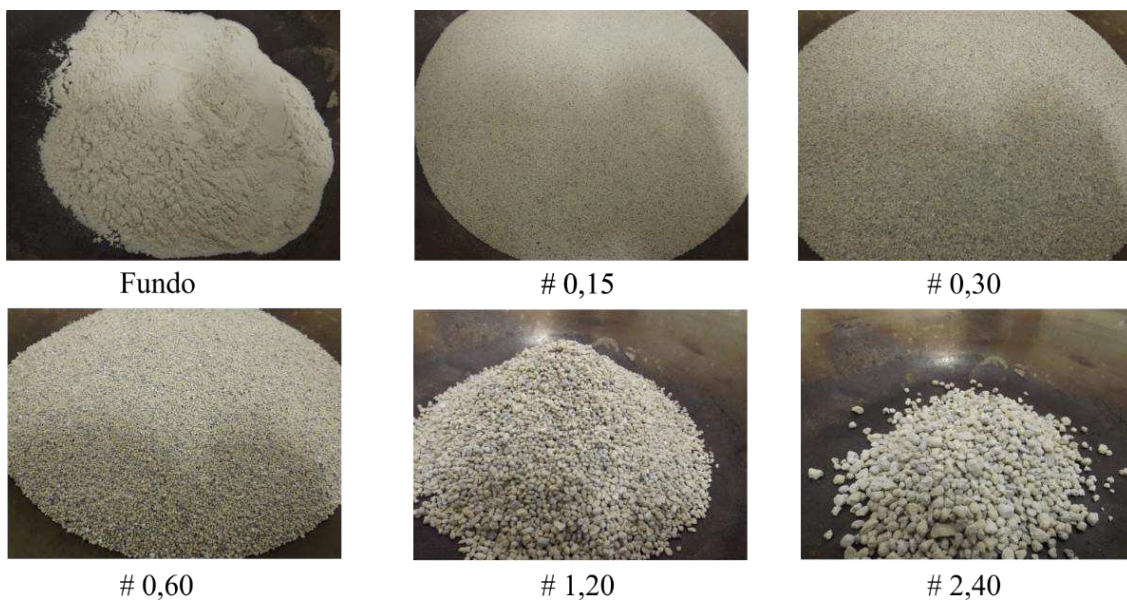
Figura 6 – Curva granulométrica do *grits in natura* e do *grits* modificado



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Percebe-se que as curvas granulométricas apresentadas pelo *grits in natura* e o *grits* modificado são distintas entre si. O *grits in natura* apresenta um quantitativo maior de material passante nas peneiras mais finas, enquanto o *grits* modificado aproxima-se mais da curva granulométrica apresentada pela areia.

Figura 7 – Faixas granulométricas do *grits*



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

- Massa específica e massa específica em condição saturado superfície seca, materiais pulverulentos e absorção de água.

O ensaio para determinação da massa específica foi realizado considerando as recomendações da NBR NM 52:2009. O ensaio para determinação da massa específica foi realizado considerando as recomendações da NBR NM 46:2003. O ensaio para determinação da absorção de água foi realizado considerando as recomendações da NBR NM 30:2001.

Na Tabela 4 é apresentado o resultado da massa específica e massa específica em condição saturado superfície seca, materiais pulverulentos e absorção de água do *grits in natura* e do *grits* modificado.

Tabela 4 – Massa específica e massa em condição saturado superfície seca, materiais pulverulentos e absorção de água do *grits in natura* e do *grits* modificado

Especificação	<i>Grits in natura</i>	<i>Grits</i> modificado
Massa específica (g/cm ³)	2,98	2,97
Massa específica saturado superfície seca (g/cm ³)	2,50	2,48
Material pulverulento (%)	9,84	1,03
Absorção (%)	3,82	0,95

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

A massa específica em condição saturado superfície seca foi semelhante entre o *grits in natura* e o *grits* modificado, sendo ambos, inferior ao resultado encontrado na areia. O *grits in natura* apresentou elevada porcentagem de material pulverulento e absorção de água em comparação à areia utilizada. Porém, o *grits* modificado não apresentou uma grande diferença, apesar de ser um pouco superior em ambos os ensaios.

- Atividade pozolânica, difração de raios-X – DRX, espectrometria de energia dispersiva de Raios-X – EDX

O ensaio de atividade pozolânica foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Viçosa. Chegou em um resultado de condutividade elétrica de 0,87 mS/cm para o *grits*. Esses resultados demonstram que o *grits* não apresenta atividade pozolânica.

O ensaio de espectrometria de energia dispersiva de raios-X – EDX foi realizado no Laboratório do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, utilizando-se o espectrômetro da marca Micro EDX 1300 Shimadzu.

A Tabela 5 apresenta a composição química dos *grits*, expresso em óxido. Observou-se que o material apresentou um elevado teor de óxido de cálcio (CaO). Esse material influencia

diretamente em diversas características do cimento Portland, porém sua elevada concentração prejudica a estabilidade volumétrica de argamassas e concretos (PETRUCCI, 1993; MEHTA e MONTEIRO, 2008 e MACHADO *et al.*, 2002). Os demais óxidos foram encontrados em menores porcentagens. O óxido de ferro (Fe_2O_3) e álcalis ($\text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O}$) possuem o papel de fundentes. Os óxidos de enxofre (SO_3) e magnésio (MgO) em grandes quantidades poderiam elevar a expansibilidade do cimento.

Tabela 5 – Composição química por EDX do *grits*

Óxidos	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Outros
<i>Grits (%)</i>	83,36	5,21	0,29	1,16	0,66	0,5	2,77	0,97	5,08

Fonte: Torres (2016)

O ensaio de difração de raios-X – DRX foi realizado no Laboratório de Raios X, AFM e Perfilometria do Departamento de Física da Universidade Federal de Viçosa utilizando-se o difratômetro Bruker D8-Discover, modelo Davinci.

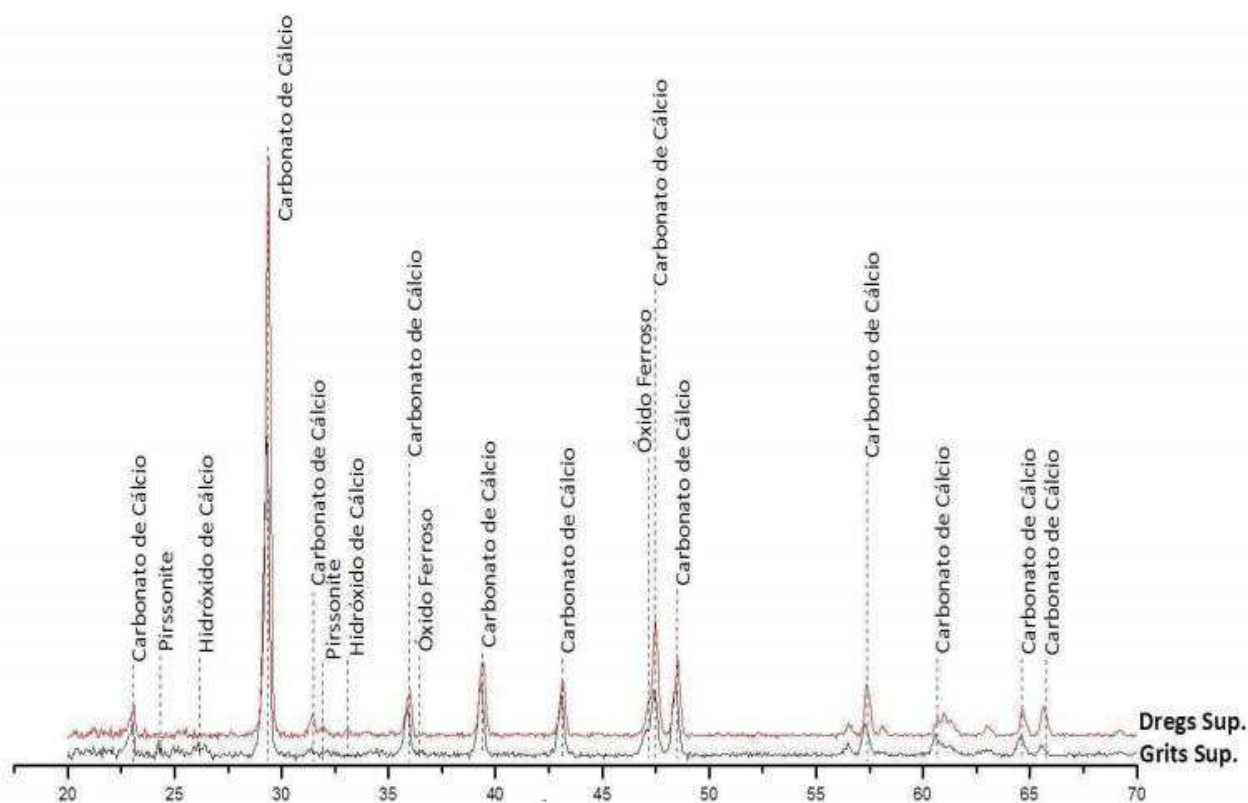
Na Figura 8 é apresentada a composição mineralógica do *grits* e sustenta a existência dos compostos mineralógicos encontrados em sua composição química, apresentados na composição química por EDX. O *grits* apresenta carbonato de cálcio (CaCO_3), pirssonite ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$), hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e óxido ferroso (FeO) como suas principais faces cristalinas encontradas em sua estrutura.

3.1.1.5. Água e aditivo

A água utilizada na pesquisa foi proveniente das instalações do Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Viçosa, sendo de boa qualidade e não comprometendo os resultados da pesquisa. O aditivo utilizado foi o Muraplast FK 830, com densidade de 1,10 g/cm³. O aditivo foi do tipo plastificante multifuncional de pega normal, fabricado pela empresa MC-Bauchemie Brasil e fornecido pela empresa Valemix.

Para manter a consistência *flow table* no padrão estabelecido neste trabalho foi necessário fixar a relação água/cimento em 1,3. Já o aditivo, adotou-se no máximo 1% em relação à massa de cimento.

Figura 8 – Difração de raios-X do *grits*



Fonte: Torres (2016)

3.2.Limites dos componentes

O cimento Portland é o principal aglomerante em argamassas, sendo responsável por fornecer resistência às mesmas. Ele também é o componente mais caro da mistura, logo, um alto consumo acarreta em um elevado dispêndio financeiro. Primeiramente, testou-se a variação do cimento entre 5 e 12%. Essa tentativa não foi possível por dois motivos:

- a variação de sete pontos percentuais do componente impossibilitou manter uma relação água/cimento constante. A partir da realização do ensaio descrito no item 3.1, constatou-se que houve uma grande variação nos resultados de *flow table*, ficando fora dos limites estabelecidos;
- as argamassas com os menores teores do componente não apresentaram consistência necessária para o desmolde dos corpos de prova.

A segunda e a terceira tentativas utilizaram uma variação do cimento nas seguintes faixas, respectivamente: 10 a 15% e 12 a 15%. Embora ambas as faixas de variação permitissem a desforma dos corpos de prova, os resultados de *flow table* apresentados, ficaram fora dos limites estabelecidos neste trabalho.

Por fim, utilizou-se a variação do cimento entre 13 e 15%. Com essa variação, foi possível realizar a desforma dos corpos de prova e os resultados de *flow table* apresentaram variação entre 250 e 270 mm. Esta variação embora seja reduzida apresentou as características pretendidas nesse trabalho. Portanto, a faixa de variação do componente cimento foi entre 13 e 15%.

A areia e o *grits* foram utilizados como os agregados miúdos da mistura, completando-a. A variação de areia respeitou os seguintes limites: 0 a 87%. Já a variação do *grits* respeitou também os mesmos limites: 0 a 87%.

Na construção civil é comum a utilização de dois traços: 1:1:6 (cimento – cal – agregado) ou 1:2:9 (cimento – cal – agregado). Nesse intuito a cal teve sua variação calculada partindo de misturas sem a cal até misturas onde, em volume, a cal tivesse o dobro da quantidade do cimento.

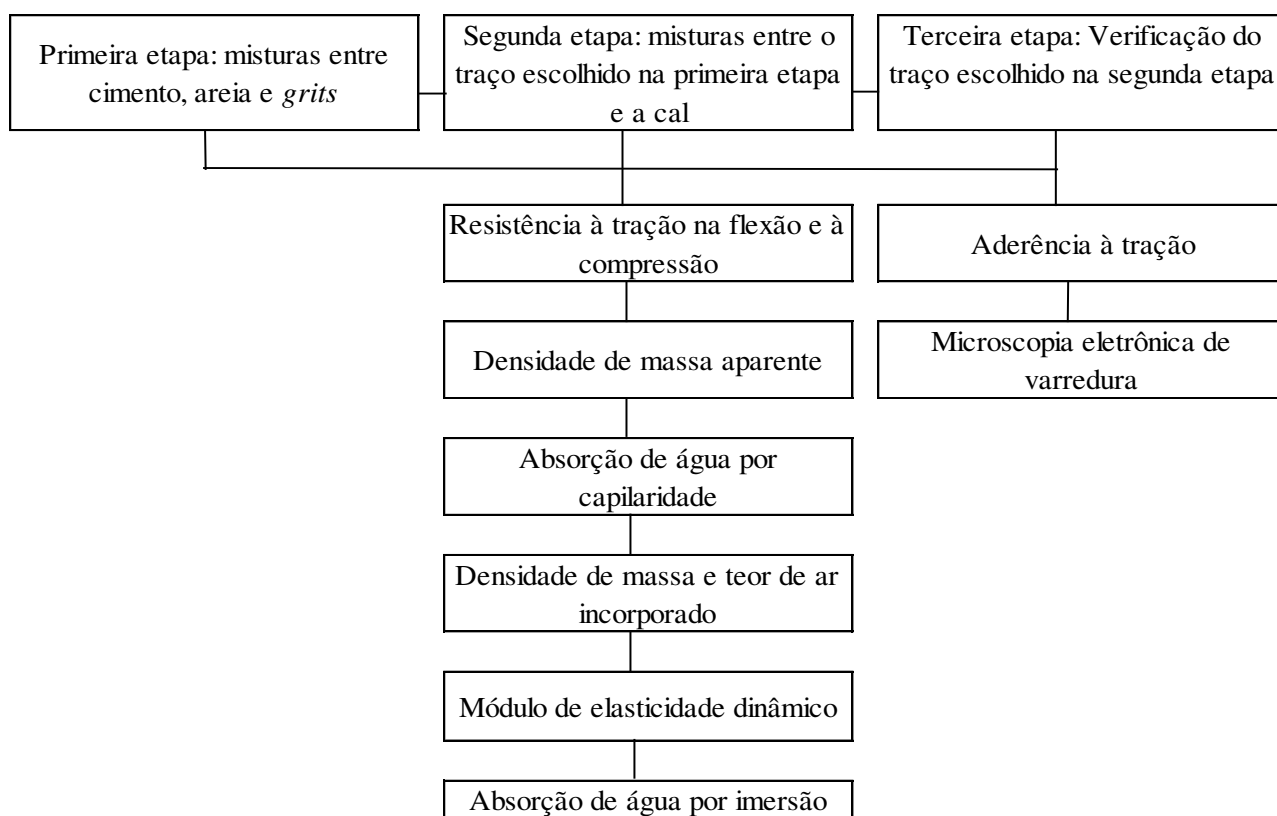
Em dosagens de argamassas, a água e o aditivo geralmente são componentes que estão vinculadas ao cimento. Essa pesquisa partiu desse princípio. Ambos participaram da mistura, porém foram incorporados como proporção do componente cimento. A relação água/cimento foi fixada para todos os traços utilizados no intuito de evitar a influência deste fator nos resultados. Já o aditivo foi utilizado em pequenas proporções no intuito de manter o *flow table*.

3.3.Método experimental

O item 3.2 apresentou os limites que foram propostos para os componentes desta pesquisa. Percebeu-se que a diferença entre as variações dos componentes não foi uniforme, ou seja, a variação de um componente foi diferente da variação dos outros componentes. Esse fato impossibilitou a utilização dos seguintes delineamentos experimentais de mistura: *simplex lattice* e *simplex centroid*, pelo motivo destes necessitarem de uma diferença de variação uniforme entre os componentes. Portanto, foi utilizado o *extreme vertice design*.

A parte experimental foi dividida em três etapas. A primeira etapa contemplou uma mistura de três componentes: cimento, areia e *grits*, de acordo com os limites estabelecidos no item 3.2. Deste delineamento selecionou-se uma mistura que foi utilizada na etapa seguinte. A segunda etapa foi um delineamento de dois componentes, sendo um deles a cal e o outro, o traço escolhido na primeira etapa. Por fim, a terceira etapa resultou em testar o traço escolhido na segunda etapa para verificar as suas propriedades. Na Figura 9 é apresentado o fluxograma das etapas dos delineamentos de mistura utilizados.

Figura 9 – Fluxograma dos delineamentos das misturas de argamassas



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

- Primeira Etapa

A primeira etapa respeitou os limites apresentados nos itens 3.2. Esta etapa foi composta por um grau de planejamento igual a três, ou seja, podendo ser utilizado uma forma polinomial de grau 3. O delineamento também contemplou o aumento do ponto central e dos pontos axiais. Utilizando-se o programa Minitab® 17, chegou-se em um planejamento composto por 13 misturas, ou seja, 13 tipos diferentes de misturas utilizando cimento, areia e *grits* modificado. Na Figura 10 é apresentada a região experimental das misturas a serem ensaiadas nesta etapa. Os traços gerados nesta etapa são apresentados na Tabela 6.

Nas equações 1, 2, 3 e 4 são apresentados os modelos estatísticos que podem ser utilizados para analisar e representar os resultados das misturas desta etapa.

$$y = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i \tag{Eq. 1}$$

$$y = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{1 < j}^q \beta_{ij} x_i x_j \tag{Eq. 2}$$

$$y = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum \sum_{i < j}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum \sum_{i < j < k}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad \text{Eq. 3}$$

$$y = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum \sum_{i < j}^q \beta_{ij} x_i x_j + \sum \sum_{i < j < k}^q \beta_{ijk} x_i x_j x_k + \sum \sum_{i < j}^q \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) \quad \text{Eq. 4}$$

onde:

x_i, x_j, x_k representa a proporção do componente i, j e k na mistura, respectivamente;

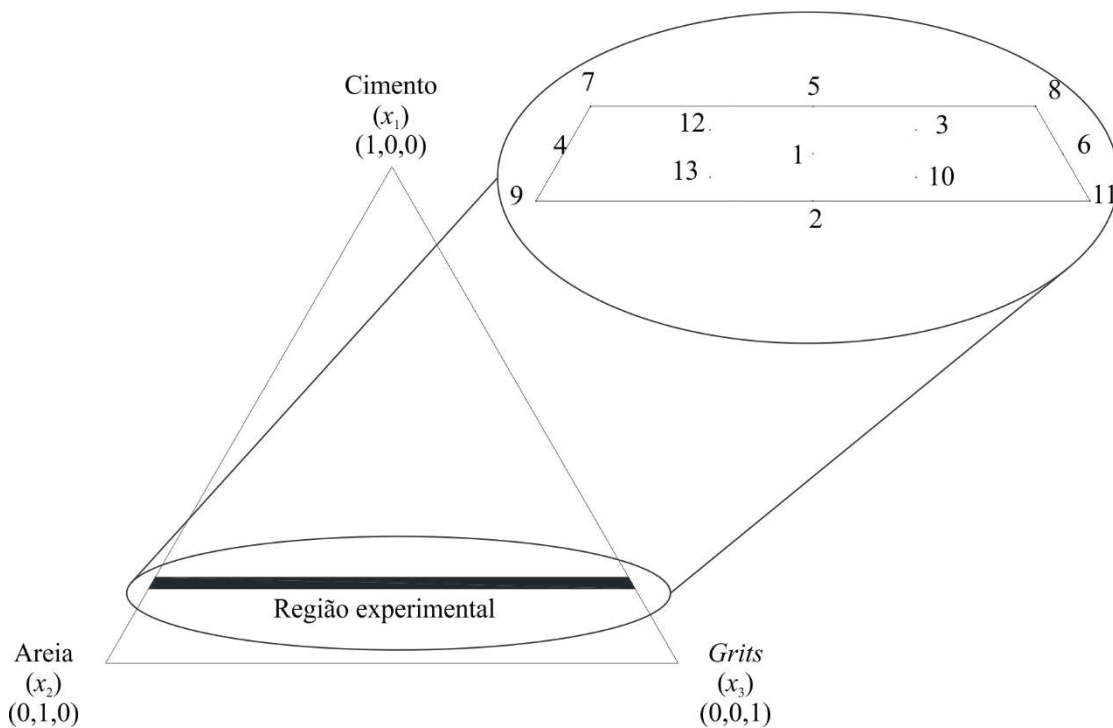
β_i representa a resposta esperada para misturas puras com o componente i ;

β_{ij} representa a interação existente entre os componentes i e j ;

β_{ijk} representa a interação existente entre os componentes i, j e k ;

δ_{ij} representa o coeficiente cúbico da interação existente entre os componentes i e j .

Figura 10 – Região experimental da primeira etapa do delineamento



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Tabela 6 – Traços gerados pelo delineamento *extreme vertice design* para as argamassas da primeira etapa

Tc ₁₄ a ₄₃ g ₄₃	0,140	0,430	0,430
Tc ₁₃ a _{43,5} g _{43,5}	0,130	0,435	0,435
Tc _{14,5} a _{21,5} g ₆₄	0,145	0,215	0,640
Tc ₁₄ a ₈₆ g ₀	0,140	0,860	0,000
Tc ₁₅ a _{42,5} g _{42,5}	0,150	0,425	0,425
Tc ₁₄ a ₀ g ₈₆	0,140	0,000	0,860
Tc ₁₅ a ₈₅ g ₀	0,150	0,850	0,000
Tc ₁₅ a ₀ g ₈₅	0,150	0,000	0,850
Tc ₁₃ a ₈₇ g ₀	0,130	0,870	0,000
Tc _{13,5} a _{21,5} g ₆₅	0,135	0,215	0,650
Tc ₁₃ a ₀ g ₈₇	0,130	0,000	0,870
Tc _{14,5} a ₆₄ g _{21,5}	0,145	0,640	0,215
Tc _{13,5} a ₆₅ g _{21,5}	0,135	0,650	0,215

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Em todos os traços, apresentados na Tabela 6, foram realizados os ensaios apresentados no item 3.4, com exceção dos ensaios de microscopia eletrônica de varredura e aderência à tração. A partir da análise destes resultados, um traço será escolhido para dar prosseguimento à pesquisa.

- Segunda Etapa

Esta etapa, diferentemente da primeira etapa, foi composta por um grau de planejamento igual a dois, ou seja, podendo ser utilizado uma forma polinomial de grau 2. O delineamento também contemplou o aumento do ponto axial e dos pontos axiais mantendo apenas uma replicata por cada mistura do delineamento. Utilizando-se o programa Minitab® 17, chegou-se em um planejamento composto por cinco misturas, ou seja, cinco tipos diferentes de traços utilizando a mistura escolhida na primeira etapa e a cal.

Nas equações 5 e 6 são apresentados os modelos estatísticos que podem ser utilizados para analisar e representar os resultados das misturas desta etapa.

$$y = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i \quad \text{Eq. 5}$$

$$y = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{1 < j}^q \beta_{ij} x_i x_j \quad \text{Eq. 6}$$

onde:

x_i, x_j representa a proporção do componente i e j na mistura, respectivamente;

β_i representa a resposta esperada para misturas puras com o componente i ;

β_{ij} representa a interação existente entre os componentes i e j .

Em todos os traços foram realizados os ensaios apresentados nos itens 3.4, com exceção dos ensaios de microscopia eletrônica de varredura e aderência à tração. A partir da análise destes resultados, um traço foi escolhido para dar prosseguimento à pesquisa.

- Terceira Etapa

A terceira e última etapa dos ensaios nas argamassas consistiu em verificar se o traço escolhido na segunda etapa realmente apresenta as melhores características para a argamassa em estudo. No traço escolhido da segunda etapa foi realizado os ensaios apresentados no item 3.4. O ensaio de resistência à aderência à tração foi realizado em duas amostras: o traço escolhido na segunda etapa e um traço similar, porém com areia em substituição ao *grits*. O ensaio de microscopia eletrônica de varredura foi realizado na argamassa otimizada na primeira etapa e a otimizada na segunda etapa. A partir da análise destes resultados, pretendeu-se apresentar o traço ideal desse trabalho.

3.4. Propriedades das misturas

Foram realizados aproximadamente 300 corpos de prova, sendo ensaiados nas seguintes recomendações normativas: resistência à tração na flexão e à compressão, ABNT NBR 13279:2005; densidade de massa aparente, ABNT NBR 13280:2005; absorção de água por capilaridade, ABNT NBR 15259:2005; densidade de massa e teor de ar incorporado, ABNT NBR 13278:2005 e absorção por imersão, ABNT NBR 9778:2009.

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi realizado considerando as recomendações da ABNT NBR 15630:2009. Os corpos de prova utilizados neste ensaio foram os mesmos preparados para a realização dos ensaios de resistência à tração na flexão e compressão. O ensaio foi realizado aos 28 dias a partir da moldagem dos corpos de prova. As faces de ensaio (superfícies de 4 cm x 4 cm) estavam regularizadas, eliminando os ressaltos através de lixamento, possibilitando bom acoplamento com os transdutores. Após o preparo da superfície de ensaio, aplicou-se uma camada de gel nas superfícies do corpo de prova e nos transdutores.

Os transdutores foram centralizados nas faces opostas (4 cm x 4 cm) do corpo de prova. Foram registradas três leituras em cada corpo de prova, utilizando a menor para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico. Na Figura 11 é apresentado o aparelho utilizado para a aferição dos resultados. O aparelho utilizado foi o Pundit Lab fabricado pela empresa Proceq.

Figura 11 – Aparelhagem utilizada no ensaio de ultrassom



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

O módulo de elasticidade dinâmico foi calculado conforme a Equação 7:

$$E_d = v^2 \rho_e \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu} \quad \text{Eq. 7}$$

onde:

E_d é o módulo de elasticidade dinâmico, em megapascal (MPa);

v é a velocidade de propagação da onda ultrassônica, em milímetro por microssegundo (mm/μs);

ρ_e é a densidade de massa aparente do corpo de prova, em quilograma por metro cúbico (kg/m³);

μ é o coeficiente de Poisson, adotado 0,2 nesta equação.

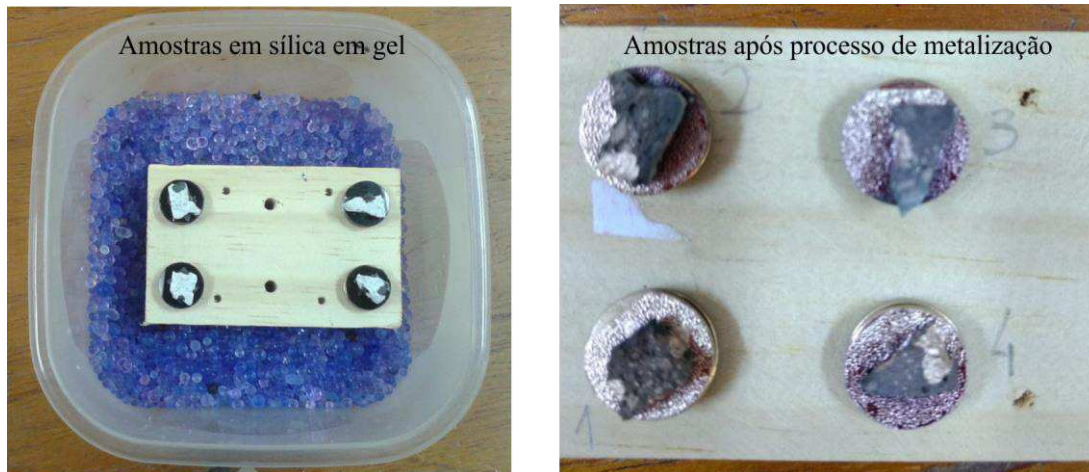
O ensaio para determinação da resistência de aderência à tração da argamassa foi realizado considerando as recomendações da NBR 13528:2016, sendo ensaiados duas placas com 10 amostras por placa.

O ensaio de microscopia eletrônica de varredura foi realizado no Núcleo de Microscopia e Microanálise (NMM), localizado na Vila Gianetti, casa 22 no Campus Universitário da Universidade Federal de Viçosa.

As amostras utilizadas neste ensaio foram as mesmas ensaiadas na terceira etapa do item 3.3. Após o rompimento por tração na flexão, as amostras foram cortadas em uma serra circular com uma altura de, aproximadamente, 1 (um) centímetro de altura. Em sequência as amostras foram levadas para o NMM, onde se procedeu a montagem das amostras. Foram preparadas duas amostras para cada traço. As amostras foram fracionadas, em pequenos pedaços, sendo estes colados sobre um *stub* através de uma fita dupla face. Na parte lateral de cada amostra foi feito pequenos filetes de uma mistura contendo esmalte e grafite, com o intuito de melhorar a condutividade de elétrons da amostra.

Após esse preparo inicial, as amostras foram colocadas em um recipiente com sílica em gel para retirar a sua umidade, (Figura 12). As amostras ficaram neste recipiente por 5 (cinco) dias. Um dia antes da realização do ensaio, as amostras passaram por um processo de metalização (Figura 12) no Equipamento Modular Balzers Union FDU 010 composto de Metalizador (“*Sputter coating attachment*”) SCA 010, (Figura 13). O processo de metalização consiste em recobrir as amostras com ouro. O recobrimento foi necessário para melhorar o nível de emissão de elétrons secundários.

Figura 12 – Preparo das amostras para o ensaio de microscopia eletrônica de varredura.



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

O ensaio de microscopia eletrônica de varredura foi executado no Microscópio Eletrônico de Varredura Leo, 1430VP, acoplado a sonda de raio-X (EDS), Figura 13. Antes da realização do ensaio, as amostras permaneceram no vácuo no próprio equipamento por um período de, aproximadamente, 12 horas. O procedimento é padrão neste ensaio.

Figura 13 – Equipamentos utilizados no ensaio de microscopia eletrônica de varredura.



Equipamento Modular
Balzers Union FDU 010



Microscópio Eletrônico de
Varredura Leo, 1430VP

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Para a escolha dos melhores traços foi utilizado a função de desejabilidade. Para tanto foi necessário a indicação sobre a forma como será considerada a busca pelos melhores resultados em cada propriedade ensaiada. As respostas foram maximizadas nas seguintes propriedades: resistência à tração na flexão e compressão; densidade de massa aparente no estado endurecido e fresco e módulo de elasticidade. As respostas foram minimizadas nas seguintes propriedades: absorção de água por capilaridade e imersão.

4. Resultados e discussão

4.1. Caracterização das argamassas – 1ª etapa

4.1.1. Índice de consistência

Na Tabela 7 são apresentados os resultados das determinações dos índices de consistência (*flow table*) para os traços de argamassa ensaiados na primeira etapa.

Tabela 7 – Estimativa dos índices de consistência (*flow table*) – argamassas da 1ª etapa

	Índice de consistência			Traço				
	Média	Mínimo	Máximo	Cimento	Areia	Grits	Água	Aditivo (%)
Tc _{14a43g43}	263	262	265	1,00	3,10	3,10	1,30	0,50
Tc _{13a43,5g43,5}	256	255	257	1,00	3,35	3,35	1,30	0,60
Tc _{14,5a21,5g64}	266	265	266	1,00	1,48	4,41	1,30	0,00
Tc _{14a86g0}	268	267	270	1,00	6,14	0,00	1,30	0,00
Tc _{15a42,5g42,5}	267	267	270	1,00	2,83	2,83	1,30	0,00
Tc _{14a0g86}	260	258	260	1,00	0,00	6,14	1,30	0,75
Tc _{15a85g0}	270	269	270	1,00	5,67	0,00	1,30	0,00
Tc _{15a0g85}	262	260	264	1,00	0,00	5,67	1,30	1,00
Tc _{13a87g0}	262	260	264	1,00	6,69	0,00	1,30	0,35
Tc _{13,5a21,5g65}	259	257	261	1,00	1,59	4,81	1,30	0,90
Tc _{13a0g87}	257	257	258	1,00	0,00	6,69	1,30	1,00
Tc _{14,5a64g21,5}	263	262	264	1,00	4,41	1,48	1,30	0,00
Tc _{13,5a65g21,5}	259	258	260	1,00	4,81	1,59	1,30	1,00

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

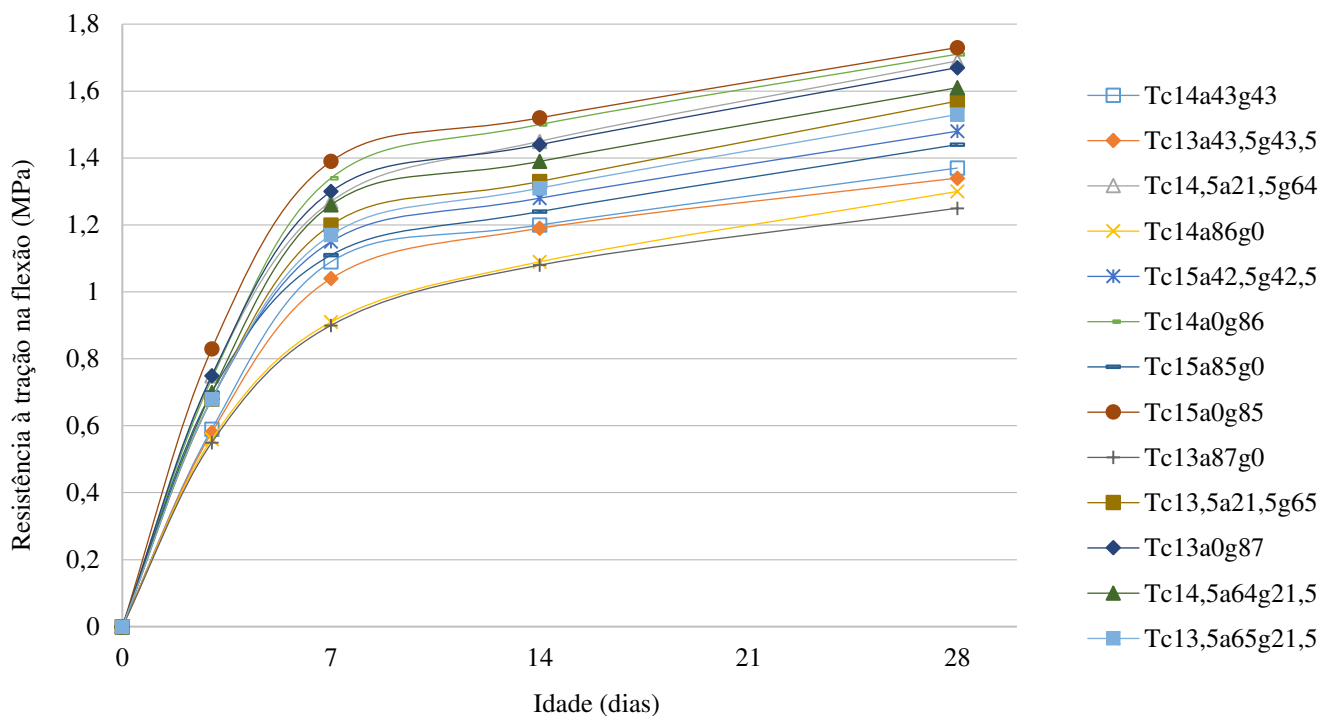
Legenda: *c* corresponde ao componente cimento; *a* corresponde à componente areia e *g* corresponde ao componente *grits*

Na Tabela 7 fica evidente que os traços com os maiores quantitativos de *grits* tiveram os menores índices de consistência, já os traços com os maiores quantitativos de areia tiveram os maiores índices de consistência, devido à maior absorção de água apresentada pelo *grits*. Com isso, foi necessário a utilização de maiores percentuais de aditivos plastificantes nos traços com maiores teores de *grits*.

4.1.2. Resistência à tração na flexão

Na Figura 14 é apresentado o resultado do ensaio de resistência à tração na flexão para os 13 traços em um gráfico de resistência à tração na flexão (MPa) pela idade de rompimento dos corpos de prova (dias). Os resultados individuais referentes a todos os traços deste ensaio podem ser observados no Apêndice A.

Figura 14 – Gráfico da resistência à tração na flexão pelas idades de ensaio das argamassas analisadas na 1ª etapa



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Legenda: *c* corresponde ao componente cimento; *a* corresponde à componente areia e *g* corresponde ao componente *grits*

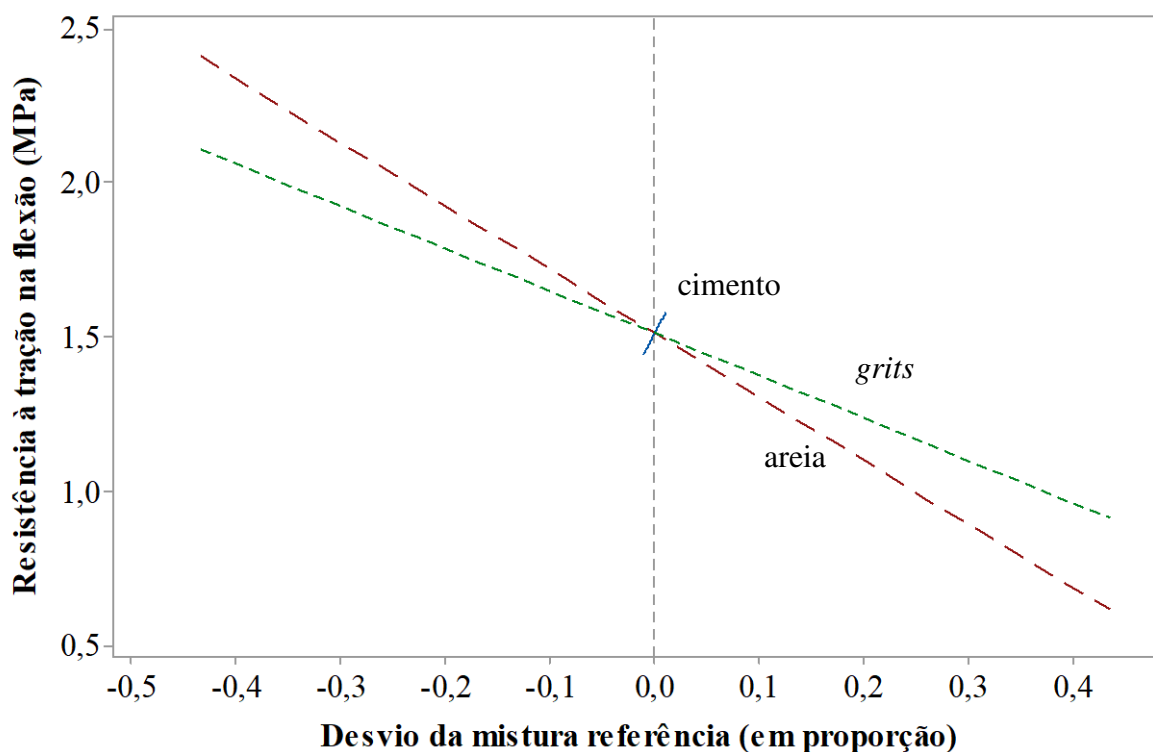
Após a análise dos dados apresentados na Figura 14, observou-se que os traços com os maiores teores de cimento tiveram os maiores resultados de resistência à tração na flexão. Os traços que apresentaram os maiores resultados característicos foram: traço 8 (cimento: 15,0%; areia: 0,0%; *grits*: 85,0%), traço 6 (cimento: 14,0%; areia: 0,0%; *grits*: 86,0%) e traço 3 (cimento: 14,5%;

areia: 21,5%; *grits*: 43,5%). Já os traços que apresentaram os menores resultados característicos foram: traço 9 (cimento: 13%; areia: 87,0%; *grits*: 0,0%), traço 4 (cimento: 14,0%; areia: 86,0%; *grits*: 0,0%) e traço 2 (cimento: 13,0%; areia: 43,5%; *grits*: 43,5%). Todas as 13 curvas apresentadas na Figura 14 tiveram um crescimento praticamente constante. Todos os 13 traços estão na categoria R3 da classificação apresentada na tabela 3 da ABNT NBR 13281:2005.

Os modelos estatísticos foram ajustados através dos dados apresentados na Figura 14. No Apêndice U é apresentado o resumo da análise estatística. Cabe ressaltar que apenas o modelo linear apresentou resultados significativos, (p -valor < 0,05). Todas as quatro idades de ensaio (3, 7, 14 e 28 dias) apresentaram coeficientes de determinação acima de 70%.

