

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

KAROLYNE APARECIDA DO AMARAL

**COMPORTAMENTO DA CINZA DE EUCALIPTO EM SUBSTITUIÇÃO
À AREIA EM ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2018**

KAROLYNE APARECIDA DO AMARAL

**COMPORTAMENTO DA CINZA DE EUCALIPTO EM SUBSTITUIÇÃO
À AREIA EM ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco.

Orientador: Prof. M.e Jefferson Teixeira Olea Homrich

PATO BRANCO
2018



TERMO DE APROVAÇÃO

COMPORTAMENTO DA CINZA DE EUCALIPTO EM SUBSTITUIÇÃO À AREIA EM ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

KAROLYNE APARECIDA DO AMARAL

No dia 20 de novembro de 2018, às 16h30min, na SALA DE TREINAMENTO da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 48-TCC/2018.

Orientador: Prof. Msc. JEFFERSON TEIXEIRA OLEA HOMRICH (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Msc. TOBIAS JUN SHIMOSAKA (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. NEY LYZANDRO TABALIPA (DACOC/UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

À minha família, por me acompanhar e me apoiar durante o longo caminho percorrido até a finalização da graduação.

À minha irmã, Aline do Amaral, por estar sempre ao meu lado, pelo incentivo, pela confiança e por jamais duvidar de mim.

Ao professor Mario Arlindo Paz Irrigaray, por me acompanhar e me direcionar no início desta pesquisa.

Ao professor Jefferson Teixeira Olea Homrich, por me guiar durante a última etapa deste trabalho.

A todos os professores do curso de graduação em Engenharia Civil, que contribuíram para minha formação profissional, compartilhando seus conhecimentos.

À técnica responsável pelo Laboratório de Materiais, Claudia Regina Bernardi Baldin, por toda sua paciência e disposição em ensinar e auxiliar.

Aos colegas de laboratório, que além de ajudarem no desenvolvimento deste trabalho de alguma forma, tornaram os dias mais agradáveis.

À Lavoura S/A de Pato Branco, que forneceu a cinza de queima de eucalipto, possibilitando o estudo.

Dedico este trabalho à memória de minha
mãe.

“A vida é as vacas
Que você põe no rio
Para atrair as piranhas
Enquanto a boiada passa”.
(Paulo Leminski)

RESUMO

AMARAL, Karolyne A. Comportamento da cinza de eucalipto em substituição à areia em argamassa de assentamento. 2018. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

A construção civil é responsável por boa parte do consumo de recursos naturais extraídos do planeta. O processo de produção do cimento emite Dióxido de Carbono, enquanto as atividades de mineração para extração de areia natural provocam alterações no leito dos rios e várzeas, provocando erosão e assoreamento. Com vistas a tornar os processos envolvidos na construção civil menos agressivos ao meio ambiente, uma areia alternativa à areia natural, a areia de britagem, passou a ser testada. Simultaneamente, pesquisas são desenvolvidas para encontrar adições e substituições que diminuam o consumo de areia e cimento na produção do concreto e argamassa. Na região Sudoeste do Paraná, o eucalipto é utilizado para geração de energia e, através de sua queima em secadoras de grãos, produz um resíduo chamado cinza de queima do eucalipto, que não possui destinação ambiental. Dessa forma, este trabalho busca um meio de incorporar a cinza de queima de eucalipto na produção de argamassa, visando diminuir o consumo de cimento ou de areia, natural ou de britagem. Testes preliminares demonstram que as resistências à compressão foram mais significativas em misturas de argamassas fabricadas utilizando areia de britagem com substituição do agregado miúdo por cinza em teores de 2,5% e 5,0%, e em misturas de argamassa com areia mista, com substituição do agregado miúdo por cinza em teor de 2,5%. Estes resultados foram replicados aplicando-se os teores à argamassa de assentamento. As amostras foram ensaiadas quanto a capacidade de retenção de água, consistência, resistência à compressão e retração por secagem. Aos 28 dias, as amostras que levavam cinza de queima de eucalipto obtiveram maiores valores de resistência à compressão. Em todos os casos, a adição de cinza de queima de eucalipto diminuiu a consistência e a capacidade de retenção de água da argamassa, mas não de modo significativo. A expansão da argamassa diminuiu com relação as referências em todos os casos.

Palavras-chave: Argamassa de assentamento; Cinza de queima de eucalipto; Areia natural; Areia de britagem; Retração por secagem; Consistência; Resistência à compressão.

ABSTRACT

AMARAL, Karolyne A. Behavior of eucalyptus-burn ash in replacement of natural sand in bricklaying mortar. 2018. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento acadêmico de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

Civil construction is responsible for a significant part of consumption of natural resources extracted from the planet. The cement production process releases Carbon Dioxide, and mining activities involved in natural sand extraction cause changes in the rivers' channels and banks, provoking erosion and silting. In the point of turning civil construction processes less aggressive to the environment, an alternative sand, called crushing sand, has started to be tested. At the same time, researches are being developed aiming to find admixtures and substitutions that decrease sand and cement consumption in concrete and mortar production. In the southwest region of the state of Paraná, eucalyptus is largely used for energy generation purposes and, through its burn in grain drying facilities, a residual waste called eucalyptus-burn ash is produced, which does not have a proper environment-friendly final destination. Thus, this study aims to find a way to incorporate eucalyptus-burn ash in mortar production, seeking to decrease consumption of cement or natural or crushing sand. Preliminary experiments show that axial compression resistance resulted more significant in mixtures containing crushing sand with ash-to-sand substitution rates of 2.5% and 5%, and in mortar mixtures containing mixed sand, with ash-to-sand substitution rate of 2.5%. These results were replicated applying these rates to brick-laying mortar. The samples were tested for water retention capacity, consistency, axial compression resistance and drying shrinkage. At the age of 28 days, the samples with eucalyptus-burn ash resulted in superior values for axial compression resistance. In all cases, the addition of eucalyptus-burn ash decreased consistency and water retention capacity of mortar, but not significantly. Mortar expansion decreased compared to benchmarks, in all of the cases.

Keywords: Brick-laying mortar; Eucalyptus-burn ash; Natural sand; Crushing sand; Drying shrinkage; Consistency; Axial compression resistance.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS.....	14
1.1.1. Objetivos Gerais.....	14
1.1.1. Objetivos Específicos.....	14
1.2. JUSTIFICATIVA.....	14
2. REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO	16
2.1. CIMENTO PORTLAND.....	16
2.1.1. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial CPV-ARI.....	17
2.2. CAL.....	18
2.3. ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO.....	18
2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DAS ARGAMASSAS	19
2.4.1. Resistência Mecânica.....	19
2.4.2. Consistência.....	20
2.4.3. Retenção de Água.....	20
2.4.4. Retração por Secagem.....	20
2.5. FÍLERS E ADIÇÕES.....	21
2.5.1. Cinza de Queima de Eucalipto.....	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1. MATERIAIS.....	23
3.1.1. Cinza de Queima de Eucalipto.....	23
3.1.1.1. Caracterização química (DRX).....	23
3.1.1.2. Massa específica.....	24
3.1.1.3. Distribuição granulométrica.....	26
3.1.1.4. Superfície específica.....	26
3.1.2. Aglomerantes.....	29
3.1.2.1. Cimento Portland V.....	29
3.1.2.1.1. Massa específica.....	29
3.1.2.1.2. Massa unitária.....	29
3.1.2.1.3. Resistência à compressão.....	30
3.1.2.2. Cal.....	31
3.1.2.2.1. Massa unitária.....	31
3.1.3. Agregado Miúdo.....	31
3.1.3.1. Composição granulométrica.....	31
3.1.3.2. Massa específica.....	34
3.1.3.3. Massa unitária.....	36
3.2. MÉTODOS.....	36

3.2.1. Consistência	38
3.2.2. Retenção de Água	39
3.2.3. Resistência à compressão.....	40
3.2.4. Retração por Secagem.....	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
4.1. ENSAIOS PRELIMINARES	45
4.2. ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO.....	48
4.2.1. Consistência	49
4.2.2. Retenção de Água	50
4.2.3. Resistência à Compressão.....	51
4.2.4. Retração por Secagem.....	52
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
REFERÊNCIAS.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ensaio de massa específica da cinza de queima de eucalipto no picnômetro.....	25
Figura 2: Equipamento de realização do ensaio Blaine.	27
Figura 3: Determinação de massa específica por frasco de Chapman.	35
Figura 4: Mesa para índice de consistência.	38
Figura 5: Espalhamento da argamassa na flow table.....	39
Figura 6: Funil de Buchner com bomba à vácuo.	40
Figura 7: Moldes 4 cm x 4 cm x 16 cm.....	41
Figura 8: Corpo de prova 4 cm x 4 cm x 8 cm.....	41
Figura 9: EMIC DL 30000 equipada com dispositivo para ensaio de resistência à compressão.....	42
Figura 10: Molde 25 mm x 25 mm x 285 mm.	43
Figura 11: Aparelho comparador com relógio.	44

1 INTRODUÇÃO

Na história do desenvolvimento humano, o concreto, a argamassa e a madeira sempre andaram juntos. Eles, entretanto, são produtos obtidos a partir da extração de materiais da natureza. Atualmente, segundo Fioriti e Akasaki et al (2006) a indústria da construção civil é responsável por 15% a 50% do consumo dos recursos naturais extraídos do planeta. Dessa forma, torna-se imprescindível que a construção civil busque o caminho da sustentabilidade, almejando o uso de materiais alternativos para reduzir o consumo de matérias primas.

Segundo Fiorito (1994) as argamassas de cimento e areia ou cal, cimento e areia são utilizadas com múltiplas finalidades na construção civil, como assentamento de blocos e tijolos, chapisco, emboço e reboco, contrapisos, assentamento de revestimentos, etc.