Na Figura 15 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação à resistência à tração na flexão.

Figura 15 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da resistência à tração na flexão aos 28 dias, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; *grits*: 43%)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Percebeu-se na Figura 15 a influência mais forte e positiva do cimento na resistência à tração na flexão das argamassas. O acento positivo da reta que representa misturas sobre o eixo do cimento demonstrou que incrementos discretos de cimento na mistura da argamassa resultaram em ganhos substanciais de resistência às argamassas.

Na Figura 15 observou-se também que a variação do teor de areia e *grits* na mistura teve uma influência negativa na variação da resistência à tração na flexão das argamassas. Porém notou-se que a curva que representa o *grits* foi mais suave que aquela que representa a areia, mostrando que o *grits* contribuiu mais para o aumento da resistência, ou seja, a substituição da areia pelo *grits* não prejudicou a resistência à tração na flexão das argamassas.

A equação 8 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de resistência à tração na flexão aos 28 dias. A partir da análise da equação 8, o cimento mostrou-se o principal responsável pelo aumento da resistência à tração na flexão. Com relação aos componentes areia e *grits* percebeu-se que ambos favorecem ao aumento da resistência, não podendo, no entanto, garantir que, estatisticamente, o componente *grits* fornece valores superiores ao da componente areia. Porém a substituição da areia pelo *grits* não prejudica a resistência à tração na flexão.

$$y = 7,535c + 0,338a + 0,731g \quad \text{Eq. 8}$$

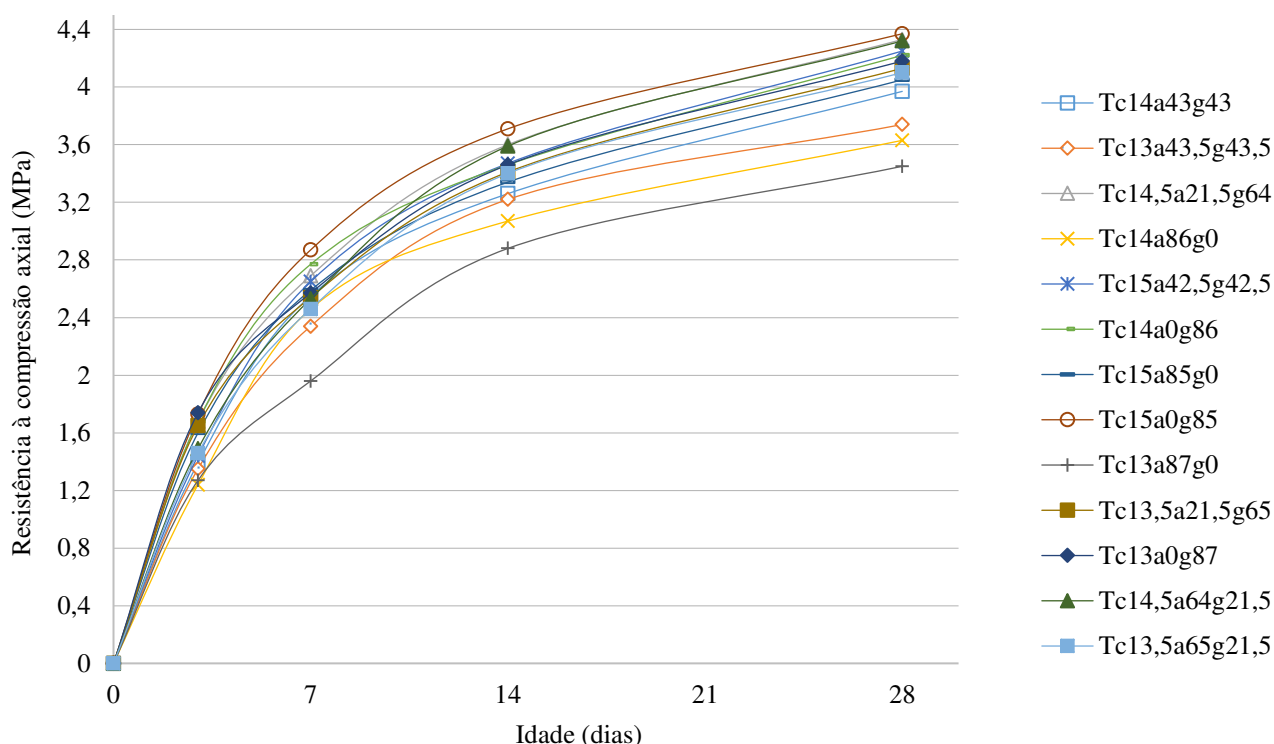
onde: y é a resistência à tração na flexão; c corresponde ao componente cimento; a corresponde à componente areia e g corresponde ao componente *grits*.

4.1.3. Resistência à compressão

Na Figura 16 é apresentado o resultado do ensaio de resistência à compressão para os 13 traços em um gráfico de resistência à compressão (MPa) pela idade de rompimento dos corpos de prova (dias). Os resultados individuais referentes a todos os traços deste ensaio podem ser observados no Apêndice C.

Assim como aconteceu nos resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, a análise dos dados apresentados na Figura 16, também mostrou que os traços com maiores teores de cimento tiveram os maiores resultados de resistência à compressão. Os traços que apresentaram os maiores resultados característicos foram: traço 8 (cimento: 15,0%; areia: 0,0%; *grits*: 85,0%), traço 6 (cimento: 14,0%; areia: 0,0%; *grits*: 86,0%) e traço 12 (cimento: 14,5%; areia: 65,0%; *grits*: 21,5%). Já os traços que apresentaram os menores resultados característicos foram: traço 9 (cimento: 13,0%; areia: 87,0%; *grits*: 0,0%), traço 4 (cimento: 14,0%; areia: 86,0%; *grits*: 0,0%) e traço 2 (cimento: 13,0%; areia: 43,5%; *grits*: 43,5%). Todos os 13 traços estão entre as categorias P3 e P4 da classificação apresentada no item na tabela 1 da ABNT NBR 13281:2005.

Figura 16 – Gráfico da resistência à compressão pelas idades de ensaio das argamassas analisadas na 1ª etapa



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Legenda: *c* corresponde ao componente cimento; *a* corresponde à componente areia e *g* corresponde ao componente *grits*

Os modelos estatísticos foram ajustados através dos dados apresentados na Figura 16. No Apêndice U é apresentado o resumo da análise estatística. Cabe ressaltar que apenas o modelo linear apresentou resultados significativos, (p -valor < 0,05). Todas as quatro idades de ensaio (3, 7, 14 e 28 dias) apresentaram resultados coeficiente de determinação significativos (três deles acima de 70 % e apenas um abaixo deste valor).

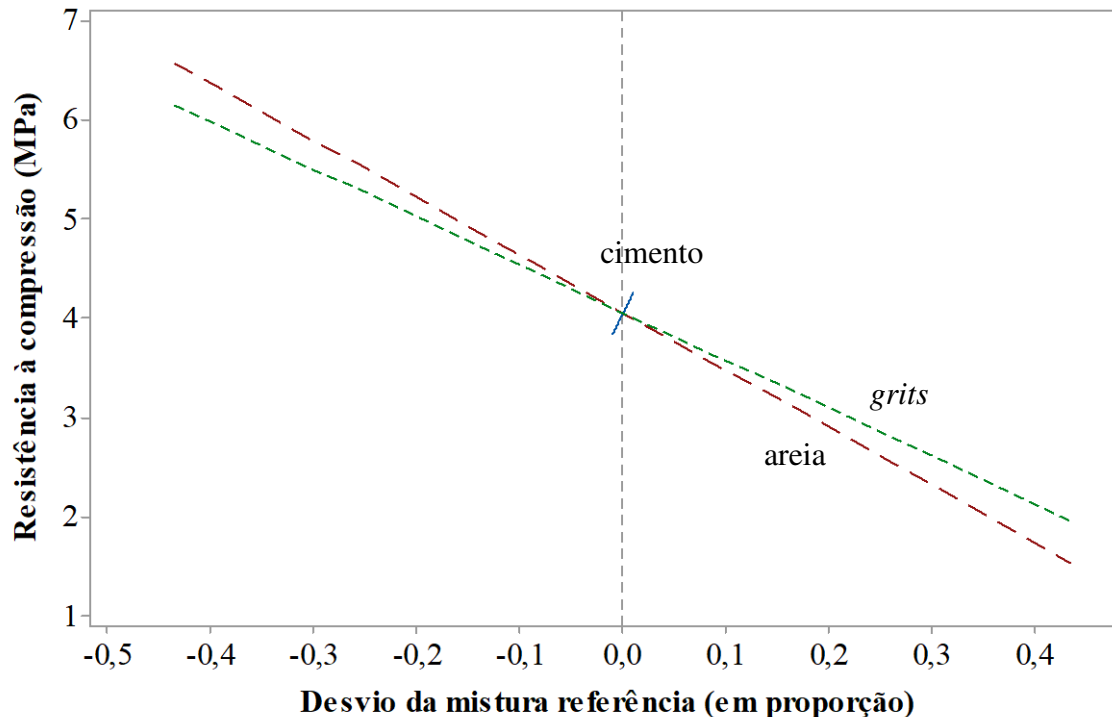
Na Figura 17 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação a resistência à compressão.

Percebeu-se na Figura 17 a influência fortemente positiva do cimento na resistência à compressão das argamassas. O aclave acentuado e positivo da reta que representa misturas sobre o eixo do cimento demonstrou que incrementos discretos de cimento na mistura da argamassa resultaram em ganhos substanciais de resistência às argamassas.

Na Figura 17 observou-se também que a variação do teor de areia e *grits* na mistura teve uma influência negativa na variação da resistência à compressão das argamassas. Porém notou-se que a curva que representa o *grits* foi mais suave do que aquela que representa a areia,

mostrando que o *grits* contribui mais para um aumento da resistência, ou seja, a substituição da areia pelo *grits* não prejudicou a resistência à compressão das argamassas.

Figura 17 – Estimativa das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da resistência à compressão aos 28 dias, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; *grits*: 43%)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

A equação 9 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias. A partir da análise da equação 9, o cimento mostrou-se o principal responsável pelo aumento da resistência à compressão. Com relação aos componentes areia e *grits* percebeu-se que ambos favorecem ao aumento da resistência, não podendo, no entanto, garantir que, estatisticamente, o componente *grits* fornece valores superiores ao da componente areia. Porém a substituição da areia pelo *grits* não prejudica a resistência à compressão.

$$y = 22,608c + 0,760a + 1,134g \quad \text{Eq. 9}$$

onde: y é a resistência à tração na flexão; c corresponde ao componente cimento; a corresponde à componente areia e g corresponde ao componente *grits*.

4.1.4. Absorção de água por capilaridade e absorção por imersão

Na Tabela 8 é apresentado o resultado do ensaio de absorção de água por capilaridade para os 13 traços ensaiados na 1ª etapa. Na Tabela 9 é apresentado o resultado do ensaio de absorção

de água por imersão para os 13 traços. Os dados referentes a todos os traços deste ensaio podem ser observados no Apêndice E.

Tabela 8 – Resultado de absorção de água aos 10 e 90 minutos e coeficiente de capilaridade para os 13 traços de argamassa da 1ª etapa

Traço	A_{10} (g/cm ²)	A_{90} (g/cm ²)	C (g/(dm ² ×min ^{1/2}))
Tc ₁₄ a ₄₃ g ₄₃	0,320	0,627	4,76
Tc ₁₃ a _{43,5} g _{43,5}	0,310	0,606	5,13
Tc _{14,5} a _{21,5} g ₆₄	0,344	0,680	5,91
Tc ₁₄ a ₈₆ g ₀	0,282	0,575	5,03
Tc ₁₅ a _{42,5} g _{42,5}	0,323	0,656	5,85
Tc ₁₄ a ₀ g ₈₆	0,346	0,700	6,23
Tc ₁₅ a ₈₅ g ₀	0,268	0,534	4,61
Tc ₁₅ a ₀ g ₈₅	0,340	0,691	6,15
Tc ₁₃ a ₈₇ g ₀	0,277	0,561	4,95
Tc _{13,5} a _{21,5} g ₆₅	0,340	0,679	6,05
Tc ₁₃ a ₀ g ₈₇	0,358	0,713	6,14
Tc _{14,5} a ₆₄ g _{21,5}	0,282	0,567	4,85
Tc _{13,5} a ₆₅ g _{21,5}	0,270	0,567	4,73

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Legenda: *c* corresponde ao componente cimento; *a* corresponde à componente areia e *g* corresponde ao componente *grits*

Tabela 9 – Resultado de absorção por imersão e índice de vazios dos traços de argamassa da 1ª etapa

Traço	A_{imer} (%)	IV (%)
Tc ₁₄ a ₄₃ g ₄₃	14,66	25,63
Tc ₁₃ a _{43,5} g _{43,5}	13,74	23,91
Tc _{14,5} a _{21,5} g ₆₄	15,94	27,42
Tc ₁₄ a ₈₆ g ₀	13,04	24,09
Tc ₁₅ a _{42,5} g _{42,5}	14,96	26,71
Tc ₁₄ a ₀ g ₈₆	16,52	28,83
Tc ₁₅ a ₈₅ g ₀	13,45	24,75
Tc ₁₅ a ₀ g ₈₅	16,43	29,20
Tc ₁₃ a ₈₇ g ₀	12,37	22,41
Tc _{13,5} a _{21,5} g ₆₅	15,49	26,95
Tc ₁₃ a ₀ g ₈₇	17,03	28,98
Tc _{14,5} a ₆₄ g _{21,5}	13,59	24,60
Tc _{13,5} a ₆₅ g _{21,5}	12,85	22,42

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Legenda: *c* corresponde ao componente cimento; *a* corresponde à componente areia e *g* corresponde ao componente *grits*

Os dados apresentados na Tabela 8 mostraram que os traços com maiores quantidades de *grits* tiveram absorção superior aos traços com maiores quantidades de areia, embora tal diferença não seja tão significativa. Os dados da Tabela 9 reforçam esta ideia, mostrando que a maior absorção de água apresentada pelo resíduo *grits* em relação à areia refletiu na absorção da argamassa. Os traços que apresentaram os maiores resultados característicos foram: traço 6 (cimento: 14,0%; areia: 0,0%; *grits*: 86,0%); traço 8 (cimento: 15,0%; areia: 0,0%; *grits*: 85,0%) e traço 11 (cimento: 13,0%; areia: 0,0%; *grits*: 87,0%). Já os traços que apresentaram os menores resultados característicos foram: traço 7 (cimento: 15,0%; areia: 85,0%; *grits*: 0,0%); traço 13 (cimento: 13,5%; areia: 65,0%; *grits*: 21,5%) e traço 1 (cimento: 14,0%; areia: 43,0%; *grits*: 43,0%). Todos os 13 traços estão entre as categorias C4 e C5 da classificação apresentada na tabela 4 da ABNT NBR 13281:2005.

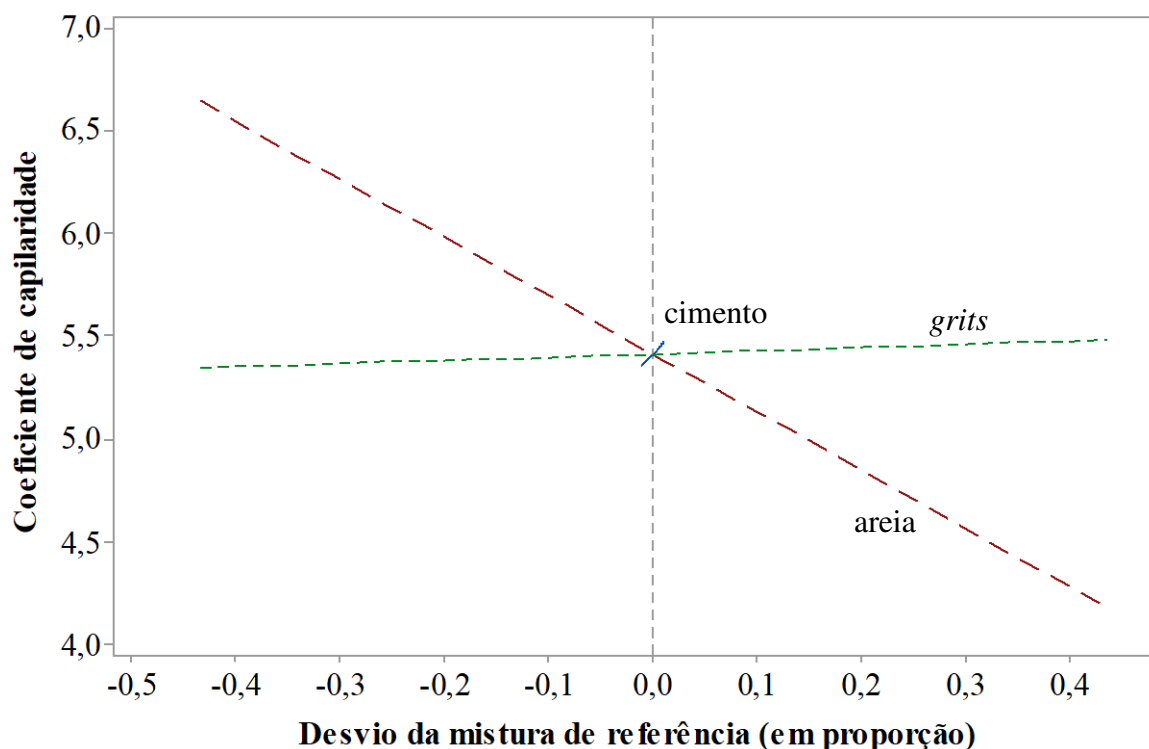
Os modelos estatísticos foram ajustados através dos dados apresentados na Tabela 8 e na Tabela 9. No Apêndice U é apresentado o resumo da análise estatística. Cabe ressaltar que apenas o modelo linear apresentou resultados significativos, (p -valor $< 0,05$). Todos os resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão apresentaram coeficientes de determinação acima de 70%.

Na Figura 18 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação ao coeficiente de capilaridade, partindo-se de uma mistura de referência.

Percebeu-se na Figura 18 a influência positiva do cimento no coeficiente de capilaridade das argamassas. O aclave menos acentuado e positivo da reta que representa misturas sobre o eixo do cimento demonstrou que incrementos de cimento na mistura da argamassa resultaram em ganhos no coeficiente de capilaridade, ou seja, as argamassas passaram a absorver mais água.

Na Figura 18 observou-se também que a variação do teor de *grits* na mistura, representada por uma reta praticamente horizontal em relação ao eixo das abscissas, causou um pequeno aumento no coeficiente de capilaridade, fazendo com que argamassas com maiores quantidades de *grits*, tendessem a absorver mais água. Notou-se também a influência negativa que a areia causou no coeficiente de capilaridade. O declive apresentado pela curva demonstrou que argamassa com maiores quantidades de areia tendem a apresentar coeficientes de capilaridade menores, ou seja, as argamassas passam a absorver menos água.

Figura 18 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; grits: 43%)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

A equação 10 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de determinação do coeficiente de capilaridade. A partir da análise da equação 10, o cimento mostrou-se o principal responsável pelo aumento do coeficiente de capilaridade. Com relação aos componentes areia e *grits* percebeu-se que ambos favorecem ao aumento da absorção, não podendo, no entanto, garantir que, estatisticamente, o componente *grits* fornece valores superiores ao da componente areia. Porém a substituição da areia pelo *grits* não prejudica a absorção das argamassas.

$$y = 10,083c + 3,805a + 5,05g \quad \text{Eq. 10}$$

onde: y é a resistência à compressão; c corresponde ao componente cimento; a corresponde à componente areia e g corresponde ao componente *grits*.

4.1.5. Densidade de massa aparente no estado fresco e endurecido e teor de ar incorporado

Na Tabela 10 é apresentado os resultados do ensaio de determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido, densidade aparente no estado fresco e teor de ar incorporado

para os 13 traços ensaiados na 1ª etapa. Os dados referentes a todos os traços destes ensaios podem ser observados no Apêndice G.

Tabela 10 – Resultado de densidade de massa aparente no estado endurecido, no estado fresco e teor de ar incorporado para os traços de argamassa da 1ª etapa

Traço	ρ_e (kg/m ³)	ρ_f (kg/m ³)	A (%)
Tc ₁₄ a ₄₃ g ₄₃	1785	1730	17
Tc ₁₃ a _{43,5} g _{43,5}	1790	1675	21
Tc _{14,5} a _{21,5} g ₆₄	1807	1761	15
Tc ₁₄ a ₈₆ g ₀	1798	1640	23
Tc ₁₅ a _{42,5} g _{42,5}	1875	1850	11
Tc ₁₄ a ₀ g ₈₆	1844	1842	11
Tc ₁₅ a ₈₅ g ₀	1795	1612	23
Tc ₁₅ a ₀ g ₈₅	1915	1842	10
Tc ₁₃ a ₈₇ g ₀	1676	1550	28
Tc _{13,5} a _{21,5} g ₆₅	1823	1845	12
Tc ₁₃ a ₀ g ₈₇	1804	1755	16
Tc _{14,5} a ₆₄ g _{21,5}	1875	1726	18
Tc _{13,5} a ₆₅ g _{21,5}	1746	1654	22

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Legenda: *c* corresponde ao componente cimento; *a* corresponde à componente areia e *g* corresponde ao componente *grits*

Os dados apresentados na Tabela 10 mostraram que os traços com maiores quantidades de *grits* tiveram resultados de densidade de massa aparente, no estado endurecido e fresco, superiores aos traços com maior quantidade de areia. Com isso, os traços com maiores quantidades de *grits* tendem a ter uma melhor compacidade de mistura, afetando os valores de resistência mecânica. Os traços que apresentaram os maiores resultados característicos para o ensaio para determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido e no estado fresco foram, respectivamente: traço 8 (cimento: 15,0%; areia: 0,0%; *grits*: 85,0%); traço 5 (cimento: 15,0%; areia: 42,5%; *grits*: 42,5%) e traço 12 (cimento: 14,5%; areia: 64,0%; *grits*: 21,5%) – traço 5 (cimento: 15,0%; areia: 42,5%; *grits*: 42,5%); traço 10 (cimento: 13,5%; areia: 21,5%; *grits*: 65,0%) e traço 8 (cimento: 15,0%; areia: 0,0%; *grits*: 85,0%). Já os que apresentaram os menores resultados característicos para o ensaio para determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido e no estado fresco foram, respectivamente: traço 1 (cimento: 14,0%; areia: 43,0%; *grits*: 43,0%); traço 13 (cimento: 13,5%; areia: 65,0%; *grits*: 21,5%) e traço 9 (cimento: 13,0%; areia: 87,0%; *grits*: 0,0%) – traço 4 (cimento: 14,0%; areia: 86,0%; *grits*: 0,0%); traço 7 (cimento: 15,0%; areia: 85,0%; *grits*: 0,0%) e traço 9 (cimento: 13,0%; areia: 87,0%; *grits*: 0,0%).

Com relação ao teor de ar incorporado, Tabela 10, percebe-se que os traços com maiores quantidades de *grits* possuem os menores valores de teor de ar incorporado. Com isso, a quantidade de bolhas de ar formada é menor, fazendo com que aumente a absorção por capilaridade. Todos os 13 traços estão entre as categorias M4 e M5 – D3 e D4 da classificação apresentada na tabela 2 e tabela 5 da ABNT NBR 13281:2005.

Os modelos estatísticos foram ajustados através dos dados apresentados na Tabela 10. No Apêndice U é apresentado o resumo da análise estatística. Cabe ressaltar que apenas o modelo linear apresentou resultados significativos, (p -valor $< 0,05$). Todos os resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão apresentaram coeficientes de determinação todos acima de 70%.

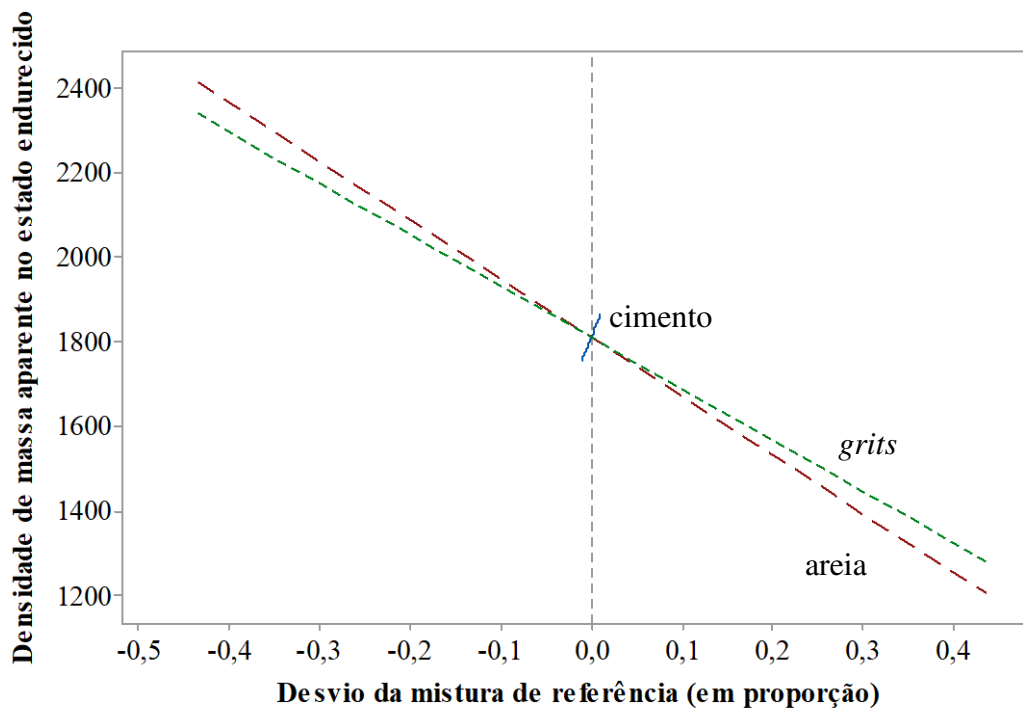
Na Figura 19 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação a densidade de massa aparente no estado endurecido, partindo-se de uma mistura de referência.

Percebeu-se na Figura 19 a influência fortemente positiva do cimento na densidade de massa aparente no estado endurecido das argamassas. O aclave acentuado e positivo da reta que representa misturas sobre o eixo do cimento demonstrou que incrementos discretos de cimento na mistura da argamassa resultaram em ganhos substanciais de densidade de massa aparente às argamassas.

Na Figura 19 observou-se também que a variação do teor de areia e *grits* na mistura teve uma influência negativa na variação da densidade de massa aparente no estado endurecido das argamassas. Porém notou-se que a curva que representa o *grits* foi mais suave que aquela que representa a areia, mostrando que o *grits* contribuiu mais para um aumento da densidade de massa aparente, ou seja, a substituição da areia pelo *grits* tende a melhorar a densidade de massa aparente no estado endurecido das argamassas.

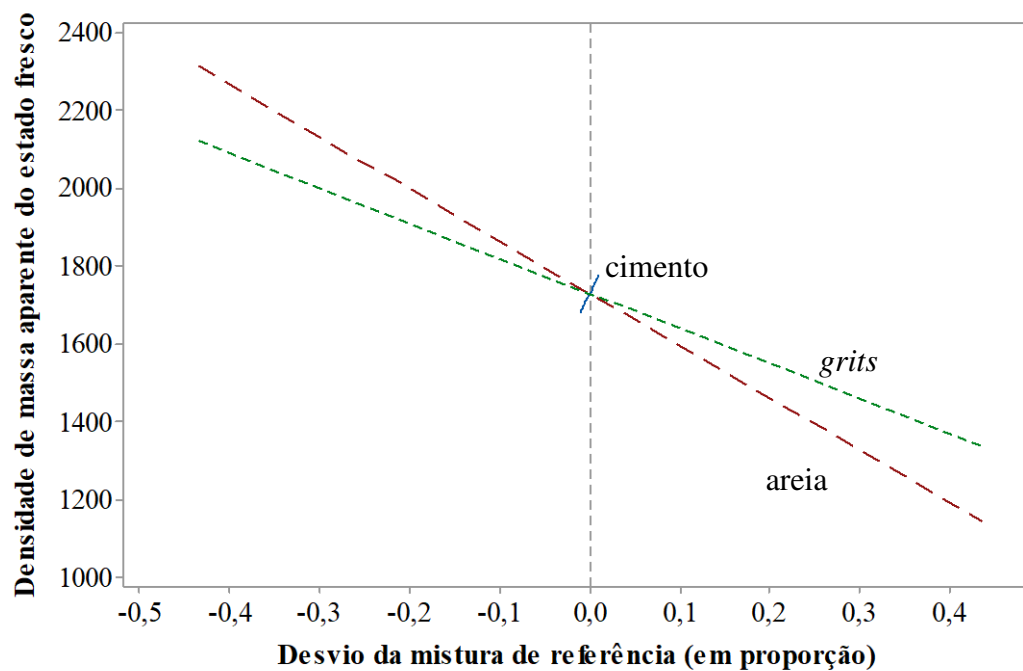
Na Figura 20 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação a densidade de massa aparente no estado fresco.

Figura 19 – Gráfico da resposta de componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; *grits*: 43%)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Figura 20 – Gráfico da resposta de componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da densidade de massa aparente no estado fresco, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; *grits*: 43%)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Percebeu-se na Figura 20 a influência fortemente positiva do cimento na densidade de massa aparente no estado fresco das argamassas. O aclave acentuado e positivo da reta que representa misturas sobre o eixo do cimento demonstrou que incrementos discretos de cimento na mistura da argamassa resultaram em ganhos substanciais de densidade de massa aparente às argamassas.

Na Figura 20 observou-se também que a variação do teor de areia e *grits* na mistura tem uma influência negativa na variação da densidade de massa aparente no estado fresco das argamassas. Porém notou-se que a curva que representa o *grits* foi mais suave que aquela que representa a areia, mostrando que o *grits* contribuiu mais para um aumento da densidade de massa aparente, ou seja, a substituição da areia pelo *grits* tendeu a melhorar a densidade de massa aparente no estado fresco das argamassas.

A equação 10 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de densidade de massa aparente no estado fresco. A equação 11 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido. A partir da análise da equação 10 e 11, o cimento mostrou-se o principal responsável pelo aumento do coeficiente de capilaridade. Com relação aos componentes areia e *grits* percebeu-se que ambos favorecem ao aumento da densidade, não podendo, no entanto, garantir que, estatisticamente, o componente *grits* fornece valores superiores ao da componente areia. Porém a substituição da areia pelo *grits* não prejudica a absorção das argamassas.

$$y = 5657,4c + 965,3a + 1214,8g \quad \text{Eq. 10}$$

$$y = 6374c + 1017a + 1117g \quad \text{Eq. 11}$$

onde: y é a densidade de massa no estado fresco e endurecido; c corresponde ao componente cimento; a corresponde à componente areia e g corresponde ao componente *grits*.

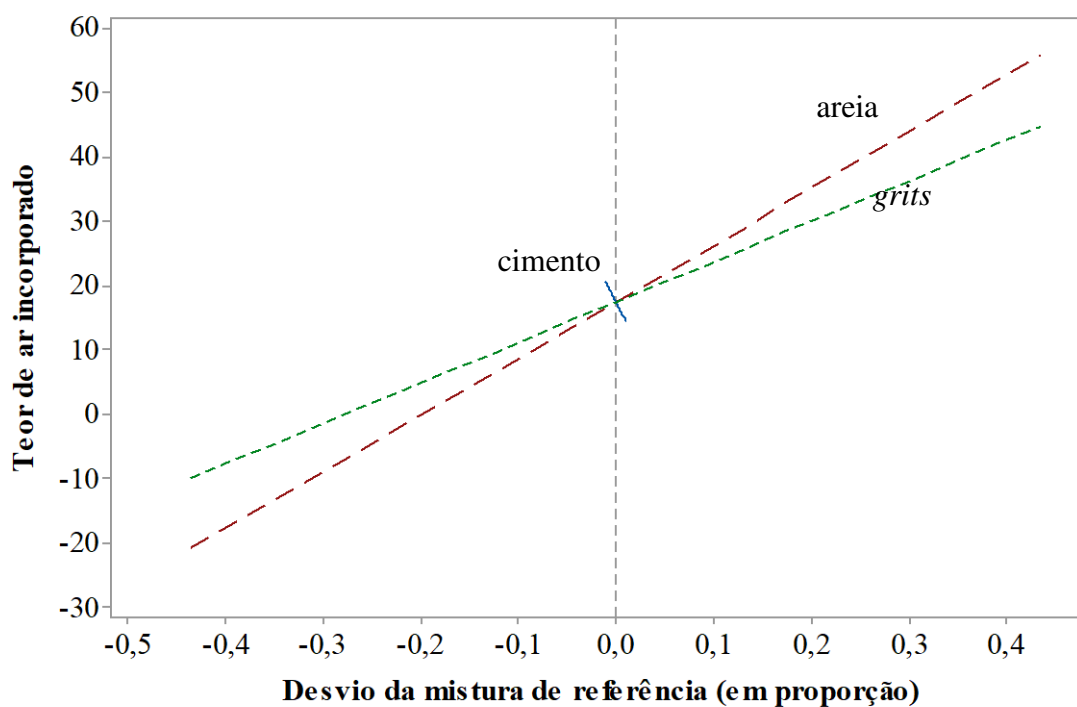
Na Figura 21 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação ao teor de ar incorporado.

Percebeu-se na Figura 21 a influência fortemente negativa do cimento no teor de ar incorporado das argamassas. O declive acentuado da reta que representa misturas sobre o eixo do cimento demonstrou que incrementos discretos de cimento na mistura da argamassa resultaram em perdas substanciais de teor de ar incorporado às argamassas.

Na Figura 21 observou-se também que a variação do teor de areia e *grits* na mistura teve uma influência positiva na variação do teor de ar incorporado das argamassas. Porém notou-se que

a curva que representa a areia foi mais suave que aquela que representa o *grits*, mostrando que a areia contribuiu mais para um aumento do teor de ar incorporado, ou seja, a substituição da areia pelo *grits* tendeu a piorar o teor de ar incorporado das argamassas.

Figura 21 – Estimativas das respostas de componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação do teor de ar incorporado, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; *grits*: 43%)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

A equação 12 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de teor de ar incorporado. A partir da análise da equação 12, o cimento mostrou-se o principal responsável pela diminuição do teor de ar incorporado. Com relação aos componentes areia e *grits* percebeu-se que ambos favorecem ao aumento do teor de ar incorporado, não podendo, no entanto, garantir que, estatisticamente, o componente *grits* fornece valores superiores ao da componente areia. Porém a substituição da areia pelo *grits* não prejudica a absorção das argamassas.

$$y = -246,7c + 67,7a + 53,2g \quad \text{Eq. 12}$$

onde: y é o teor de ar incorporado; c corresponde ao componente cimento; a corresponde à componente areia e g corresponde ao componente *grits*.

4.1.6. Módulo de elasticidade dinâmico

Na Tabela 11 é apresentado os resultados do ensaio de determinação do módulo de elasticidade para os 13 traços ensaiados na 1ª etapa. Os dados referentes a todos os traços deste ensaio podem ser observados no Apêndice I.

Tabela 11 – Resultado de módulo de elasticidade para os traços de argamassa da 1ª etapa

Traço	E_d (MPa)
Tc ₁₄ a ₄₃ g ₄₃	13513
Tc ₁₃ a _{43,5} g _{43,5}	13349
Tc _{14,5} a _{21,5} g ₆₄	13933
Tc ₁₄ a ₈₆ g ₀	11617
Tc ₁₅ a _{42,5} g _{42,5}	14418
Tc ₁₄ a ₀ g ₈₆	14216
Tc ₁₅ a ₈₅ g ₀	11503
Tc ₁₅ a ₀ g ₈₅	14626
Tc ₁₃ a ₈₇ g ₀	10675
Tc _{13,5} a _{21,5} g ₆₅	14414
Tc ₁₃ a ₀ g ₈₇	13195
Tc _{14,5} a ₆₄ g _{21,5}	13013
Tc _{13,5} a ₆₅ g _{21,5}	12262

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Legenda: *c* corresponde ao componente cimento; *a* corresponde à componente areia e *g* corresponde ao componente *grits*

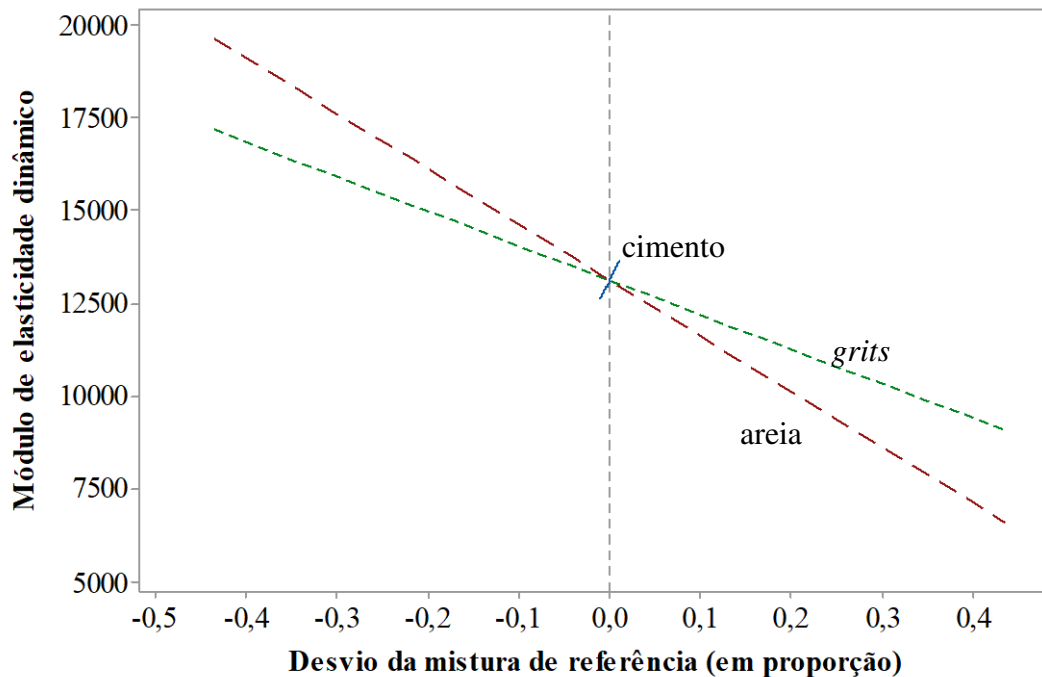
Os dados apresentados na Tabela 11 mostraram que os traços com maiores quantidades de *grits* tiveram resultados de módulo de elasticidade dinâmico superiores aos traços com maiores quantidades de areia. Com isso, os traços com maiores quantidades de *grits* tendem a ter uma maior rigidez, influenciando na resistência mecânica das argamassas. Os traços que apresentaram os maiores resultados característicos para o ensaio de determinação do módulo de elasticidade foram: traço 8 (cimento: 15,0%; areia: 0,0%; *grits*: 85,0%); traço 5 (cimento: 15,0%; areia: 42,5%; *grits*: 42,5%) e traço 10 (cimento: 13,5%; areia: 21,5%; *grits*: 65,0%). Já os traços que apresentaram os menores resultados característicos para o ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico foram: traço 9 (cimento: 13,0%; areia: 87,0%; *grits*: 0,0%); traço 7 (cimento: 15,0%; areia: 85,0%; *grits*: 0,0%) e traço 4 (cimento: 14,0%; areia: 86,0%; *grits*: 0,0%).

Os modelos estatísticos foram ajustados através dos dados apresentados na Tabela 11. No Apêndice U é apresentado o resumo da análise estatística. Cabe ressaltar que apenas o modelo

linear apresentou resultados significativos, (p -valor $< 0,05$), com coeficiente de determinação próximo a 80%.

Na Figura 22 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação ao módulo de elasticidade dinâmico.

Figura 22 – Estimativa das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico, tendo como mistura de referência (cimento: 14%; areia: 43%; *grits*: 43%)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Percebeu-se na Figura 22 a influência fortemente positiva do cimento no módulo de elasticidade dinâmico das argamassas. O aclave acentuado e positivo da reta que representa misturas sobre o eixo do cimento demonstrou que incrementos discretos de cimento na mistura da argamassa resultaram em ganhos substanciais de módulo de elasticidade às argamassas.

Na Figura 22 observou-se também que a variação do teor de areia e *grits* na mistura teve uma influência negativa na variação do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas. Porém notou-se que a curva que representa o *grits* foi mais suave que aquela que representa a areia, mostrando que o *grits* contribuiu mais para um aumento do módulo de elasticidade, ou seja, a substituição da areia pelo *grits* tendeu a melhorar o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.

A equação 13 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de módulo de elasticidade. A partir da análise da equação 13, o cimento mostrou-se o principal responsável

pelo aumento da resistência à compressão. Com relação aos componentes areia e *grits* percebeu-se que ambos favorecem ao aumento do módulo, não podendo, no entanto, garantir que, estatisticamente, o componente *grits* fornece valores superiores ao da componente areia. Porém a substituição da areia pelo *grits* não prejudica o módulo de elasticidade.

$$y = 55679c + 4583a + 7832g \quad \text{Eq. 13}$$

onde: y é a resistência à tração na flexão; c corresponde ao componente cimento; a corresponde à componente areia e g corresponde ao componente *grits*.

4.1.7. Pressuposições da análise de variância

No Apêndice B, Apêndice D, Apêndice F, Apêndice H e Apêndice J são apresentadas, graficamente, a verificação do atendimento às pressuposições da análise de variância realizada. Em nenhum dos casos estudados há indicações de que as suposições não devam ser aceitas.

4.1.8. Otimização das argamassas da 1ª etapa

A Tabela 12 e Tabela 13 apresentam o resumo dos resultados de desejabilidade para os traços das argamassas da 1ª etapa deste trabalho. Os resultados foram separados em duas tabelas pelo fato de apresentarem traços desejáveis distintos. Na Tabela 12 é apresentado o resultado para as seguintes propriedades: tração na flexão, compressão, densidade de massa no estado fresco e endurecido e módulo de elasticidade dinâmico. Na Tabela 13 é apresentado o resultado para as seguintes propriedades: absorção por capilaridade e absorção por imersão.

Na Tabela 12 é apresentado como traço desejável o seguinte: cimento: 0,15; areia: 0,00 e *grits*: 0,85. Já na Tabela 13 apresenta-se como traço otimizado o seguinte: cimento: 0,13; areia: 0,87 e *grits*: 0,00. Na Tabela 13 apresentou-se, em seu traço otimizado, a areia como seu componente agregado miúdo. Já na Tabela 12 apresentou-se, em seu traço otimizado, o *grits* como seu componente agregado miúdo.

Os menores valores de absorção encontrados na 1ª etapa deste trabalho, encontrados nos traços com maiores quantidades de areia, foram próximos aos valores encontrados por Alvares (2012) utilizando o *grits in natura* (grande quantidade de material fino). O que pode indicar que o aumento de materiais finos pode melhorar os valores de absorção. Outro fator relevante é o fato de os valores de absorção por capilaridade, representado pelo seu coeficiente de capilaridade, estão muito próximos pela classificação apresentada na tabela 4 da ABNT NBR 13281:2005.

Isso posto, o traço otimizado da 1ª etapa deste trabalho foi o seguinte: cimento: 0,15, areia: 0,00 e *grits*: 0,85.

Tabela 12 – Resumo da desejabilidade para os traços de argamassa da 1ª etapa considerando as seguintes propriedades: tração na flexão, compressão, densidade de massa no estado fresco e endurecido e módulo de elasticidade dinâmico

Propriedades das argamassas	Desejabilidade individual	Desejabilidade otimizada	Traço otimizado
Tração aos 3 dias	0,805330		
Tração aos 7 dias	1,000000		
Tração aos 14 dias	1,000000		
Tração aos 28 dias	1,000000		
Compressão aos 3 dias	1,000000		
Compressão aos 7 dias	1,000000		Cimento: 0,15
Compressão aos 14 dias	1,000000	0,980500	Areia: 0,00
Compressão aos 28 dias	1,000000		<i>Grits</i> : 0,85
Densidade de massa no estado fresco	1,000000		
Densidade de massa no estado endurecido	1,000000		
Módulo de elasticidade dinâmico	1,000000		

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Tabela 13 – Resumo da desejabilidade para os traços de argamassa da 1ª etapa considerando as seguintes propriedades: absorção por capilaridade e absorção por imersão

Propriedades das argamassas	Desejabilidade individual	Desejabilidade otimizada	Traço otimizado
Absorção aos 10 min	0,75917		
Absorção aos 90 min	0,90358		
Coefficiente de capilaridade	0,79305	0,8176	Cimento: 0,13
Absorção por imersão	0,76795		Areia: 0,87
Índice de vazios	0,87475		<i>Grits</i> : 0,00

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

4.2. Caracterização das argamassas – 2ª etapa

Na Tabela 14 é apresentado os traços que foram ensaiados na segunda etapa. Ressalta-se que os traços foram gerados partindo-se do traço desejável encontrado no item 4.1.8 e com a limitação da componente cal apresentada no item 3.2.

Tabela 14 – Traços a serem ensaiados nas argamassas da 2ª etapa

Traço	Cimento + <i>grits</i>	Cal
Tc/g _{92,26} /ca _{7,74}	0,9226	0,0774
Tc/g ₁₀₀ /ca ₀	1,0000	0,0000
Tc/g _{97,42} /ca _{2,58}	0,9742	0,0258
Tc/g _{94,84} /ca _{5,16}	0,9484	0,0516
Tc/g _{89,68} /ca _{10,32}	0,8968	0,1032

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Legenda: *c* corresponde ao componente cimento; *g* corresponde ao componente *grits* e *ca* corresponde à componente cal

4.2.1. Caracterização do índice de consistência

Na Tabela 15 são apresentados os resultados de determinação do índice de consistência (*flow table*) para os traços de argamassa ensaiados na segunda etapa deste trabalho.

Tabela 15 – Resultado de determinação do índice de consistência (*flow table*) – argamassas da 2ª etapa

	Índice de consistência			Traço				
	Média	Mínimo	Máximo	Cimento	Cal	<i>Grits</i>	Água	Aditivo (%)
Tc/g _{92,26} /ca _{7,74}	253	252	253	1,00	0,56	5,67	1,30	1,00
Tc/g ₁₀₀ /ca ₀	262	261	264	1,00	0,00	3,67	1,30	1,00
Tc/g _{97,42} /ca _{2,58}	257	256	258	1,00	0,18	5,67	1,30	1,00
Tc/g _{94,84} /ca _{5,16}	254	253	255	1,00	0,36	5,67	1,30	1,00
Tc/g _{89,68} /ca _{10,32}	251	250	251	1,00	0,77	5,67	1,30	1,00

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

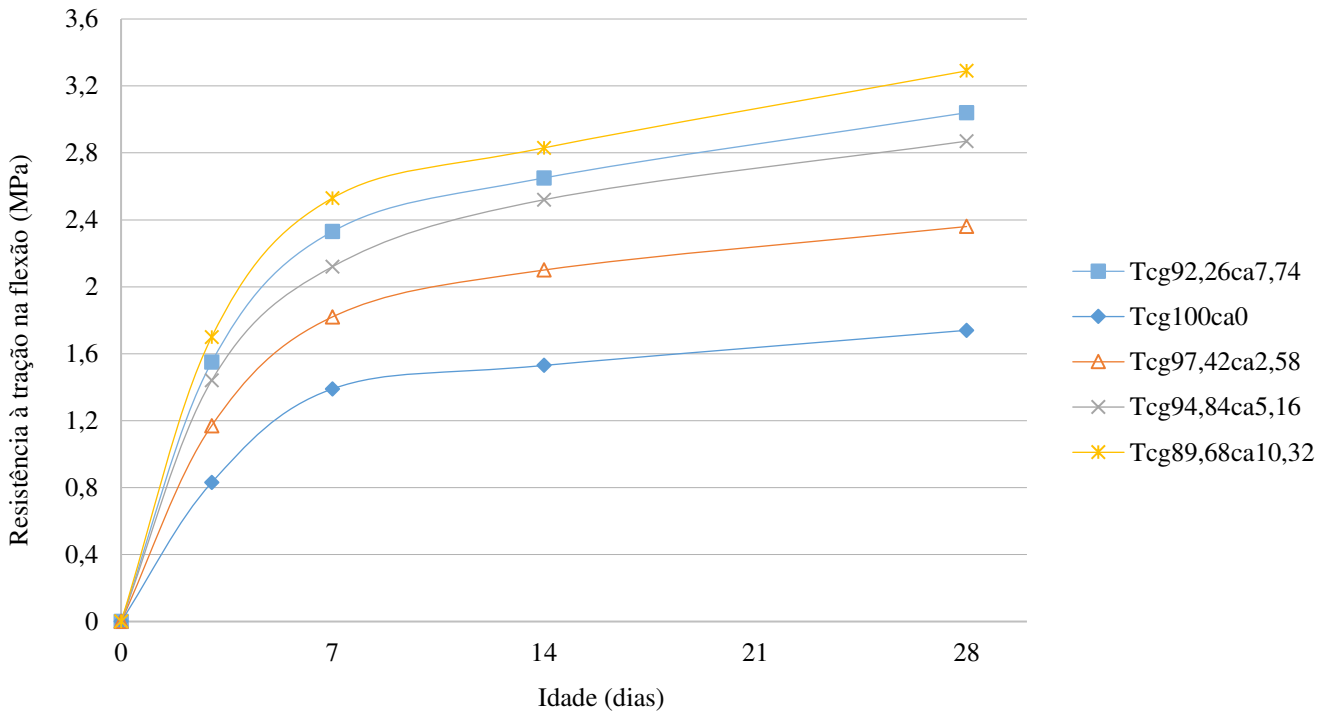
Legenda: *c* corresponde ao componente cimento; *g* corresponde ao componente *grits* e *ca* corresponde à componente cal

Na Tabela 15 percebeu-se que os traços com os maiores quantitativos de cal apresentaram os maiores valores individuais de índice de consistência *flow table*. No entanto, utilizou-se o mesmo quantitativo de aditivo do traço desejável da primeira etapa, no intuito que o índice de consistência dos traços da segunda etapa fique dentro do limite estabelecido.

4.2.2. Resistência à tração na flexão

Na Figura 23 é apresentado o resultado do ensaio de resistência à tração na flexão para os 5 traços em um gráfico de resistência à tração na flexão (MPa) pela idade de rompimento dos corpos de prova (dias). Os resultados individuais referentes a todos os traços deste ensaio podem ser observados no Apêndice K.

Figura 23 – Gráfico da resistência à tração na flexão pelas idades de ensaio das argamassas analisadas na 2ª etapa



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Legenda: *c* corresponde ao componente cimento; *g* corresponde ao componente *grits* e *ca* corresponde à componente cal

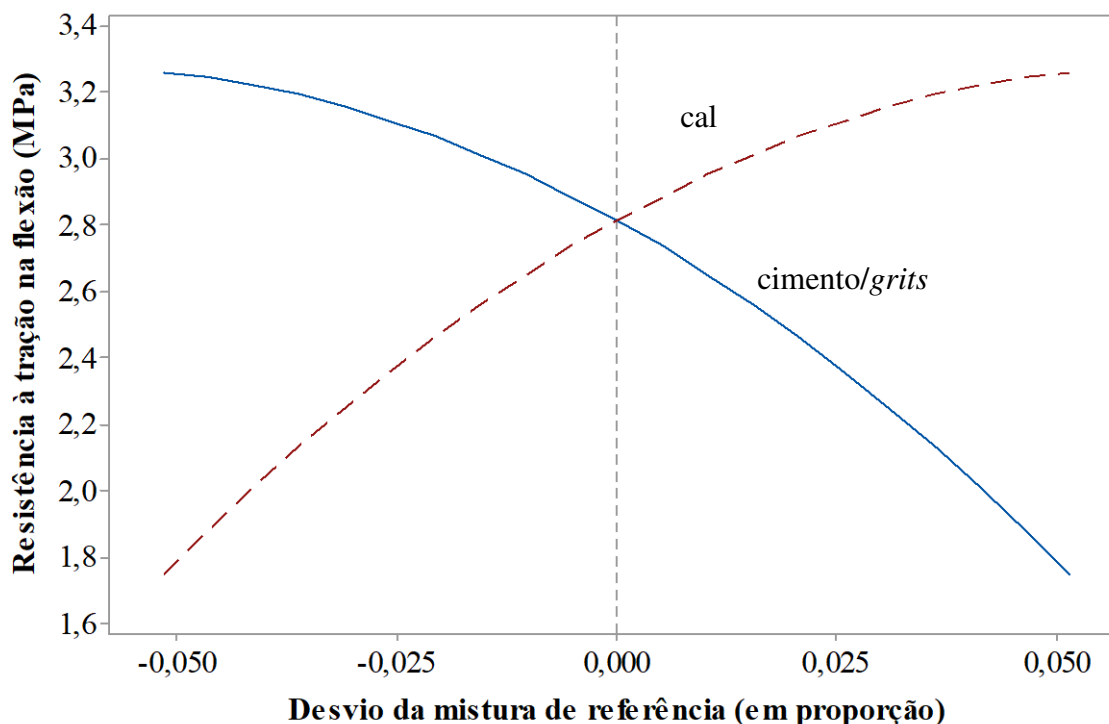
Após a análise dos dados apresentados na Figura 23, observa-se que os traços com maior teor da mistura cimento/*grits* tiveram os maiores resultados de resistência à tração na flexão. Os traços que apresentaram os maiores resultados característicos foram: traço 18 (cimento/*grits*: 89,68%; cal: 10,32%) e traço 14 (cimento/*grits*: 92,26%; cal: 7,74%). Já os traços que apresentaram os menores resultados característicos foram: traço 15 (cimento/*grits*: 100,0%; cal: 0,0%) e traço 16 (cimento/*grits*: 97,42%; cal: 2,58%). Todos os 5 traços estão na categoria R3 e R4 da classificação apresentada na tabela 3 da ABNT NBR 13281:2005.

Os modelos estatísticos foram ajustados através dos dados apresentados na Figura 23. No Apêndice U é apresentado o resumo da análise estatística. Cabe ressaltar que o modelo

quadrático apresentou resultados significativos, (p -valor < 0,05). Todas as quatro idades de ensaio (3, 7, 14 e 28 dias) apresentaram coeficientes de determinação acima de 99%.

Na Figura 24 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação a resistência à tração na flexão.

Figura 24 – Estimativa das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da resistência à tração na flexão aos 28 dias, tendo como mistura de referência (cimento/*grits*: 94,84%; cal: 5,16%)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Percebe-se na Figura 24, que a princípio, o aumento da componente cal aumentaria os resultados de resistência à flexão, e o aumento do componente cimento/*grits* diminuiria os resultados. No entanto, observando a Equação 14, percebe-se que na verdade acontece o contrário. O aumento da componente cal contribui negativamente para o crescimento da resistência à tração na flexão, enquanto o aumento do componente cimento/*grits* aumenta os resultados de resistência à tração na flexão. Na realidade o sinergismo entre a cal e o cimento/*grits* é fundamental pelo crescimento da resistência à tração na flexão. Na Figura 24 as curvas em formato côncavo demonstram esse sinergismo encontrado.

A equação 14 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de resistência à tração na flexão aos 28 dias. A partir da análise da equação 14, o cimento mostrou-se o principal responsável pelo aumento da resistência à tração na flexão. Com relação à componentes cal

percebeu-se que a mesma influência negativamente o aumento da resistência. Notou-se também o sinergismo presente entre a o cimento/*grits* e a cal.

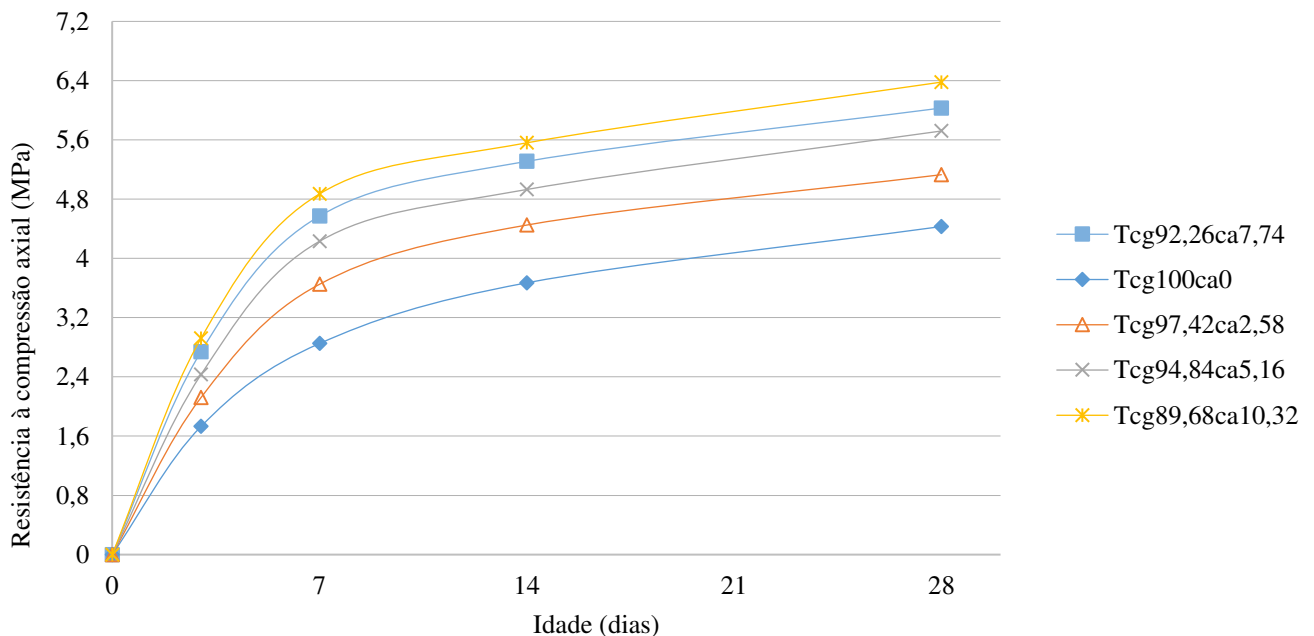
$$y = 1,75cg - 87,53ca + 115,89cgca \quad \text{Eq. 14}$$

onde: y é a resistência à tração na flexão; c corresponde ao componente cimento; g corresponde ao componente *grits* e ca corresponde à componente cal.

4.2.3. Resistência à compressão

Na Figura 25 é apresentado o resultado do ensaio de resistência à compressão para os 5 traços, porém em um gráfico de resistência à compressão (MPa) pela idade de rompimento dos corpos de prova (dias). Os resultados individuais referentes a todos os traços deste ensaio podem ser observados no Apêndice M.

Figura 25 – Gráfico da resistência à compressão pelas idades de ensaio das argamassas analisadas na 2ª etapa



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Legenda: c corresponde ao componente cimento; g corresponde ao componente *grits* e ca corresponde à componente cal

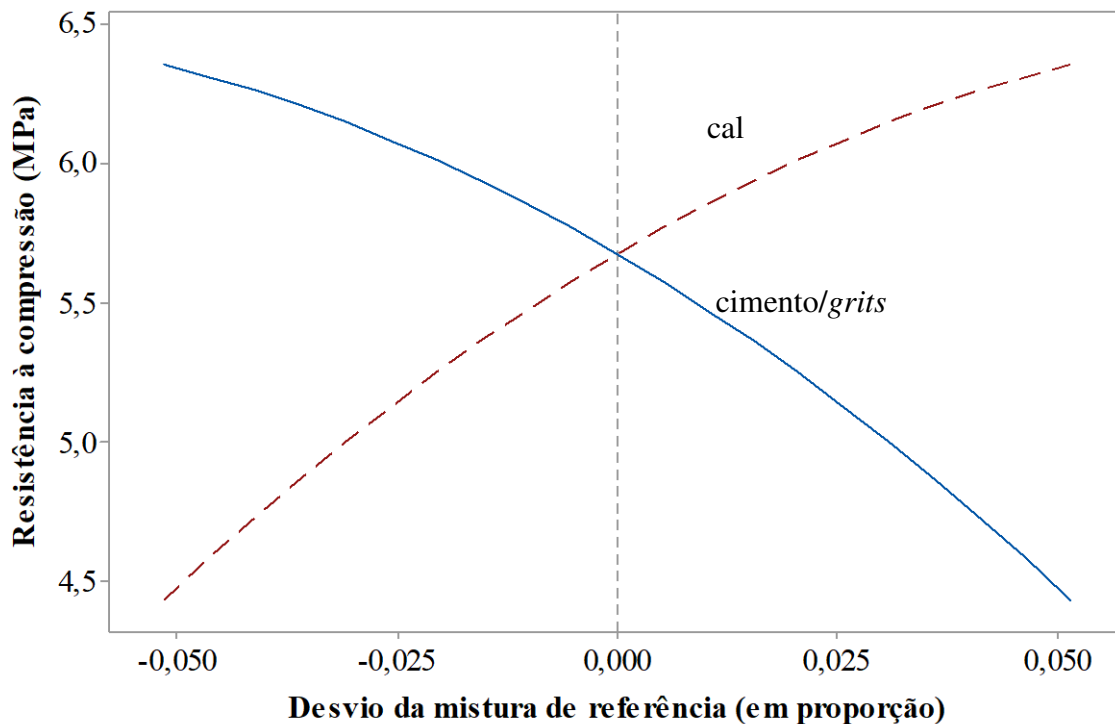
Assim como aconteceu nos resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, a análise dos dados apresentados na Figura 25, também mostraram que os traços com maiores teores de cimento/*grits* tiveram os maiores resultados de resistência à compressão. Os traços que apresentaram os maiores resultados característicos foram: traço 18 (cimento/*grits*: 89,68%; cal: 10,32%) e traço 14 (cimento/*grits*: 92,26%; cal: 7,74%). Já os traços que apresentaram os

menores resultados característicos foram: traço 15 (cimento/*grits*: 100,0%; cal: 0,0%) e traço 16 (cimento/*grits*: 97,42%; cal: 2,58%). Todos os 5 traços estão entre as categorias P4 e P5 da classificação apresentada na tabela 1 da ABNT NBR 13281:2005.

Os modelos estatísticos foram ajustados através dos dados apresentados na Figura 25. No Apêndice U é apresentado o resumo da análise estatística. Cabe ressaltar que o modelo quadrático apresentou resultados significativos, (p -valor < 0,05). Todas as quatro idades de ensaio (3, 7, 14 e 28 dias) apresentaram coeficientes de determinação acima de 99%.

Na Figura 26 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação a resistência à compressão.

Figura 26 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da resistência à compressão aos 28 dias, tendo como mistura de referência (cimento/*grits*: 94,84%; cal: 5,16%)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Percebe-se na Figura 25, que a princípio, o aumento da componente cal aumentaria os resultados de resistência à compressão, e o aumento do componente cimento/*grits* diminuiria os resultados. No entanto, observando a Equação 15, percebe-se que na verdade acontece o contrário. O aumento da componente cal contribui negativamente para o crescimento da resistência à compressão, enquanto o aumento do componente cimento/*grits* aumenta os resultados de resistência à compressão. Na realidade o sinergismo entre a cal e o cimento/*grits*

é fundamental pelo crescimento da resistência à compressão. Na Figura 25 as curvas em formato côncavo demonstram esse sinergismo encontrado.

A equação 15 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias. A partir da análise da equação 15, o cimento mostrou-se o principal responsável pelo aumento da resistência à compressão. Com relação à componentes cal percebeu-se que a mesma influenciava negativamente o aumento da resistência. Notou-se também o sinergismo presente entre a o cimento/*grits* e a cal.

$$y = 4,44cg - 71,27ca + 105,16cgca \quad \text{Eq. 15}$$

onde: y é a resistência à compressão; c corresponde ao componente cimento; g corresponde ao componente *grits* e ca corresponde à componente cal.

4.2.4. Absorção de água por capilaridade e absorção por imersão

Na Tabela 16 é apresentado o resultado do ensaio de absorção de água por capilaridade para os 5 traços ensaiados na 2ª etapa. Na Tabela 17 é apresentado o resultado do ensaio de absorção de água por imersão para os 5 traços. Os dados referentes a todos os traços deste ensaio podem ser observados no Apêndice O.

Tabela 16 – Resultado de absorção de água aos 10 e 90 minutos e coeficiente de capilaridade para os traços de argamassa da 2ª etapa

Traço	A_{10} (g/cm ²)	A_{90} (g/cm ²)	C (g/(dm ² ×min ^{1/2}))
Tc/g _{92,26} /ca _{7,74}	0,036	0,058	0,39
Tc/g ₁₀₀ /ca ₀	0,333	0,573	4,20
Tc/g _{97,42} /ca _{2,58}	0,133	0,229	1,59
Tc/g _{94,84} /ca _{5,16}	0,041	0,071	0,50
Tc/g _{89,68} /ca _{10,32}	0,025	0,043	0,31

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Legenda: c corresponde ao componente cimento; g corresponde ao componente *grits* e ca corresponde à componente cal

Tabela 17 – Resultado de absorção por imersão e índice de vazios dos traços de argamassa da 2ª etapa

Traço	A_{imer} (%)	IV (%)
Tc/g _{92,26} /ca _{7,74}	1,56	3,07
Tc/g ₁₀₀ /ca ₀	16,45	29,22
Tc/g _{97,42} /ca _{2,58}	6,23	11,70
Tc/g _{94,84} /ca _{5,16}	2,04	3,99
Tc/g _{89,68} /ca _{10,32}	1,22	2,41

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Legenda: *c* corresponde ao componente cimento; *g* corresponde ao componente *grits* e *ca* corresponde à componente cal

Os dados apresentados na Tabela 16 mostram que os traços com maiores quantidades de *grits* tiveram os menores índices de absorção de água, demonstrando que a cal é possivelmente a responsável pelo fechamento dos poros da argamassa. Os dados da Tabela 17 reforçam esta ideia, mostrando a importância da cal na mistura. Os traços que apresentaram os maiores resultados característicos foram: traço 15 (cimento/*grits*: 100,0%; cal: 0,0%) e traço 16 (cimento/*grits*: 97,42%; cal: 2,58%). Já os traços que apresentaram os menores resultados característicos foram: traço 18 (cimento/*grits*: 89,68%; cal: 10,32%) e traço 14 (cimento/*grits*: 92,26%; cal: 7,74%). Todos os 5 traços estão entre as categorias C1 e C2 da classificação apresentada na tabela 4 da ABNT NBR 13281:2005.

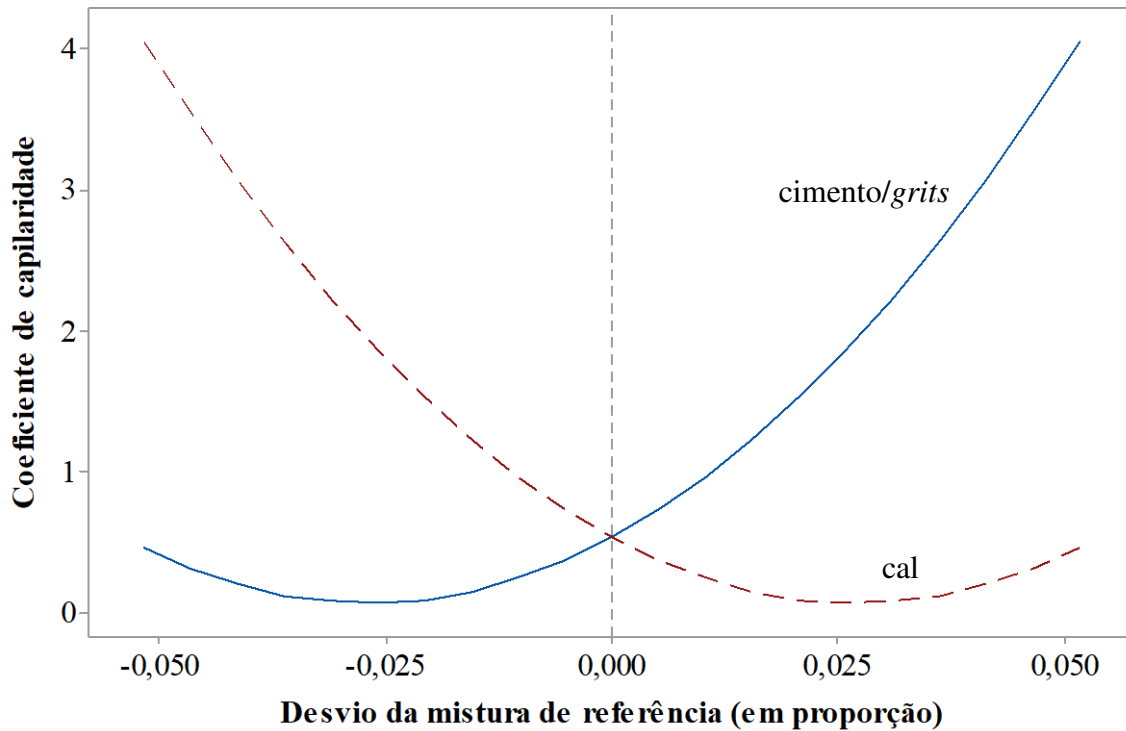
Os modelos estatísticos foram ajustados através dos dados apresentados na Tabela 16 e na Tabela 17. No Apêndice U é apresentado o resumo da análise estatística. Cabe ressaltar que o modelo quadrático apresentou resultados significativos, (p -valor < 0,05). Todos os resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão apresentaram resultados de coeficiente de determinação significativos (todos acima de 97%).

Na Figura 27 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação ao coeficiente de capilaridade.

Percebeu-se na Figura 27, que a princípio, o aumento da componente cal diminuiria os resultados do coeficiente de capilaridade, e o aumento do componente cimento/*grits* aumentaria os resultados. No entanto, observando a Equação 16, percebeu-se que na verdade acontece o contrário. O aumento da componente cal contribuiu positivamente para o crescimento do coeficiente de capilaridade, enquanto o aumento do componente cimento/*grits* também aumenta os resultados do coeficiente de capilaridade. Na realidade o antagonismo entre a cal e o cimento/*grits* é fundamental pelo decréscimo do coeficiente de capilaridade, fazendo com

que as argamassas absorvam quantidades menores de água. Na Figura 27 as curvas em formato convexo demonstram esse antagonismo encontrado.

Figura 27 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade, tendo como mistura de referência (cimento/*grits*: 94,84%; cal: 5,16%)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

A equação 16 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de determinação do coeficiente de capilaridade. A partir da análise da equação 16, o cimento e a cal mostraram-se como os principais responsáveis pelo aumento da absorção de água. Notou-se também o antagonismo presente entre a o cimento/*grits* e a cal.

$$y = 4,1cg + 550,5ca - 648,1cgca \quad \text{Eq. 16}$$

onde: y é o coeficiente de capilaridade; c corresponde ao componente cimento; g corresponde ao componente *grits* e ca corresponde à componente cal.

4.2.5. Densidade de massa aparente no estado fresco e endurecido

Na Tabela 18 é apresentado os resultados do ensaio de determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido e densidade aparente no estado fresco para os 5 traços ensaiados

na 2ª etapa. Os dados referentes a todos os traços destes ensaios podem ser observados no Apêndice Q.

Tabela 18 – Resultado de densidade de massa aparente no estado endurecido para os traços de argamassa da 2ª etapa

Traço	ρ_e (kg/m ³)	ρ_f (kg/m ³)
Tc/g _{92,26} /ca _{7,74}	1899	1843
Tc/g ₁₀₀ /ca ₀	1897	1842
Tc/g _{97,42} /ca _{2,58}	1915	1860
Tc/g _{94,84} /ca _{5,16}	1916	1861
Tc/g _{89,68} /ca _{10,32}	1873	1817

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

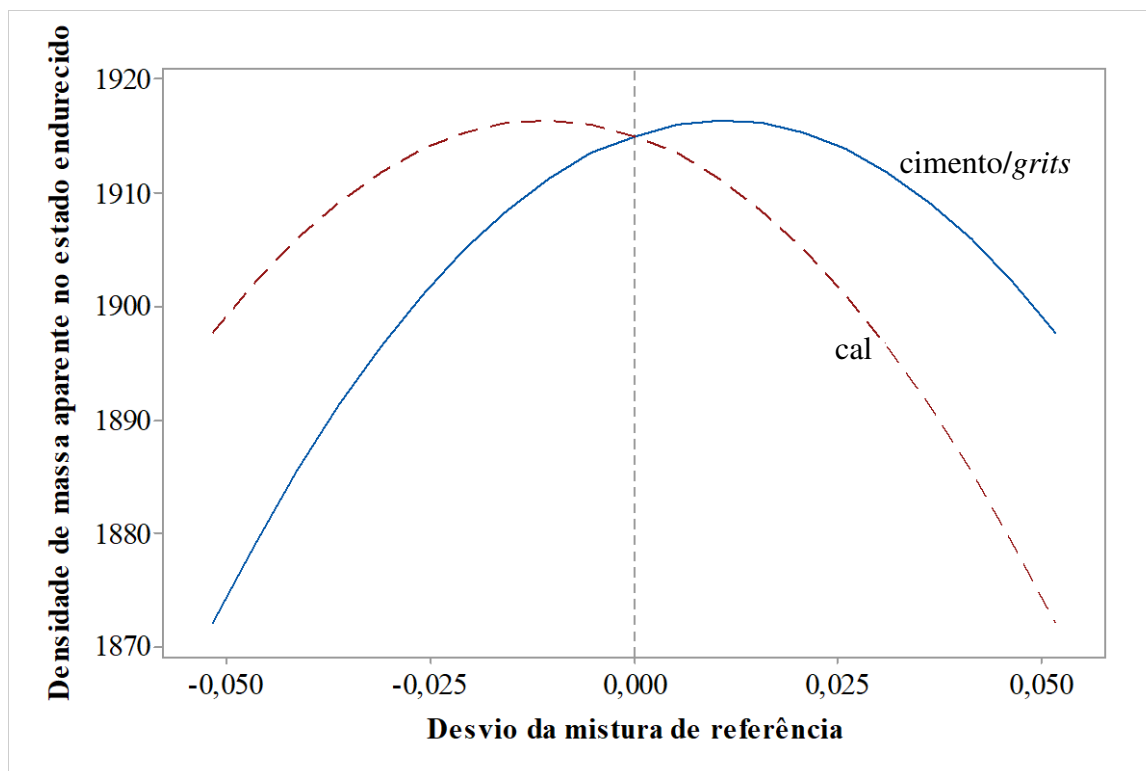
Legenda: *c* corresponde ao componente cimento; *g* corresponde ao componente *grits* e *ca* corresponde à componente cal

Os dados apresentados na Tabela 18 mostram que os traços com maiores quantidades de cimento/*grits* tiveram resultados de densidade de massa aparente, no estado endurecido e fresco, superiores aos traços com maior quantidade de cal. Os traços que apresentaram os maiores resultados característicos para o ensaio para determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido e no estado fresco foram: traço 16 (cimento/*grits*: 97,42%; cal: 2,58%) e traço 17 (cimento/*grits*: 94,84%; cal: 5,16%). Já os que apresentaram os menores resultados característicos para o ensaio para determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido e no estado fresco foram: traço 18 (cimento/*grits*: 89,68%; cal: 10,32%) e traço 15 (cimento/*grits*: 100,0%; cal: 0,0%). Todos os 5 traços estão entre as categorias M5 e M6 – D5 da classificação apresentada na tabela 2 e tabela 5 da ABNT NBR 13281:2005.

Os modelos estatísticos foram ajustados através dos dados apresentados na Tabela 18. No Apêndice U é apresentado o resumo da análise estatística. Cabe ressaltar que o modelo quadrático apresentou resultados significativos, (p-valor < 0,05). Todos os resultados dos ensaios para determinação de massa aparente no estado endurecido e no estado fresco apresentaram resultados de coeficientes de determinação significativos (todos acima de 99 %).

Na Figura 28 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação a densidade de massa aparente no estado endurecido.

Figura 28 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido, tendo como mistura de referência (cimento/*grits*: 94,84%; cal: 5,16%)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2017

Percebeu-se na Figura 28, que a princípio, tanto o aumento da componente cal como do componente cimento/*grits* fossem contribuir para o decréscimo da densidade de massa aparente no estado endurecido. No entanto, observando a Equação 17, percebeu-se que na verdade acontece o contrário. O aumento da componente cal contribuiu negativamente para o crescimento da densidade de massa aparente, enquanto o aumento do componente cimento/*grits* também aumentou os resultados da densidade de massa aparente. Na realidade o sinergismo entre a cal e o cimento/*grits* é fundamental pelo crescimento da densidade de massa aparente no estado endurecido. Na Figura 28 as curvas em formato cômicas demonstram esse sinergismo encontrado.

A equação 17 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de densidade de massa no estado endurecido. A partir da análise da equação 17, o cimento mostrou-se o principal responsável pelo aumento da densidade. Com relação à componentes cal percebeu-se que a mesma influenciou negativamente o aumento da resistência. Notou-se também o sinergismo presente entre a o cimento/*grits* e a cal.

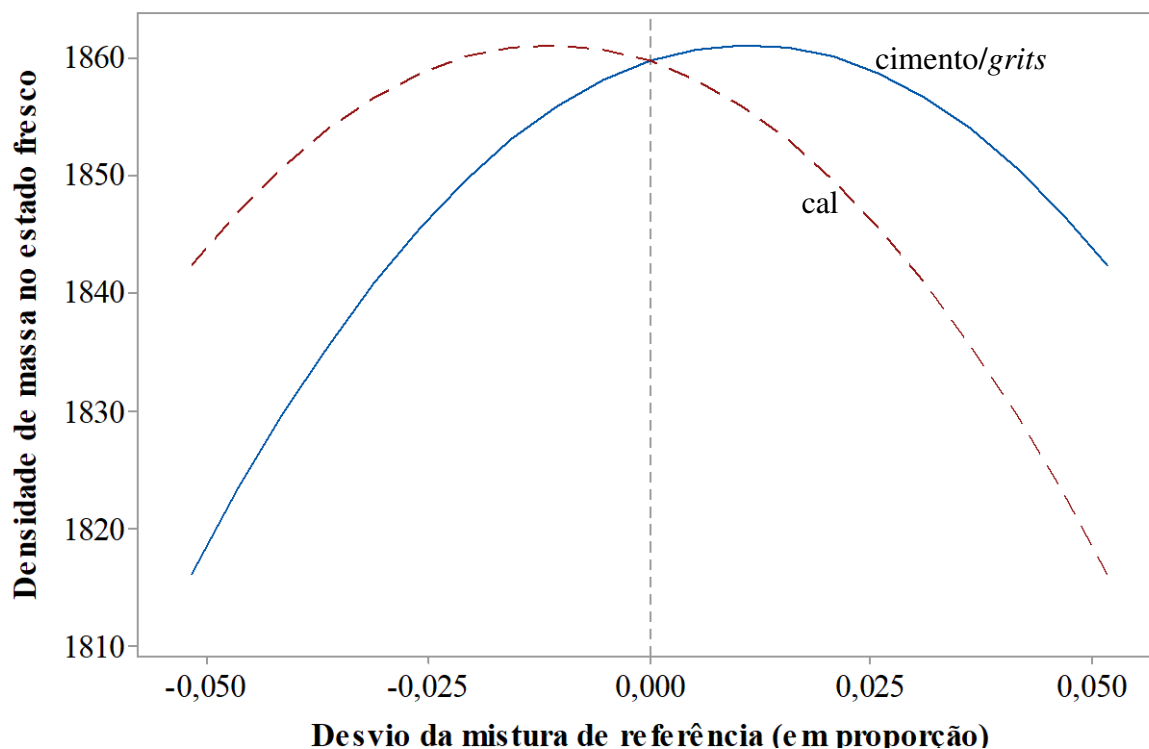
$$y = 1898cg - 8551ca + 11375cgca$$

Eq. 17

onde: y é a densidade de massa no estado endurecido; c corresponde ao componente cimento; g corresponde ao componente *grits* e ca corresponde à componente cal.

Na Figura 29 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação a densidade de massa aparente no estado fresco.

Figura 29 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação da densidade de massa aparente no estado fresco, tendo como mistura de referência (cimento/*grits*: 94,84%; cal: 5,16%)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Percebeu-se na Figura 29, que a princípio, tanto o aumento da componente cal como do componente cimento/*grits* fossem contribuir para o decréscimo da densidade de massa aparente no estado fresco. No entanto, observando a Equação 18, percebe-se que na verdade acontece o contrário. O aumento da componente cal contribuiu negativamente para o crescimento da densidade de massa aparente, enquanto o aumento do componente cimento/*grits* também aumenta os resultados da densidade de massa aparente. Na realidade o sinergismo entre a cal e o cimento/*grits* é fundamental pelo crescimento da densidade de massa aparente no estado fresco. Na Figura 29 as curvas em formato côncavo demonstram esse sinergismo encontrado.