Atualmente são utilizados aditivos, adições e fílers para o melhoramento das propriedades da argamassa e do concreto no estado fresco e endurecido (NEVILLE, 2013). Para tanto, podem ser utilizados materiais finos, com o intuito de melhorar a trabalhabilidade e/ou empacotamento dos grãos, tais como a cinza de queima de eucalipto.

Na região sudoeste do Paraná, a madeira de eucalipto é bastante utilizada na secagem de grãos em secadoras. A madeira utilizada para fins de geração de energia, através de sua queima, gera a cinza, um produto que possui pouca, ou praticamente nenhuma, destinação final adequada.

Assim, este trabalho pretende buscar alternativas, através da análise de viabilidade técnica, para utilizar a cinza de queima de eucalipto como substituição ao cimento ou a areia na fabricação de argamassas de assentamento. Objetiva-se encontrar um teor de substituição adequado onde não apenas as propriedades físicas e reológicas da argamassa mostrem-se mais adequadas, mas que também contribua para facilitar a moldagem. Com isso, pretende-se não apenas melhorar as propriedades da argamassa, mas também criar uma opção de destinação à cinza de queima de eucalipto.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos Gerais

Verificar a viabilidade técnica da substituição parcial do cimento Portland e/ou por areia natural e de britagem por cinza da lenha de eucalipto quando da produção de argamassa destinado ao assentamento de alvenaria.

1.1.1. Objetivos Específicos

- Determinar o teor ideal de substituição parcial de cinza de eucalipto em substituição ao agregado miúdo ou ao cimento, utilizando como referência a resistência de uma argamassa normatizada sem substituição;
- Testar os resultados positivos em argamassa de assentamento;
- Determinar o efeito da substituição parcial da cinza de eucalipto sobre a retração por secagem (ABNT NBR 15261:2005), resistência mecânica (ABNT NBR 13279:2005), consistência (ABNT NBR 13276:2016) e retenção de água (ABNT NBR 13277:2005);
- Analisar a influência da cinza de queima de eucalipto nas propriedades e verificar se os resultados dos ensaios estão de acordo com as exigências normativas.

1.2. JUSTIFICATIVA

Proveniente de reflorestamento, a madeira de eucalipto é utilizada principalmente nos setores de celulose e papel, energia (lenha industrial e carvão vegetal) e para produção de produtos sólidos de madeira (JUNIOR e COLODETTE, 2013). Quando usada na produção de energia, principalmente para secagem de grãos em silos e secadoras, a madeira gera como resíduo a cinza. A cinza de queima de eucalipto, ainda sem destinação ambiental correta, é um subproduto que pode tem potencial para ser reaproveitado como adição ou substituição na argamassa.

O uso de materiais alternativos cresce na construção civil com o objetivo de melhorar as propriedades de concretos e argamassas e reduzir o gasto com os

materiais, segundo Evangelista *et al* (2004) e também minimizar o dano ambiental gerado pelo uso de agregados convencionais.

A produção de argamassa se dá pela mistura em quantidades adequadas de água, cimento e agregado miúdo, basicamente. O concreto é a mistura de argamassa com agregado graúdo. Referente a produção de cimento, segundo a World Business Council for Sustainable Development, estima-se a indústria cimenteira seja responsável por cerca de 5% da emissão global de dióxido de carbono. Simultaneamente, a extração de areia também causa danos ao meio ambiente. De acordo com Annibelli e Filho (2006) atividades de mineração, como a lavagem de minérios, costumam consumir muita água, ocasionando a ocupação em áreas próximas à rios e gerando resíduos que fluem para os rios e geram assoreamento e poluição.

Desta forma, torna-se necessário estudar métodos que possibilitem diminuir o consumo de cimento ou de areia na produção da argamassa. Nesse sentido, este trabalho propõe-se a investigar alternativas para realizar essa diminuição de consumo, adicionando a cinza de queima de eucalipto oriunda de secadoras da região, como substituição parcial ao cimento e a areia à argamassa de assentamento. Ressalta-se que bons resultados neste sentido não gerariam apenas um ganho ambiental, como também economia na produção.

Estudos preliminares de substituição de cimento por cinza de queima de eucalipto em argamassas convencionais mostram resultados satisfatórios no que diz respeito ao quesito de resistência. Assim, pretende-se aprofundar este estudo analisando esta e outras variáveis, bem como verificar o impacto da adição para produção de argamassa de assentamento.

2. REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1. CIMENTO PORTLAND

O cimento é um material de construção, com propriedades aglomerantes, há muito tempo já utilizado, que sofreu alterações e melhoramentos ao longo dos anos. As primeiras utilizações do aglomerante, tal qual citado por Neville (1997) foi na forma de gesso impuro calcinado, utilizado pelos egípcios antigos, e calcário calcinado, utilizado pelos gregos e romanos.

Aproximadamente em 1756, John Smeaton obteve uma argamassa pela mistura de pozolana e calcário com elevado teor de argila (NEVILLE, 1997). Conforme Isaia (2011) o cimento Portland foi inventado por Joseph Aspdin, que através da queima de calcário e argila finamente moídos, calcinados a altas temperaturas, obteve um aglomerante chamado clínquer. O clínquer moído recebeu o nome de cimento Portland, devido a utilização de uma pedra da ilha de Portland – um calcário de Dorset. Para Gomez (1973) *apud* Isaia (2011), Isaac Johnson, em 1845, estabeleceu melhoramentos no processo de fabricação, elevando a temperatura de queima do clínquer e utilizando baixo teor de água na mistura úmida, sendo, portanto, considerado o inventor do “verdadeiro” cimento Portland.

Segundo Neville (2013) atualmente, o cimento Portland é constituído sobretudo por material calcário e alumina e sílica, obtidos a partir de rocha calcária ou gesso e argilas e xistos, respectivamente. Para fabricação, os materiais são moídos e misturados em proporções adequadas e queimados a uma temperatura de cerca de 1500°C. O material sofre uma fusão, formado pelotas, chamadas de clínquer (NEVILLE, 1997).

O clínquer é resfriado e finamente moído e recebe a adição de gesso, quando se torna efetivamente o cimento. O cimento ainda pode receber adições de pozolanas e escórias granuladas de alto forno, como é o caso do cimento Portland Pozolânico e o cimento Portland de Alto Forno, respectivamente (MEHTA, 2008).

Os principais compostos que constituem o cimento Portland são o silicato tricálcico (C3S), silicato dicálcico (C2S), aluminato tricálcico (C3A) e Ferroaluminato tetracálcico (C4AF). Encontrados em menor quantidade, existem compostos secundários, como o MgO, TiO₂, MnO₂, K₂O e Na₂O (MEHTA, 2008). Conforme Neville (1997, pág. 30) “as proporções reais dos diversos compostos variam

consideravelmente entre um cimento e outro e, na verdade, podem se obter diferentes tipos de cimento proporcionando adequadamente as matérias primas”.

Basicamente, o C3S contribui para a evolução da resistência durante as quatro primeiras semanas, enquanto o C2S é responsável pela resistência após quatro semanas. Com um ano, os dois compostos contribuem de forma aproximadamente igual para a resistência (MEHTA, 1994).

Para que seja possível escolher o cimento mais adequado para cada finalidade, eles são classificados segundo algumas propriedades físicas e químicas desejáveis, como rápido endurecimento, pequena velocidade de desprendimento de calor ou resistência a sulfatos (NEVILLE, 1997). Classificado como de alta resistência inicial, conforme a norma ABNT NBR 16697:2018, tem-se o CPV – ARI.

2.1.1. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial CPV-ARI

O cimento Portland V – ARI possui uma resistência que se desenvolve rapidamente nas primeiras idades devido, segundo Neville (1997), ao seu alto teor de C3S (entre 55% e 70%) e maior finura (entre 300 m²/kg e 400m²/kg). De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland, essas propriedades são conseguidas graças a uma moagem mais fina do cimento e uma dosagem diferente de argila e calcário na produção do clínquer.

A designação ARI representa o mínimo de resistência à compressão aos 7 dias de idade, ou seja, 34MPa, conforme a ABNT NBT 5733/1991 – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

A ABNT NBR 16697:2018 ainda estabelece outras exigências mínimas para o CPV – ARI, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Exigências físicas e mecânicas CPV-ARI.

Características e propriedades		Unidade	Limites
Finura	Resíduo na peneira 75µm	%	6,0
	Área específica	m ² /kg	300
Tempo de início de pega		h	1
Expansibilidade a quente		mm	5
Resistência à compressão	1 dia de idade	MPa	14
	3 dias de idade	MPa	24
	7 dias de idade	MPa	34

Fonte: ABNT NBR 16697:2018.

O CPV –ARI é indicado quando há necessidade de uma resistência inicial mínima para prosseguimento da obra, ou quando é preciso fazer desforma rápida, como é o caso de peças pré-moldadas. Contudo, devido a sua alta resistência inicial, esse cimento também desprende quantidade de calor de hidratação e, portanto, não é indicado para execução de peças de grandes dimensões ou para uso em concreto massa.

2.2. CAL

Segundo Bauer (1987) a cal é o aglomerante resultante da calcinação de rochas calcárias.

De acordo com Petrucci (1995) o endurecimento da cal como aglomerante ocorre devido a reação de combinação entre hidróxido de cálcio livre e CO₂, e a hidratação dos compostos de cal e argila.

Conforme Sabbatini (1998) a adição de cal na argamassa melhora as propriedades ligadas à trabalhabilidade, plasticidade, capacidade de deformação e retenção de água. Por outro lado, a resistência à compressão, durabilidade e capacidade de aderência decrescem.

2.3. ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

A NBR 13281:2005 define argamassa como a “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento”. Conforme Fiorito (1994) as argamassas podem ser de cimento, de cal ou mistas e o aglomerante utilizado é função da finalidade da argamassa. As argamassas mistas são largamente utilizadas em assentamento de alvenaria, assentamento de revestimento cerâmico e em emboços de forros e paredes (FIORITO, 1994).

Segundo a ABNT NBR 13281:2005, a argamassa de assentamento tem a finalidade de promover a ligação entre os componentes de vedação no assentamento da alvenaria.

De acordo com Sabbatini (1998) nas argamassas de assentamento a resistência tem uma importância secundária, sendo mais relevantes características como trabalhabilidade, aderência e deformabilidade.

Sabbatini (1998) destaca que as principais características desejáveis em uma argamassa de assentamento são:

- Trabalhabilidade;
- Capacidade de retenção de água suficiente;
- Adquirir rápida resistência após assentada para que resista aos esforços atuantes durante a construção, não sendo esta resistência, porém, superior à dos elementos aos quais a argamassa une;
- Adequada aderência aos componentes;
- Durabilidade;
- Resiliência suficiente para que acomode deformações oriundas da retração na secagem e de origem térmica ou decorrentes de movimentos estruturais;

Uma das características desejáveis na argamassa de assentamento é que ela desenvolva alguma resistência inicial, de modo que ela suporte as solicitações oriundas do assentamento da alvenaria. Por este motivo, o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial foi utilizado nesta pesquisa.

2.4. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DAS ARGAMASSAS

2.4.1. Resistência Mecânica

A resistência à compressão não é o fator mais relevante na análise das propriedades das argamassas. De acordo com Sabbatini (1998) a resistência à compressão exigida para uma argamassa depende da resistência à compressão do elemento utilizado. Entretanto, a resistência mecânica é um importante indicador de durabilidade. Para alvenaria estrutural, a ABNT NBR 15961:2011 especifica que a resistência à compressão deve ter, no máximo, um valor de 70% da resistência característica do bloco.

2.4.2. Consistência

A trabalhabilidade é a mais importante característica da argamassa em seu estado fresco, pois ela influencia diretamente na qualidade do serviço de assentamento. Entretanto, a trabalhabilidade é uma propriedade difícil de ser definida e, conforme Sabbatini (1998), mesmo que um profissional experiente consiga reconhecer facilmente quando a argamassa é trabalhável, é impossível medi-la em laboratório. Dessa forma, a trabalhabilidade é medida de forma indireta através de sua consistência (SABBATINI, 1998).

Segundo Bauer (1987), a consistência é basicamente a capacidade que a argamassa tem de escoar.

De acordo com Sabbatini (1998) a relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, a granulometria da areia e o aglomerante influenciam na consistência da argamassa.

2.4.3. Retenção de Água

Conforme Fiorito (1998) a retenção de água é a capacidade que a argamassa tem de reter a água nela contida, quando em contato com os elementos de vedação. Segundo o autor, quanto maior a superfície específica dos materiais que constituem a argamassa, maior sua capacidade de retenção de água. Assim, “a cal apresenta boas características de retenção de água não só em razão de sua elevada superfície específica, mas também devido à grande capacidade adsorptiva de seus cristais” (FIORITO, 1998, pág. 11)

A retenção de água em argamassas é avaliada conforme a ABNT NBR 13277:2005.

2.4.4. Retração por Secagem

Segundo Neville e Brooks (2013) a perda de água devido a evaporação ou pela hidratação do cimento gera a retração. A retração por secagem é causada pela saída de água devido a condição não saturada do ar (NEVILLE e BROOKS, 2013).

De acordo com Efnarc (2005) *apud* Homrich (2017), quanto maior o volume de agregado e maior o módulo de elasticidade do agregado, menor será a retração por secagem pois o agregado restringe a retração da pasta de cimento.

Conforme Fiorito (1994) a retração em argamassas de revestimento gera fissuração do material, devido ao surgimento de tensões.

2.5. FÍLERS E ADIÇÕES

Aditivos e adições são definidos como materiais que não sejam agregados, cimento e água, e que são adicionados à dosagem do concreto ou da argamassa imediatamente antes ou durante a mistura (MEHTA, 2008)

De acordo com Neville e Brooks (2013) são consideradas adições com propriedades cimentícias aquelas que reagem principalmente com o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação dos silicatos do cimento. Ainda segundo o autor, fíler é o material inerte, com finura aproximadamente igual à do cimento, que produz benefícios sobre algumas propriedades do concreto, como trabalhabilidade, massa específica, permeabilidade, exsudação capilar e tendência à fissuração.

As cinzas da combustão de carvão e alguns resíduos agrícolas, como palha e casca de arroz, sílica ativa de certos processos metalúrgicos e escória granulada de metais industriais ferrosos e não-ferrosos fazem parte dos subprodutos industriais que são adequados para o uso como adições minerais no concreto de cimento Portland (MEHTA, 2008).

2.5.1. Cinza de Queima de Eucalipto

O agronegócio, segundo dados da Confederação de Agricultura e Pecuária, foi responsável por 23% do Produto Interno Bruto nacional em 2016. Dada a importância econômica da agricultura, é importante garantir a qualidade dos produtos oriundos desta.

De acordo com Júnior *et al* (2006) uma das variáveis mais relevantes na preservação dessa qualidade é o teor de umidade do produto. É, portanto, necessário existir uma fonte de energia que possa possibilitar a secagem.

Com a crise do petróleo, em 2008, formas mais sustentáveis de geração de energia passaram a ser incentivadas. Entre elas, o uso de madeira de reflorestamento. Para Teixeira (2009) a demanda pelo uso da madeira e seus derivados será crescente, principalmente para atender a necessidade de produção de energia para setores

primários e secundários da economia. No Brasil, as principais espécies de madeira provenientes de reflorestamento utilizadas são o Pinus e o Eucalipto.

Segundo Júnior e Colodette (2013, pág. 431) o eucalipto é uma espécie originária da Austrália, trazida ao Brasil em 1788, “dentre os fatores que conferem destaque aos eucaliptos brasileiros entre as matérias-primas, pode-se citar a alta produtividade das florestas atribuídas ao clima tropical ou subtropical na maioria do território, o que permite um crescimento ininterrupto”.

A cinza é, portanto, o subproduto originário da queima do eucalipto. Assim, sua utilização na construção civil pode ser vantajosa na medida em que diminui o consumo de matérias primas não renováveis.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

3.1.1. Cinza de Queima de Eucalipto

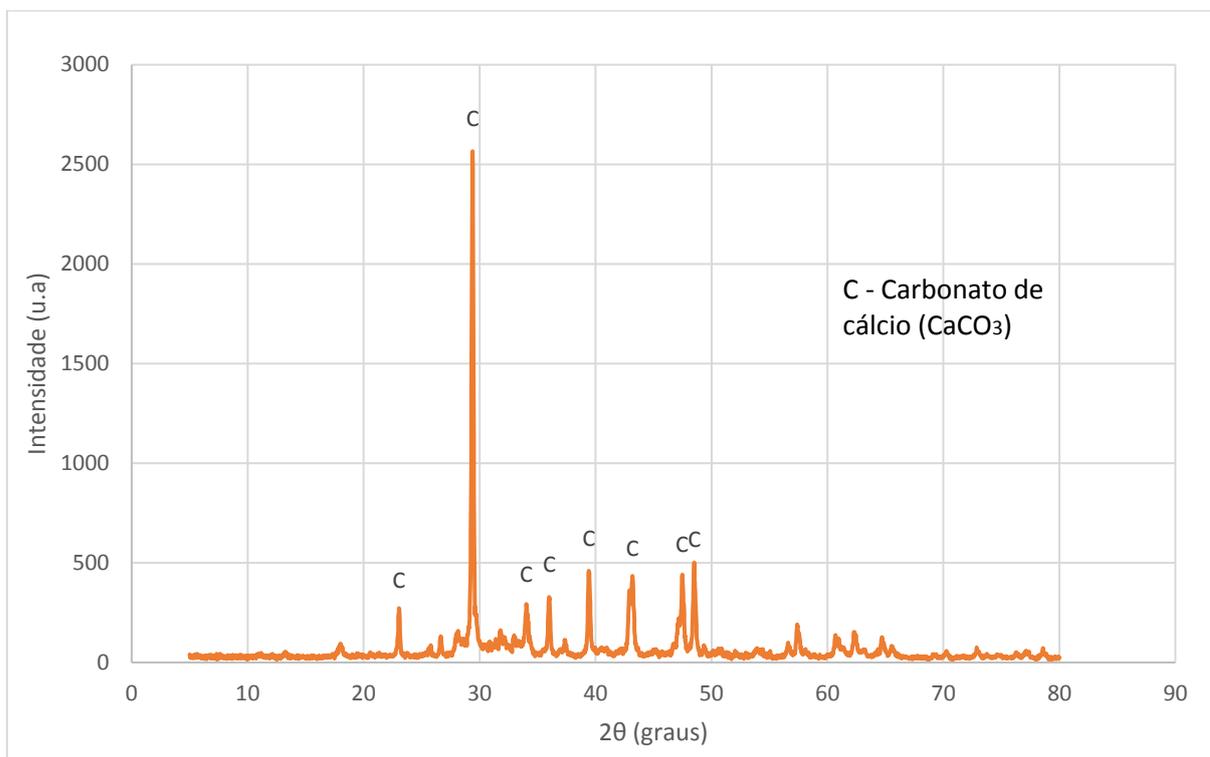
3.1.1.1. Caracterização química (DRX)

A queima do eucalipto é feita sem controle de temperatura. A caracterização química é feita através do teste de DRX, realizado pelo Laboratório Central de Análise, situados no prédio do POLITEC, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco.