A equação 18 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de densidade de massa no estado fresco. A partir da análise da equação 18, o cimento mostrou-se o principal responsável pelo aumento da densidade. Com relação à componentes cal percebeu-se que a

mesma influência negativamente o aumento da resistência. Notou-se também o sinergismo presente entre a o cimento/*grits* e a cal.

$$y = 1842cg - 8688ca + 11459cgca \quad \text{Eq. 18}$$

onde: y é a densidade de massa no estado fresco; c corresponde ao componente cimento; g corresponde ao componente *grits* e ca corresponde à componente cal.

4.2.6. Módulo de elasticidade dinâmico

Na Tabela 19 é apresentado os resultados do ensaio de determinação do módulo de elasticidade para os 5 traços ensaiados na 2ª etapa. Os dados referentes a todos os traços deste ensaio podem ser observados no Apêndice S.

Tabela 19 – Resultado de módulo de elasticidade para os traços de argamassa da 2ª etapa

Traço	E_d (MPa)
Tc/g _{92,26} /ca _{7,74}	19413
Tc/g ₁₀₀ /ca ₀	14425
Tc/g _{97,42} /ca _{2,58}	16603
Tc/g _{94,84} /ca _{5,16}	18480
Tc/g _{89,68} /ca _{10,32}	19448

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Legenda: c corresponde ao componente cimento; g corresponde ao componente *grits* e ca corresponde à componente cal

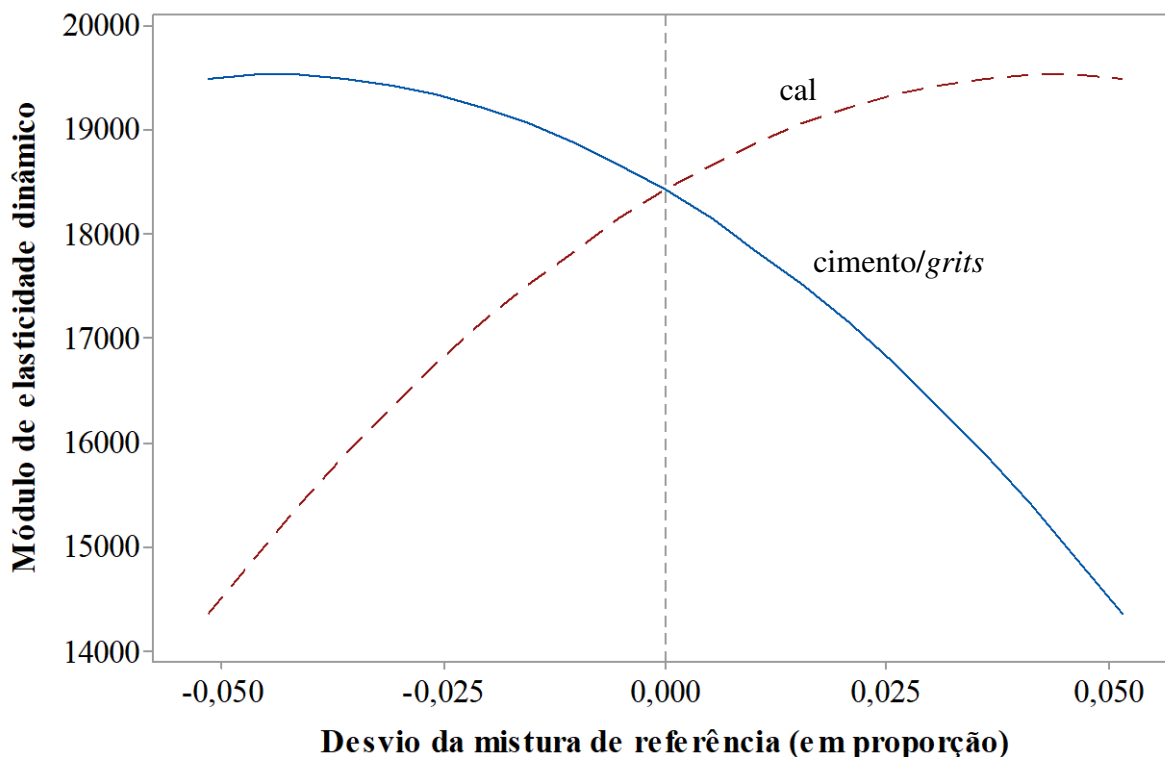
Os dados apresentados na Tabela 19 mostram que os traços com maiores quantidades de cimento/*grits* tiveram resultados de módulo de elasticidade dinâmico superiores aos traços com maior quantidade de cal. Com isso, os traços com maiores quantidades de cimento/*grits* tendem a ter uma maior rigidez, influenciando na resistência mecânica da argamassa. Os traços que apresentaram os maiores resultados característicos para o ensaio de determinação do módulo de elasticidade foram: traço 18 (cimento/*grits*: 89,68%; cal: 10,32%) e traço 17 (cimento/*grits*: 92,26%; cal: 7,74%). Já os traços que apresentaram os menores resultados característicos foram: traço 15 (cimento/*grits*: 100,0%; cal: 0,0%) e traço 16 (cimento/*grits*: 97,42%; cal: 2,58%).

Os modelos estatísticos foram ajustados através dos dados apresentados na Tabela 19. No Apêndice U é apresentado o resumo da análise estatística. Cabe ressaltar que apenas o modelo

quadrático apresentou resultados significativos, (p -valor $< 0,05$), com coeficiente de determinação acima de 99%.

Na Figura 30 é apresentado o gráfico da influência que cada componente teve na mistura com relação ao módulo de elasticidade dinâmico.

Figura 30 – Estimativas das respostas dos componentes individuais partindo do ponto central ou centroide do delineamento – ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico, tendo como mistura de referência (cimento/*grits*: 94,84 %; cal: 5,16 %)



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Percebeu-se na Figura 30, que a princípio, o aumento da componente cal aumentaria os resultados de módulo de elasticidade, e o aumento do componente cimento/*grits* diminuiria os resultados. No entanto, observando a Equação 19, percebe-se que na verdade acontece o contrário. O aumento da componente cal contribui negativamente para o crescimento do módulo de elasticidade, enquanto o aumento do componente cimento/*grits* aumenta os resultados do módulo de elasticidade. Na realidade o sinergismo entre a cal e o cimento/*grits* é fundamental pelo crescimento do módulo de elasticidade dinâmico. Na Figura 30 as curvas em formato côncavo demonstram esse sinergismo encontrado.

A equação 19 apresenta o modelo de misturas do experimento para o ensaio de módulo de elasticidade. A partir da análise da equação 19, o cimento mostrou-se o principal responsável pelo aumento da densidade. Com relação à componentes cal percebeu-se que a mesma

influência negativamente o aumento da resistência. Notou-se também o sinergismo presente entre a o cimento/*grits* e a cal.

$$y = 14355cg - 439118ca + 561221cgca \quad \text{Eq. 19}$$

onde: y é a densidade de massa no estado fresco; c corresponde ao componente cimento; g corresponde ao componente *grits* e ca corresponde à componente cal.

4.2.7. Pressuposições da análise de variância

No Apêndice L, Apêndice N, Apêndice P, Apêndice R e Apêndice T são apresentadas, graficamente, a verificação do atendimento às pressuposições da análise de variância realizada. Em nenhum dos casos estudados há indicações de que as suposições não devam ser aceitas.

4.2.8. Otimização das argamassas da 2ª etapa

A Tabela 20 apresenta o resultado de desejabilidade para os resultados das argamassas da 2ª etapa. A desejabilidade otimizada apresentada foi bem próxima da desejabilidade máxima possível, sendo essa igual a 1,00. É possível notar que as desejabilidades individuais também foram bem altas em todas as propriedades. O traço final, resultante deste trabalho, é o seguinte: cimento/*grits*: 0,8968 e cal: 0,1032, ou seja, em um traço em massa, 10,32 % é representado pela cal, 13,42 % é representado pelo cimento e 76,26 % é representado pelo *grits*.

Tabela 20 – Resumo da desejabilidade para os traços de argamassa da 2ª etapa

Propriedades das argamassas	Desejabilidade individual	Desejabilidade otimizada	Traço otimizado
Tração aos 3 dias	0,831060		
Tração aos 7 dias	0,824645		
Tração aos 14 dias	0,930719		
Tração aos 28 dias	0,807803		
Compressão aos 3 dias	0,933342		
Compressão aos 7 dias	0,931266		
Compressão aos 14 dias	0,831593		
Compressão aos 28 dias	1,000000		
Densidade de massa no estado fresco	1,000000	0,922860	Cimento/ <i>Grits</i> : 0,8968 Cal: 01032
Densidade de massa no estado endurecido	1,000000		
Módulo de elasticidade dinâmico	1,000000		
Absorção aos 10 min	0,947496		
Absorção aos 90 min	0,941770		
Coefficiente de capilaridade	0,951522		
Absorção por imersão	1,000000		
Índice de vazios	1,000000		

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

4.3. Caracterização das argamassas – 3ª etapa

4.3.1. Caracterização do índice de consistência

Na Tabela 21 são apresentados os resultados de determinação do índice de consistência (*flow table*) para os traços de argamassa ensaiados na segunda etapa deste trabalho.

Tabela 21 – Resultado de determinação do índice de consistência (*flow table*) – argamassas da 3ª etapa

Traço	Média	Mínimo	Máximo	Cimento	Cal	<i>Grits</i>	Água	Aditivo (%)
T19	251	250	252	1,00	0,77	5,67	1,30	1,00
				Cimento	Cal	Areia	Água	Aditivo (%)
T20	275	274	277	1,00	0,77	5,67	1,30	1,00

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Na Tabela 21 fica evidente que o traço T20 ficou fora do intervalo de consistência proposto neste trabalho, porém este traço é apenas comparativo, onde houve a substituição do *grits* no traço ideal (traço T19) pela areia.

4.3.2. Verificação do traço otimizado

Na Tabela 22 é apresentada a caracterização da argamassa ensaiada na terceira etapa deste trabalho. Ao analisar a Tabela 22, percebe-se que o traço escolhido realmente foi aquele que apresentou os melhores resultados, confirmando, assim, a sua escolha como o traço final proposto nesse trabalho.

Tabela 22 – Caracterização da argamassa da terceira etapa

Ensaio	Resultados
Resistência à tração na flexão (MPa)	3,28
Resistência à compressão (MPa)	6,40
Absorção por capilaridade 10 minutos (g/cm ²)	0,02
Absorção por capilaridade 90 minutos (g/cm ²)	0,04
Coefficiente de capilaridade (g/(dm ² ×min ^{1/2}))	0,30
Absorção por imersão (%)	1,22
Índice de vazios (%)	2,40
Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m ³)	1875,00
Densidade de massa aparente no estado fresco (kg/m ³)	1820,00
Módulo de elasticidade (MPa)	19500,00

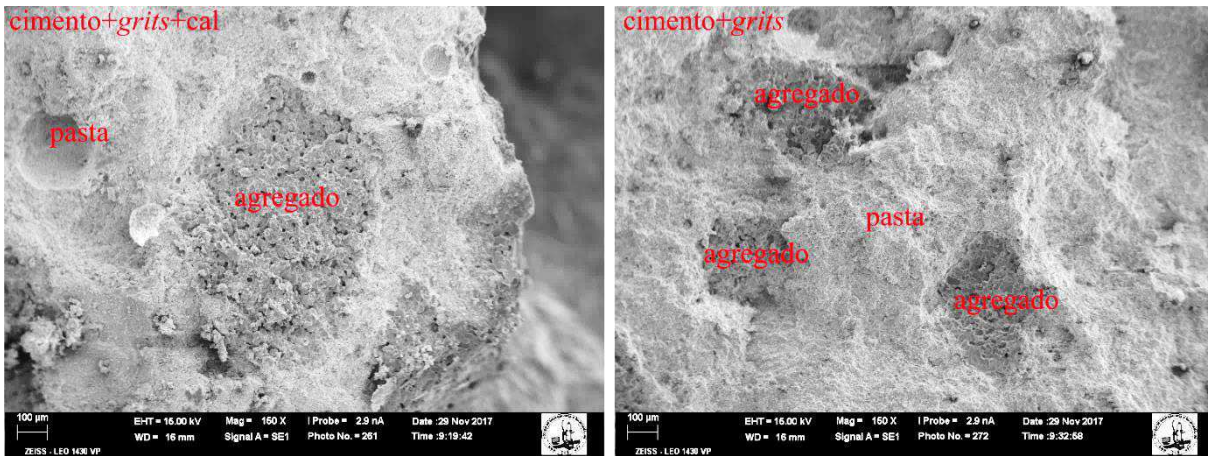
Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

4.3.3. Microscopia eletrônica de varredura

A Figura 31 apresenta a fotomicrografia da superfície de ruptura das duas argamassas testadas – a primeira contendo cimento, *grits* e cal e a segunda contendo cimento e *grits*, com um zoom de 150 x. Observa-se, na Figura 31, que a pasta de cimento e cal (primeira imagem) e cimento (segunda imagem) envolvem completamente o *grits*. Já na Figura 32, aplicando um zoom de 500 x, é possível observar que, em ambas as argamassas, houve uma união entre a pasta e o agregado. Na Figura 33, aplicando um zoom de 1000 x, é possível observar que o *grits* é um material com superfície angular, possibilitando, de certa forma, a percolação de água por sua estrutura. Na Figura 34, aplicando um zoom de 2000 x, é possível observar que a cal teve papel fundamental como material de preenchimento de poros, contribuindo para a diminuição da absorção de água. Na Figura 35, aplicando um zoom de 3000 x, percebe-se que o *grits* é um

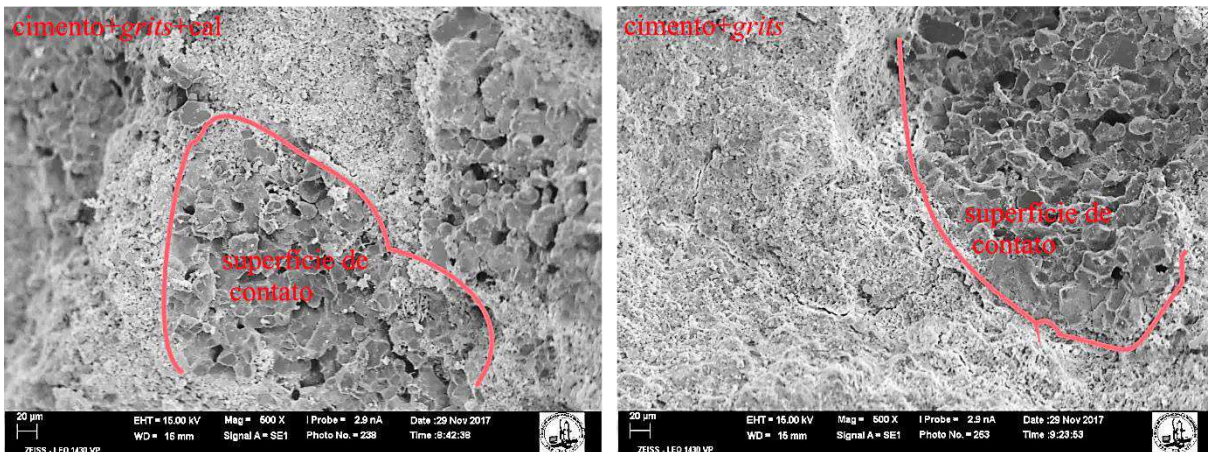
material muito poroso. Esse fato pode explicar o motivo pelo qual as argamassas com *grits* tendem a absorver mais água do que as argamassas com areia.

Figura 31 – Fotomicrografia da superfície de ruptura da argamassa – zoom de 150 x



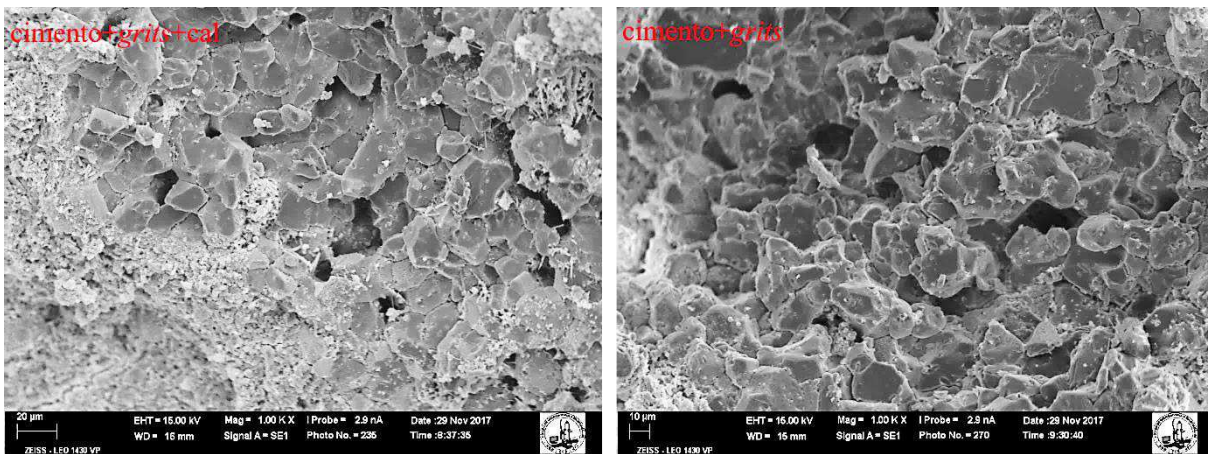
Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Figura 32 – Fotomicrografia da superfície de ruptura da argamassa – zoom de 500 x



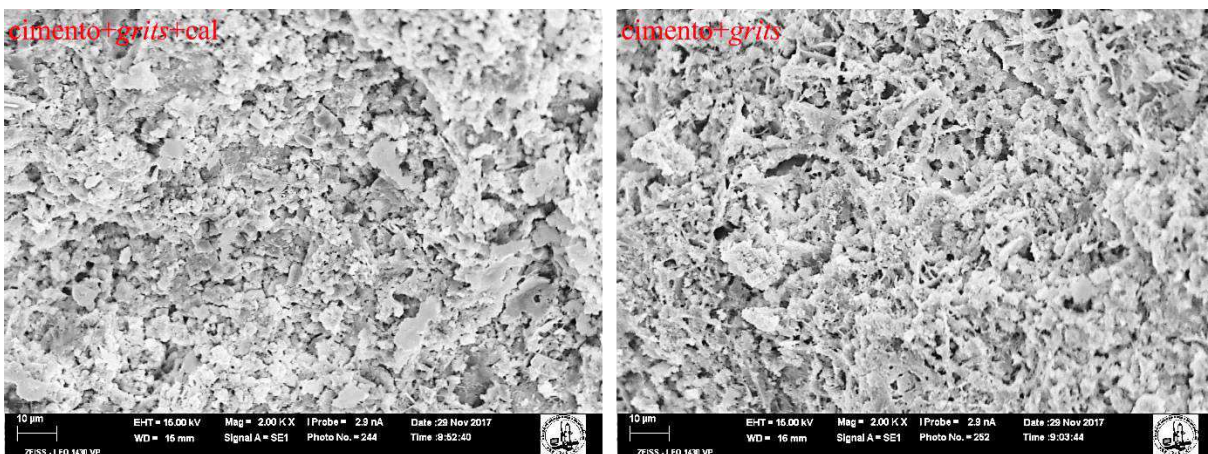
Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Figura 33 – Fotomicrografia da superfície de ruptura da argamassa – zoom de 1000 x



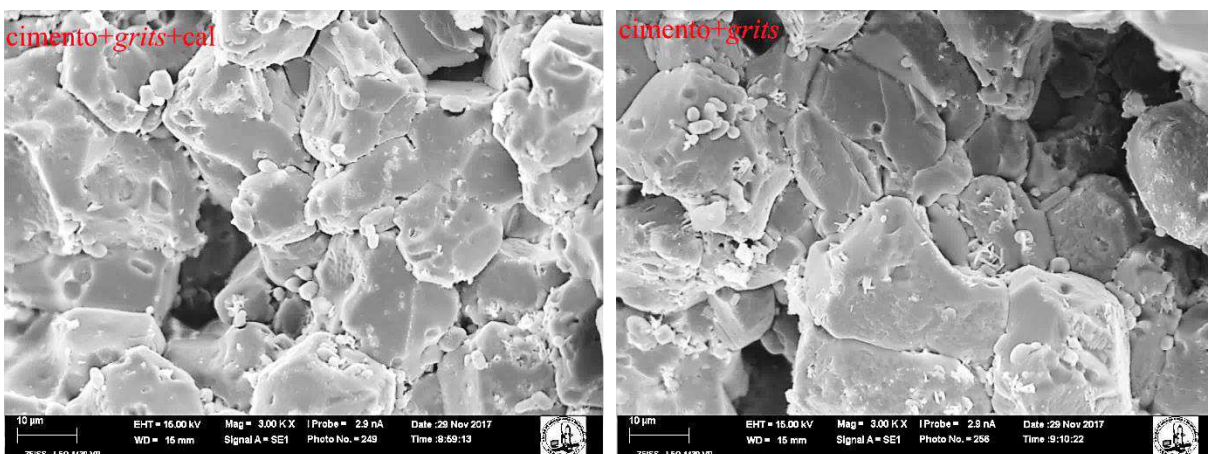
Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Figura 34 – Fotomicrografia da superfície de ruptura da argamassa – zoom de 2000 x



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

Figura 35 – Fotomicrografia da superfície de ruptura da argamassa – zoom de 3000 x



Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

4.3.4. Aderência à tração

Na Tabela 23 é apresentado o resultado do ensaio de aderência à tração confeccionado com a argamassa final e com uma argamassa preparada com a substituição do *grits* pela areia. É possível perceber que os resultados apresentados na Tabela 23 são bem próximos entre as duas argamassas utilizadas, demonstrando que o *grits* não prejudica as argamassas com relação à aderência. O modo de ruptura, também, foi semelhante entre as duas argamassas.

Tabela 23 – Comparação entre o traço final confeccionado com *grits* e areia, com relação à sua aderência à tração

Argamassa com <i>Grits</i>			Argamassa com areia		
Corpo de Prova	Tensão (MPa)	Modo de Ruptura	Corpo de Prova	Tensão (MPa)	Modo de Ruptura
1	0,27		1	0,26	
2	0,28		2	0,27	
3	0,22		3	0,21	
4	0,27		4	0,26	
5	0,28	Ruptura na argamassa	5	0,27	Ruptura na argamassa
6	0,27		6	0,26	
7	0,25		7	0,24	
8	0,26		8	0,24	
9	0,25		9	0,24	
10	0,28		10	0,27	
Valor Médio (MPa)	0,26		Valor Médio (MPa)	0,25	

Fonte: Arquivo particular do autor, 2018

5. Conclusões

5.1. Conclusões gerais

A primeira etapa experimental deste trabalho analisou um delineamento de misturas com três componentes: cimento, areia e *grits*, tendo a água e o aditivo uma relação direta com o cimento. O *grits* modificado apresenta um teor de materiais pulverulentos e absorção superior ao apresentado pela areia. Com isso, os traços que possuíam um maior quantitativo de resíduo *grits* modificado em sua composição apresentaram índice de consistências *flow table* inferior ao apresentado pelos traços com presença de areia. Entretanto foi necessário a utilização de aditivos plastificantes com o intuito de estabelecer todos os traços ensaiados dentro dos padrões propostos.

O acréscimo de *grits* contribuiu para a melhoria da resistência à tração na flexão e à compressão axial, da densidade de massa aparente no estado endurecido e fresco e do módulo de elasticidade. No entanto, o acréscimo de *grits* influenciou negativamente propriedades como a absorção de água por capilaridade e por imersão.

Através do processo de otimização de mistura, utilizando a função de desejabilidade, foi possível escolher uma mistura para dar prosseguimento à pesquisa. A mistura escolhida foi a seguinte: 15% de cimento e 85% de *grits*. Com isso, o *grits* possuiu características adequadas para garantir a qualidade das argamassas, mesmo sem o uso da areia como agregado miúdo.

A segunda etapa experimental deste trabalho analisou um delineamento de misturas com dois componentes: cimento/*grits* e cal, tendo a água e o aditivo uma relação direta com o cimento. A interação, seja ela por sinergismo ou antagonismo, foi a principal responsável por garantir a melhoria de todas as propriedades analisadas nas argamassas.

Novamente utilizando-se da função de desejabilidade foi possível escolher uma mistura final. A mistura final escolhida foi a seguinte: 89,68% de cimento/*grits* e 10,32% de cal, ou seja, 13,45% de cimento, 76,23% de *grits* e 10,32% de cal.

A terceira etapa experimental deste trabalho confirmou as características apresentadas pelo traço escolhido na segunda etapa. Portanto, a mistura final deste trabalho foi o seguinte: 13,45 % de cimento, 76,23 % de *grits* e 10,32 % de cal. A relação água/cimento foi fixada em 1,3 e o aditivo correspondendo a 1,0 % em relação à massa de cimento.

A microscopia eletrônica de varredura auxiliou na verificação da importância que a cal teve quando foi adicionada à argamassa, mostrando que a mesma contribui para o preenchimento, parcial ou total, dos poros. Esse preenchimento foi fundamental para a diminuição da absorção nos traços de argamassa.

O ensaio de resistência de aderência à tração proporcionou a comparação de um traço com cimento, *grits* e cal e outro com cimento, areia e cal nas mesmas proporções dos componentes. As argamassas com *grits* apresentaram resultados semelhantes às argamassas fabricadas com areia, mostrando que o *grits* não influenciou nem negativa e nem positivamente na aderência das argamassas.

De modo geral, este estudo proporcionou um entendimento sobre o comportamento das argamassas confeccionadas com o resíduo *grits*. O *grits* quando modificado mostrou-se um material que pode ser utilizado como agregado miúdo com potencial para ser implementado na construção civil.

5.2.Sugestões para trabalhos futuros

Em função dos resultados obtidos neste trabalho, sugerem-se os seguintes temas para trabalho futuros:

- verificar a granulometria ideal do resíduo *grits* que fornece os melhores resultados;
- avaliar a introdução de novos resíduos na composição da argamassa em substituição à cal e a utilização de cimentos confeccionados com a adição de resíduos;
- avaliar as argamassas produzidas com resíduos através dos procedimentos propostos nas normas de desempenho – ABNT NBR 15220: Parte 1 a Parte 5.

6. Referências Bibliográficas

ALVARES, A. **Avaliação da adição de *grits* na produção de argamassa para construção de habitações de interesse social.** 2012. 38f. Relatório final (Iniciação científica). Universidade Federal de Viçosa, MG, 2012.

AHMADI, B. AI-KHAJA, W. **Utilization of paper waste sludge in the building construction industry.** Resources, Conservation and Recycling. Volume 32, Issue 2, June 2001, Pages 105-113.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30: Agregados miúdo – Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

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

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

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **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 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 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** 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 de argamassa inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 2016.

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

_____. **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, 2009.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. **Resíduos da indústria da celulose em plantios florestais.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, 37:99-106,1998.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável – Brasil 2015.** Rio de Janeiro, IBGE, 2015.

BRASIL. Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Brasília, Conama, 2005.

CASTRO, F.; VILARINHO, C.; TRANCOSO, D.; FERREIRA, P.; NUNES, F.; MIRAGAIA, A. **Utilisation of pulp and paper industry wastes as raw materials in**

cement clínquer production. In. J. Materials Engineering Innovation, Vol. 1, Nº. 1, 74-90 p. 2009.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum.** 2ª ed. Tradução de *Our common future*. 1ª ed. 1988. Rio de Janeiro: Editora a Fundação Getúlio Vargas, 1991.

DASKALOPOULOS, O; PROBERT, S.D. **Economic and environmental evaluations of waste treatment and disposal Technologies for municipal solid waste.** Applied Energy, volume 58, número 4, p. 209-255, 1997.

DORES, A.M.B; CHAGAS, F.B; MATTOS, R.L.G; GONÇALVES, R. M. **Panorama Setorial: Setor Florestal, Celulose e Papel.** Rio de Janeiro, BNDES, 2007.

GARCIA, M. L. COUTINHO, J. S. **Grits as a Partial Cement Replacement for Concrete.** Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies. June 28 – June 30, 2010.

GEMELLI, E. CAMARGO, N. A. BRESCANSIN, J. **Evaluation of Paper Industry Wastes in Construction Material Applications.** Materials Research, Vol. 4, No. 4, 297-304, 2001.

GREEN, R. P.; HOUGH, G. **Chemical Recovery in the Alkaline Pulping Processes.** 3. ed. Tappi Press, 1992.

GULLICHEN, J.; FOGELHOLN, C-J. **Chemical pulping (book 6) in Papermaking science and technology.** Helsinki: Fapet, 2000.

IBÁ. **Relatório Ibá 2015.** São Paulo, IBÁ, 2015.

LIMA, E. S. **Utilização de resíduo grits da fabricação de celulose pelo processo Kraft como agregado graúdo para concreto.** 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. Coronel Fabriciano. 2010.

MACHADO, A. T., GOMES, A. O., CARDOSO. R. J. C. e CRUZ. E. B., **O uso de escórias de aciaria como agregado na construção civil.** IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), p. 1595–1602, 2002.

MACHADO, C. C.; PEREIRA, R. S.; PIRES, J. M. M. **Influência do tratamento térmico do resíduo sólido industrial (*grits*) na resistência mecânica de um latossolo para pavimentos de estradas florestais.** Revista Árvore, 2003, Viçosa, Minas Gerais.

MACHADO, C.C.; PIRES, J.M.M.; PEREIRA, R.S.; FONTES, M.P.F.; PORTUGAL, C.R.M. **Chemical and environmental behavior of the solid wastes in forest roads pavements.** Scientia Forestalis, v.28, n.70, p.131-136, 2006.

MARQUES, M. L.; VELASCO, F. G.; FORNARI JUNIOR, C. C. M. **Potencialidades do uso de resíduos de celulose (*dregs/grits*) com agregado em argamassas.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, 2014, Campina Grande, Paraíba.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** 3. ed. São Paulo: PINI, 2008.

MESQUITA, L. M. ALVARENGA, R. C. S. S. SANTOS, C. F. R. ALVARES, A. M. O. REZENDE, A. A. P. GRAVINO, M.L. CARVALHO, J. M. F. PEDROTI, L. G. **Evaluation of the Potential of Waste from Pulp Production (*Grits*) in its Use in Mortar: Physical and Chemical Characterization.** Materials Science Forum, Vol. 820, pp. 583-587, 2015.

MODOLO, R. C. E. **Valorização de resíduos do sector de pasta e papel em produtos da construção civil.** 2006. 119f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cerâmica e do Vidro). Universidade de Aveiro, Portugal, 2006.

MODOLO, R. C. E. **Valorization of solid wastes from cellulose and paper industry.** 2014. 306f. Tese (Doutorado em Ambiente e Ordenamento). Universidade de Aveiro, Portugal, 2014.

MULLER, L. M. **Durabilidade da argamassa mista de revestimento interno contendo *dregs-grits* em substituição à areia.** 2012. 69f. Trabalho de Conclusão e Curso (Graduação em Engenharia de Materiais). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2012.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. **Alvenaria Estrutural em Blocos Cerâmicos: projeto, execução e controle.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2010. 238 p.

PEREIRA, R.S. **Viabilidade técnica do emprego de resíduos da indústria de celulose para construção de estradas florestais.** 2005. 329p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2005.

PETRUCCI, E. G. R. (1993). **Concreto de Cimento Portland** – 12. ed – São Paulo: Globo.

PINHEIRO, M. L.; ALVARENGA, R. C. S. S.; RIBEIRO, B. C.; SILVA JÚNIOR, P. R.; SARMET, M. S.; FASSONI, D. P. **Avaliação experimental de blocos prensados de solo-cimento com adição de grits**. Ambiente Construído, 2013, Porto Alegre, Santa Catarina.

PINTO, S. J. F. **Valorização de resíduos da indústria da celulose na produção de agregados leves**. 2005. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cerâmica e do Vidro). Universidade de Aveiro, Portugal, 2005.

PITRONDA, J. R. UMRIGAR, F.S. **Evaluation of Modulus of Elasticity of Concrete with Partial Replacement of Cement by Thermal Industry Waste (Fly Ash) and Paper Industry Waste (Hypo Sludge)**. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT) Volume 2, Issue 1, January 2013.

RIBEIRO, A. P. **Avaliação do uso de resíduos sólidos inorgânicos da produção de celulose em materiais cerâmicos**. 2010. 142f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP. 2010.

SANTOS R.F., DE CÁSSIA SILVA SANT’ANA ALVARENGA R., MENDES B., CARVALHO J.M., PEDROTI L., AZEVEDO A. **Addition of Dregs in Mixed Mortar: Evaluation of Physical and Mechanical Properties**. In: Li B. et al. (eds) Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2018. TMS 2018. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham.

SEYYEDALIPOUR, S. F. KEBRIA, D. Y, MALIDARREH, N. R. NOROUZNEJAD, G. **Study of Utilization of Pulp and Paper Industry Wastes in Production of Concrete**. S F Seyyedalipour et al Int. Journal of Engineering Research and Applications. Vol. 4, Issue 1(Version 3), January 2014, pp.115-122.

SOUZA, T. I.; CARDOSO, A.V. **Utilização de Resíduos Sólidos da Indústria de Celulose Kraft na Fabricação de Cimento: caracterização físico-química**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 18., Porto de Galinhas, 2008. Anais... Porto de Galinhas, 2008.

TORRES, C. M. M. E. **Incorporação de dregs e grits de fábricas de polpa celulósica kraft ao clínquer para a produção de cimento Portland.** 2016. 108f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2016.

WINES, J. **Green Architecture.** Milan: Taschen, 2000. 240p.

WOLFF, E. **O uso do lodo de estação de tratamento de água e resíduos da indústria de celulose (dregs, grits e lama de cal) na produção de cerâmica vermelha.** 2008. 188 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008.

ZANELLA, B. P. E. B. SÁ, N. O. ACORINTI, I. C.B. TRANNIN AND S. J.C. SIMÕES. **Durability of mixed mortar lining containing dregs-grits.** American Journal of Environmental Sciences. Volume 10, Issue 1. Pages 44-47, 2014.

Apêndice A

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à tração na flexão aos 3 dias de idade.										
Traço	Corpo de Prova	l_{tf} (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio\ tfc}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_{tf} (mm)	F_{tf} (kgf)	R_{tf} (MPa)	$R_{tfmédio}$ (MPa)
1	1	104,00	42,90	43,10	43,000	42,10	0,37	25,530	0,512	0,59
	2	104,00	42,10	43,51	42,805	42,10	0,43	29,670	0,598	
	3	104,00	42,51	42,49	42,500	41,02	0,44	30,360	0,649	
2	4	105,00	42,10	41,60	41,850	41,10	0,37	25,530	0,558	0,58
	5	105,00	40,10	40,50	40,300	41,51	0,39	26,910	0,599	
	6	104,00	42,20	41,30	41,750	41,48	0,39	26,910	0,573	
3	7	104,00	41,53	41,47	41,500	41,90	0,52	35,880	0,753	0,75
	8	104,00	41,50	41,48	41,490	42,20	0,52	35,880	0,743	
	9	104,00	41,04	40,94	40,990	42,97	0,53	36,570	0,739	
4	10	104,00	42,13	42,25	42,190	42,52	0,39	26,910	0,540	0,56
	11	104,00	43,49	43,51	43,500	42,04	0,39	26,910	0,535	
	12	104,00	42,03	41,52	41,775	43,08	0,45	31,050	0,613	
5	13	104,00	41,52	42,04	41,780	42,47	0,51	35,190	0,714	0,68
	14	104,00	42,52	42,48	42,500	41,98	0,52	35,880	0,733	
	15	105,00	42,52	42,53	42,525	41,52	0,41	28,290	0,596	
6	16	104,00	42,05	41,47	41,760	42,03	0,55	37,950	0,787	0,74
	17	103,00	42,51	42,97	42,740	42,52	0,49	33,810	0,663	
	18	103,00	43,12	43,67	43,395	41,98	0,56	38,640	0,766	
7	19	104,50	42,51	42,49	42,500	41,52	0,54	37,260	0,782	0,70
	20	105,00	42,01	43,10	42,555	41,05	0,44	30,360	0,654	
	21	105,00	43,52	42,00	42,760	42,50	0,47	32,430	0,649	
8	22	104,00	43,07	42,46	42,765	42,01	0,59	40,710	0,825	0,83
	23	105,00	43,08	41,92	42,500	41,06	0,55	37,950	0,818	
	24	105,00	43,00	42,02	42,510	40,97	0,57	39,330	0,851	
9	25	104,00	41,52	41,97	41,745	42,50	0,43	29,670	0,602	0,55
	26	104,00	42,51	41,97	42,240	42,49	0,35	24,150	0,484	
	27	104,00	42,51	42,97	42,740	40,03	0,37	25,530	0,570	
10	28	105,00	43,10	42,90	43,000	43,04	0,50	34,500	0,669	0,68
	29	105,00	42,00	42,03	42,015	41,00	0,50	34,500	0,754	
	30	104,00	42,52	42,98	42,750	42,50	0,45	31,050	0,615	
11	31	104,00	41,02	41,97	41,495	43,02	0,53	36,570	0,729	0,75
	32	104,00	42,10	40,90	41,500	41,52	0,54	37,260	0,797	
	33	104,00	42,24	41,29	41,765	42,50	0,51	35,190	0,714	
12	34	104,00	43,10	43,90	43,500	41,52	0,48	33,120	0,676	0,70
	35	102,00	43,51	41,90	42,705	41,50	0,52	35,880	0,732	
	36	104,00	42,10	43,42	42,760	41,50	0,49	33,810	0,702	
13	37	104,00	42,02	41,48	41,750	41,00	0,44	30,360	0,662	0,68
	38	104,00	41,51	42,48	41,995	42,50	0,53	36,570	0,738	
	39	104,00	43,58	41,42	42,500	41,50	0,44	30,360	0,635	

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à tração na flexão aos 7 dias de idade.										
Traço	Corpo de Prova	l_{tf} (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio}t_{fc}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_{tf} (mm)	F_{tf} (kgf)	R_{tf} (MPa)	$R_{tfmédio}$ (MPa)
1	40	104,00	42,51	42,49	42,500	43,02	0,80	55,200	1,074	1,09
	41	104,00	43,56	43,44	43,500	41,95	0,80	55,200	1,103	
	42	104,00	43,01	42,51	42,760	42,48	0,80	55,200	1,094	
2	43	102,00	42,10	41,90	42,000	42,08	0,74	51,060	1,030	1,04
	44	102,00	42,00	42,00	42,000	41,98	0,74	51,060	1,035	
	45	104,00	43,10	42,90	43,000	41,52	0,74	51,060	1,054	
3	46	104,00	42,10	42,40	42,250	42,05	0,90	62,100	1,272	1,27
	47	104,00	42,00	42,49	42,245	42,52	0,91	62,790	1,258	
	48	104,00	43,10	42,40	42,750	42,01	0,91	62,790	1,273	
4	49	104,00	42,01	42,49	42,250	42,50	0,65	44,850	0,899	0,91
	50	104,00	43,10	42,89	42,995	42,01	0,65	44,850	0,904	
	51	104,00	42,48	42,49	42,485	42,03	0,65	44,850	0,914	
5	52	102,00	42,47	42,53	42,500	42,01	0,83	57,270	1,146	1,15
	53	103,00	43,20	42,81	43,005	42,05	0,81	55,890	1,114	
	54	104,00	43,15	42,84	42,995	42,00	0,86	59,340	1,197	
6	55	103,50	42,10	41,88	41,990	43,02	1,03	71,070	1,392	1,34
	56	104,00	42,48	42,51	42,495	41,03	0,87	60,030	1,284	
	57	105,00	42,48	42,50	42,490	41,00	0,90	62,100	1,343	
7	58	104,00	42,10	41,91	42,005	42,00	0,75	51,750	1,068	1,11
	59	103,00	41,00	40,04	40,520	41,50	0,79	54,510	1,183	
	60	104,00	43,00	42,51	42,755	42,00	0,77	53,130	1,078	
8	61	105,00	42,47	42,49	42,480	41,97	0,99	68,310	1,410	1,39
	62	104,50	42,01	42,02	42,015	42,00	0,97	66,930	1,388	
	63	105,00	43,00	42,51	42,755	42,00	0,97	66,930	1,371	
9	64	103,00	43,12	41,87	42,495	42,04	0,63	43,470	0,877	0,90
	65	103,00	43,10	42,92	43,010	42,50	0,68	46,920	0,915	
	66	104,00	42,52	43,01	42,765	41,97	0,65	44,850	0,911	
10	67	104,00	42,51	42,48	42,495	41,06	0,91	62,790	1,341	1,20
	68	104,00	43,20	42,83	43,015	42,95	0,80	55,200	1,064	
	69	104,10	42,51	41,97	42,240	41,50	0,82	56,580	1,191	
11	70	104,00	42,51	42,50	42,505	42,50	0,89	61,410	1,224	1,30
	71	105,00	42,00	42,50	42,250	41,04	0,90	62,100	1,348	
	72	105,00	42,47	42,52	42,495	41,54	0,92	63,480	1,337	
12	73	104,00	42,01	42,51	42,260	41,48	0,84	57,960	1,219	1,26
	74	104,00	41,02	41,97	41,495	42,00	0,85	58,650	1,226	
	75	104,00	42,10	41,98	42,040	41,06	0,89	61,410	1,326	
13	76	104,00	41,15	40,84	40,995	42,54	0,84	57,960	1,195	1,17
	77	104,00	41,50	41,52	41,510	42,03	0,75	51,750	1,080	
	78	104,00	43,54	42,95	43,245	41,00	0,85	58,650	1,234	