A difratometria de raio X (DRX) é utilizada para identificar componentes cristalinos de uma amostra. Segundo Gluitz e Marafão (2013) a fase cristalina caracteriza-se por uma quantidade representativa de picos apresentados, enquanto a fase amorfa caracteriza-se por curvas com formas abauladas com ausência de picos. Conforme Atkins e Jones (2006) *apud* Silvério e Horn (2013) esta é uma técnica utilizada para determinar o arranjo dos átomos e determinar comprimentos e ângulos de ligação. Um difratograma consiste de um registro da intensidade de raios difratados versus o dobro do ângulo de difração (2θ) (WOOD, 1998 *apud* SILVÉRIO e HORN, 2013).

Com base na análise de DRX a cinza de queima de eucalipto é caracterizada como um material cristalino. Através da observação dos picos obtidos por difratometria de raio X percebe-se que a principal fase cristalina é a do carbonato de cálcio. O pico 100% de carbonato de cálcio está localizado em 2θ igual a 29° e sua presença também foi identificada nos picos de 2θ igual a 23° , 34° , 36° , 39° , 43° , 47° , 48° , 57° e 61° . O Gráfico 1 apresenta os picos obtidos pela análise de DRX.

Gráfico 1: DRX da cinza de queima de eucalipto.



Fonte: Autoria própria, 2018.

De acordo com Moura *et al* (2012), as estruturas cristalinas são bem definidas e estáveis e, por isso, não há atividade pozolânica no material. Desta forma, a cinza de queima de eucalipto atua como material de enchimento na argamassa.

A presença de carbonato de cálcio já era esperada, conforme indicada pela maioria das literaturas. O Óxido de Magnésio (MgO) também foi uma fase cristalina relevante encontrada. Sabe-se que ao se hidratar, o MgO transforma-se em Hidróxido de Magnésio (Mg(OH)₂), causando reações expansivas no argamassa e, por este motivo, seu teor é limitado na maioria dos cimentos brasileiros.

3.1.1.2. Massa específica

A massa específica da cinza de queima de eucalipto foi determinada utilizando o método do picnômetro, conforme ABNT NBR NM 52:2009, com capacidade de 50ml. O método consiste em adicionar água ao picnômetro, pesar e adicionar uma quantidade determinada de material sólido e pesar novamente o conjunto.

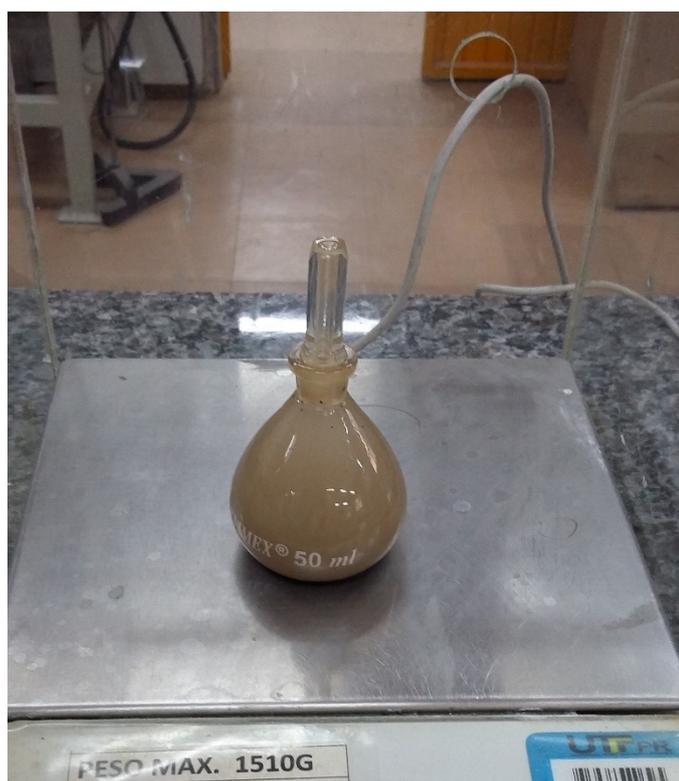
A massa específica é dada pela Equação 1:

$$\rho = \frac{M_s}{(M_1 + M_s) - M_2} \text{ (Equação 1)}$$

Onde: M_s =massa da amostra, M_1 =massa picnômetro+água, M_2 = massa picnômetro+água+amostra. Para garantir a confiabilidade dos resultados, deve-se realizar o ensaio duas vezes, garantindo uma diferença máxima entre os valores de até 5%.

A partir de duas medições consecutivas, conforme a Figura 1, obteve-se os valores de massa específica de 2,71g/cm³ e 2,63g/cm³, com diferença de 2,95% entre os valores, sendo, portanto, sua massa específica média de 2,67g/cm³.

Figura 1: Ensaio de massa específica da cinza de queima de eucalipto no picnômetro.



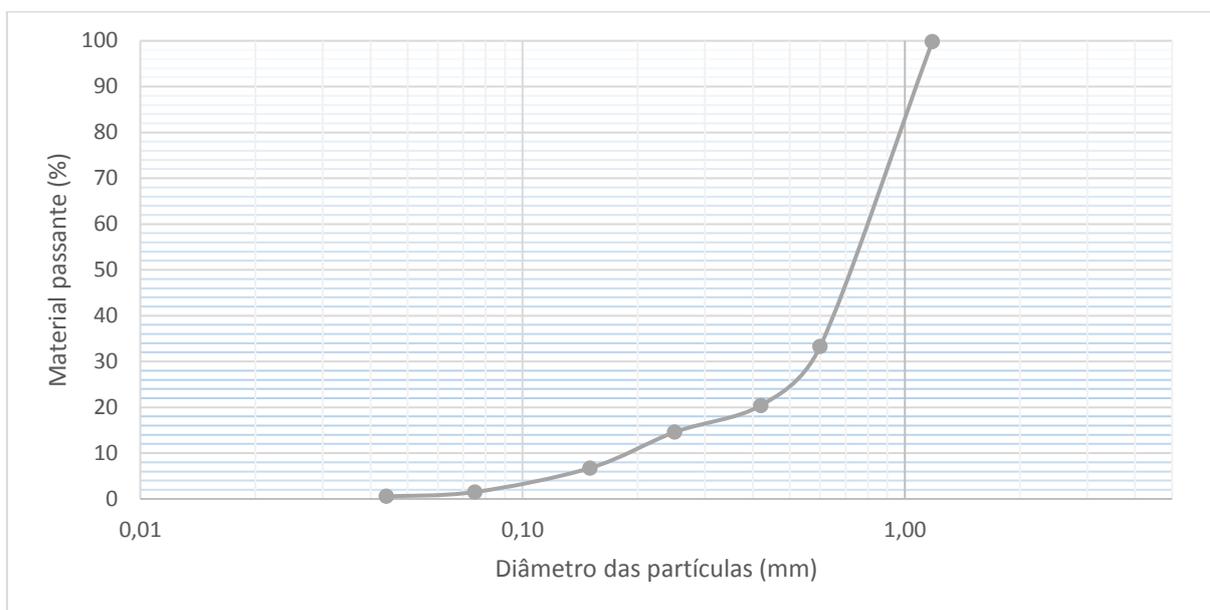
Fonte: Acervo da autora, 2017.

Considerando as possíveis variações locais e regionais da plantação do eucalipto e do método de queima, este é um valor que se aproxima da literatura. Gluitz e Marafão (2013) obtiveram um valor de 2,62g/cm³.

3.1.1.3. Distribuição granulométrica

Ainda, a cinza de queima de eucalipto foi caracterizada quanto à sua distribuição granulométrica, conforme APÊNDICE A. A curva de distribuição granulométrica da cinza é apresentada no Gráfico 2.

Gráfico 2: Distribuição granulométrica cinza de queima de eucalipto.



Fonte: Autoria própria, 2018.

A cinza é um material fino que possui uma granulometria uniforme, sendo que mais de 60% do material possui dimensão na faixa dos 600 μ m.

3.1.1.4. Superfície específica

O ensaio de determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar, também chamado de método de Blaine, é normatizado pela ABNT NBR 16372:2015.

Neste ensaio a superfície específica é medida pela comparação com uma amostra de cimento de referência através do método de permeabilidade ao ar. Ela serve para checar a uniformidade do processo de moagem de uma fábrica.

O ensaio deve ser realizado em condições de temperatura de 20°C \pm 2°C e umidade não superior a 65%. Os aparelhos necessários ao ensaio são uma célula de permeabilidade, um manômetro, um disco perfurado e um êmbolo.

A célula de permeabilidade é feita de material não corrosível, com superfície externa afunilada para permitir a acoplagem hermética ao tubo manométrica. As dimensões da célula de permeabilidade são estabelecidas por norma.

O disco é feito de material não corrosível, perfurado com 30 a 40 furos de 1mm de diâmetro, com superfície plana normal ao eixo da célula. O êmbolo deve ser de material resistente à abrasão e não corrosível.

O manômetro é um tubo de vidro borosilicato em forma de U, apresentado na Figura 2. Enche-se o tubo do manômetro com líquido manométrico

Figura 2: Equipamento de realização do ensaio Blaine.



Fonte: Acervo da autora, 2017.

Para preparação da amostra, deve-se calcular uma massa m_1 conforme a Equação 2.

$$m_1 = 0,500\rho V \text{ (Equação 2)}$$

O dispositivo é montado colocando-se o disco perfurado no fundo da célula e sobre ele um papel filtro. Coloca-se a quantidade de aglomerante determinada (m_1) e o papel filtro sobre o material, introduz-se e pressiona-se o êmbolo, retira-se cerca de 5mm, gira-se 90° e pressiona-se mais uma vez. Inserir o dispositivo no topo do manômetro, garantindo a estanqueidade. Fecha-se o topo do cilindro com tampão, abre-se o registro e por meio de aspiração, levantar o líquido manométrico até a marca mais alta. Fecha-se o registro, remove-se o tampão e o líquido manométrico. Cronometra-se o tempo que o líquido leva para fluir entre a primeira e a segunda marca. Registra-se o tempo e repete-se o procedimento.

A superfície específica, S , é obtida pela Equação 3:

$$S = K \frac{\sqrt{\varepsilon^3} \sqrt{t}}{\rho(1 - \varepsilon) \sqrt{0,1\eta}} \text{ (Equação 3)}$$

onde:

S é a superfície específica em massa, dada em cm^2/g ;

K é a constante do aparelho;

ε é a porosidade da camada;

t é o tempo medido, expresso em segundos;

ρ é a massa especificado cimento, dada em g/cm^3 ;

η é a viscosidade do ar à temperatura do ensaio, apresentada no ANEXO 1, expressa em Pascal por centímetro.

Na execução do ensaio de permeabilidade, obteve-se os tempos de 25,91 segundos e 26,54 segundos. Estes tempos, aplicados a Equação 3, fornecem uma superfície específica média de $3685,979 \text{ cm}^2/\text{g}$.

3.1.2. Aglomerantes

3.1.2.1. Cimento Portland V

3.1.2.1.1. Massa específica

A massa específica do aglomerante, o CPV – ARI RS, neste caso, é determinada através do método do frasco de Le Chatelier, em conformidade com a ABNT NBR 16605:2017. O frasco é enchido com querosene até a marca entre 0 e 1 cm³. O frasco fica em repouso até que atinja temperatura ambiente, por aproximadamente 30 minutos, e então realiza-se a leitura V1. Coloca-se uma amostra de 60 g de cimento dentro do frasco, cuidando para que este não fique aderido às paredes. Realiza-se a leitura V2.

A massa específica do aglomerante é fornecida pela Equação 4:

$$\gamma = \frac{m}{V_2 - V_1} \text{ (Equação 4)}$$

O resultado é a média entre duas determinações consecutivas.

Por meio da determinação da massa específica por frasco de Le Chatelier obteve-se as leituras de 19,5 cm³ e 19,7 cm³, ambas para uma massa de 60 g, resultando em valores de massa específica de 3,08 g/cm³ e 3,05 g/cm³, e uma média de 3,07 g/cm³. Este valor está próximo ao estabelecido pela ficha técnica fornecida pela Itambé, apresentada no ANEXO 2, de 3,12 g/cm³.

3.1.2.1.2. Massa unitária

O ensaio de massa unitária é realizado em conformidade com a ABNT NBR NM 45:2006. O ensaio consiste basicamente em encher um recipiente de massa e volume conhecidos, para determinar a massa específica aparente ou massa unitária do material.

Após preenchido o recipiente, a massa unitária é dada pela Equação 5.

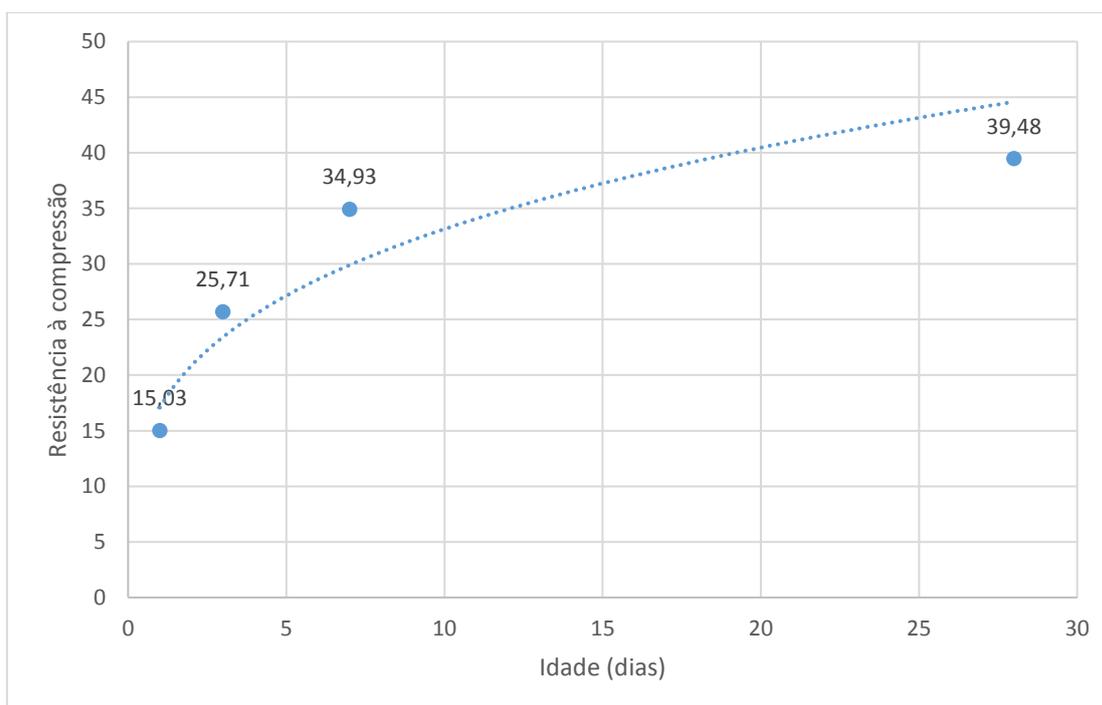
$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \text{ (Equação 5)}$$

O valor obtido para a massa unitária do cimento foi de $1,15 \text{ g/cm}^3$

3.1.2.1.3. Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão do cimento é regido pela ABNT NBR 7215:1996. O ensaio é realizado com o uso de argamassadeira, com uma argamassa confeccionada com areia normatizada, em conformidade com a ABNT NBR 7214:2015, de traço 1:3, relação a/c igual a 0,48. Para realização do ensaio foram utilizados moldes cilíndricos de dimensão 5 cm x 10 cm. O procedimento de moldagem dos corpos de prova está descrito no APÊNDICE B. A evolução da resistência à compressão obtida para as idades de 1, 3, 7 e 28 dias estão apresentadas no Gráfico 3. O cimento está adequado as exigências normativas da ABNT NBR 16697:2018, apresentada na Tabela 1.

Gráfico 3: Evolução da resistência à compressão do CPV-ARI.



Fonte: Autoria própria, 2018.

3.1.2.2. Cal

3.1.2.2.1. Massa unitária

A massa específica da cal foi realizada em conformidade com a ABNT NBR NM 45:2006. O valor médio obtido para a massa unitária da cal foi de 0,65 g/cm³.

3.1.3. Agregado Miúdo

3.1.3.1. Composição granulométrica

A amostra foi coletada de acordo com a ABNT NBR NM 26:2009 – Agregados – Amostragem. A quantidade de material necessária para a realização do ensaio é determinada na Tabela 2, apresentada na ABNT NBR NM 248:2001.

Tabela 2: Massa mínima por amostra de ensaio

Dimensão máxima nominal do agregado mm	Massa mínima da amostra de ensaio kg
<4,75	0,3
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fonte: ABNT NBR NM 248:2001.

Na realização do ensaio de granulometria foram utilizadas as peneiras da série normal de 4,75 mm à 150 µm, conforme a ABNT NBR NM 248:2001, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Série de peneiras.

Série normal
4,75 mm

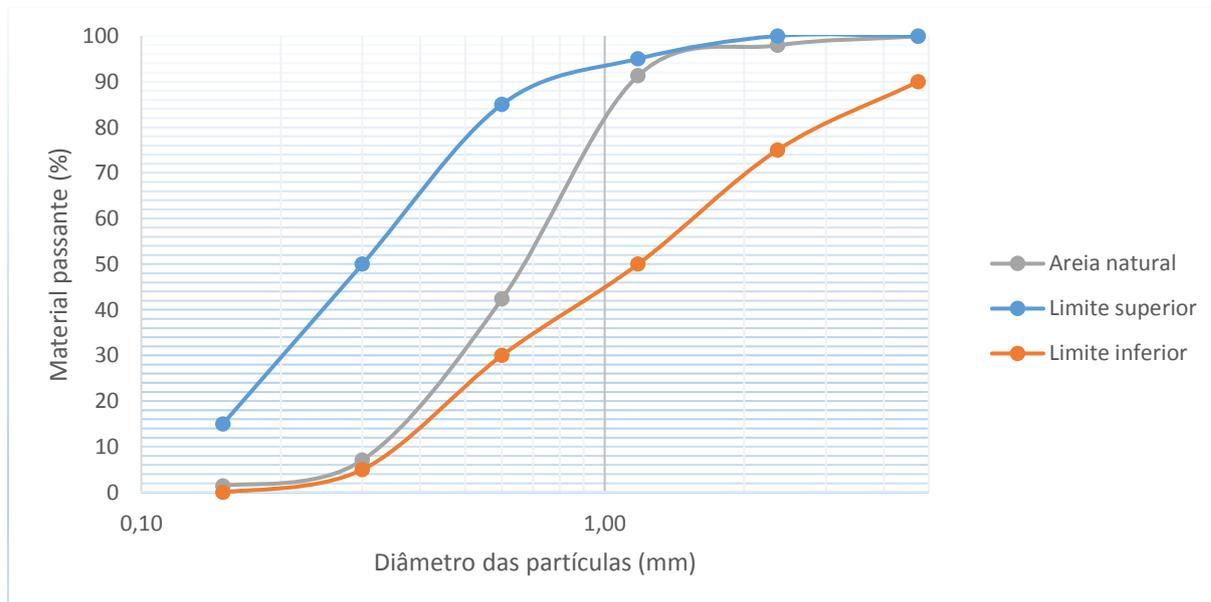
2,36 mm
1,18 mm
600 μm
300 μm
150 μm

Fonte: ABNT NBR NM 248:2001

As peneiras são encaixadas formando um conjunto com a abertura das malhas organizadas em ordem crescente do fundo para o topo. O material é colocado na peneira de maior abertura e procede-se com a agitação do conjunto. O material retido na peneira é colocado em um recipiente identificado e pesado. Procede-se a verificação para todas as peneiras. Repete-se todo o procedimento com uma segunda amostra.