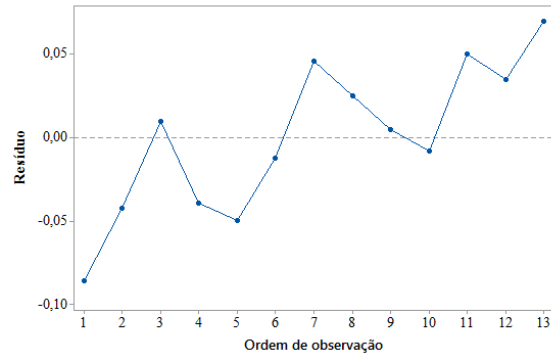
Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à tração na flexão aos 14 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	l_{tf} (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio}t_{fc}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_{tf} (mm)	F_{tf} (kgf)	R_{tf} (MPa)	$R_{tfmédio}$ (MPa)
1	79	104,00	41,52	41,97	41,745	42,01	0,82	56,580	1,175	1,20
	80	105,00	41,45	41,54	41,495	42,00	0,87	60,030	1,267	
	81	104,00	42,00	43,00	42,500	42,51	0,85	58,650	1,168	
2	82	105,00	42,15	42,35	42,250	40,51	0,84	57,960	1,291	1,19
	83	103,50	41,00	42,00	41,500	41,52	0,83	57,270	1,219	
	84	104,00	41,20	41,80	41,500	45,02	0,85	58,650	1,067	
3	85	104,00	40,52	41,48	41,000	42,03	1,01	69,690	1,472	1,45
	86	105,00	41,51	41,52	41,515	41,49	0,95	65,550	1,417	
	87	104,00	41,30	41,70	41,500	42,05	1,02	70,380	1,467	
4	88	103,50	41,50	41,03	41,265	42,52	0,82	56,580	1,155	1,09
	89	104,00	42,31	42,71	42,510	42,50	0,75	51,750	1,031	
	90	104,00	43,51	42,97	43,240	41,50	0,77	53,130	1,091	
5	91	106,00	43,01	42,47	42,740	41,49	0,87	60,030	1,272	1,28
	92	105,50	43,02	43,48	43,250	42,00	0,91	62,790	1,277	
	93	104,00	42,50	41,52	42,010	42,01	0,90	62,100	1,281	
6	94	104,00	42,10	41,91	42,005	41,53	1,07	73,830	1,559	1,50
	95	101,50	41,00	40,52	40,760	42,49	1,05	72,450	1,470	
	96	103,00	41,51	41,01	41,260	42,99	1,07	73,830	1,467	
7	97	104,00	40,91	40,56	40,735	42,00	0,88	60,720	1,293	1,24
	98	105,00	42,00	42,00	42,000	42,00	0,87	60,030	1,251	
	99	105,00	42,70	42,81	42,755	42,49	0,85	58,650	1,174	
8	100	105,00	43,00	41,52	42,260	42,51	1,07	73,830	1,493	1,52
	101	103,50	42,10	42,90	42,500	42,04	1,07	73,830	1,496	
	102	104,00	42,49	41,01	41,750	41,51	1,07	73,830	1,570	
9	103	104,00	43,01	43,02	43,015	42,00	0,75	51,750	1,043	1,08
	104	103,00	42,12	41,39	41,755	41,50	0,74	51,060	1,076	
	105	104,00	42,03	42,53	42,280	41,49	0,77	53,130	1,117	
10	106	105,00	42,00	41,98	41,990	42,53	0,96	66,240	1,347	1,33
	107	104,00	41,54	42,00	41,770	41,51	0,90	62,100	1,320	
	108	104,00	42,53	42,99	42,760	42,00	0,94	64,860	1,315	
11	109	103,50	41,51	42,00	41,755	43,46	1,05	72,450	1,399	1,44
	110	104,00	42,00	42,49	42,245	41,51	1,02	70,380	1,479	
	111	104,00	41,00	41,03	41,015	42,53	1,02	70,380	1,451	
12	112	102,00	43,23	43,26	43,245	42,52	1,04	71,760	1,377	1,39
	113	101,00	42,10	42,39	42,245	42,00	1,01	69,690	1,389	
	114	103,00	43,10	41,80	42,450	41,99	1,01	69,690	1,411	
13	115	104,00	42,50	41,51	42,005	42,53	0,92	63,480	1,278	1,31
	116	104,00	41,00	40,98	40,990	42,01	0,95	65,550	1,386	
	117	104,00	43,00	41,52	42,260	42,51	0,91	62,790	1,258	

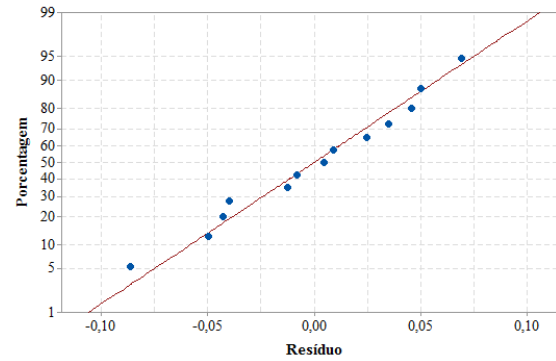
Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à tração na flexão aos 28 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	l_{tf} (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio\ tfc}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_{tf} (mm)	F_{tf} (kgf)	R_{tf} (MPa)	$R_{tf\ médio}$ (MPa)
1	118	104,00	43,21	41,78	42,495	43,03	1,03	71,070	1,382	1,37
	119	104,00	43,30	41,71	42,505	43,02	1,02	70,380	1,369	
	120	104,00	43,00	42,98	42,990	42,99	1,02	70,380	1,355	
2	121	104,00	43,00	42,49	42,745	41,51	0,93	64,170	1,333	1,34
	122	102,50	42,00	41,99	41,995	42,51	0,95	65,550	1,302	
	123	102,00	43,00	43,02	43,010	41,03	0,96	66,240	1,373	
3	124	105,00	42,51	42,52	42,515	41,52	1,13	77,970	1,643	1,69
	125	105,00	42,00	42,03	42,015	41,49	1,15	79,350	1,695	
	126	105,00	42,51	42,48	42,495	41,50	1,19	82,110	1,733	
4	127	104,00	42,10	42,41	42,255	41,51	0,92	63,480	1,334	1,30
	128	103,00	42,00	43,00	42,500	42,04	0,91	62,790	1,267	
	129	105,00	42,51	43,01	42,760	41,49	0,90	62,100	1,303	
5	130	105,00	42,87	42,12	42,495	42,02	1,05	72,450	1,491	1,48
	131	103,00	43,11	42,90	43,005	41,98	1,04	71,760	1,435	
	132	103,50	43,10	42,88	42,990	41,97	1,10	75,900	1,526	
6	133	104,00	42,39	42,59	42,490	41,02	1,14	78,660	1,683	1,71
	134	104,00	42,51	42,48	42,495	42,00	1,17	80,730	1,648	
	135	104,00	42,51	42,52	42,515	40,05	1,17	80,730	1,811	
7	136	105,00	42,00	41,98	41,990	42,00	0,97	66,930	1,396	1,44
	137	105,00	41,49	41,52	41,505	41,50	1,02	70,380	1,521	
	138	105,00	43,00	43,01	43,005	41,49	0,97	66,930	1,396	
8	139	105,00	43,00	43,00	43,000	42,01	1,22	84,180	1,713	1,73
	140	105,00	42,98	43,05	43,015	42,00	1,20	82,800	1,685	
	141	105,00	42,00	42,00	42,000	42,02	1,24	85,560	1,782	
9	142	103,50	42,45	42,54	42,495	41,04	0,87	60,030	1,277	1,25
	143	103,50	42,00	43,00	42,500	41,06	0,84	57,960	1,232	
	144	103,50	42,38	42,59	42,485	41,03	0,85	58,650	1,248	
10	145	105,00	41,96	42,04	42,000	40,97	0,96	66,240	1,451	1,57
	146	105,00	42,03	42,01	42,020	41,03	1,16	80,040	1,748	
	147	104,00	42,44	42,07	42,255	41,00	1,01	69,690	1,501	
11	148	104,00	42,00	41,97	41,985	42,01	1,15	79,350	1,638	1,67
	149	104,00	43,02	42,01	42,515	41,49	1,17	80,730	1,688	
	150	104,00	42,00	42,49	42,245	40,96	1,14	78,660	1,698	
12	151	105,00	41,98	42,00	41,990	41,03	1,09	75,210	1,643	1,61
	152	105,00	41,00	42,02	41,510	41,49	1,08	74,520	1,611	
	153	105,00	41,03	40,99	41,010	42,03	1,07	73,830	1,574	
13	154	104,00	43,00	43,02	43,010	40,97	1,05	72,450	1,535	1,53
	155	104,00	43,00	43,00	43,000	40,94	1,08	74,520	1,582	
	156	104,00	43,00	42,95	42,975	43,01	1,11	76,590	1,474	

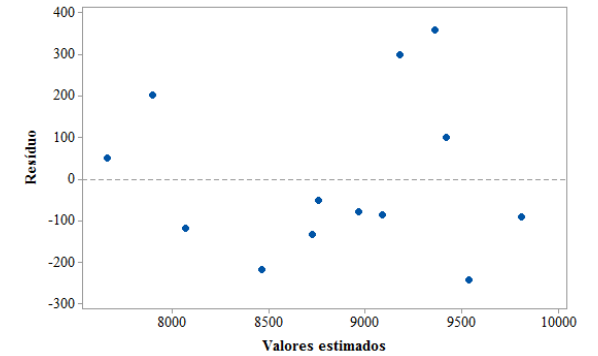
Apêndice B



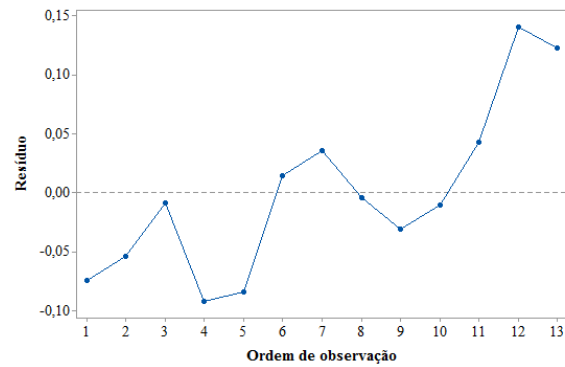
Independência: tração aos 3 dias



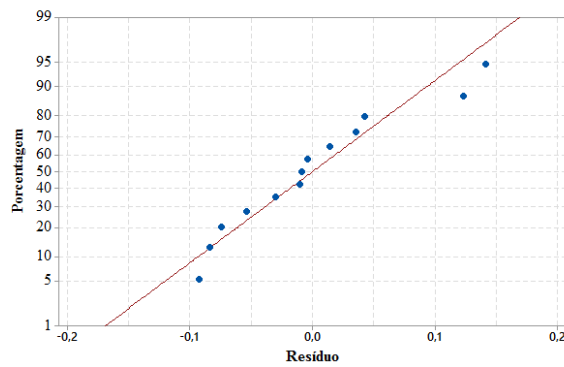
Normalidade: tração aos 3 dias



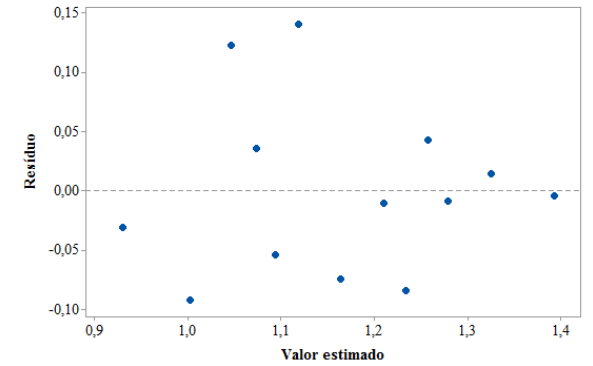
Homogeneidade de variâncias: tração aos 3 dias



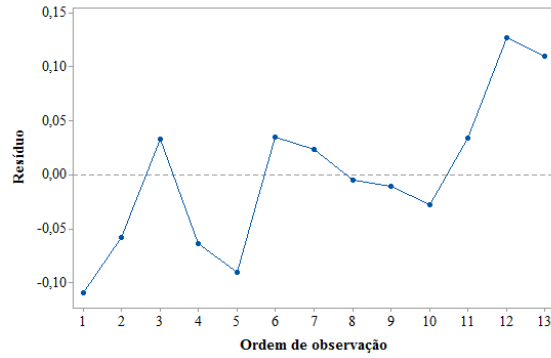
Independência: tração aos 7 dias



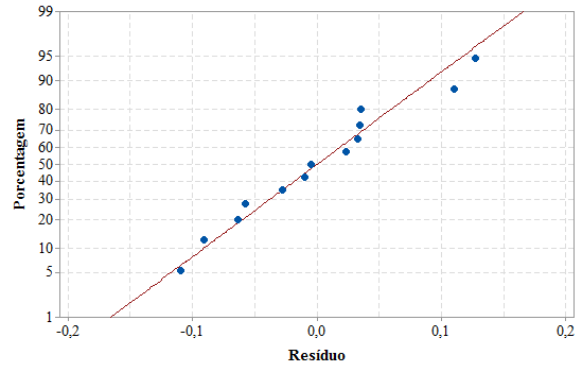
Normalidade: tração aos 7 dias



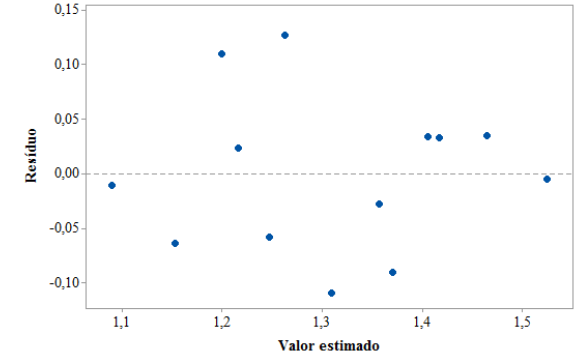
Homogeneidade de variâncias: tração aos 3 dias



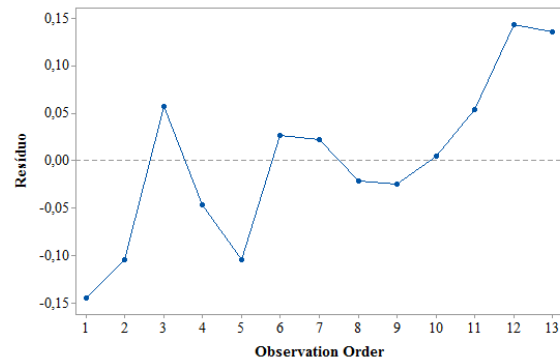
Independência: tração aos 14 dias



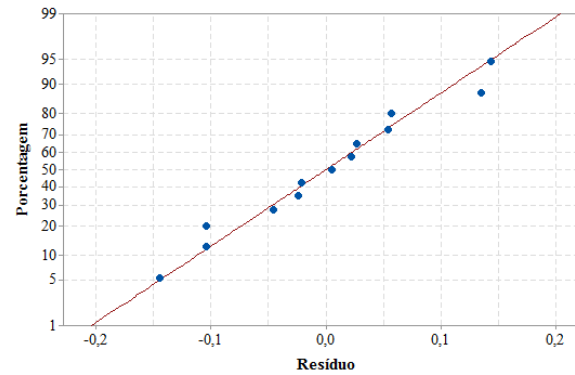
Normalidade: tração aos 14 dias



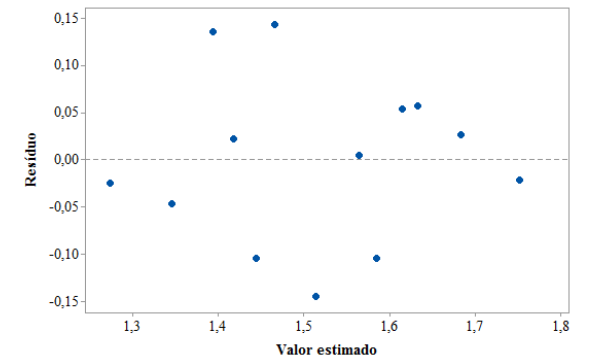
Homogeneidade de variâncias: tração aos 14 dias



Independência: tração aos 28 dias



Normalidade: tração aos 28 dias



Homogeneidade de variâncias: tração aos 28 dias

Apêndice C

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial aos 3 dias de idade.									
Traço	Corpo de Prova	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{\text{médio}f_c}$ (mm)	h_{f_c} (mm)	Δ_c (mm)	F_c (kgf)	R_c (MPa)	$R_{\text{cmédio}}$ (MPa)
1	1-A	42,90	43,10	43,000	42,10	0,37	257,520	1,395	1,39
	1-B	42,90	43,10	43,000	42,10	0,36	250,560	1,357	
	2-A	42,10	43,51	42,805	42,10	0,35	243,600	1,326	
	2-B	42,10	43,51	42,805	42,10	0,35	243,600	1,326	
	3-A	42,51	42,49	42,500	41,02	0,38	264,480	1,488	
	3-C	42,51	42,49	42,500	41,02	0,37	257,520	1,449	
2	4-A	42,10	41,60	41,850	41,10	0,35	243,600	1,389	1,35
	4-B	42,10	41,60	41,850	41,10	0,32	222,720	1,270	
	5-A	40,10	40,50	40,300	41,51	0,34	236,640	1,387	
	5-B	40,10	40,50	40,300	41,51	0,31	215,760	1,265	
	6-A	42,20	41,30	41,750	41,48	0,34	236,640	1,340	
	6-B	42,20	41,30	41,750	41,48	0,36	250,560	1,419	
3	7-A	41,53	41,47	41,500	41,90	0,46	320,160	1,806	1,68
	7-B	41,53	41,47	41,500	41,90	0,43	299,280	1,688	
	8-A	41,50	41,48	41,490	42,20	0,44	306,240	1,715	
	8-B	41,50	41,48	41,490	42,20	0,42	292,320	1,637	
	9-A	41,04	40,94	40,990	42,97	0,41	285,360	1,589	
	9-B	41,04	40,94	40,990	42,97	0,42	292,320	1,628	
4	10-A	42,13	42,25	42,190	42,52	0,34	236,640	1,294	1,24
	10-B	42,13	42,25	42,190	42,52	0,32	222,720	1,218	
	11-A	43,49	43,51	43,500	42,04	0,33	229,680	1,232	
	11-B	43,49	43,51	43,500	42,04	0,35	243,600	1,306	
	12-A	42,03	41,52	41,775	43,08	0,32	222,720	1,214	
	12-B	42,03	41,52	41,775	43,08	0,31	215,760	1,176	
5	13-A	41,52	42,04	41,780	42,47	0,37	257,520	1,423	1,44
	13-B	41,52	42,04	41,780	42,47	0,37	257,520	1,423	
	14-A	42,52	42,48	42,500	41,98	0,38	264,480	1,454	
	14-B	42,52	42,48	42,500	41,98	0,38	264,480	1,454	
	15-A	42,52	42,53	42,525	41,52	0,38	264,480	1,469	
	15-A	42,52	42,53	42,525	41,52	0,36	250,560	1,392	
6	16-A	42,05	41,47	41,760	42,03	0,39	271,440	1,517	1,68
	16-B	42,05	41,47	41,760	42,03	0,42	292,320	1,633	
	17-A	42,51	42,97	42,740	42,52	0,45	313,200	1,690	
	17-B	42,51	42,97	42,740	42,52	0,41	285,360	1,540	
	18-A	43,12	43,67	43,395	41,98	0,47	327,120	1,761	
	18-B	43,12	43,67	43,395	41,98	0,52	361,920	1,948	
7	19-A	42,51	42,49	42,500	41,52	0,46	320,160	1,779	1,60
	19-B	42,51	42,49	42,500	41,52	0,40	278,400	1,547	
	20-A	42,01	43,10	42,555	41,05	0,47	327,120	1,836	
	20-B	42,01	43,10	42,555	41,05	0,36	250,560	1,407	
	21-A	43,52	42,00	42,760	42,50	0,43	299,280	1,615	
	21-B	43,52	42,00	42,760	42,50	0,37	257,520	1,390	

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial aos 3 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_c (mm)	F_c (kgf)	R_c (MPa)	$R_{cmédio}$ (MPa)
8	22-A	43,07	42,46	42,765	42,01	0,45	313,200	1,710	1,73
	22-B	43,07	42,46	42,765	42,01	0,44	306,240	1,672	
	23-A	43,08	41,92	42,500	41,06	0,45	313,200	1,760	
	23-B	43,08	41,92	42,500	41,06	0,44	306,240	1,721	
	24-A	43,00	42,02	42,510	40,97	0,45	313,200	1,764	
	24-B	43,00	42,02	42,510	40,97	0,44	306,240	1,724	
9	25-A	41,52	41,97	41,745	42,50	0,39	271,440	1,500	1,27
	25-B	41,52	41,97	41,745	42,50	0,30	208,800	1,154	
	26-A	42,51	41,97	42,240	42,49	0,28	194,880	1,065	
	26-B	42,51	41,97	42,240	42,49	0,34	236,640	1,293	
	27-A	42,51	42,97	42,740	40,03	0,33	229,680	1,317	
	27-B	42,51	42,97	42,740	40,03	0,33	229,680	1,317	
10	28-A	43,10	42,90	43,000	43,04	0,43	299,280	1,586	1,65
	28-B	43,10	42,90	43,000	43,04	0,45	313,200	1,660	
	29-A	42,00	42,03	42,015	41,00	0,40	278,400	1,585	
	29-B	42,00	42,03	42,015	41,00	0,44	306,240	1,743	
	30-A	42,52	42,98	42,750	42,50	0,46	320,160	1,728	
	30-B	42,52	42,98	42,750	42,50	0,43	299,280	1,615	
11	31-A	41,02	41,97	41,495	43,02	0,43	299,280	1,644	1,74
	31-B	41,02	41,97	41,495	43,02	0,48	334,080	1,835	
	32-A	42,10	40,90	41,500	41,52	0,45	313,200	1,783	
	32-B	42,10	40,90	41,500	41,52	0,46	320,160	1,822	
	33-A	42,24	41,29	41,765	42,50	0,43	299,280	1,653	
	33-B	42,24	41,29	41,765	42,50	0,44	306,240	1,692	
12	34-A	43,10	43,90	43,500	41,52	0,36	250,560	1,360	1,49
	34-B	43,10	43,90	43,500	41,52	0,40	278,400	1,512	
	35-A	43,51	41,90	42,705	41,50	0,40	278,400	1,541	
	35-B	43,51	41,90	42,705	41,50	0,44	306,240	1,695	
	36-A	42,10	43,42	42,760	41,50	0,37	257,520	1,423	
	36-B	42,10	43,42	42,760	41,50	0,37	257,520	1,423	
13	37-A	42,02	41,48	41,750	41,00	0,36	250,560	1,435	1,46
	37-B	42,02	41,48	41,750	41,00	0,37	257,520	1,475	
	38-A	41,51	42,48	41,995	42,50	0,42	292,320	1,606	
	38-B	41,51	42,48	41,995	42,50	0,40	278,400	1,530	
	39-A	43,58	41,42	42,500	41,50	0,34	236,640	1,316	
	39-B	43,58	41,42	42,500	41,50	0,36	250,560	1,393	

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial aos 7 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio}f_c$ (mm)	h_{f_c} (mm)	Δ_c (mm)	F_c (kgf)	R_c (MPa)	$R_{cmédio}$ (MPa)
1	40-A	42,51	42,49	42,500	43,02	0,70	487,200	2,613	2,55
	40-B	42,51	42,49	42,500	43,02	0,65	452,400	2,427	
	41-A	43,56	43,44	43,500	41,95	0,65	452,400	2,431	
	41-B	43,56	43,44	43,500	41,95	0,67	466,320	2,506	
	42-A	43,01	42,51	42,760	42,48	0,72	501,120	2,705	
	42-B	43,01	42,51	42,760	42,48	0,70	487,200	2,630	
2	43-A	42,10	41,90	42,000	42,08	0,60	417,600	2,317	2,34
	43-B	42,10	41,90	42,000	42,08	0,61	424,560	2,356	
	44-A	42,00	42,00	42,000	41,98	0,59	410,640	2,284	
	44-B	42,00	42,00	42,000	41,98	0,62	431,520	2,400	
	45-A	43,10	42,90	43,000	41,52	0,61	424,560	2,332	
	45-B	43,10	42,90	43,000	41,52	0,61	424,560	2,332	
3	46-A	42,10	42,40	42,250	42,05	0,69	480,240	2,651	2,69
	46-B	42,10	42,40	42,250	42,05	0,68	473,280	2,612	
	47-A	42,00	42,49	42,245	42,52	0,71	494,160	2,698	
	47-B	42,00	42,49	42,245	42,52	0,67	466,320	2,546	
	48-A	43,10	42,40	42,750	42,01	0,75	522,000	2,850	
	48-B	43,10	42,40	42,750	42,01	0,73	508,080	2,774	
4	49-A	42,01	42,49	42,250	42,50	0,65	452,400	2,471	2,46
	49-B	42,01	42,49	42,250	42,50	0,62	431,520	2,357	
	50-A	43,10	42,89	42,995	42,01	0,63	438,480	2,381	
	50-B	43,10	42,89	42,995	42,01	0,64	445,440	2,418	
	51-A	42,48	42,49	42,485	42,03	0,68	473,280	2,599	
	51-B	42,48	42,49	42,485	42,03	0,66	459,360	2,523	
5	52-A	42,47	42,53	42,500	42,01	0,70	487,200	2,676	2,65
	52-B	42,47	42,53	42,500	42,01	0,69	480,240	2,638	
	53-A	43,20	42,81	43,005	42,05	0,72	501,120	2,718	
	53-B	43,20	42,81	43,005	42,05	0,70	487,200	2,642	
	54-A	43,15	42,84	42,995	42,00	0,70	487,200	2,646	
	54-B	43,15	42,84	42,995	42,00	0,68	473,280	2,570	
6	55-A	42,10	41,88	41,990	43,02	0,73	508,080	2,758	2,77
	55-B	42,10	41,88	41,990	43,02	0,71	494,160	2,683	
	56-A	42,48	42,51	42,495	41,03	0,68	473,280	2,662	
	56-B	42,48	42,51	42,495	41,03	0,68	473,280	2,662	
	57-A	42,48	42,50	42,490	41,00	0,74	515,040	2,899	
	57-B	42,48	42,50	42,490	41,00	0,76	528,960	2,978	
7	58-A	42,10	41,91	42,005	42,00	0,63	438,480	2,437	2,59
	58-B	42,10	41,91	42,005	42,00	0,63	438,480	2,437	
	59-A	41,00	40,04	40,520	41,50	0,67	466,320	2,719	
	59-B	41,00	40,04	40,520	41,50	0,66	459,360	2,679	
	60-A	43,00	42,51	42,755	42,00	0,68	473,280	2,585	
	60-B	43,00	42,51	42,755	42,00	0,70	487,200	2,661	

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial aos 7 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio}t_{fc}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_c (mm)	F_c (kgf)	R_c (MPa)	$R_{cmédio}$ (MPa)
8	61-A	42,47	42,49	42,480	41,97	0,77	535,920	2,948	2,87
	61-B	42,47	42,49	42,480	41,97	0,68	473,280	2,603	
	62-A	42,01	42,02	42,015	42,00	0,79	549,840	3,056	
	62-B	42,01	42,02	42,015	42,00	0,78	542,880	3,017	
	63-A	43,00	42,51	42,755	42,00	0,72	501,120	2,737	
	63-B	43,00	42,51	42,755	42,00	0,75	522,000	2,851	
9	64-A	43,12	41,87	42,495	42,04	0,53	368,880	2,025	1,96
	64-B	43,12	41,87	42,495	42,04	0,54	375,840	2,063	
	65-A	43,10	42,92	43,010	42,50	0,53	368,880	1,979	
	65-B	43,10	42,92	43,010	42,50	0,51	354,960	1,904	
	66-A	42,52	43,01	42,765	41,97	0,50	348,000	1,901	
	66-B	42,52	43,01	42,765	41,97	0,50	348,000	1,901	
10	67-A	42,51	42,48	42,495	41,06	0,65	452,400	2,543	2,54
	67-B	42,51	42,48	42,495	41,06	0,67	466,320	2,621	
	68-A	43,20	42,83	43,015	42,95	0,71	494,160	2,623	
	68-B	43,20	42,83	43,015	42,95	0,63	438,480	2,327	
	69-A	42,51	41,97	42,240	41,50	0,66	459,360	2,570	
	69-B	42,51	41,97	42,240	41,50	0,65	452,400	2,531	
11	70-A	42,51	42,50	42,505	42,50	0,69	480,240	2,607	2,57
	70-B	42,51	42,50	42,505	42,50	0,65	452,400	2,456	
	71-A	42,00	42,50	42,250	41,04	0,68	473,280	2,677	
	71-B	42,00	42,50	42,250	41,04	0,66	459,360	2,598	
	72-A	42,47	42,52	42,495	41,54	0,66	459,360	2,552	
	72-B	42,47	42,52	42,495	41,54	0,66	459,360	2,552	
12	73-A	42,01	42,51	42,260	41,48	0,62	431,520	2,414	2,53
	73-B	42,01	42,51	42,260	41,48	0,65	452,400	2,531	
	74-A	41,02	41,97	41,495	42,00	0,65	452,400	2,546	
	74-B	41,02	41,97	41,495	42,00	0,66	459,360	2,585	
	75-A	42,10	41,98	42,040	41,06	0,65	452,400	2,570	
	75-B	42,10	41,98	42,040	41,06	0,64	445,440	2,531	
13	76-A	41,15	40,84	40,995	42,54	0,65	452,400	2,544	2,46
	76-B	41,15	40,84	40,995	42,54	0,65	452,400	2,544	
	77-A	41,50	41,52	41,510	42,03	0,60	417,600	2,347	
	77-B	41,50	41,52	41,510	42,03	0,62	431,520	2,426	
	78-A	43,54	42,95	43,245	41,00	0,69	480,240	2,656	
	78-B	43,54	42,95	43,245	41,00	0,59	410,640	2,271	

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial aos 14 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{\text{médio}f_c}$ (mm)	h_{f_c} (mm)	Δ_c (mm)	F_c (kgf)	R_c (MPa)	$R_{\text{cmédio}}$ (MPa)
1	79-A	41,52	41,97	41,745	42,01	0,89	619,440	3,464	3,26
	79-B	41,52	41,97	41,745	42,01	0,82	570,720	3,191	
	80-A	41,45	41,54	41,495	42,00	0,81	563,760	3,172	
	80-B	41,45	41,54	41,495	42,00	0,88	612,480	3,446	
	81-A	42,00	43,00	42,500	42,51	0,80	556,800	3,022	
	81-B	42,00	43,00	42,500	42,51	0,87	605,520	3,287	
2	82-A	42,15	42,35	42,250	40,51	0,87	605,520	3,469	3,22
	82-B	42,15	42,35	42,250	40,51	0,90	626,400	3,589	
	83-A	41,00	42,00	41,500	41,52	0,79	549,840	3,129	
	83-B	41,00	42,00	41,500	41,52	0,78	542,880	3,090	
	84-A	41,20	41,80	41,500	45,02	0,79	549,840	2,886	
	84-B	41,20	41,80	41,500	45,02	0,87	605,520	3,178	
3	85-A	40,52	41,48	41,000	42,03	0,92	640,320	3,644	3,60
	85-B	40,52	41,48	41,000	42,03	0,90	626,400	3,565	
	86-A	41,51	41,52	41,515	41,49	0,91	633,360	3,606	
	86-B	41,51	41,52	41,515	41,49	0,91	633,360	3,606	
	87-A	41,30	41,70	41,500	42,05	0,91	633,360	3,559	
	87-B	41,30	41,70	41,500	42,05	0,92	640,320	3,598	
4	88-A	41,50	41,03	41,265	42,52	0,85	591,600	3,307	3,07
	88-B	41,50	41,03	41,265	42,52	0,77	535,920	2,995	
	89-A	42,31	42,71	42,510	42,50	0,77	535,920	2,909	
	89-B	42,31	42,71	42,510	42,50	0,76	528,960	2,871	
	90-A	43,51	42,97	43,240	41,50	0,82	570,720	3,119	
	90-B	43,51	42,97	43,240	41,50	0,85	591,600	3,233	
5	91-A	43,01	42,47	42,740	41,49	0,90	626,400	3,464	3,47
	91-B	43,01	42,47	42,740	41,49	0,91	633,360	3,503	
	92-A	43,02	43,48	43,250	42,00	0,86	598,560	3,231	
	92-B	43,02	43,48	43,250	42,00	0,90	626,400	3,382	
	93-A	42,50	41,52	42,010	42,01	0,98	682,080	3,790	
	93-B	42,50	41,52	42,010	42,01	0,89	619,440	3,442	
6	94-A	42,10	41,91	42,005	41,53	0,92	640,320	3,600	3,46
	94-B	42,10	41,91	42,005	41,53	0,87	605,520	3,404	
	95-A	41,00	40,52	40,760	42,49	0,89	619,440	3,508	
	95-B	41,00	40,52	40,760	42,49	0,89	619,440	3,508	
	96-A	41,51	41,01	41,260	42,99	0,88	612,480	3,386	
	96-B	41,51	41,01	41,260	42,99	0,87	605,520	3,348	
7	97-A	40,91	40,56	40,735	42,00	0,87	605,520	3,471	3,34
	97-B	40,91	40,56	40,735	42,00	0,88	612,480	3,511	
	98-A	42,00	42,00	42,000	42,00	0,84	584,640	3,250	
	98-B	42,00	42,00	42,000	42,00	0,89	619,440	3,444	
	99-A	42,70	42,81	42,755	42,49	0,82	570,720	3,081	
	99-B	42,70	42,81	42,755	42,49	0,87	605,520	3,269	

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial aos 14 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio}f_c$ (mm)	h_{f_c} (mm)	Δ_c (mm)	F_c (kgf)	R_c (MPa)	$R_{cmédio}$ (MPa)
8	100-A	43,00	41,52	42,260	42,51	0,96	668,160	3,647	3,71
	100-B	43,00	41,52	42,260	42,51	0,96	668,160	3,647	
	101-A	42,10	42,90	42,500	42,04	0,95	661,200	3,629	
	101-B	42,10	42,90	42,500	42,04	0,95	661,200	3,629	
	102-A	42,49	41,01	41,750	41,51	0,98	682,080	3,860	
	102-B	42,49	41,01	41,750	41,51	0,98	682,080	3,860	
9	103-A	43,01	43,02	43,015	42,00	0,71	494,160	2,682	2,88
	103-B	43,01	43,02	43,015	42,00	0,75	522,000	2,833	
	104-A	42,12	41,39	41,755	41,50	0,74	515,040	2,915	
	104-B	42,12	41,39	41,755	41,50	0,76	528,960	2,994	
	105-A	42,03	42,53	42,280	41,49	0,72	501,120	2,801	
	105-B	42,03	42,53	42,280	41,49	0,78	542,880	3,035	
10	106-A	42,00	41,98	41,990	42,53	0,85	591,600	3,249	3,41
	106-B	42,00	41,98	41,990	42,53	0,85	591,600	3,249	
	107-A	41,54	42,00	41,770	41,51	0,92	640,320	3,622	
	107-B	41,54	42,00	41,770	41,51	0,89	619,440	3,504	
	108-A	42,53	42,99	42,760	42,00	0,90	626,400	3,420	
	108-B	42,53	42,99	42,760	42,00	0,90	626,400	3,420	
11	109-A	41,51	42,00	41,755	43,46	0,92	640,320	3,460	3,46
	109-B	41,51	42,00	41,755	43,46	0,89	619,440	3,348	
	110-A	42,00	42,49	42,245	41,51	0,94	654,240	3,659	
	110-B	42,00	42,49	42,245	41,51	0,90	626,400	3,503	
	111-A	41,00	41,03	41,015	42,53	0,87	605,520	3,404	
	111-B	41,00	41,03	41,015	42,53	0,87	605,520	3,404	
12	112-A	43,23	43,26	43,245	42,52	0,88	612,480	3,267	3,59
	112-B	43,23	43,26	43,245	42,52	1,03	716,880	3,823	
	113-A	42,10	42,39	42,245	42,00	1,00	696,000	3,847	
	113-B	42,10	42,39	42,245	42,00	0,93	647,280	3,578	
	114-A	43,10	41,80	42,450	41,99	0,91	633,360	3,485	
	114-B	43,10	41,80	42,450	41,99	0,92	640,320	3,523	
13	115-A	42,50	41,51	42,005	42,53	0,82	570,720	3,133	3,40
	115-B	42,50	41,51	42,005	42,53	0,79	549,840	3,018	
	116-A	41,00	40,98	40,990	42,01	0,82	570,720	3,250	
	116-B	41,00	40,98	40,990	42,01	0,95	661,200	3,766	
	117-A	43,00	41,52	42,260	42,51	0,95	661,200	3,609	
	117-B	43,00	41,52	42,260	42,51	0,95	661,200	3,609	

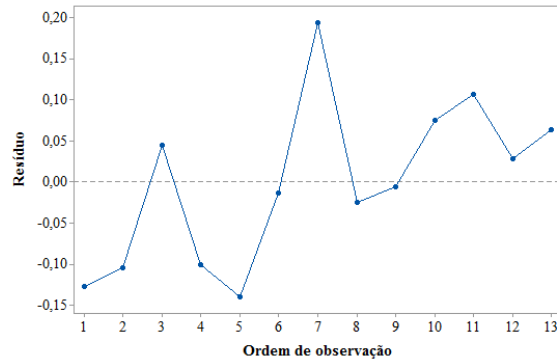
Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial aos 28 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio}f_c$ (mm)	h_{f_c} (mm)	Δ_c (mm)	F_c (kgf)	R_c (MPa)	$R_{cmédio}$ (MPa)
1	118-A	43,21	41,78	42,495	43,03	1,11	772,560	4,143	3,97
	118-B	43,21	41,78	42,495	43,03	1,03	716,880	3,845	
	119-A	43,30	41,71	42,505	43,02	1,01	702,960	3,770	
	119-B	43,30	41,71	42,505	43,02	1,10	765,600	4,106	
	120-A	43,00	42,98	42,990	42,99	1,10	765,600	4,062	
	120-B	43,00	42,98	42,990	42,99	1,05	730,800	3,878	
2	121-A	43,00	42,49	42,745	41,51	0,99	689,040	3,808	3,74
	121-B	43,00	42,49	42,745	41,51	0,97	675,120	3,731	
	122-A	42,00	41,99	41,995	42,51	0,97	675,120	3,709	
	122-B	42,00	41,99	41,995	42,51	1,00	696,000	3,823	
	123-A	43,00	43,02	43,010	41,03	1,00	696,000	3,868	
	123-B	43,00	43,02	43,010	41,03	0,90	626,400	3,481	
3	124-A	42,51	42,52	42,515	41,52	1,15	800,400	4,447	4,33
	124-B	42,51	42,52	42,515	41,52	1,14	793,440	4,408	
	125-A	42,00	42,03	42,015	41,49	1,16	807,360	4,542	
	125-B	42,00	42,03	42,015	41,49	1,00	696,000	3,915	
	126-A	42,51	42,48	42,495	41,50	1,10	765,600	4,257	
	126-B	42,51	42,48	42,495	41,50	1,14	793,440	4,412	
4	127-A	42,10	42,41	42,255	41,51	0,94	654,240	3,658	3,63
	127-B	42,10	42,41	42,255	41,51	0,95	661,200	3,697	
	128-A	42,00	43,00	42,500	42,04	0,95	661,200	3,629	
	128-B	42,00	43,00	42,500	42,04	0,93	647,280	3,553	
	129-A	42,51	43,01	42,760	41,49	0,96	668,160	3,693	
	129-B	42,51	43,01	42,760	41,49	0,92	640,320	3,539	
5	130-A	42,87	42,12	42,495	42,02	1,14	793,440	4,358	4,25
	130-B	42,87	42,12	42,495	42,02	1,11	772,560	4,243	
	131-A	43,11	42,90	43,005	41,98	1,10	765,600	4,159	
	131-B	43,11	42,90	43,005	41,98	1,08	751,680	4,083	
	132-A	43,10	42,88	42,990	41,97	1,13	786,480	4,275	
	132-B	43,10	42,88	42,990	41,97	1,16	807,360	4,388	
6	133-A	42,39	42,59	42,490	41,02	1,04	723,840	4,073	4,22
	133-B	42,39	42,59	42,490	41,02	1,12	779,520	4,386	
	134-A	42,51	42,48	42,495	42,00	1,10	765,600	4,207	
	134-B	42,51	42,48	42,495	42,00	1,09	758,640	4,168	
	135-A	42,51	42,52	42,515	40,05	1,10	765,600	4,409	
	135-B	42,51	42,52	42,515	40,05	1,01	702,960	4,049	
7	136-A	42,00	41,98	41,990	42,00	1,06	737,760	4,102	4,05
	136-B	42,00	41,98	41,990	42,00	1,09	758,640	4,219	
	137-A	41,49	41,52	41,505	41,50	1,07	744,720	4,240	
	137-B	41,49	41,52	41,505	41,50	0,97	675,120	3,844	
	138-A	43,00	43,01	43,005	41,49	1,04	723,840	3,978	
	138-B	43,00	43,01	43,005	41,49	1,03	716,880	3,940	