A massa de areia natural retida em cada uma das peneiras é apresentada no APÊNDICE C. O ensaio foi realizado para duas amostras de 600 g cada. No Gráfico 4, observa-se a distribuição granulométrica da areia natural.

Gráfico 4: Curva granulométrica da areia natural.

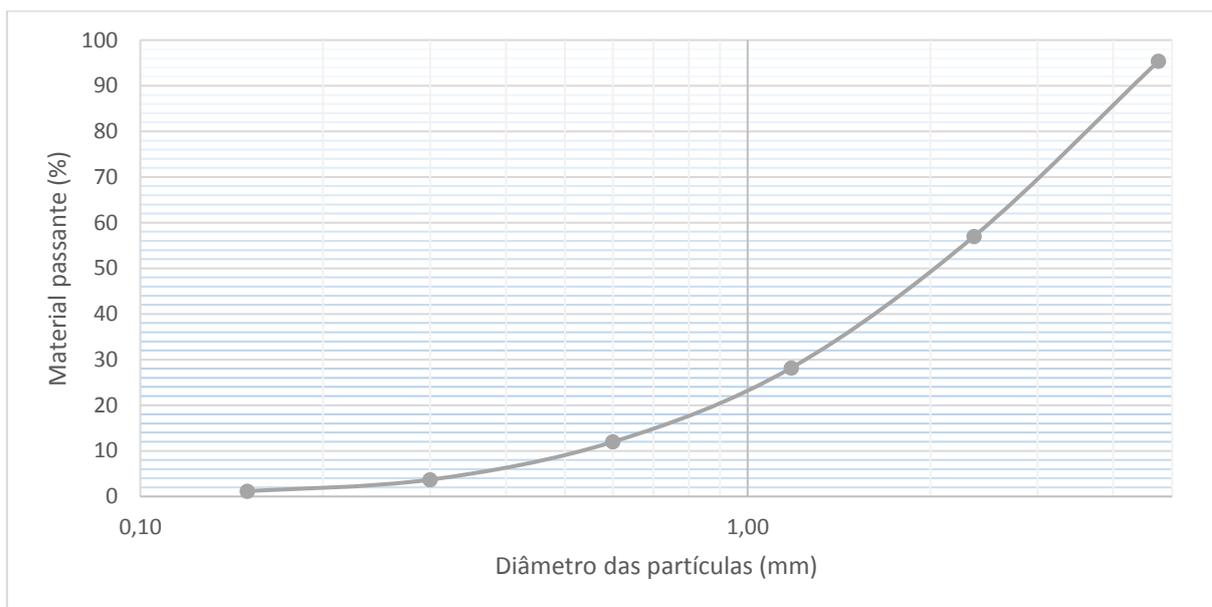


Fonte: Autoria própria, 2018.

A granulometria da areia natural é uniforme, com grande concentração de material fino, sendo que a maioria dos grãos estão localizados na faixa de 600 μm e 300 μm .

O ensaio foi repetido para a areia de britagem. As quantidades retidas em cada uma das peneiras estão apresentadas no APÊNDICE D. O ensaio foi realizado para duas amostras de 600 g. O Gráfico 5 mostra a distribuição granulométrica da areia de britagem.

Gráfico 5: Curva granulométrica da areia de britagem.

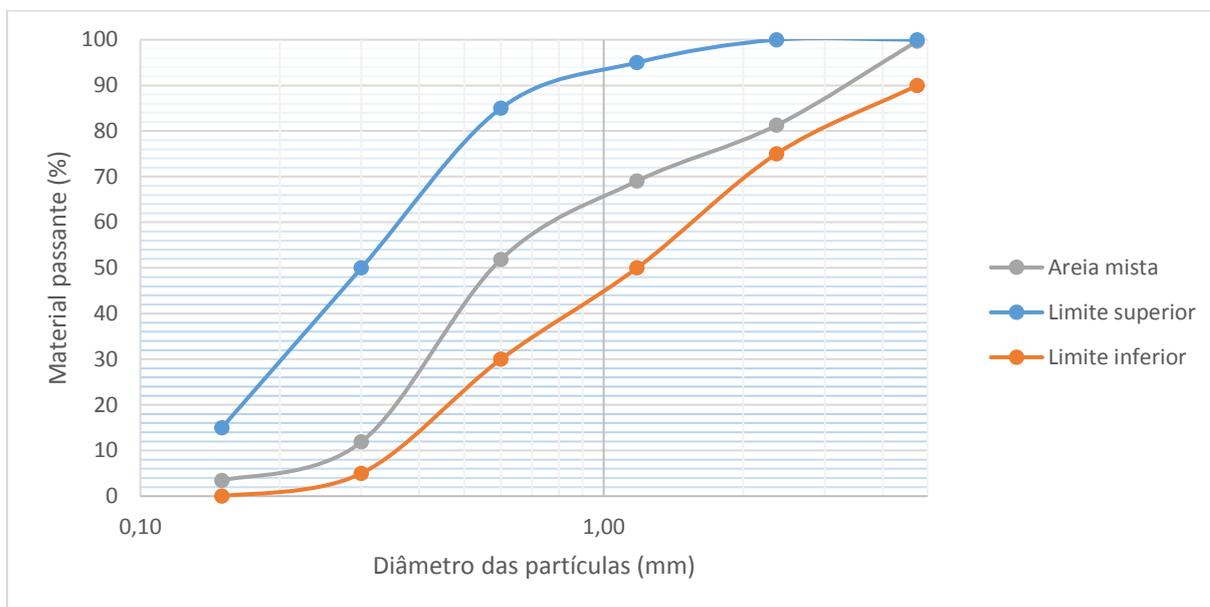


Fonte: Autoria própria, 2018.

A granulometria da areia de britagem é contínua, com uma quantidade significativa de material retido em cada peneira.

O ensaio foi realizado, ainda, para a areia mista, contendo 60% de areia natural e 40% de areia de britagem. Os valores obtidos durante o ensaio estão apresentados no APÊNDICE E. A curva granulométrica da areia mista é mostrada no Gráfico 6.

Gráfico 6: Curva granulométrica da areia mista.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Comparando-se as granulometrias, observa-se que a areia natural e a areia mista possuem maior concentração de material nas menores peneiras, quase 90% e 70%, respectivamente, retidas a partir da peneira 600 μ m. Na areia de britagem, 72% do material fica retido até a peneira 1,18 mm, com pouco material fino.

De acordo com Sabbatini (1998), em linhas gerais, as areias com granulometrias contínuas apresentam mais potencial de produzir uma argamassa adequada.

3.1.3.2. Massa específica

A massa específica do agregado miúdo é determinada pela ABNT NBR 9776:1987. A massa específica é definida como a relação entre a massa do agregado seco em estufa até constância de massa e o volume igual do sólido, incluindo os poros permeáveis.

Seca-se o agregado até a constância da massa, em estufa com temperatura de 105°C. Coloca-se água no frasco até a marca de 200cm³, deixando-o em repouso até que toda a água das faces escorra. Introduce-se 500g de agregado miúdo seco no frasco e agita-se, para eliminar as bolhas de ar. Faz-se a leitura do nível atingido pela água no frasco, que indica o volume, em cm³, ocupado pelo conjunto água-agregado.

A massa específica é determinada pela Equação 6:

$$\gamma \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{500}{L - 200} \text{ (Equação 6)}$$

Onde L é a leitura do nível atingido pelo conjunto água-agregado.

Devem ser realizadas duas determinações consecutivas com amostras do mesmo agregado e elas não devem diferir entre si mais de 0,05g/cm³.

Conforme a Figura 3, para a areia natural, para duas leituras consecutivas obteve-se os valores de 395 cm³ e 394 cm³. Aplicando-se os valores na Equação 6, obtém-se um valor de massa específica de 2,56g/cm³ e 2,58g/cm³, respectivamente. Portanto, a massa específica da areia natural foi de 2,57g/cm³, em média.

Figura 3: Determinação de massa específica por frasco de Chapman.



Fonte: Acervo da autora, 2017.

Da mesma forma, o ensaio foi realizado para a areia de britagem, obtendo-se as leituras de 371cm³ e 373cm³, com uma massa específica média de 2,91 g/cm³.

3.1.3.3. Massa unitária

A massa unitária da areia natural e da areia de britagem foram determinadas com base na ABNT NBR NM 45:2006.

Os valores obtidos para as massas específicas dos agregados miúdos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Massas unitárias.

Material	Massa unitária (g/cm ³)
Areia natural	1,41
Areia de britagem	1,68

Fonte: Autoria própria, 2018.

3.2. MÉTODOS

Para se determinar o teor ideal de substituição por cinza e se a substituição deveria ocorrer no cimento ou na areia, foi fabricada uma argamassa seguindo as prescrições de traço e relação a/c estabelecidas pela ABNT NBR 7215:1996, chamada de mistura teste.

Para as misturas testes, ou seja, misturas preliminares confeccionadas para determinar o teor ideal de cinza a ser utilizado na argamassa de assentamento, foram confeccionadas argamassas com areia natural substituindo-se o cimento Portland por cinza de queima de eucalipto (M2, M3) e substituindo-se a areia por cinza de queima de eucalipto (M4, M5), em teores de 2,5% e 5,0%, respectivamente, além de uma argamassa de referência (M1), com teor de 0% de cinza.

Para argamassa com areia de britagem foram fabricadas misturas (M7, M8) com teor de 2,5% e 5,0% de substituição da cinza e uma referência (M6), com 0% de cinza.

Ainda, uma argamassa com areia mista, composta com 60% de areia natural e 40% de areia de britagem foi fabricada, com substituições de 2,5% e 5,0% (M10, M11), além da referência (M9), com 0% de cinza de queima de eucalipto.

A Tabela 5 apresenta um resumo das misturas.

Tabela 5: Resumo das misturas.

Mistura	Tipo de areia	Material substituído	Teor de cinza (%)
M1	Natural	-	0,0
M2		Cimento	2,5
M3		Cimento	5,0
M4		Areia	2,5
M5		Areia	5,0
M6	De britagem	-	0,0
M7		Areia	2,5
M8		Areia	5,0
M9	Mista (60% natural 40% de britagem)	-	0,0
M10		Areia	2,5
M11		Areia	5,0

Fonte: Autoria própria, 2018.

Após moldadas e ensaiadas à compressão, as misturas que obtiveram maiores valores de resistência foram selecionadas para a fabricação de argamassa de assentamento.

Apesar das normas de argamassa não determinarem qual seria o traço ideal para tipo de argamassa, Sabbatini (1998) apresenta alguns traços bastante comuns recomendados por normas inglesas e alemãs.

Para este estudo, para argamassa de assentamento, foi optado por uma composição de cimento, cal e areia na proporção 1: 2: 8, em volume.

O traço praticado comumente em obras é dado em volume e, através da massa unitária dos materiais, determina-se as quantidades em massa. A massa unitária “é a massa da unidade de volume do agregado” (BAUER, 1987, pág. 89). Assim, conforme Neville (1997) para a quantificação em volume de um agregado, é necessário conhecer a quantidade de material que preenche um recipiente com capacidade igual à unidade de volume. A transformação do traço em volume está apresentada no APÊNDICE F. A relação água/aglomerante utilizada para todas as amostras foi de 1,06.

As amostras de argamassa de assentamento foram fabricadas seguindo essa proporção, com os teores de substituição por cinza de queima de eucalipto mais adequados encontrados nas misturas preliminares, e ensaiadas quanto à sua consistência, capacidade de retenção de água, resistência mecânica e retração.

3.2.1. Consistência

O ensaio de consistência foi realizado com o uso da mesa para índice de consistência (flow table), apresentada na Figura 4, em conformidade com a ABNT NBR 13276:2002.

Figura 4: Mesa para índice de consistência.



Fonte: Acervo da autora, 2018.

O ensaio consiste em encher o molde tronco-cônico, acionar a manivela da mesa deixando a mesa subir e cair 30 vezes e realizar a leitura do espalhamento da argamassa na mesa, conforme Figura 5.

Figura 5: Espalhamento da argamassa na flow table.



Fonte: Acervo da autora, 2018.

3.2.2. Retenção de Água

O ensaio de retenção de água foi realizado em conformidade com a ABNT NBR 13277:2005. Este ensaio é executado com o uso do Funil de Buchner modificado, equipado com bomba à vácuo, apresentado na Figura 6.

Figura 6: Funil de Buchner com bomba à vácuo.



Fonte: Acervo da autora, 2018.

O ensaio consiste em preencher o prato com a argamassa, adensá-la e aplicar sucção correspondente à coluna de 51 mm de mercúrio durante 15 minutos.

3.2.3. Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado em conformidade com a ABNT NBR 13279:2005, para as idades de cura de 3, 7 e 28 dias. Para todas as idades, foram realizados ensaios de quatro corpos de prova. Os corpos de prova foram moldados em moldes prismáticos de tamanho 4 cm x 4 cm x 16 cm, conforme Figura 7.

Figura 7: Moldes 4 cm x 4 cm x 16 cm.



Fonte: Acervo da autora, 2018.

Para o ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova foram inicialmente ensaiados à tração na flexão, obtendo-se corpos de prova de dimensão 4cm x 4 cm x 8 cm, conforme Figura 8.

Figura 8: Corpo de prova 4 cm x 4 cm x 8 cm.



Fonte: Acervo da autora, 2018.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado utilizando-se a máquina EMIC DL 3000, com capacidade de carga de 300kN, apresentada na Figura 9.

Figura 9: EMIC DL 30000 equipada com dispositivo para ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Acervo da autora, 2018.

3.2.4. Retração por Secagem

O ensaio de retração por secagem foi executado em conformidade com a ABNT NBR 15261:2005. Para tal, com o uso de moldes prismáticos de 25 mm x 25 mm x 285 mm, apresentados na Figura 10, três corpos de prova de cada amostra foram moldados.

Figura 10: Molde 25 mm x 25 mm x 285 mm.



Fonte: Acervo da autora, 2018.

Para a medida da variação de comprimento dos corpos de prova foi utilizado um aparelho comparador, mostrado na Figura 11, equipado com um relógio comparador com resolução de 0,001 mm. Inicialmente realiza-se a leitura da barra padrão e, posteriormente, dos corpos de prova, que são orientados sempre na mesma direção e posição.

Figura 11: Aparelho comparador com relógio.



Fonte: Acervo da autora, 2018.

A retração das amostras foi acompanhada dos 3 dias até os 26 dias.

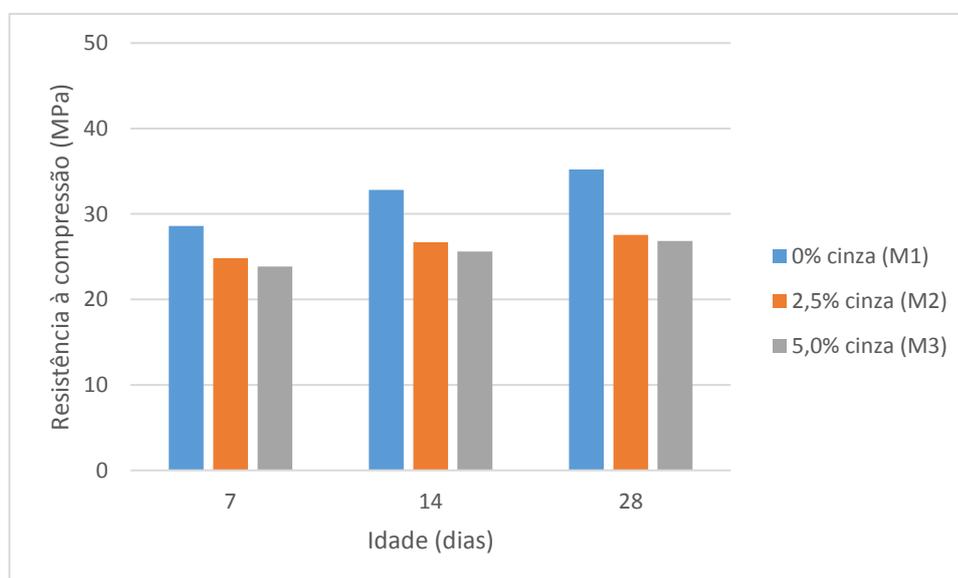
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ENSAIOS PRELIMINARES

Os resultados das resistências médias à compressão para as idades de 7, 14 e 28 dias para cada uma das misturas estão apresentadas no APÊNDICE G.

No Gráfico 7 observa-se o comportamento da argamassa quando da substituição do cimento por cinza.

Gráfico 7: Variação da resistência à compressão de argamassa com areia natural com substituição do cimento por cinza.

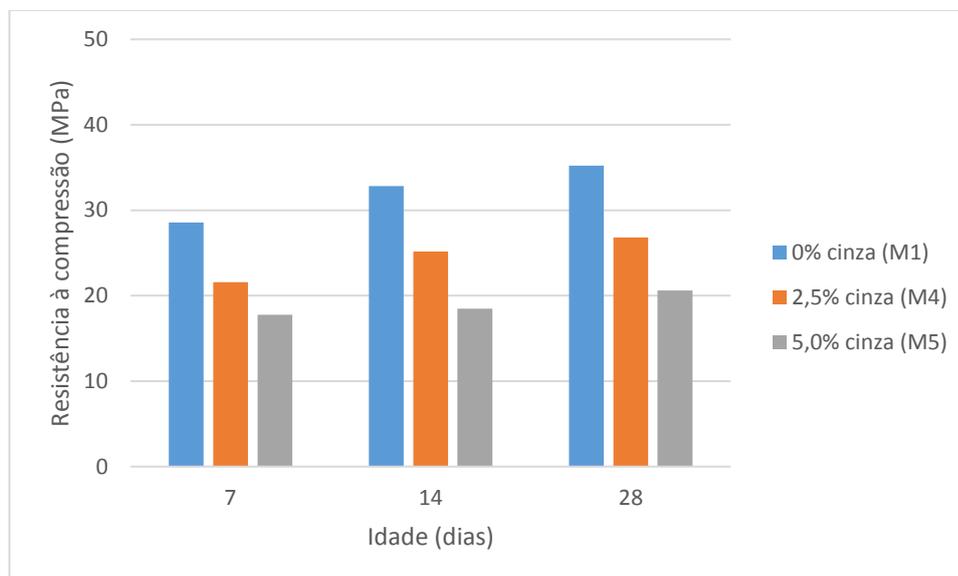


Fonte: Autoria própria, 2018.