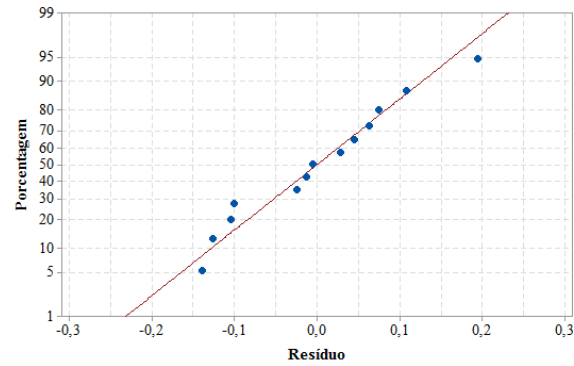
Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial aos 28 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médiofc}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_c (mm)	F_c (kgf)	R_c (MPa)	$R_{cmédio}$ (MPa)
8	139-A	43,00	43,00	43,000	42,01	1,14	793,440	4,307	4,37
	139-B	43,00	43,00	43,000	42,01	1,19	828,240	4,496	
	140-A	42,98	43,05	43,015	42,00	1,19	828,240	4,496	
	140-B	42,98	43,05	43,015	42,00	1,12	779,520	4,231	
	141-A	42,00	42,00	42,000	42,02	1,11	772,560	4,293	
	141-B	42,00	42,00	42,000	42,02	1,14	793,440	4,409	
9	142-A	42,45	42,54	42,495	41,04	0,89	619,440	3,483	3,45
	142-B	42,45	42,54	42,495	41,04	0,90	626,400	3,522	
	143-A	42,00	43,00	42,500	41,06	0,86	598,560	3,364	
	143-B	42,00	43,00	42,500	41,06	0,85	591,600	3,325	
	144-A	42,38	42,59	42,485	41,03	0,89	619,440	3,485	
	144-B	42,38	42,59	42,485	41,03	0,90	626,400	3,524	
10	145-A	41,96	42,04	42,000	40,97	1,07	744,720	4,244	4,13
	145-B	41,96	42,04	42,000	40,97	1,05	730,800	4,165	
	146-A	42,03	42,01	42,020	41,03	0,98	682,080	3,880	
	146-B	42,03	42,01	42,020	41,03	1,04	723,840	4,117	
	147-A	42,44	42,07	42,255	41,00	1,05	730,800	4,137	
	147-B	42,44	42,07	42,255	41,00	1,08	751,680	4,255	
11	148-A	42,00	41,97	41,985	42,01	1,05	730,800	4,063	4,18
	148-B	42,00	41,97	41,985	42,01	1,04	723,840	4,025	
	149-A	43,02	42,01	42,515	41,49	1,12	779,520	4,334	
	149-B	43,02	42,01	42,515	41,49	1,09	758,640	4,218	
	150-A	42,00	42,49	42,245	40,96	1,06	737,760	4,181	
	150-B	42,00	42,49	42,245	40,96	1,08	751,680	4,260	
12	151-A	41,98	42,00	41,990	41,03	1,10	765,600	4,358	4,32
	151-B	41,98	42,00	41,990	41,03	1,11	772,560	4,397	
	152-A	41,00	42,02	41,510	41,49	1,11	772,560	4,399	
	152-B	41,00	42,02	41,510	41,49	1,09	758,640	4,320	
	153-A	41,03	40,99	41,010	42,03	1,05	730,800	4,158	
	153-B	41,03	40,99	41,010	42,03	1,09	758,640	4,316	
13	154-A	43,00	43,02	43,010	40,97	1,07	744,720	4,145	4,10
	154-B	43,00	43,02	43,010	40,97	1,09	758,640	4,222	
	155-A	43,00	43,00	43,000	40,94	1,05	730,800	4,071	
	155-B	43,00	43,00	43,000	40,94	1,11	772,560	4,304	
	156-A	43,00	42,95	42,975	43,01	1,08	751,680	3,988	
	156-B	43,00	42,95	42,975	43,01	1,05	730,800	3,877	

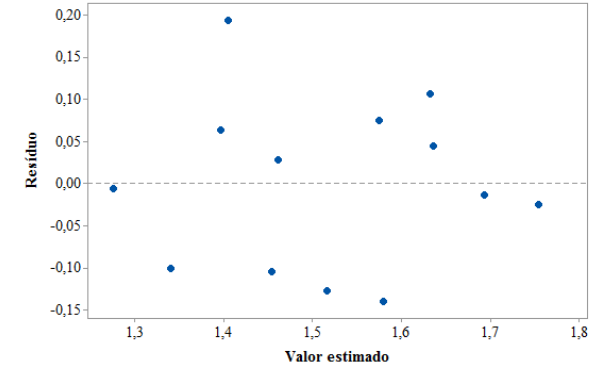
Apêndice D



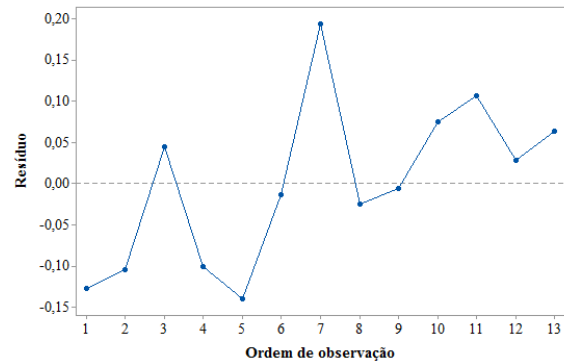
Independência: compressão aos 3 dias



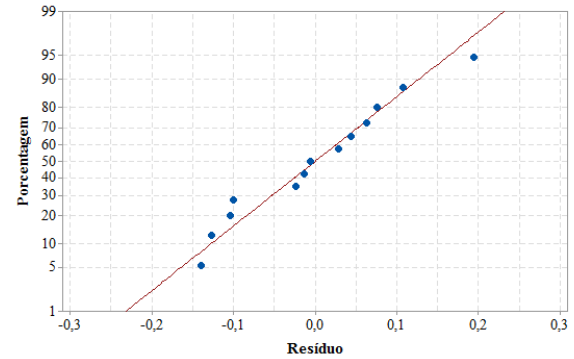
Normalidade: compressão aos 3 dias



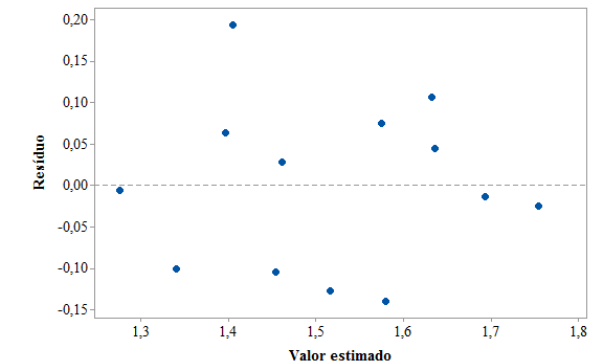
Homogeneidade de variâncias: compressão aos 3 dias



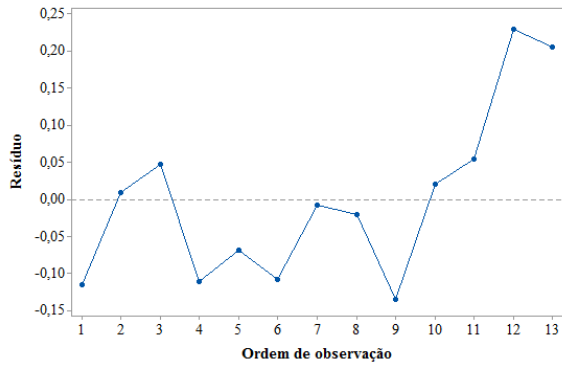
Independência: compressão aos 7 dias



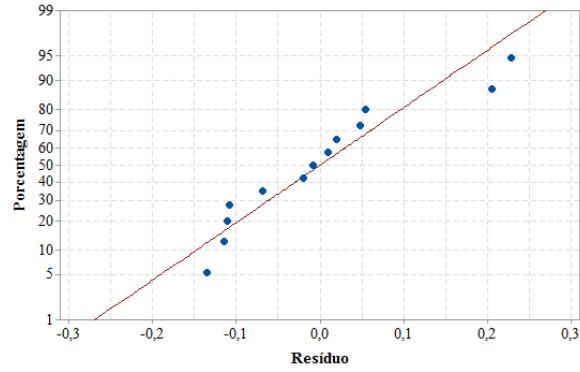
Normalidade: compressão aos 7 dias



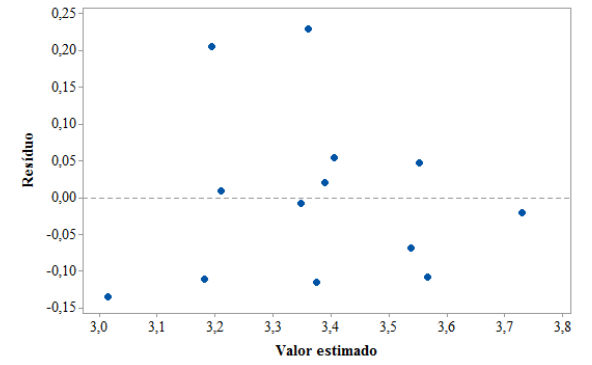
Homogeneidade de variâncias: compressão aos 7 dias



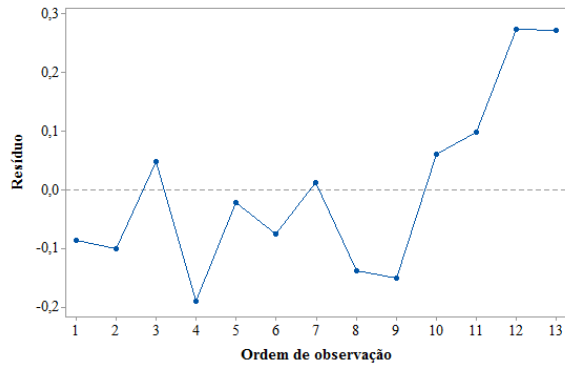
Independência: compressão aos 14 dias



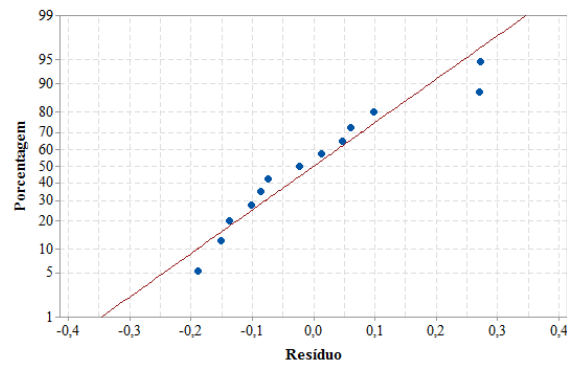
Normalidade: compressão aos 14 dias



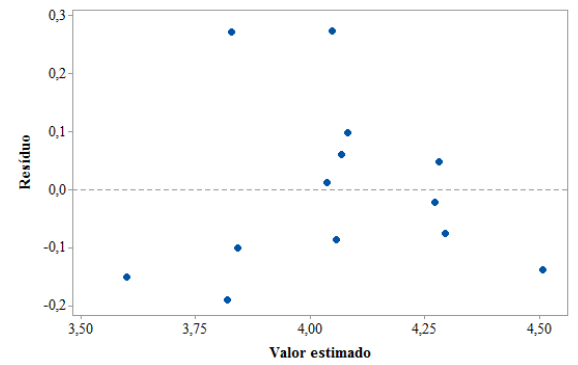
Homogeneidade de variâncias: compressão aos 14 dias



Independência: compressão aos 28 dias



Normalidade: compressão aos 28 dias



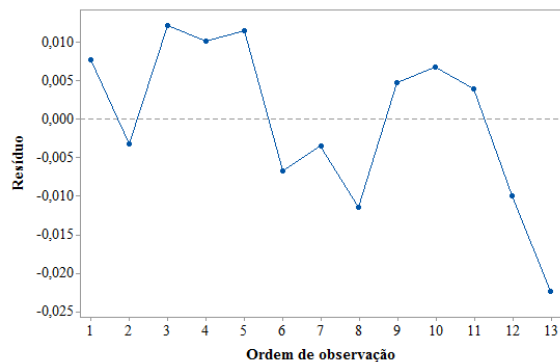
Homogeneidade de variâncias: compressão aos 28 dias

Apêndice E

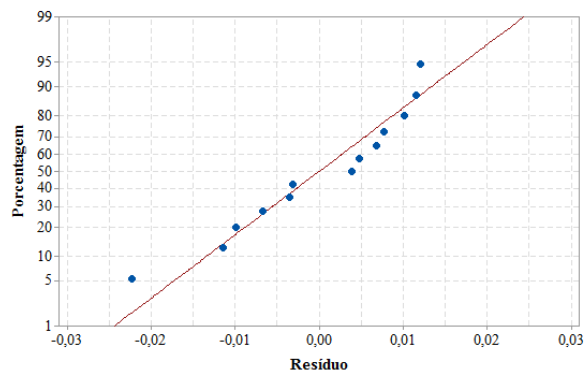
Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade.																
Traço	Corpo de Prova	l_1 (cm)	l_2 (cm)	$l_{média}$ (cm)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	$h_{média}$ (cm)	m_0 (g)	m_{10} (g)	m_{90} (g)	A_{10} (g/cm ²)	$A_{10média}$ (g/cm ²)	A_{90} (g/cm ²)	$A_{90média}$ (g/cm ²)	C (g/(dm ² ×min ^{1/2}))	C_{medio} (g/(dm ² ×min ^{1/2}))
1	157	4,21	4,19	4,200	3,72	3,71	3,715	454,11	458,94	463,61	0,310		0,609		4,67	
	158	4,11	4,10	4,105	3,61	3,59	3,600	432,70	437,20	442,07	0,305	0,320	0,634	0,627	4,87	4,76
	159	4,32	4,23	4,275	3,75	3,79	3,770	469,05	474,61	479,35	0,345		0,639		4,74	
2	160	4,10	4,16	4,130	4,16	4,15	4,155	493,64	499,62	504,64	0,348		0,641		5,02	
	161	4,10	4,14	4,120	4,15	4,15	4,150	508,80	513,08	518,15	0,250	0,310	0,547	0,606	5,07	5,13
	162	4,14	4,16	4,150	4,25	4,30	4,275	503,15	509,02	514,32	0,331		0,630		5,30	
3	163	4,20	4,19	4,195	4,21	4,22	4,215	518,98	525,20	530,93	0,352		0,676		5,73	
	164	4,20	4,24	4,220	4,15	4,19	4,170	519,56	525,10	531,10	0,315	0,344	0,656	0,680	6,00	5,91
	165	4,21	4,14	4,175	4,21	4,20	4,205	518,68	525,10	531,10	0,366		0,707		6,00	
4	166	4,15	4,21	4,180	4,21	4,22	4,215	542,83	548,05	553,13	0,296		0,585		5,08	
	167	4,11	4,08	4,095	4,10	4,15	4,125	523,06	528,01	533,03	0,293	0,282	0,590	0,575	5,02	5,03
	168	4,15	4,19	4,170	4,05	4,09	4,070	516,74	521,10	526,10	0,257		0,551		5,00	
5	169	4,15	4,21	4,180	4,20	4,19	4,195	531,14	537,15	542,85	0,343		0,668		5,70	
	170	4,25	4,19	4,220	4,20	4,21	4,205	545,46	551,40	556,76	0,335	0,323	0,637	0,656	5,36	5,85
	171	4,20	4,18	4,190	4,15	4,20	4,175	527,15	532,25	538,74	0,292		0,663		6,49	
6	172	4,13	4,22	4,175	4,15	4,15	4,150	523,68	530,97	537,29	0,421		0,786		6,32	
	173	4,28	4,27	4,275	4,20	4,20	4,200	548,53	552,60	558,97	0,227	0,346	0,581	0,700	6,37	6,23
	174	4,15	4,21	4,180	4,20	4,19	4,195	530,96	537,80	543,79	0,390		0,732		5,99	
7	175	4,24	4,26	4,250	4,20	4,25	4,225	539,39	542,12	546,89	0,152		0,418		4,77	
	176	4,10	4,15	4,125	4,04	4,02	4,030	515,09	520,08	524,53	0,300	0,268	0,568	0,534	4,45	4,61
	177	4,15	4,15	4,150	4,22	4,19	4,205	530,96	537,08	541,69	0,351		0,615		4,61	
8	178	4,15	4,21	4,180	4,20	4,23	4,215	549,65	555,50	562,12	0,332		0,708		6,62	
	179	4,20	4,21	4,205	4,19	4,15	4,170	553,77	559,79	566,07	0,343	0,340	0,701	0,691	6,28	6,15
	180	4,15	4,20	4,175	4,15	4,19	4,170	533,01	539,01	544,57	0,345		0,664		5,56	
9	181	4,10	4,06	4,080	4,20	4,25	4,225	509,90	515,50	520,56	0,325		0,618		5,06	
	182	4,20	4,21	4,205	4,29	4,25	4,270	534,89	540,35	545,06	0,304	0,277	0,566	0,561	4,71	4,95
	183	4,10	4,05	4,075	4,21	4,18	4,195	521,66	525,09	530,18	0,201		0,498		5,09	
10	184	4,20	4,20	4,200	4,21	4,19	4,200	516,34	522,60	528,85	0,355		0,709		6,25	
	185	4,25	4,31	4,280	4,25	4,29	4,270	528,97	534,86	540,71	0,322	0,340	0,642	0,679	5,85	6,05
	186	4,17	4,23	4,200	4,20	4,21	4,205	515,90	521,98	528,02	0,344		0,686		6,04	
11	187	4,11	4,12	4,115	4,21	4,08	4,145	513,25	519,51	525,70	0,367		0,730		6,19	
	188	4,25	4,29	4,270	4,20	4,20	4,200	528,30	534,30	539,97	0,335	0,358	0,651	0,713	5,67	6,14
	189	4,10	4,02	4,060	4,20	4,20	4,200	510,66	517,03	523,58	0,374		0,758		6,55	
12	190	4,10	4,06	4,080	4,10	4,20	4,150	526,06	530,50	535,19	0,262		0,539		4,69	
	191	4,11	4,04	4,075	4,10	4,20	4,150	502,99	508,15	513,04	0,305	0,282	0,594	0,567	4,89	4,85
	192	4,19	4,22	4,205	4,10	4,11	4,105	526,32	531,13	536,11	0,279		0,567		4,98	
13	193	4,20	4,21	4,205	4,20	4,25	4,225	503,03	509,59	514,09	0,369		0,623		4,50	
	194	4,09	4,13	4,110	4,10	4,15	4,125	494,34	498,89	503,74	0,268	0,270	0,554	0,543	4,85	4,73
	195	4,16	4,13	4,145	4,15	4,15	4,150	502,00	504,95	509,78	0,171		0,452		4,83	

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da absorção de água por imersão								
Traço	Corpo de Prova	M_{sat120} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec120} (g)	A_{imer} (%)	$A_{imer\ média}$ (%)	IV (%)	$IV_{médio}$ (%)
1	157	478,93	240,00	417,94	14,59		25,53	
	158	455,22	229,00	397,58	14,50	14,66	25,48	25,63
	159	494,37	247,00	430,35	14,88		25,88	
2	160	539,91	266,00	473,74	13,97		24,16	
	161	549,70	272,00	484,11	13,55	13,74	23,62	23,91
	162	547,56	272,00	481,59	13,70		23,94	
3	163	557,23	278,00	480,24	16,03		27,57	
	164	542,84	271,00	468,91	15,77	15,94	27,20	27,42
	165	542,48	270,00	467,55	16,03		27,50	
4	166	582,06	303,00	514,97	13,03		24,04	
	167	558,52	290,00	493,71	13,13	13,04	24,14	24,09
	168	553,52	290,00	490,02	12,96		24,10	
5	169	558,24	285,00	485,45	14,99		26,64	
	170	571,03	292,00	496,56	15,00	14,96	26,69	26,71
	171	556,12	287,00	484,02	14,90		26,79	
6	172	545,48	275,00	468,97	16,31		28,29	
	173	567,33	288,00	486,97	16,50	16,52	28,77	28,83
	174	550,31	282,00	471,36	16,75		29,42	
7	175	588,04	305,00	518,77	13,35		24,47	
	176	562,50	296,00	495,58	13,50	13,45	25,11	24,75
	177	584,51	303,00	515,05	13,49		24,67	
8	178	569,81	294,00	489,56	16,39		29,10	
	179	581,92	302,00	499,45	16,51	16,43	29,46	29,20
	180	562,91	290,00	483,66	16,39		29,04	
9	181	557,03	289,00	496,17	12,27		22,71	
	182	583,02	295,00	517,97	12,56	12,37	22,59	22,41
	183	566,47	284,00	504,53	12,28		21,93	
10	184	542,89	272,00	470,58	15,37		26,69	
	185	553,62	278,00	478,58	15,68	15,49	27,23	26,95
	186	542,41	273,00	469,89	15,43		26,92	
11	187	539,75	268,00	461,23	17,02		28,89	
	188	556,52	277,00	475,25	17,10	17,03	29,07	28,98
	189	544,07	272,00	465,19	16,96		28,99	
12	190	570,43	292,00	503,36	13,32		24,09	
	191	550,22	283,00	483,66	13,76	13,59	24,91	24,60
	192	572,92	295,00	503,98	13,68		24,81	
13	193	549,08	269,00	486,27	12,92		22,43	
	194	536,31	264,00	475,18	12,86	12,85	22,45	22,42
	195	544,19	269,00	482,61	12,76		22,38	

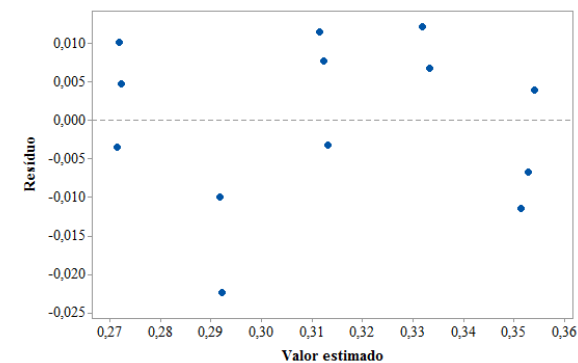
Apêndice F



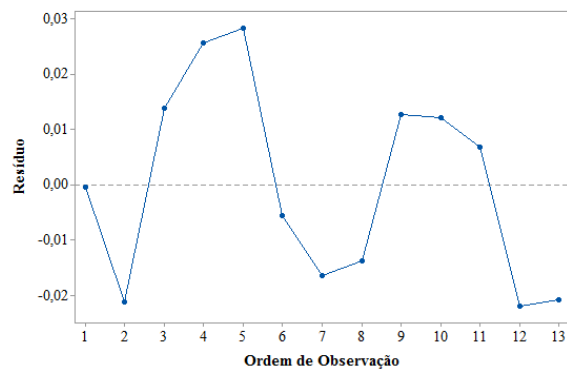
Independência: absorção 10 min



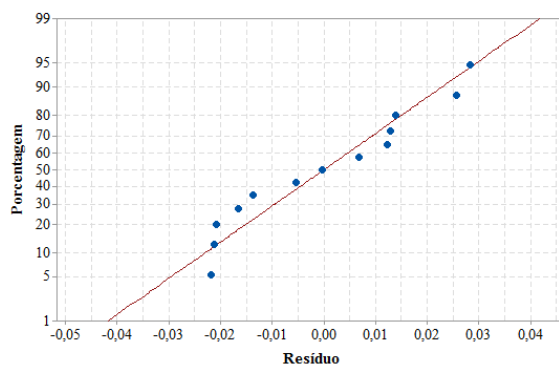
Normalidade: absorção 10 min



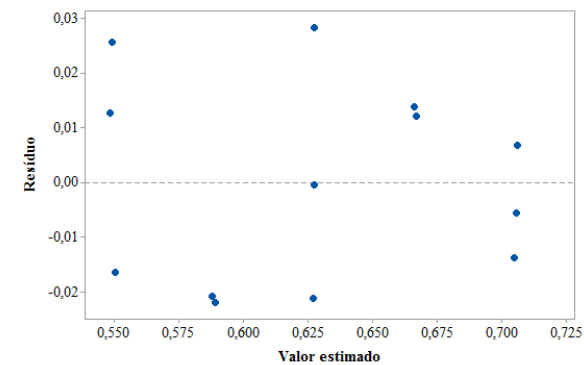
Homogeneidade de variâncias: absorção 10 min



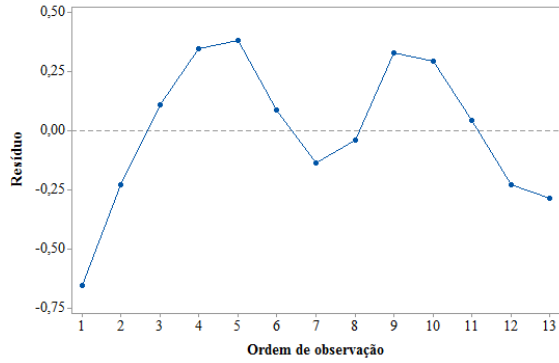
Independência: absorção 90 min



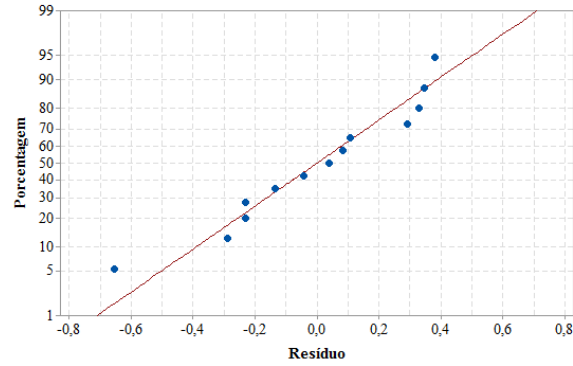
Normalidade: absorção 90 min



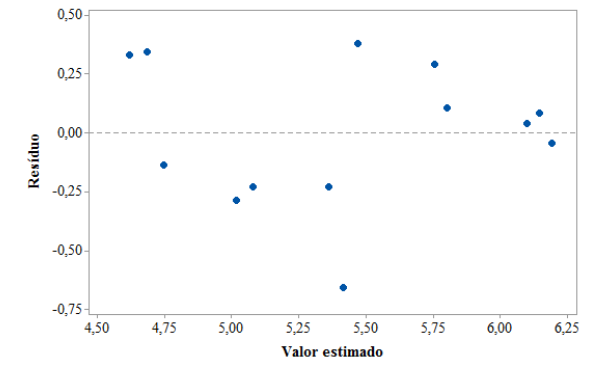
Homogeneidade de variâncias: absorção 90 min



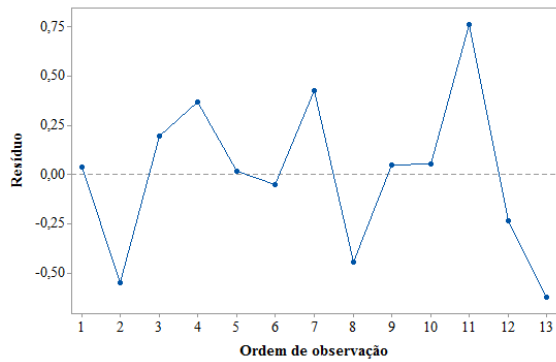
Independência: coeficiente de capilaridade



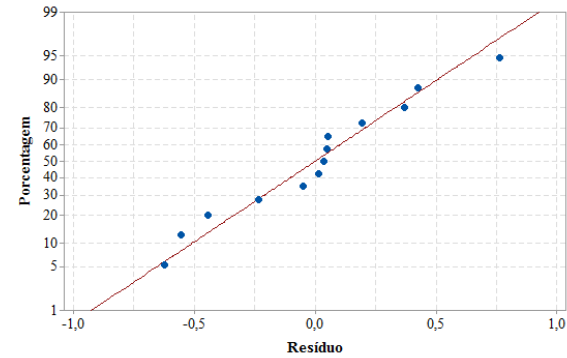
Normalidade: coeficiente de capilaridade



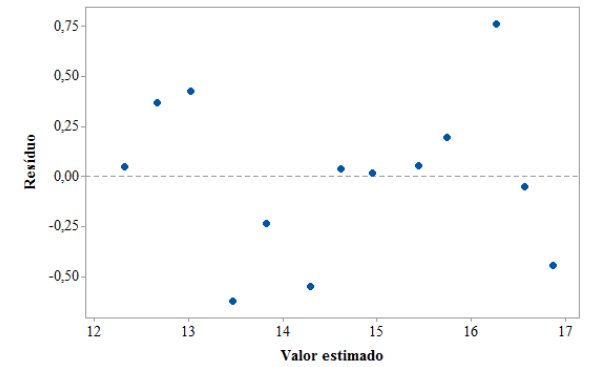
Homogeneidade de variâncias: coeficiente de capilaridade



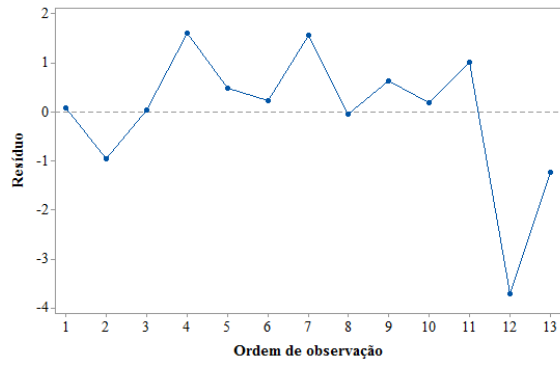
Independência: absorção por imersão



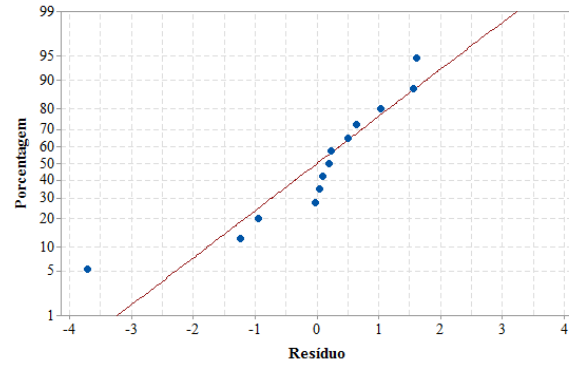
Normalidade: absorção por imersão



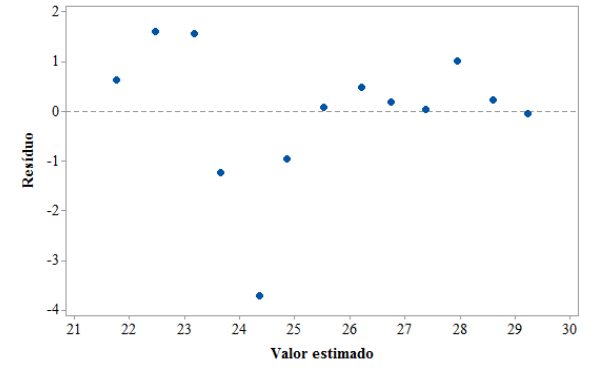
Homogeneidade de variâncias: absorção por imersão



Independência: índice de vazios



Normalidade: índice de vazios



Homogeneidade de variâncias: índice de vazios

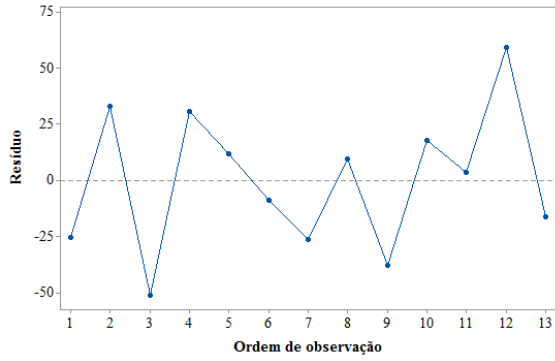
Apêndice G

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.													
Traço	Corpo de Prova	l_1 (cm)	l_2 (cm)	$l_{média}$ (cm)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	$h_{média}$ (cm)	c_1 (cm)	c_2 (cm)	$c_{média}$ (cm)	$m_{natural}$ (g)	$\rho_{aparente}$ (kg/m ³)	ρ_e (kg/m ³)
1	196	4,25	4,09	4,170	3,75	3,79	3,770	16,31	16,38	16,345	456,81	1778	1785
	197	4,13	4,11	4,120	3,63	3,52	3,575	16,42	16,39	16,405	432,70	1791	
	198	4,32	4,23	4,275	3,75	3,79	3,770	16,32	16,29	16,305	469,05	1785	
2	199	4,10	4,16	4,130	4,16	4,15	4,155	16,10	16,12	16,110	497,64	1800	1790
	200	4,11	4,15	4,130	4,14	4,16	4,150	16,52	16,54	16,530	508,80	1796	
	201	4,17	4,15	4,160	4,23	4,29	4,260	16,11	16,14	16,125	507,15	1775	
3	202	4,21	4,18	4,195	4,20	4,23	4,215	16,32	16,29	16,305	518,98	1800	1807
	203	4,20	4,24	4,220	4,15	4,19	4,170	16,30	16,29	16,295	519,56	1812	
	204	4,21	4,14	4,175	4,21	4,20	4,205	16,30	16,34	16,320	518,68	1810	
4	205	4,15	4,21	4,180	4,21	4,22	4,215	16,40	16,35	16,375	502,83	1743	1798
	206	4,15	4,04	4,095	4,10	4,14	4,120	16,42	16,40	16,410	503,06	1817	
	207	4,15	4,19	4,170	4,05	4,09	4,070	16,25	16,30	16,275	506,74	1835	
5	208	4,14	4,22	4,180	4,21	4,20	4,205	16,14	16,20	16,170	531,14	1869	1875
	209	4,24	4,17	4,205	4,22	4,20	4,210	16,33	16,28	16,305	545,46	1890	
	210	4,21	4,17	4,190	4,13	4,24	4,185	16,14	16,09	16,115	527,15	1865	
6	211	4,14	4,21	4,175	4,14	4,17	4,155	16,40	16,38	16,390	523,68	1842	1844
	212	4,27	4,25	4,260	4,22	4,21	4,215	16,54	16,55	16,545	548,53	1846	
	213	4,16	4,22	4,190	4,21	4,18	4,195	16,42	16,36	16,390	530,96	1843	
7	214	4,23	4,27	4,250	4,27	4,24	4,255	16,14	16,14	16,140	509,39	1745	1795
	215	4,12	4,13	4,125	4,03	4,01	4,020	16,55	16,47	16,510	515,09	1881	
	216	4,14	4,16	4,150	4,20	4,21	4,205	16,30	16,33	16,315	500,96	1760	
8	217	4,14	4,20	4,170	4,21	4,22	4,215	16,37	16,44	16,405	549,65	1906	1915
	218	4,22	4,20	4,210	4,18	4,14	4,160	16,54	16,54	16,540	553,77	1912	
	219	4,11	4,22	4,165	4,11	4,12	4,115	16,13	16,16	16,145	533,01	1926	
9	220	4,12	4,08	4,100	4,21	4,24	4,225	16,21	16,22	16,215	477,90	1701	1676
	221	4,22	4,20	4,210	4,27	4,24	4,255	16,24	16,20	16,220	475,89	1638	
	222	4,11	4,04	4,075	4,22	4,17	4,195	16,54	16,48	16,510	476,66	1689	
10	223	4,19	4,23	4,210	4,25	4,18	4,215	16,24	16,20	16,220	526,34	1829	1823
	224	4,27	4,33	4,300	4,21	4,27	4,240	16,16	16,13	16,145	538,97	1831	
	225	4,18	4,26	4,220	4,25	4,24	4,245	16,25	16,21	16,230	525,90	1809	
11	226	4,16	4,11	4,135	4,25	4,18	4,215	16,42	16,37	16,395	513,25	1796	1804
	227	4,27	4,28	4,275	4,21	4,19	4,200	16,22	16,13	16,175	528,30	1819	
	228	4,11	4,12	4,115	4,21	4,20	4,205	16,39	16,43	16,410	510,66	1798	
12	229	4,09	4,06	4,075	4,11	4,02	4,065	16,54	16,49	16,515	526,06	1923	1875
	230	4,13	4,09	4,110	4,11	4,16	4,135	16,15	16,17	16,160	502,99	1831	
	231	4,18	4,21	4,195	4,11	4,15	4,130	16,23	16,25	16,240	526,32	1871	
13	232	4,21	4,22	4,215	4,24	4,25	4,245	16,14	16,15	16,145	503,03	1741	1746
	233	4,19	4,13	4,160	4,18	4,15	4,165	16,49	16,48	16,485	494,34	1731	
	234	4,17	4,19	4,180	4,13	4,14	4,135	16,45	16,44	16,445	502,00	1766	

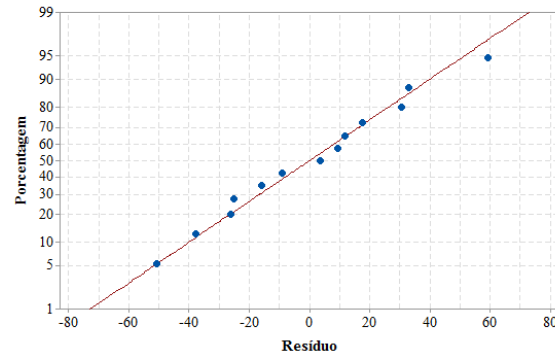
Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da densidade de massa aparente no estado fresco e do teor de ar incorporado

Traço	m_c (g)	$m_{cemento}$ (g)	m_{areia} (g)	m_{grits} (g)	$m_{água+aditivo}$ (g)	ρ_f (kg/m ³)	d_t (kg/m ³)	A (%)
1	1744,25	140,00	430,00	430,00	182,00	1730	2092	17
2	1718,58	130,00	435,00	435,00	169,00	1675	2116	21
3	1758,61	145,00	215,00	640,00	188,50	1761	2065	15
4	1702,65	140,00	860,00	0,00	182,00	1640	2124	23
5	1799,56	150,00	425,00	425,00	195,00	1850	2069	11
6	1795,88	140,00	0,00	860,00	182,00	1842	2061	11
7	1689,94	150,00	850,00	0,00	195,00	1612	2100	23
8	1795,90	150,00	0,00	850,00	195,00	1842	2040	10
9	1661,05	130,00	870,00	0,00	169,00	1550	2149	28
10	1797,15	135,00	215,00	650,00	175,50	1845	2088	12
11	1755,53	130,00	0,00	870,00	169,00	1755	2083	16
12	1742,06	145,00	640,00	215,00	188,50	1726	2096	18
13	1709,28	135,00	650,00	215,00	175,50	1654	2120	22