A substituição de cinza, aos 28 dias, reduziu a resistência à compressão da argamassa em aproximadamente 24%.

Da mesma forma, a substituição da areia natural por cinza prejudicou a resistência à compressão da argamassa, conforme apresentado no Gráfico 8.

Gráfico 8: Resistência à compressão da argamassa com areia natural com substituição da areia por cinza.

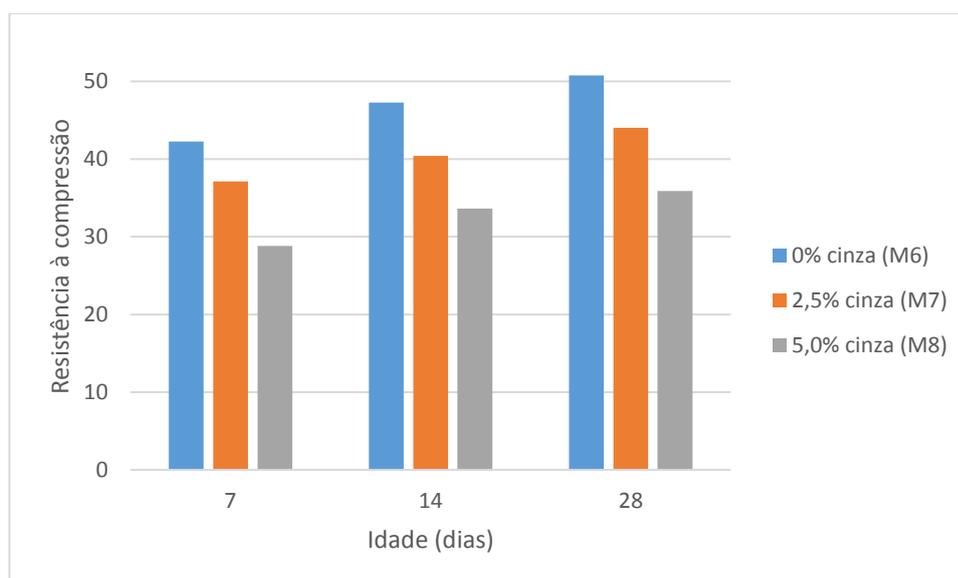


Fonte: Autoria própria, 2018.

Nesta mistura, a resistência à compressão aos 28 dias teve uma queda de aproximadamente 42% em relação a referência para um teor de substituição de 5,0% e de 24% para um teor de substituição de 2,5%.

O Gráfico 9 apresenta a variação da resistência à compressão da argamassa com areia de britagem, quando submetida à substituição da areia por cinza.

Gráfico 9: Resistência à compressão da argamassa com areia de britagem com substituição da areia por cinza.

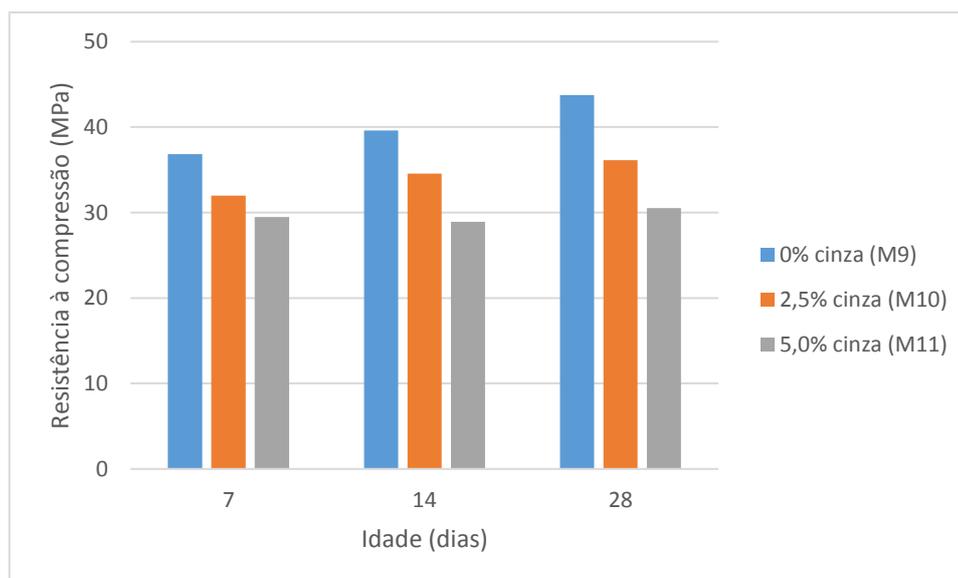


Fonte: Autoria própria, 2018.

Neste caso, a redução da resistência à compressão aos 28 dias foi de 13% e 30%, para os teores de substituição de 2,5% e 5,0%, respectivamente.

Ainda, o Gráfico 10 apresenta a resistência à compressão da argamassa confeccionada com areia mista.

Gráfico 10: Resistência à compressão da argamassa com areia mista com substituição da areia por cinza.

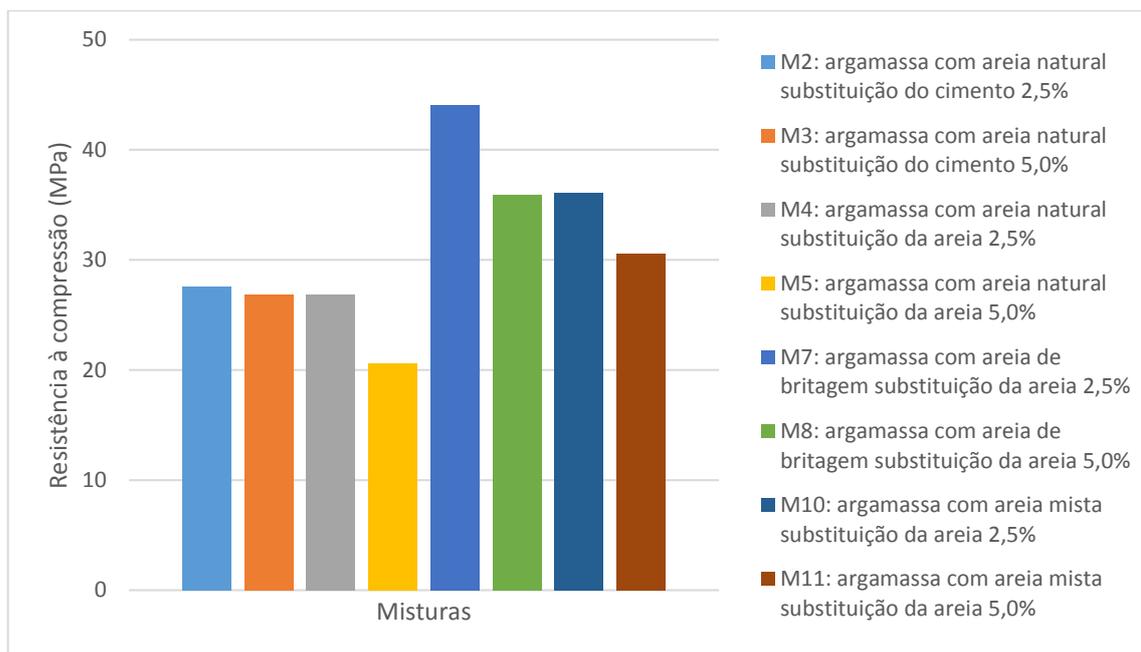


Fonte: Autoria própria, 2018.

Neste caso, a redução da resistência à compressão foi de 18% e 30% para a substituição em teor de 2,5% e de 5,0%, respectivamente.

No Gráfico 11, excluindo-se as misturas referências, é possível verificar quais misturas obtiveram melhores resultados com a adição de cinza.

Gráfico 11: Resistência à compressão das misturas teste aos 28 dias.



Fonte: Autoria própria, 2018.

O uso da areia de britagem e da areia mista tornou a resistência à compressão da argamassa 44% e 24% maior, respectivamente, com relação à argamassa com areia natural. No que se refere à argamassa de assentamento, a resistência à compressão não é parâmetro mais relevante, mas é um bom indicador da durabilidade do composto.

Como é possível observar no gráfico, as misturas teste que obtiveram os resultados mais satisfatórios foram as misturas M7 e M8, com substituição da areia de britagem por cinza de queima de eucalipto em teores de 2,5% e 5,0% e M10, argamassa composta por 60% areia natural e 40% de areia de britagem, com substituição da areia em teor de 2,5%.

4.2. ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

Cinco amostras de argamassa de assentamento, compostas por cimento, cal e areia foram moldadas, sendo as duas primeiras referências, com areia de britagem (A1) e combinação de 60% areia natural e 40% areia de britagem (A2). Duas delas foram confeccionadas com areia de britagem com substituição em teor 2,5% e 5,0%, A3 e A4, respectivamente. A quinta amostra levava a mistura de areias e uma

substituição por cinza em teor de 2,5%. A Tabela 6 apresenta um resumo das amostras de argamassa de assentamento.

Tabela 6: Resumo das amostras para argamassa de assentamento.

Amostra	Tipo de areia	Material substituído	Teor de cinza
A1	De britagem	-	0,0
A2	Mista	-	0,0
A3	De britagem	Areia	2,5
A4	De britagem	Areia	5,0
A5	Mista	Areia	2,5

Fonte: Autoria própria, 2018.

4.2.1. Consistência

Com base na Tabela 7, observa-se que com a substituição da cinza de eucalipto em 2,5% e 5%, na argamassa com areia mista e com areia de britagem, respectivamente, o índice de consistência diminuiu em aproximadamente 25 mm em comparação com as