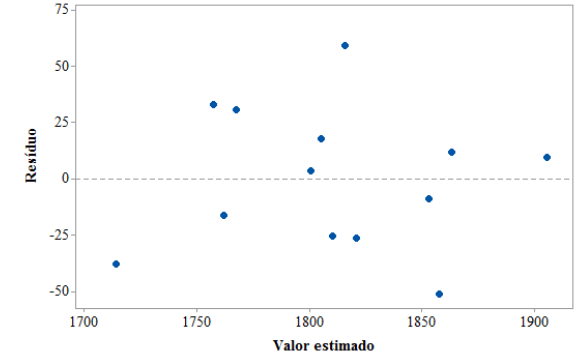
Apêndice H



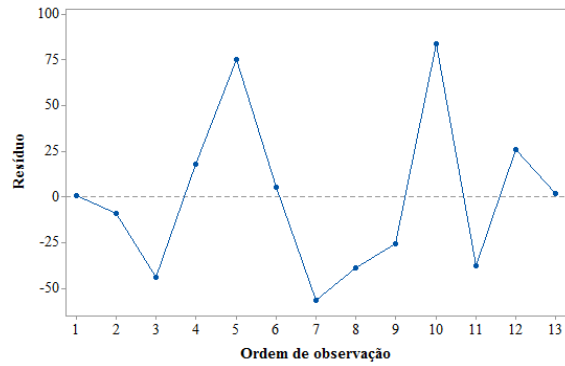
Independência: DMAEE



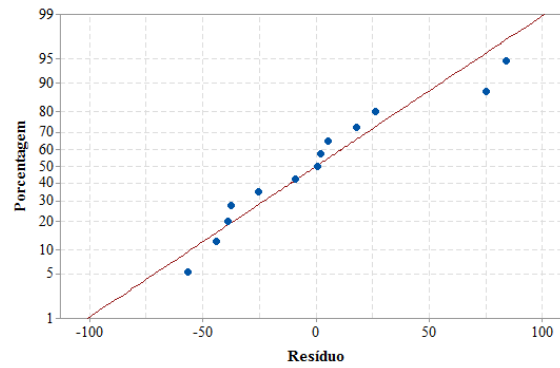
Normalidade: DMAEE



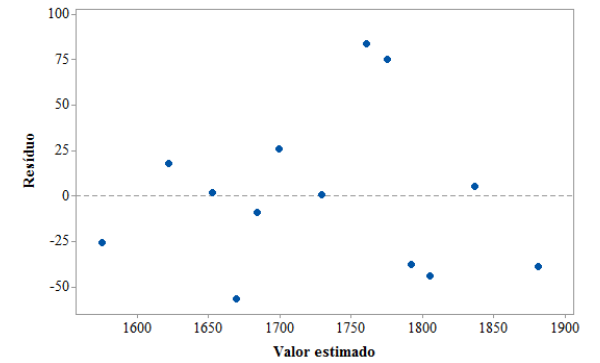
Homogeneidade de variâncias: DMAEE



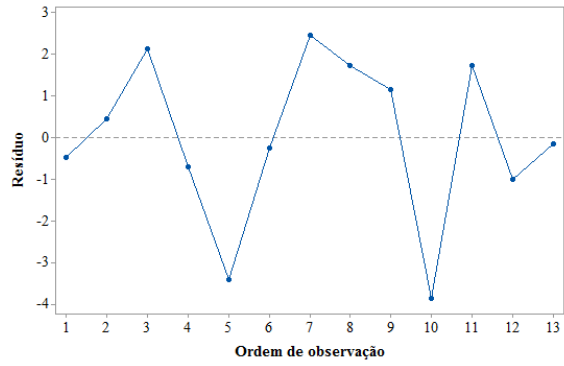
Independência: DMEF



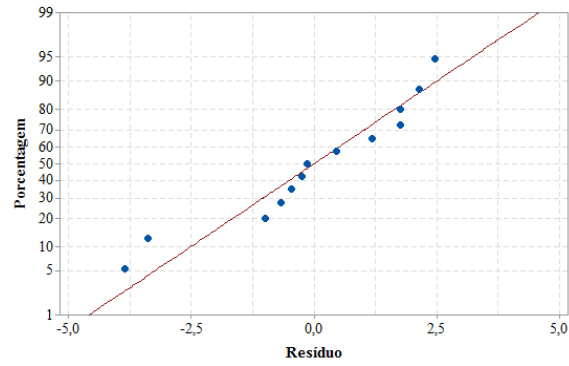
Normalidade: DMEF



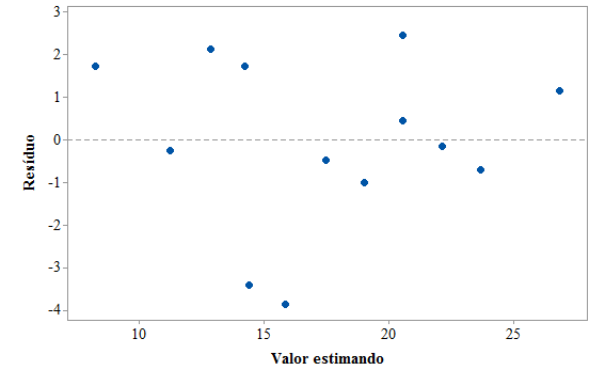
Homogeneidade de variâncias: DMEF



Independência: Teor de ar incorporado



Normalidade: Teor de ar incorporado

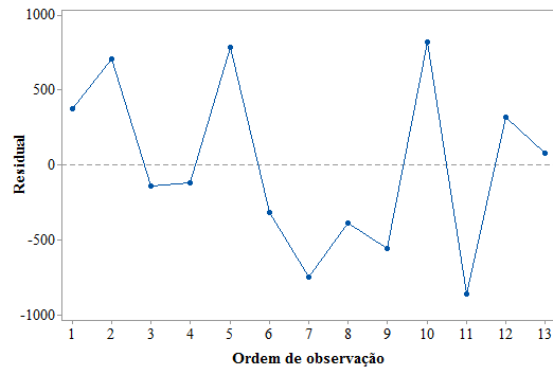


Homogeneidade de variâncias: Teor de ar incorporado

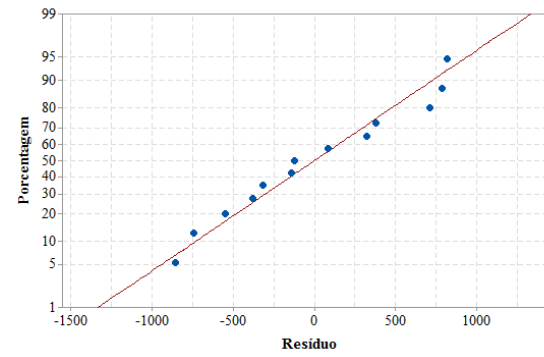
Apêndice I

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico									
Traço	Corpo de Prova	$\rho_{parentemédia}$ (kg/m ³)	l_{tf} (mm)	Tempo de propagação			v (mm/ μ s)	E_d (MPa)	$E_{dmédio}$ (MPa)
				t_1 (μ s)	t_2 (μ s)	t_3 (μ s)			
1	118	1785	164,00	55,41	56,71	55,93	2,96	14073	13513
	119		164,00	56,39	57,40	57,07	2,91	13601	
	120		164,00	57,91	57,97	58,53	2,83	12864	
2	121	1790	164,00	59,90	60,84	60,17	2,74	12097	13349
	122		162,50	55,39	55,98	55,37	2,93	13833	
	123		162,00	54,73	55,17	55,24	2,96	14118	
3	124	1807	165,00	56,70	57,01	57,29	2,91	13774	13933
	125		165,00	56,74	56,87	56,91	2,91	13774	
	126		165,00	55,74	55,75	55,87	2,96	14252	
4	127	1798	164,00	57,91	58,03	58,34	2,83	12962	11617
	128		163,00	61,53	61,97	62,96	2,65	11366	
	129		165,00	64,78	65,15	64,82	2,55	10524	
5	130	1875	165,00	56,74	56,79	56,95	2,91	14287	14418
	131		163,00	55,56	55,94	55,87	2,93	14484	
	132		163,50	55,73	55,73	55,86	2,93	14484	
6	133	1844	164,00	57,40	58,12	57,64	2,86	13572	14216
	134		164,00	55,41	55,67	55,99	2,96	14538	
	135		164,00	55,41	55,41	55,74	2,96	14538	
7	136	1795	165,00	64,78	65,03	65,17	2,55	10507	11503
	137		165,00	59,76	60,15	60,67	2,76	12309	
	138		165,00	61,27	61,87	61,89	2,69	11692	
8	139	1915	165,00	56,24	56,25	56,53	2,93	14793	14626
	140		165,00	56,24	56,59	56,87	2,93	14793	
	141		165,00	57,25	57,36	57,49	2,88	14293	
9	142	1676	163,50	62,21	62,54	62,35	2,63	10433	10675
	143		163,50	60,22	60,72	60,27	2,72	11160	
	144		163,50	62,21	62,29	62,54	2,63	10433	
10	145	1823	165,00	57,25	57,31	57,49	2,88	13609	14414
	146		165,00	55,24	55,26	55,71	2,99	14668	
	147		164,00	54,39	54,41	54,63	3,02	14964	
11	148	1804	164,00	58,40	58,45	58,61	2,81	12822	13195
	149		164,00	58,40	58,52	58,40	2,81	12822	
	150		164,00	55,90	55,93	56,08	2,93	13941	
12	151	1875	165,00	60,26	60,68	60,59	2,74	12669	13013
	152		165,00	58,26	58,71	58,39	2,83	13515	
	153		165,00	59,76	59,89	60,07	2,76	12855	
13	154	1746	164,00	58,40	58,42	58,79	2,81	12408	12262
	155		164,00	59,40	59,71	59,67	2,76	11970	
	156		164,00	58,40	58,58	58,40	2,81	12408	

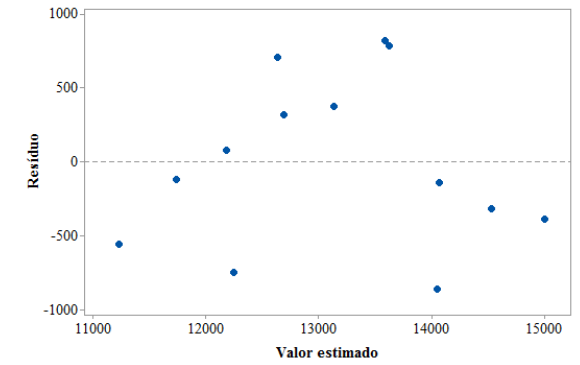
Apêndice J



Independência: Módulo de elasticidade dinâmico



Normalidade: Módulo de elasticidade dinâmico



Homogeneidade de variâncias: Módulo de elasticidade dinâmico

Apêndice K

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à tração na flexão aos 3 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	l_{tf} (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio}tfc$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_{tf} (mm)	F_{tf} (kgf)	R_{tf} (MPa)	$R_{tfmédio}$ (MPa)
14	235	104,00	41,47	41,52	41,495	41,49	1,10	75,900	1,626	1,55
	236	104,00	41,49	41,52	41,505	43,00	1,07	73,830	1,472	
	237	104,00	41,50	41,97	41,735	42,00	1,09	75,210	1,563	
15	238	104,00	43,09	42,44	42,765	42,00	0,58	40,020	0,812	0,83
	239	105,00	43,05	41,93	42,490	41,05	0,56	38,640	0,834	
	240	105,00	43,02	42,04	42,530	40,96	0,56	38,640	0,836	
16	241	102,00	42,52	40,31	41,415	42,00	0,84	57,960	1,190	1,17
	242	101,00	42,00	41,49	41,745	41,50	0,81	55,890	1,155	
	243	104,00	42,00	41,49	41,745	41,96	0,82	56,580	1,178	
17	244	105,00	42,47	43,00	42,735	42,02	0,99	68,310	1,398	1,44
	245	105,00	43,01	42,51	42,760	42,00	1,03	71,070	1,455	
	246	104,00	43,00	42,00	42,500	41,47	1,02	70,380	1,473	
18	247	104,00	41,52	41,49	41,505	42,50	1,17	80,730	1,647	1,70
	248	104,00	41,00	41,51	41,255	41,00	1,24	85,560	1,887	
	249	103,50	42,00	41,49	41,745	43,00	1,15	79,350	1,565	

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à tração na flexão aos 7 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	l_{tf} (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio}tfc$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_{tf} (mm)	F_{tf} (kgf)	R_{tf} (MPa)	$R_{tfmédio}$ (MPa)
14	250	104,00	43,51	43,97	43,740	41,51	1,69	116,610	2,367	2,33
	251	104,00	43,01	43,52	43,265	42,50	1,68	115,920	2,269	
	252	104,00	44,00	44,49	44,245	41,50	1,69	116,610	2,341	
15	253	105,00	42,57	42,39	42,480	41,87	0,98	67,620	1,402	1,39
	254	104,50	42,11	42,12	42,115	42,02	0,96	66,240	1,369	
	255	105,00	43,02	42,21	42,615	42,03	0,98	67,620	1,387	
16	256	107,00	42,49	43,00	42,745	41,00	1,33	91,770	2,010	1,82
	257	106,00	43,50	42,00	42,750	42,00	1,20	82,800	1,712	
	258	105,00	42,50	42,49	42,495	42,00	1,23	84,870	1,749	
17	259	105,00	41,50	42,97	42,235	42,50	1,47	101,430	2,054	2,12
	260	104,00	42,02	42,50	42,260	41,99	1,55	106,950	2,196	
	261	106,00	42,50	41,50	42,000	42,49	1,48	102,120	2,100	
18	262	104,00	42,00	42,00	42,000	41,99	1,77	122,130	2,523	2,53
	263	104,00	41,50	41,47	41,485	42,02	1,76	121,440	2,536	
	264	104,00	42,00	41,50	41,750	41,50	1,72	118,680	2,525	

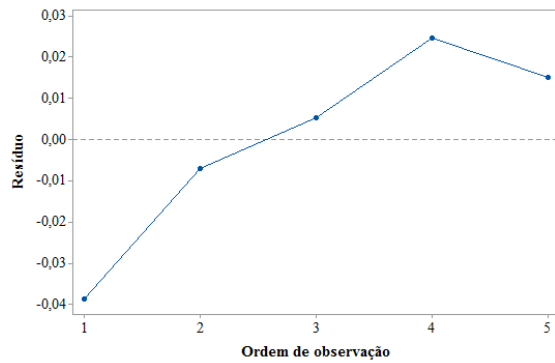
Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à tração na flexão aos 14 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	l_{tf} (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio\ tfc}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_{tf} (mm)	F_{tf} (kgf)	R_{tf} (MPa)	$R_{tf\ médio}$ (MPa)
14	265	104,00	41,50	40,05	40,775	41,51	0,18	125,280	2,728	2,65
	266	104,00	41,50	40,02	40,760	42,52	0,18	125,280	2,601	
	267	104,00	41,02	41,48	41,250	42,00	0,18	125,280	2,634	
15	268	105,00	43,02	41,50	42,260	42,53	1,08	74,520	1,506	1,53
	269	103,50	42,11	42,92	42,515	42,02	1,07	73,830	1,497	
	270	104,00	42,47	41,00	41,735	41,53	1,09	75,210	1,598	
16	271	102,00	42,51	42,49	42,500	42,50	0,15	104,400	2,041	2,10
	272	104,00	41,51	42,52	42,015	41,50	0,15	104,400	2,207	
	273	102,00	42,02	41,99	42,005	42,50	0,15	104,400	2,065	
17	274	105,00	42,50	42,98	42,740	42,50	0,17	118,320	2,367	2,52
	275	106,00	42,50	42,49	42,495	41,51	0,17	118,320	2,520	
	276	105,00	42,50	41,50	42,000	41,51	0,18	125,280	2,674	
18	277	104,00	42,00	41,49	41,745	41,50	0,19	132,240	2,814	2,83
	278	105,00	41,00	40,51	40,755	42,50	0,19	132,240	2,775	
	279	104,00	41,02	40,49	40,755	42,52	0,20	139,200	2,890	

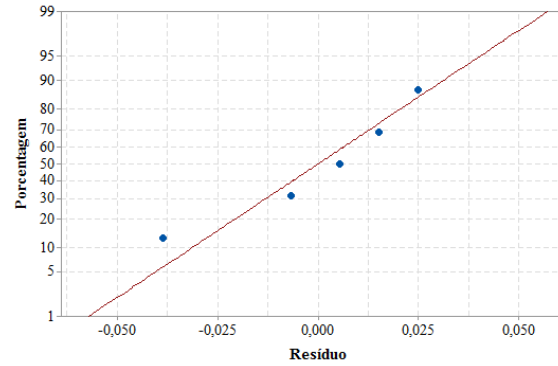
Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à tração na flexão aos 28 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	l_{tf} (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio\ tfc}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_{tf} (mm)	F_{tf} (kgf)	R_{tf} (MPa)	$R_{tf\ médio}$ (MPa)
14	280	103,00	41,51	41,98	41,745	42,01	0,22	153,120	3,149	3,04
	281	103,50	43,01	43,50	43,255	43,02	0,22	153,120	2,912	
	282	103,50	42,03	42,01	42,020	42,51	0,22	153,120	3,070	
15	283	105,00	43,03	43,01	43,020	42,02	1,21	83,490	1,698	1,74
	284	105,00	42,95	43,04	42,995	42,03	1,22	84,180	1,712	
	285	105,00	41,99	42,02	42,005	42,05	1,26	86,940	1,808	
16	286	105,50	42,01	41,49	41,750	42,01	0,16	111,360	2,345	2,36
	287	107,00	42,97	41,51	42,240	41,02	0,16	111,360	2,466	
	288	105,00	42,52	43,03	42,775	42,01	0,16	111,360	2,278	
17	289	105,50	42,47	41,99	42,230	41,50	0,19	132,240	2,822	2,87
	290	105,00	42,03	41,01	41,520	41,00	0,20	139,200	3,080	
	291	105,00	43,00	42,02	42,510	41,01	0,18	125,280	2,707	
18	292	104,50	42,01	42,00	42,005	43,48	0,25	174,000	3,368	3,29
	293	104,00	41,51	41,48	41,495	42,52	0,23	160,080	3,264	
	294	104,00	43,97	42,00	42,985	42,01	0,23	160,080	3,228	

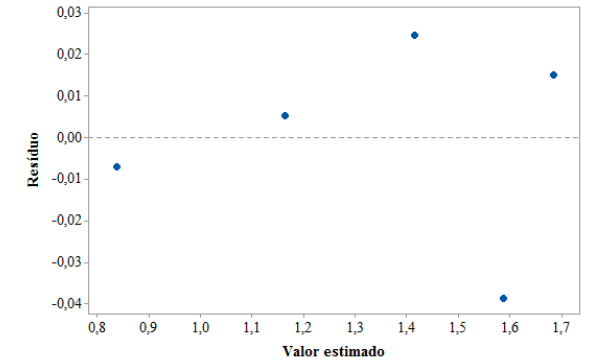
Apêndice L



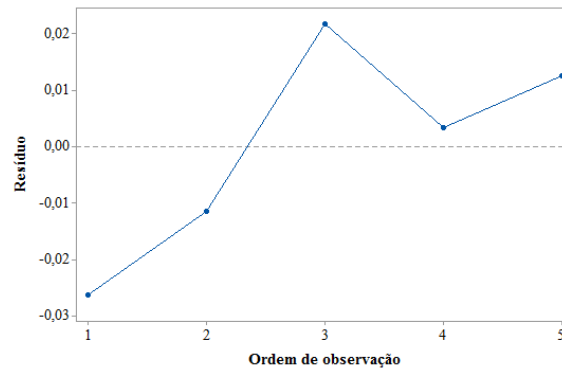
Independência: tração aos 3 dias



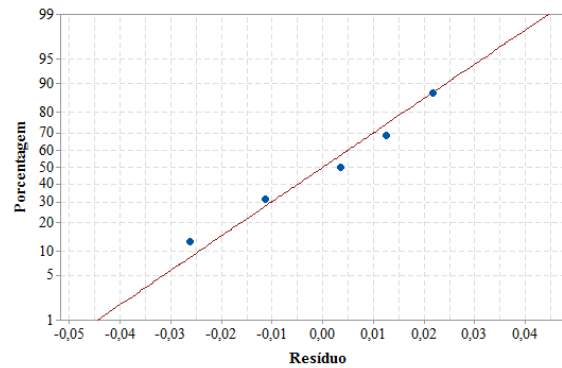
Normalidade: tração aos 3 dias



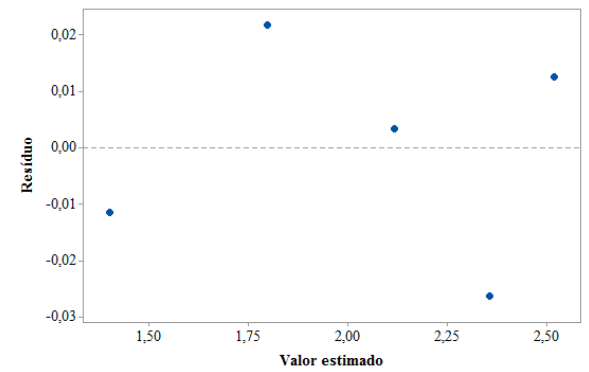
Homogeneidade de variâncias: tração aos 3 dias



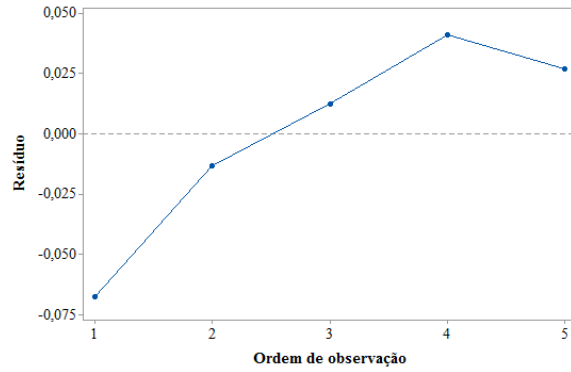
Independência: tração aos 7 dias



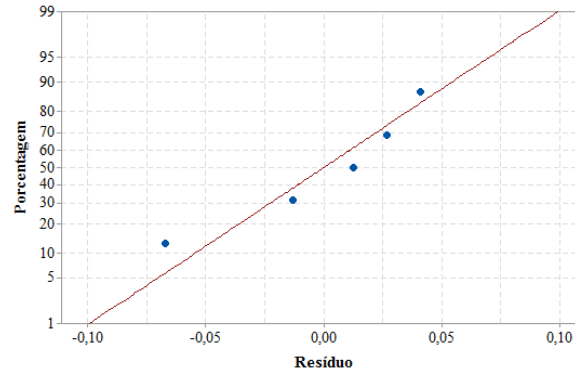
Normalidade: tração aos 7 dias



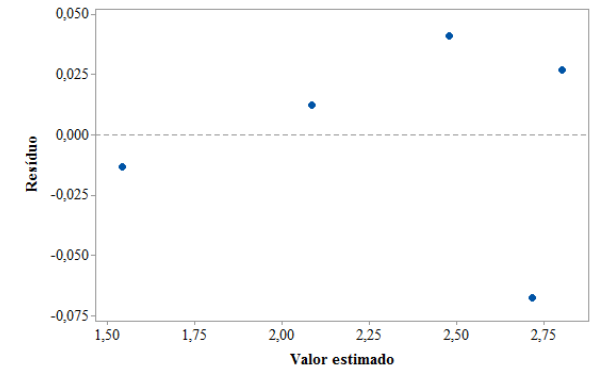
Homogeneidade de variâncias: tração aos 3 dias



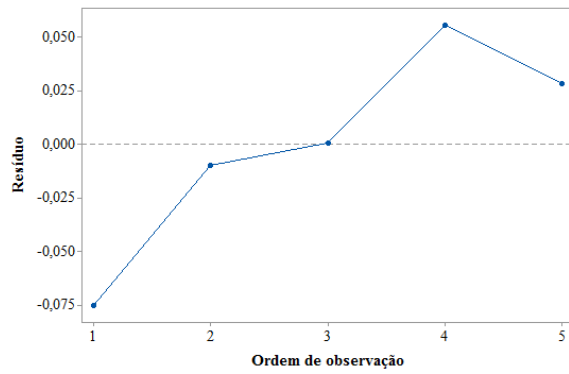
Independência: tração aos 14 dias



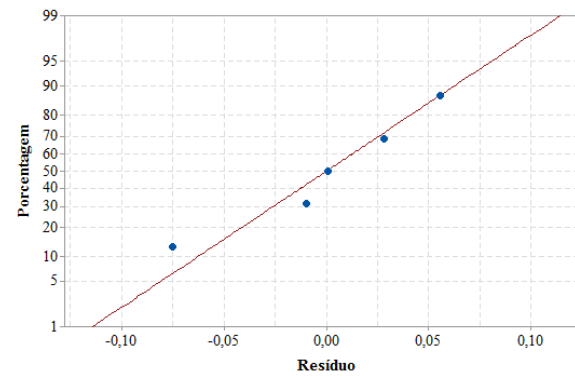
Normalidade: tração aos 14 dias



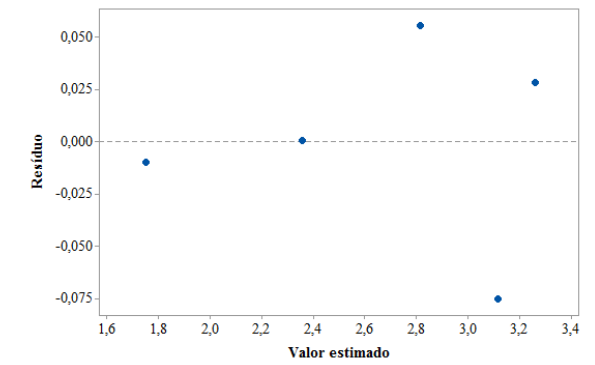
Homogeneidade de variâncias: tração aos 14 dias



Independência: tração aos 28 dias



Normalidade: tração aos 28 dias



Homogeneidade de variâncias: tração aos 28 dias

Apêndice M

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial aos 3 dias de idade.										
Traço	Corpo de Prova	l_{tf} (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio}l_{tfc}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_c (mm)	F_c (kgf)	R_c (MPa)	$R_{cmédio}$ (MPa)
14	235-A	104,00	41,47	41,52	41,495	41,49	0,71	494,160	2,815	2,74
	235-B	104,00	41,47	41,52	41,495	41,49	0,70	487,200	2,775	
	236-A	104,00	41,49	41,52	41,505	43,00	0,70	487,200	2,677	
	236-B	104,00	41,49	41,52	41,505	43,00	0,70	487,200	2,677	
	237-A	104,00	41,50	41,97	41,735	42,00	0,71	494,160	2,765	
	237-B	104,00	41,50	41,97	41,735	42,00	0,70	487,200	2,726	
15	238-A	104,00	43,09	42,44	42,765	42,00	0,44	306,240	1,672	1,73
	238-B	104,00	43,09	42,44	42,765	42,00	0,43	299,280	1,634	
	239-A	105,00	43,05	41,93	42,490	41,05	0,46	320,160	1,800	
	239-B	105,00	43,05	41,93	42,490	41,05	0,47	327,120	1,839	
	240-A	105,00	43,02	42,04	42,530	40,96	0,43	299,280	1,685	
	240-B	105,00	43,02	42,04	42,530	40,96	0,45	313,200	1,763	
16	241-A	102,00	42,52	40,31	41,415	42,00	0,57	396,720	2,237	2,12
	241-B	102,00	42,52	40,31	41,415	42,00	0,60	417,600	2,354	
	242-A	101,00	42,00	41,49	41,745	41,50	0,52	361,920	2,049	
	242-B	101,00	42,00	41,49	41,745	41,50	0,52	361,920	2,049	
	243-A	104,00	42,00	41,49	41,745	41,96	0,53	368,880	2,065	
	24-B	104,00	42,00	41,49	41,745	41,96	0,51	354,960	1,987	
17	244-A	105,00	42,47	43,00	42,735	42,02	0,62	431,520	2,357	2,43
	244-B	105,00	42,47	43,00	42,735	42,02	0,65	452,400	2,471	
	245-A	105,00	43,01	42,51	42,760	42,00	0,64	445,440	2,432	
	245-B	105,00	43,01	42,51	42,760	42,00	0,63	438,480	2,394	
	246-A	104,00	43,00	42,00	42,500	41,47	0,60	417,600	2,324	
	245-B	104,00	43,00	42,00	42,500	41,47	0,67	466,320	2,595	
18	247-A	104,00	41,52	41,49	41,505	42,50	0,67	466,320	2,592	2,92
	247-B	104,00	41,52	41,49	41,505	42,50	0,67	466,320	2,592	
	248-A	104,00	41,00	41,51	41,255	41,00	0,83	577,680	3,349	
	248-B	104,00	41,00	41,51	41,255	41,00	0,81	563,760	3,269	
	249-A	103,50	42,00	41,49	41,745	43,00	0,77	535,920	2,928	
	249-B	103,50	42,00	41,49	41,745	43,00	0,74	515,040	2,814	

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial aos 7 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	l_{tf} (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio}l_{tfc}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_c (mm)	F_c (kgf)	R_c (MPa)	$R_{cmédio}$ (MPa)
14	250-A	104,00	43,51	43,97	43,740	41,51	1,24	863,040	4,661	4,57
	250-B	104,00	43,51	43,97	43,740	41,51	1,23	856,080	4,624	
	251-A	104,00	43,01	43,52	43,265	42,50	1,22	849,120	4,529	
	251-B	104,00	43,01	43,52	43,265	42,50	1,20	835,200	4,454	
	252-A	104,00	44,00	44,49	44,245	41,50	1,21	842,160	4,498	
	252-B	104,00	44,00	44,49	44,245	41,50	1,25	870,000	4,647	
15	253-A	105,00	42,57	42,39	42,480	41,87	0,76	528,960	2,916	2,85
	253-B	105,00	42,57	42,39	42,480	41,87	0,69	480,240	2,648	
	254-A	104,50	42,11	42,12	42,115	42,02	0,77	535,920	2,970	
	254-B	104,50	42,11	42,12	42,115	42,02	0,77	535,920	2,970	
	255-A	105,00	43,02	42,21	42,615	42,03	0,73	508,080	2,782	
	255-B	105,00	43,02	42,21	42,615	42,03	0,74	515,040	2,820	
16	256-A	107,00	42,49	43,00	42,745	41,00	0,97	675,120	3,778	3,65
	256-B	107,00	42,49	43,00	42,745	41,00	0,97	675,120	3,778	
	257-A	106,00	43,50	42,00	42,750	42,00	0,92	640,320	3,497	
	257-B	106,00	43,50	42,00	42,750	42,00	0,96	668,160	3,649	
	258-A	105,00	42,50	42,49	42,495	42,00	0,91	633,360	3,480	
	258-B	105,00	42,50	42,49	42,495	42,00	0,97	675,120	3,709	
17	259-A	105,00	41,50	42,97	42,235	42,50	1,13	786,480	4,297	4,23
	259-B	105,00	41,50	42,97	42,235	42,50	1,15	800,400	4,373	
	260-A	104,00	42,02	42,50	42,260	41,99	1,07	744,720	4,116	
	260-B	104,00	42,02	42,50	42,260	41,99	1,12	779,520	4,308	
	261-A	106,00	42,50	41,50	42,000	42,49	1,10	765,600	4,207	
	261-B	106,00	42,50	41,50	42,000	42,49	1,06	737,760	4,054	
18	262-A	104,00	42,00	42,00	42,000	41,99	1,25	870,000	4,838	4,87
	262-B	104,00	42,00	42,00	42,000	41,99	1,25	870,000	4,838	
	263-A	104,00	41,50	41,47	41,485	42,02	1,26	876,960	4,933	
	263-B	104,00	41,50	41,47	41,485	42,02	1,20	835,200	4,699	
	264-A	104,00	42,00	41,50	41,750	41,50	1,25	870,000	4,924	
	264-B	104,00	42,00	41,50	41,750	41,50	1,26	876,960	4,964	

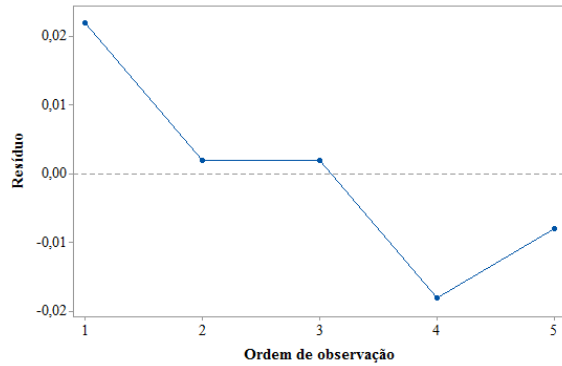
Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial aos 14 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	l_{ff} (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio\ tfc}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_c (mm)	F_c (kgf)	R_c (MPa)	$R_{cmédio}$ (MPa)
14	265-A	104,00	41,50	40,05	40,775	41,51	1,31	911,760	5,283	5,31
	265-B	104,00	41,50	40,05	40,775	41,51	1,38	960,480	5,565	
	266-A	104,00	41,50	40,02	40,760	42,52	1,31	911,760	5,159	
	266-B	104,00	41,50	40,02	40,760	42,52	1,40	974,400	5,514	
	267-A	104,00	41,02	41,48	41,250	42,00	1,31	911,760	5,161	
	267-B	104,00	41,02	41,48	41,250	42,00	1,32	918,720	5,200	
15	268-A	105,00	43,02	41,50	42,260	42,53	0,94	654,240	3,570	3,67
	268-B	105,00	43,02	41,50	42,260	42,53	0,98	682,080	3,722	
	269-A	103,50	42,11	42,92	42,515	42,02	0,92	640,320	3,515	
	269-B	103,50	42,11	42,92	42,515	42,02	0,97	675,120	3,706	
	270-A	104,00	42,47	41,00	41,735	41,53	0,94	654,240	3,702	
	270-B	104,00	42,47	41,00	41,735	41,53	0,96	668,160	3,780	
16	271-A	102,00	42,51	42,49	42,500	42,50	1,16	807,360	4,383	4,45
	271-B	102,00	42,51	42,49	42,500	42,50	1,19	828,240	4,497	
	272-A	104,00	41,51	42,52	42,015	41,50	1,19	828,240	4,658	
	272-B	104,00	41,51	42,52	42,015	41,50	1,14	793,440	4,463	
	273-A	102,00	42,02	41,99	42,005	42,50	1,15	800,400	4,397	
	273-B	102,00	42,02	41,99	42,005	42,50	1,13	786,480	4,320	
17	274-A	105,00	42,50	42,98	42,740	42,50	1,20	835,200	4,509	4,93
	274-B	105,00	42,50	42,98	42,740	42,50	1,23	856,080	4,622	
	275-A	106,00	42,50	42,49	42,495	41,51	1,35	939,600	5,224	
	275-B	106,00	42,50	42,49	42,495	41,51	1,32	918,720	5,108	
	276-A	105,00	42,50	41,50	42,000	41,51	1,37	953,520	5,364	
	276-B	105,00	42,50	41,50	42,000	41,51	1,21	842,160	4,737	
18	277-A	104,00	42,00	41,49	41,745	41,50	1,42	988,320	5,595	5,56
	277-B	104,00	42,00	41,49	41,745	41,50	1,37	953,520	5,398	
	278-A	105,00	41,00	40,51	40,755	42,50	1,37	953,520	5,399	
	278-B	105,00	41,00	40,51	40,755	42,50	1,45	1009,200	5,714	
	279-A	104,00	41,02	40,49	40,755	42,52	1,45	1009,200	5,711	
	279-B	104,00	41,02	40,49	40,755	42,52	1,41	981,360	5,554	

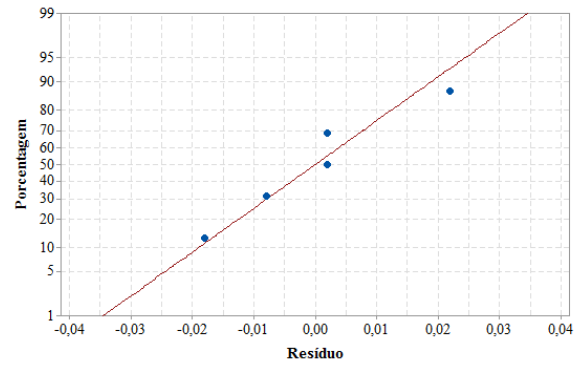
Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da resistência à compressão axial aos 28 dias de idade.

Traço	Corpo de Prova	l_{tf} (mm)	b_1 (mm)	b_2 (mm)	$b_{médio}l_{tf}$ (mm)	h_{tfc} (mm)	Δ_c (mm)	F_c (kgf)	R_c (MPa)	$R_{cmédio}$ (MPa)
14	280-A	103,00	41,51	41,98	41,745	42,01	1,59	1106,640	6,188	6,03
	280-B	103,00	41,51	41,98	41,745	42,01	1,62	1127,520	6,305	
	281-A	103,50	43,01	43,50	43,255	43,02	1,56	1085,760	5,722	
	281-B	103,50	43,01	43,50	43,255	43,02	1,59	1106,640	5,832	
	282-A	103,50	42,03	42,01	42,020	42,51	1,60	1113,600	6,114	
	282-B	103,50	42,03	42,01	42,020	42,51	1,58	1099,680	6,037	
15	283-A	105,00	43,03	43,01	43,020	42,02	1,15	800,400	4,342	4,43
	283-B	105,00	43,03	43,01	43,020	42,02	1,18	821,280	4,455	
	284-A	105,00	42,95	43,04	42,995	42,03	1,20	835,200	4,532	
	284-B	105,00	42,95	43,04	42,995	42,03	1,15	800,400	4,344	
	285-A	105,00	41,99	42,02	42,005	42,05	1,14	793,440	4,405	
	285-B	105,00	41,99	42,02	42,005	42,05	1,16	807,360	4,483	
16	286-A	105,50	42,01	41,49	41,750	42,01	1,32	918,720	5,137	5,13
	286-B	105,50	42,01	41,49	41,750	42,01	1,34	932,640	5,215	
	287-A	107,00	42,97	41,51	42,240	41,02	1,35	939,600	5,318	
	287-B	107,00	42,97	41,51	42,240	41,02	1,30	904,800	5,121	
	288-A	105,00	42,52	43,03	42,775	42,01	1,29	897,840	4,900	
	288-B	105,00	42,52	43,03	42,775	42,01	1,34	932,640	5,090	
17	289-A	105,50	42,47	41,99	42,230	41,50	1,47	1023,120	5,725	5,72
	289-B	105,50	42,47	41,99	42,230	41,50	1,43	995,280	5,569	
	290-A	105,00	42,03	41,01	41,520	41,00	1,45	1009,200	5,814	
	290-B	105,00	42,03	41,01	41,520	41,00	1,44	1002,240	5,774	
	291-A	105,00	43,00	42,02	42,510	41,01	1,47	1023,120	5,755	
	291-B	105,00	43,00	42,02	42,510	41,01	1,45	1009,200	5,677	
18	292-A	104,50	42,01	42,00	42,005	43,48	1,70	1183,200	6,353	6,38
	292-B	104,50	42,01	42,00	42,005	43,48	1,66	1155,360	6,204	
	293-A	104,00	41,51	41,48	41,495	42,52	1,59	1106,640	6,151	
	293-B	104,00	41,51	41,48	41,495	42,52	1,68	1169,280	6,499	
	294-A	104,00	43,97	42,00	42,985	42,01	1,78	1238,880	6,728	
	294-B	104,00	43,97	42,00	42,985	42,01	1,68	1169,280	6,350	

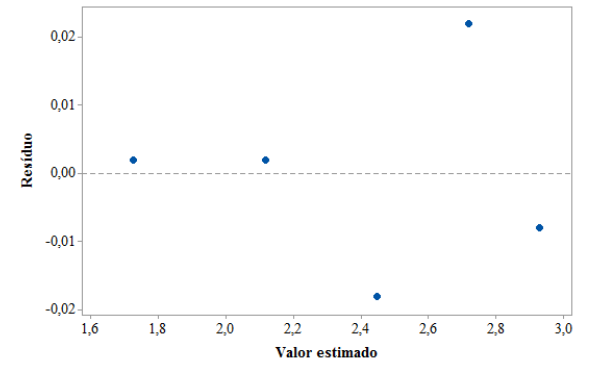
Apêndice N



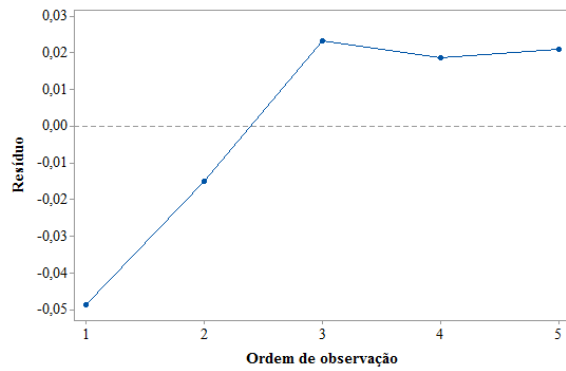
Independência: compressão aos 3 dias



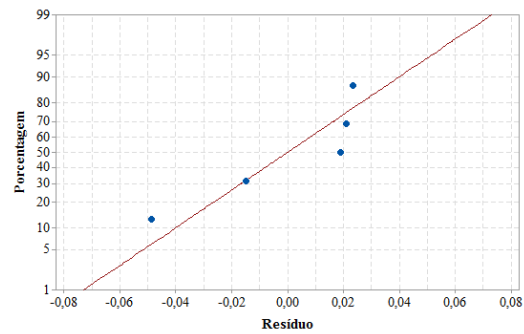
Normalidade: compressão aos 3 dias



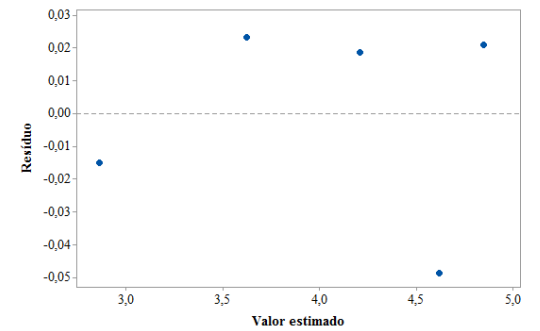
Homogeneidade de variâncias: compressão aos 3 dias



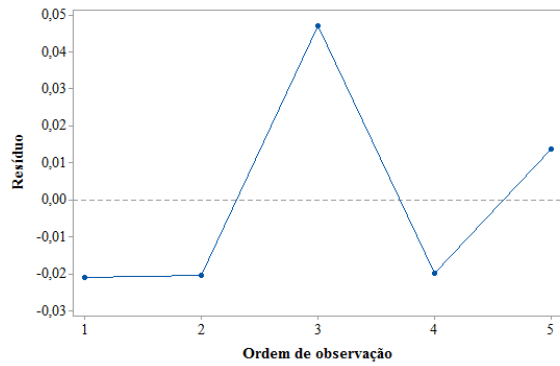
Independência: compressão aos 7 dias



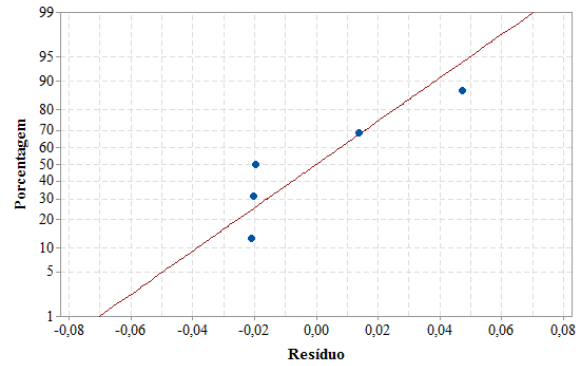
Normalidade: compressão aos 7 dias



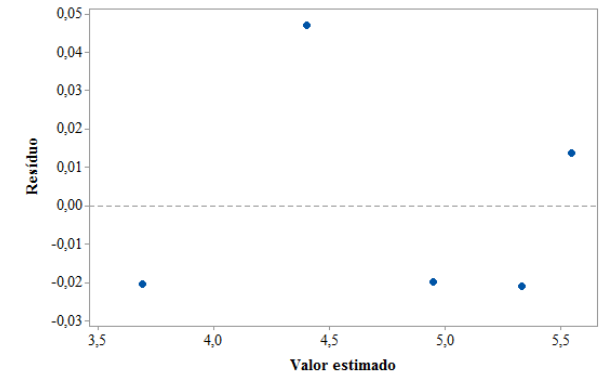
Homogeneidade de variâncias: compressão aos 7 dias



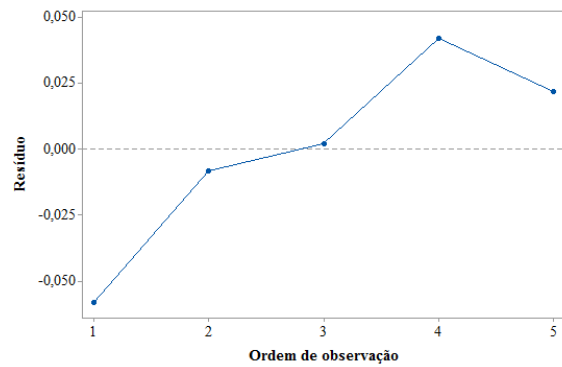
Independência: compressão aos 14 dias



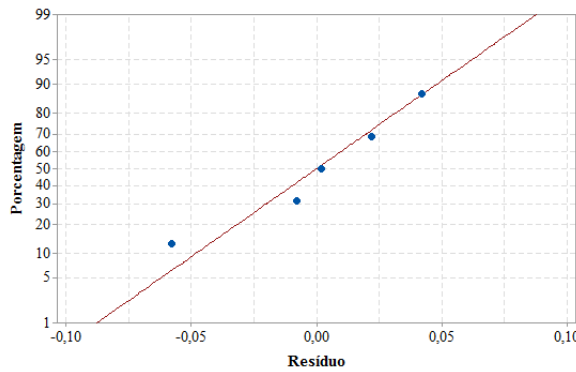
Normalidade: compressão aos 14 dias



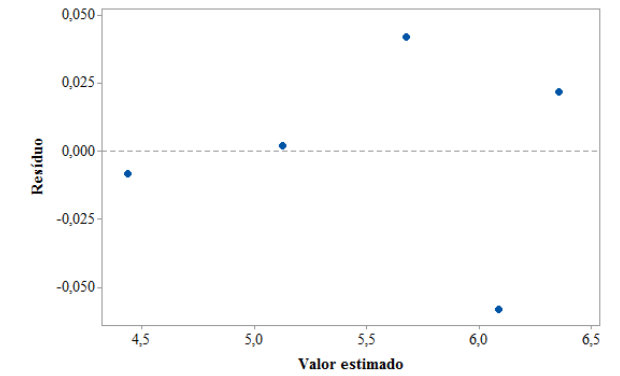
Homogeneidade de variâncias: compressão aos 14 dias



Independência: compressão aos 28 dias



Normalidade: compressão aos 28 dias



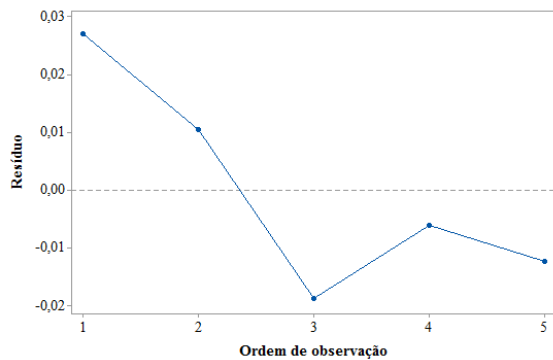
Homogeneidade de variâncias: compressão aos 28 dias

Apêndice O

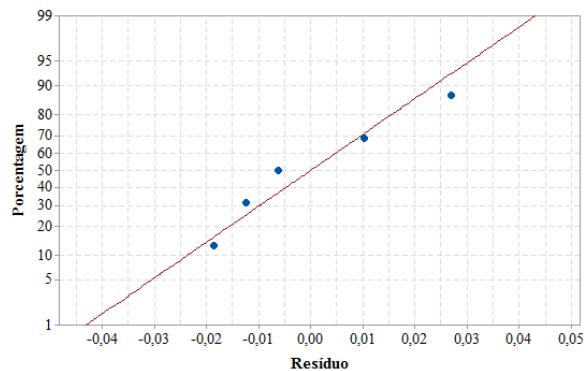
Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade.																
Traço	Corpo de Prova	l_1 (cm)	l_2 (cm)	$l_{média}$ (cm)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	$h_{média}$ (cm)	m_0 (g)	m_{10} (g)	m_{90} (g)	A_{10} (g/cm ²)	$A_{10média}$ (g/cm ²)	A_{90} (g/cm ²)	$A_{90média}$ (g/cm ²)	C (g/(dm ² ×min ^{1/2}))	C_{medio} (g/(dm ² ×min ^{1/2}))
14	250	4,15	4,16	4,155	4,10	4,11	4,105	536,02	536,57	536,35	0,032		0,019		-0,22	
	251	4,21	4,20	4,205	4,15	4,16	4,155	543,11	543,80	544,19	0,039	0,036	0,062	0,058	0,39	0,39
	252	4,19	4,20	4,195	4,16	4,15	4,155	541,92	542,53	543,53	0,035		0,092		1,00	
15	253	4,16	4,20	4,180	4,21	4,22	4,215	549,15	555,48	559,02	0,359		0,560		3,54	
	254	4,21	4,22	4,215	4,18	4,16	4,170	553,56	559,67	563,41	0,348	0,333	0,560	0,573	3,74	4,20
	255	4,14	4,21	4,175	4,16	4,18	4,170	532,96	538,06	543,37	0,293		0,598		5,31	
16	256	4,05	4,04	4,045	4,05	4,05	4,050	520,16	522,51	524,75	0,143		0,280		2,24	
	257	4,20	4,18	4,190	4,10	4,09	4,095	541,87	544,43	545,86	0,149	0,133	0,233	0,229	1,43	1,59
	258	4,10	4,12	4,110	4,05	4,05	4,050	526,07	527,86	528,95	0,108		0,173		1,09	
17	259	4,10	4,12	4,110	4,20	4,18	4,190	534,34	534,95	535,02	0,035		0,039		0,07	
	260	4,10	4,09	4,095	4,10	4,09	4,095	531,44	531,92	532,35	0,029	0,041	0,054	0,071	0,43	0,50
	261	4,10	4,10	4,100	4,10	4,11	4,105	526,41	527,41	528,41	0,059		0,119		1,00	
18	262	4,25	4,25	4,250	4,10	4,09	4,095	534,70	535,08	535,24	0,022		0,031		0,16	
	263	4,15	4,26	4,205	4,15	4,14	4,145	533,29	533,74	534,28	0,026	0,025	0,057	0,043	0,54	0,31
	264	4,15	4,15	4,150	3,95	4,01	3,980	512,09	512,53	512,77	0,027		0,041		0,24	

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da absorção de água por imersão								
Traço	Corpo de Prova	M_{sat120} (g)	M_{sub} (g)	M_{sec120} (g)	A_{imer} (%)	$A_{imer\ média}$ (%)	IV (%)	$IV_{médio}$ (%)
14	250	551,45	275,00	543,65	1,43		2,82	
	251	559,09	279,00	549,39	1,77	1,56	3,46	3,07
	252	558,56	279,00	550,41	1,48		2,92	
15	253	568,71	293,00	488,17	16,50		29,21	
	254	580,87	301,00	498,54	16,51	16,45	29,42	29,22
	255	561,74	290,00	482,88	16,33		29,02	
16	256	539,11	269,00	509,34	5,84		11,02	
	257	560,58	280,00	527,41	6,29	6,23	11,82	11,70
	258	543,98	271,00	510,48	6,56		12,27	
17	259	550,39	275,00	538,93	2,13		4,16	
	260	547,41	273,00	536,85	1,97	2,04	3,85	3,99
	261	553,14	276,00	542,13	2,03		3,97	
18	262	550,47	275,00	542,67	1,44		2,83	
	263	549,18	274,00	541,79	1,36	1,22	2,69	2,41
	264	527,39	263,00	522,89	0,86		1,70	

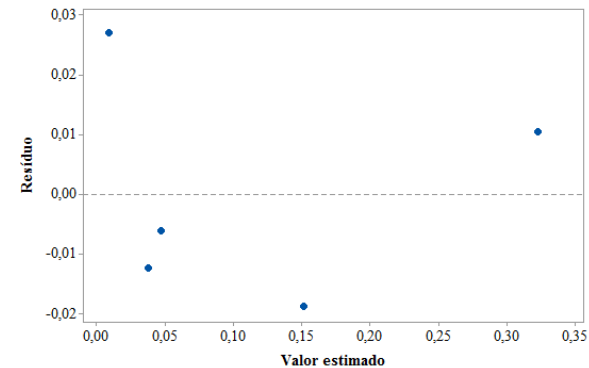
Apêndice P



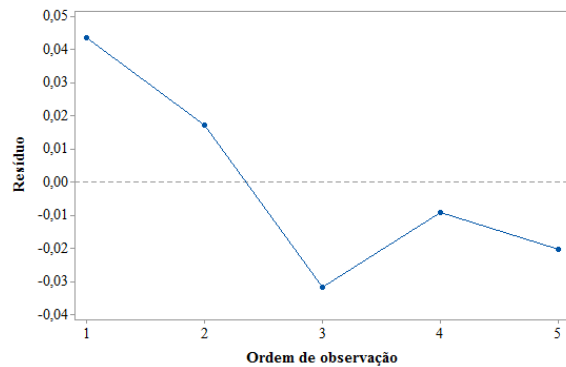
Independência: absorção 10 min



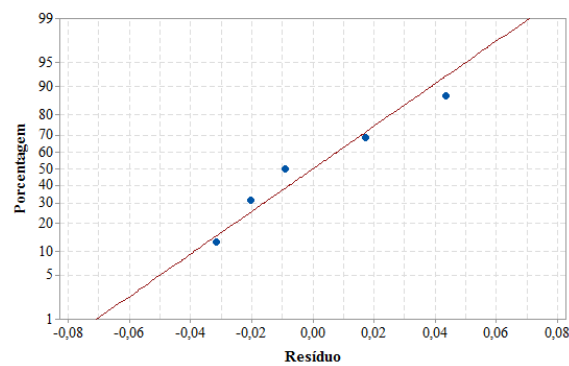
Normalidade: absorção 10 min



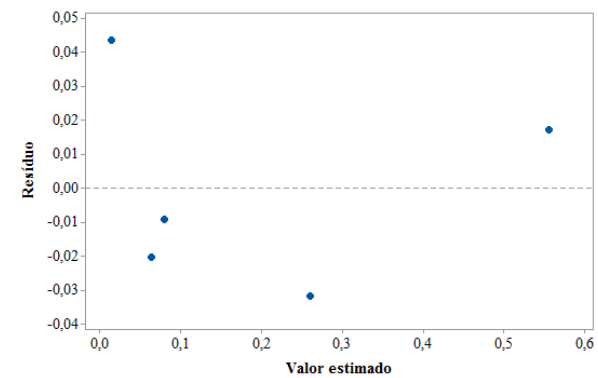
Homogeneidade de variâncias: absorção 10 min



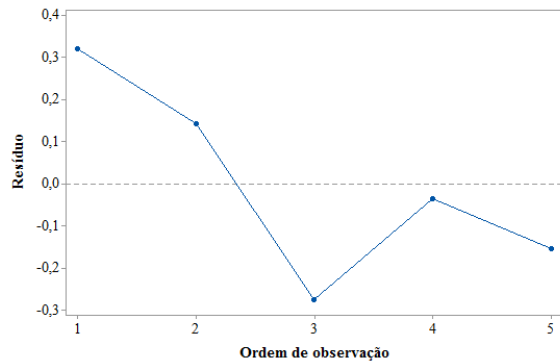
Independência: absorção 90 min



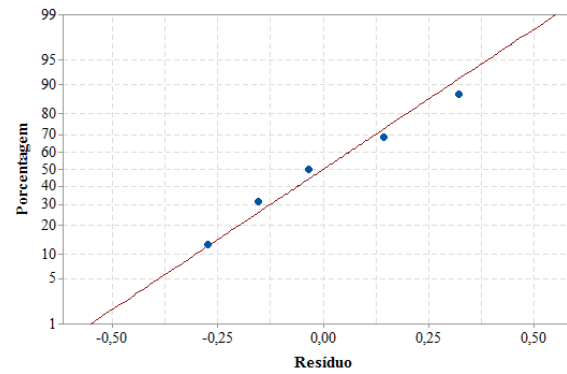
Normalidade: absorção 90 min



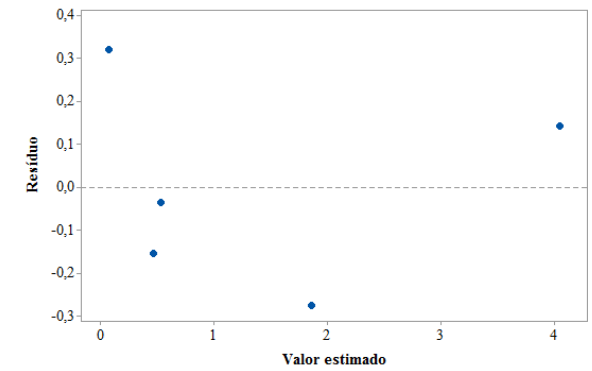
Homogeneidade de variâncias: absorção 90 min



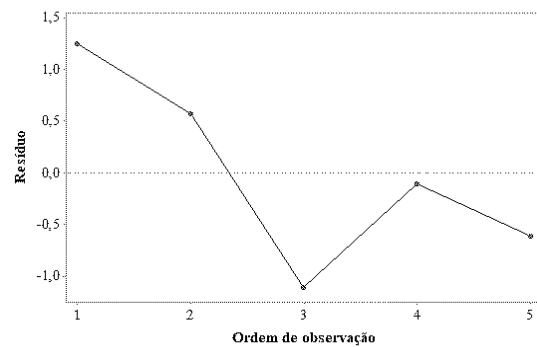
Independência: coeficiente de capilaridade



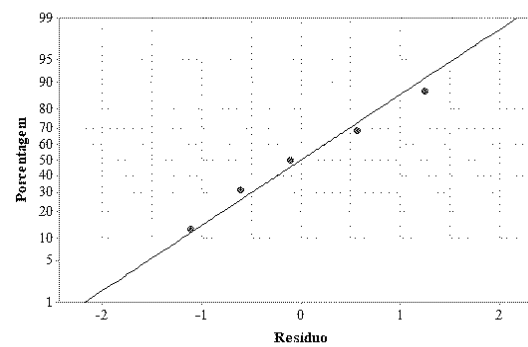
Normalidade: coeficiente de capilaridade



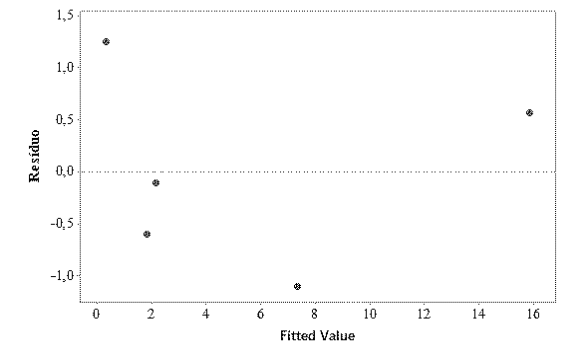
Homogeneidade de variâncias: coeficiente de capilaridade



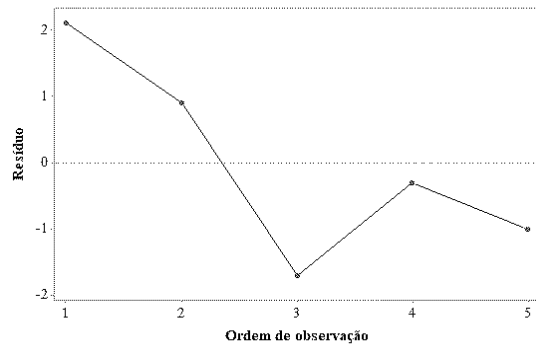
Independência: absorção por imersão



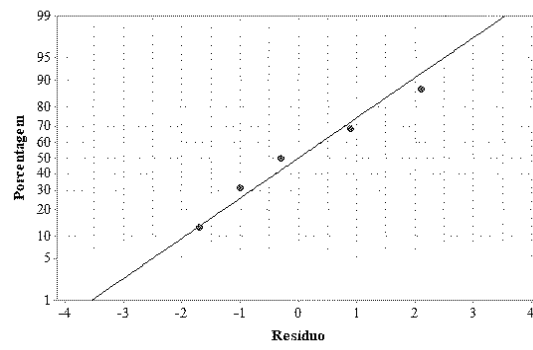
Normalidade: absorção por imersão



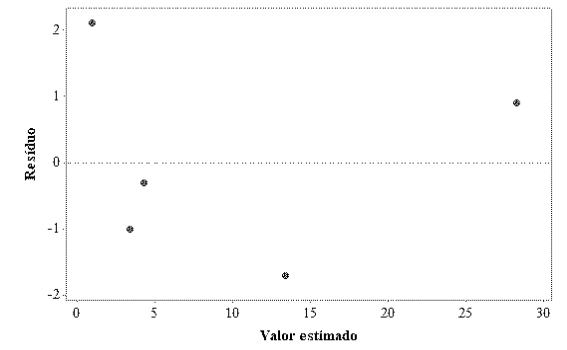
Homogeneidade de variâncias: absorção por imersão



Independência: índice de vazios



Normalidade: índice de vazios



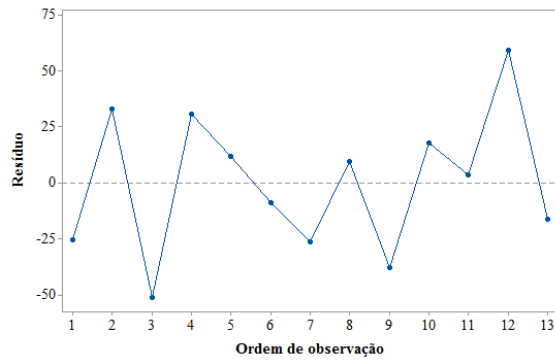
Homogeneidade de variâncias: índice de vazios

Apêndice Q

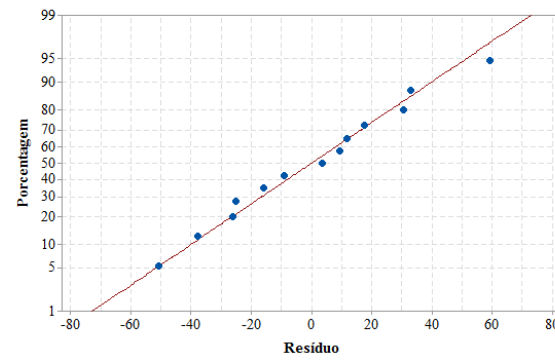
Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.													
Traço	Corpo de Prova	l_1 (cm)	l_2 (cm)	$l_{média}$ (cm)	h_1 (cm)	h_2 (cm)	$h_{média}$ (cm)	c_1 (cm)	c_2 (cm)	c_{medio} (cm)	$m_{natural}$ (g)	ρ_e (kg/m ³)	$\rho_{média}$ (kg/m ³)
14	265	4,17	4,18	4,175	4,11	4,13	4,120	16,36	16,34	16,350	538,42	1914	
	266	4,23	4,21	4,220	4,17	4,18	4,175	16,41	16,40	16,405	545,25	1886	1899
	267	4,20	4,22	4,210	4,18	4,17	4,175	16,32	16,29	16,305	544,08	1898	
15	268	4,17	4,21	4,190	4,24	4,24	4,240	16,32	16,32	16,320	551,65	1903	
	269	4,23	4,23	4,230	4,19	4,18	4,185	16,34	16,31	16,325	555,59	1922	1897
	270	4,15	4,22	4,185	4,18	4,19	4,185	16,38	16,35	16,365	534,97	1866	
16	271	4,07	4,05	4,060	4,07	4,07	4,070	16,53	16,47	16,500	524,16	1922	
	272	4,22	4,19	4,205	4,11	4,11	4,110	16,47	16,44	16,455	545,28	1917	1915
	273	4,13	4,14	4,135	4,07	4,08	4,075	16,49	16,48	16,485	529,84	1907	
17	274	4,12	4,14	4,130	4,22	4,19	4,205	16,24	16,25	16,245	536,79	1903	
	275	4,11	4,10	4,105	4,11	4,11	4,110	16,37	16,36	16,365	533,67	1933	1916
	276	4,13	4,12	4,125	4,12	4,13	4,125	16,22	16,27	16,245	528,69	1913	
18	277	4,26	4,26	4,260	4,13	4,11	4,120	16,35	16,36	16,355	536,92	1870	
	278	4,17	4,27	4,220	4,17	4,16	4,165	16,33	16,33	16,330	535,64	1866	1873
	279	4,17	4,17	4,170	3,98	4,04	4,010	16,34	16,32	16,330	514,19	1883	

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação da densidade aparente de massa no estado fresco		
Traço	m_c (g)	ρ_f (kg/m ³)
14	1796,12	1843
15	1795,56	1842
16	1803,94	1860
17	1804,51	1861
18	1784,37	1817

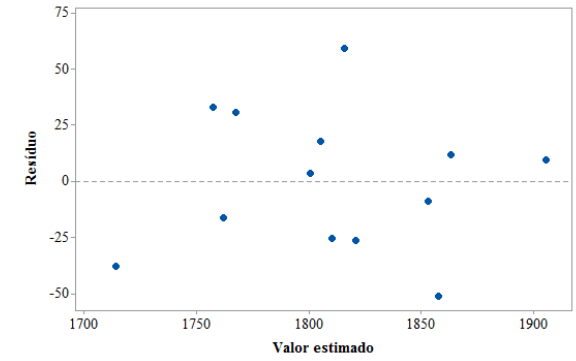
Apêndice R



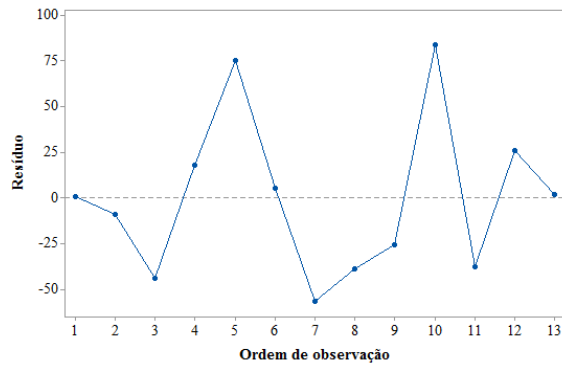
Independência: DMAEE



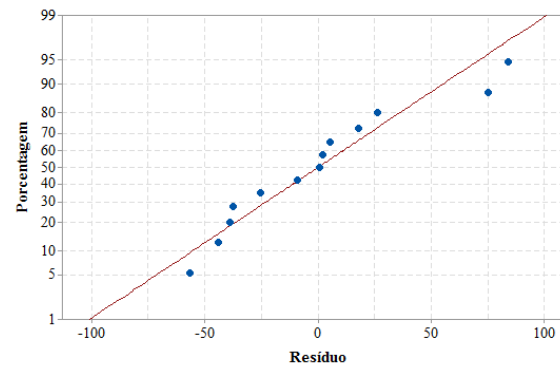
Normalidade: DMAEE



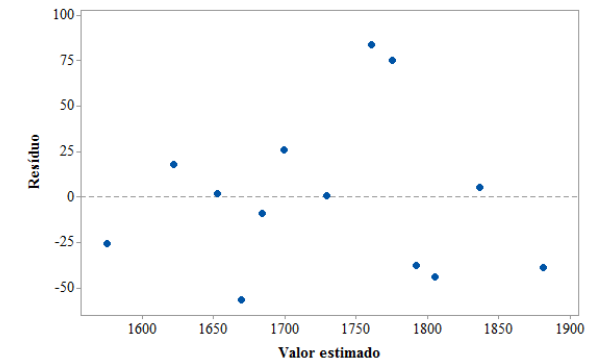
Homogeneidade de variâncias: DMAEE



Independência: DMEF



Normalidade: DMEF

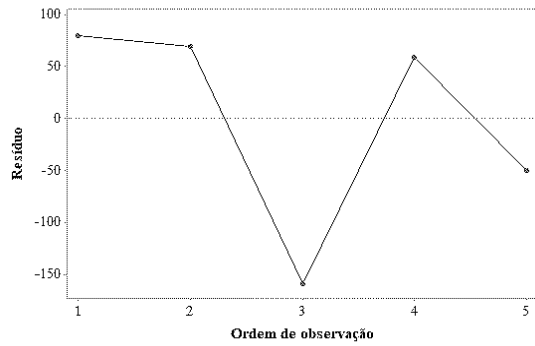


Homogeneidade de variâncias: DMEF

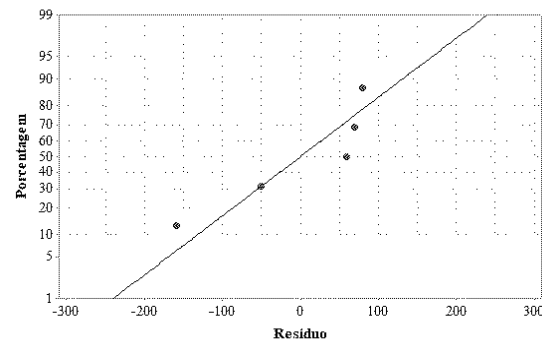
Apêndice S

Descrição: Resultados individuais para o ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico									
Traço	Corpo de Prova	$\rho_{\text{aparente}} \text{média}$ (kg/m ³)	l_{tf} (mm)	Tempo de propagação			v (mm/ μ s)	E_d (MPa)	$E_{d \text{ médio}}$ (MPa)
				t_1 (μ s)	t_2 (μ s)	t_3 (μ s)			
14	235	1899	164,00	48,56	48,57	48,56	3,38	19529	19413
	236		164,00	48,65	48,66	48,67	3,37	19413	
	237		164,00	48,74	48,75	48,77	3,36	19298	
15	238	1897	164,00	56,34	56,31	56,57	2,91	14458	14425
	239		165,00	56,28	56,66	56,92	2,93	14657	
	240		165,00	57,29	57,41	57,53	2,88	14161	
16	241	1915	162,00	52,11	52,11	52,12	3,11	16673	16603
	242		161,00	52,54	52,55	52,54	3,06	16141	
	243		164,00	52,23	52,23	52,23	3,14	16996	
17	244	1916	165,00	50,32	50,32	50,35	3,28	18555	18480
	245		165,00	50,42	50,52	50,48	3,27	18442	
	246		164,00	50,16	50,20	50,16	3,27	18442	
18	247	1873	164,00	48,31	48,32	48,32	3,39	19372	19448
	248		164,00	48,16	48,17	48,16	3,41	19601	
	249		163,50	48,20	48,23	48,25	3,39	19372	

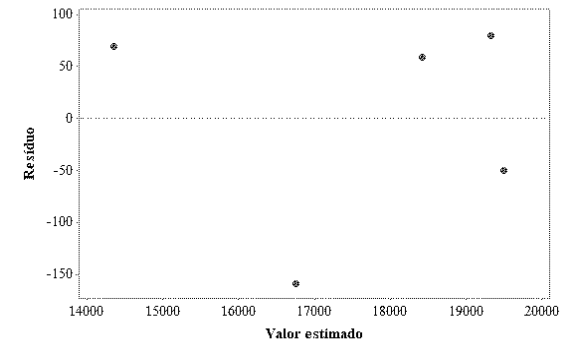
Apêndice T



Independência: Módulo de elasticidade dinâmico



Normalidade: Módulo de elasticidade dinâmico



Homogeneidade de variâncias: Módulo de elasticidade dinâmico

Apêndice U

- 1ª etapa

Tração aos 3 dias de idade						
FV	GL	SQ	QM	f_{cal}	p-valor	
Regressão	-	-	-	-	-	
Linear	2	0,061055	0,030527	12,28	0,002	
Resíduo da Regressão	10	0,024853	0,002485			
Total	12	0,085908		R^2	71,07%	
Tração aos 7 dias de idade						
FV	GL	SQ	QM	f_{cal}	p-valor	
Regressão	-	-	-	-	-	
Linear	2	0,217185	0,108592	17,15	0,001	
Resíduo da Regressão	10	0,063323	0,006332			
Total	12	0,280508		R^2	77,43%	
Tração aos 14 dias de idade						
FV	GL	SQ	QM	f_{cal}	p-valor	
Regressão	-	-	-	-	-	
Linear	2	0,196344	0,098172	16,16	0,001	
Resíduo da Regressão	10	0,060749	0,006075			
Total	12	0,257092		R^2	76,37%	
Tração aos 28 dias de idade						
FV	GL	SQ	QM	f_{cal}	p-valor	
Regressão	-	-	-	-	-	
Linear	2	0,233626	0,116813	12,63	0,002	
Resíduo da Regressão	10	0,092497	0,009925			
Total	12	0,326123		R^2	71,64%	

Legenda: FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio

Módulo de elasticidade dinâmico						
FV	GL	SQ	QM	f_{cal}	p-valor	
Regressão	-	-	-	-	-	
Linear	2	15370768	7685384	19,56	0,000	
Resíduo da Regressão	10	3928215	392822			
Total	12	19298983		R^2	79,65%	

Legenda: FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio

Compressão aos 3 dias de idade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	2	0,245156	0,122578	10,27	0,004
Resíduo da Regressão	10	0,119321	0,011932		
Total	12	0,364477		R ²	67,26%
Compressão aos 7 dias de idade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	2	0,510521	0,25526	32,49	0,000
Resíduo da Regressão	10	0,078556	0,007856		
Total	12	0,589077		R ²	86,66%
Compressão aos 14 dias de idade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	2	0,450203	0,225102	14,01	0,001
Resíduo da Regressão	10	0,160702	0,016072		
Total	12	0,610923		R ²	73,69%
Compressão aos 28 dias de idade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	2	0,721667	0,360834	13,62	0,001
Resíduo da Regressão	10	0,26501	0,026501		
Total	12	0,986677		R ²	73,14%

Legenda: FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio

Absorção por capilaridade - 10 min					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	2	0,011458	0,005729	43,43	0,000
Resíduo da Regressão	10	0,001319	0,000132		
Total	12	0,012777		R ²	89,67%
Absorção por capilaridade - 90 min					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	2	0,042652	0,021326	55,09	0,000
Resíduo da Regressão	10	0,003871	0,000387		
Total	12	0,046523		R ²	91,68%
Coeficiente de Capilaridade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	2	3,76144	1,88072	16,83	0,001
Resíduo da Regressão	10	1,11728	0,11173		
Total	12	4,87872		R ²	77,10%
Absorção por imersão					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	2	27,3415	13,6708	72,25	0,000
Resíduo da Regressão	10	1,8923	0,1892		
Total	12	29,2338		R ²	93,53%
Índice de vazios					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	2	68,6976	34,3488	14,88	0,001
Resíduo da Regressão	10	23,0793	2,3079		
Total	12	91,7769		R ²	74,85%
Massa específica real					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	2	0,033438	0,016412		
Quadrático	1	0,017205	0,017205	14,24	0,002
Resíduo da Regressão	9	0,010373	0,001153	14,93	0,004
Total	12	0,061016		R ²	83,00%

Legenda: FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio

Densidade de massa aparente no estado endurecido						
FV	GL	SQ	QM	f_{cal}	p-valor	
Regressão	-	-	-	-	-	
Linear	2	32523,6	16261	13,82	0,001	
Resíduo da Regressão	10	11766,7	1176,7			
Total	12	44290,3		R^2	73,43%	
Densidade de massa aparente no estado fresco						
FV	GL	SQ	QM	f_{cal}	p-valor	
Regressão	-	-	-	-	-	
Linear	2	95174,6	47587,3	21,09	0,000	
Resíduo da Regressão	10	22562	47587,3			
Total	12	0,046523		R^2	80,84%	
Teor de ar incorporado						
FV	GL	SQ	QM	f_{cal}	p-valor	
Regressão	-	-	-	-	-	
Linear	2	336,692	168,346	36,17	0,000	
Resíduo da Regressão	10	46,538	4,654			
Total	12	383,231		R^2	87,86%	

Legenda: FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio

- 2ª etapa

Tração aos 3 dias de idade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	0,44944	0,01475	12,23	0,070
Quadrático	1	0,02083	0,02083	17,27	0,050
Resíduo da Regressão	2	0,00241	0,00121		
Total	4			R ²	99,49%
Tração aos 7 dias de idade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	0,77841	0,01366	18,68	0,050
Quadrático	1	0,02161	0,02161	29,54	0,032
Resíduo da Regressão	2	0,00146	0,00073		
Total	4	0,80148		R ²	99,82%
Tração aos 14 dias de idade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	0,99225	0,06346	17,41	0,050
Quadrático	1	0,08178	0,08178	22,43	0,042
Resíduo da Regressão	2	0,00729	0,00365		
Total	4	1,08132		R ²	99,33%
Tração aos 28 dias de idade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	1,42884	0,06141	12,73	0,070
Quadrático	1	0,08331	0,08331	17,27	0,050
Resíduo da Regressão	2	0,00965	0,00482		
Total	4	1,52180		R ²	99,37%

Legenda: FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio

Compressão aos 3 dias de idade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	0,90000	0,00639	14,51	0,063
Quadrático	1	0,01260	0,01260	28,64	0,033
Resíduo da Regressão	2	0,00088	0,00044	28,64	
Total	4	0,91348		R ²	99,90%
Compressão aos 7 dias de idade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	2,46016	0,07720	39,27	0,025
Quadrático	1	0,10983	0,10983	55,87	0,017
Resíduo da Regressão	2	0,00393	0,00197		
Total	4	2,57392		R ²	99,85%
Compressão aos 14 dias de idade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	2,15296	0,06756	37,06	0,026
Quadrático	1	0,09611	0,09611	52,73	0,018
Resíduo da Regressão	2	0,00365	0,00182		
Total	4	2,25272		R ²	99,84%
Compressão aos 28 dias de idade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	2,30400	0,04415	15,55	0,059
Quadrático	1	0,06860	0,06860	24,15	0,039
Resíduo da Regressão	2	0,00568	0,00284		
Total	4	2,37828		R ²	99,76%

Legenda: FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio

Absorção por capilaridade - 10 min					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	0,05084	0,01358	19,77	0,047
Quadrático	1	0,01545	0,01545	22,49	0,042
Resíduo da Regressão	2	0,00137	0,00069		
Total	4	0,06766		R ²	97,97%
Absorção por capilaridade - 90 min					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	0,15154	0,04050	21,92	0,043
Quadrático	1	0,04606	0,04606	24,93	0,038
Resíduo da Regressão	2	0,00370	0,00185		
Total	4	0,20129		R ²	98,16%
Coeficiente de Capilaridade					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	8,06400	2,30043	20,50	0,045
Quadrático	1	2,60580	2,60580	23,22	0,040
Resíduo da Regressão	2	0,22440	0,11221		
Total	4	10,89430		R ²	97,94%
Absorção por imersão					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	123,36500	34,66350	19,88	0,470
Quadrático	1	39,30100	39,30110	22,54	0,420
Resíduo da Regressão	2	3,48700	1,74350		
Total	4	166,15300		R ²	97,90%
Índice de vazios					
FV	GL	SQ	QM	f _{cal}	p-valor
Regressão	-	-	-	-	-
Linear	1	387,58900	102,92900	22,21	0,042
Quadrático	1	117,10300	117,10200	25,27	0,037
Resíduo da Regressão	2	9,26900			
Total	4	513,96200		R ²	98,20%

Legenda: FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio

Densidade de massa aparente no estado endurecido						
FV	GL	SQ	QM	f_{cal}	p-valor	
Regressão	-	-	-	-	-	
Linear	1	409,6	841,105	214,88	0,005	
Quadrático	1	802,57	802,571	205,04	0,005	
Resíduo da Regressão	2	7,83	3,914			
Total	4	1220	R^2		99,36%	
Densidade de massa aparente no estado fresco						
FV	GL	SQ	QM	f_{cal}	p-valor	
Regressão	-	-	-	-	-	
Linear	1	429,32	854,327	137,96	0,007	
Quadrático	1	814,56	814,56	131,53	0,008	
Resíduo da Regressão	2	12,39	6,193			
Total	4	1256,27	R^2		99,01%	

Legenda: FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio

Módulo de elasticidade dinâmico						
FV	GL	SQ	QM	f_{cal}	p-valor	
Regressão	-	-	-	-	-	
Linear	1	16527674	1584227	74,69	0,013	
Quadrático	1	1953779	1953779	92,11	0,011	
Resíduo da Regressão	2	42423	21211			
Total	4	18523875	R^2		99,77%	

Legenda: FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio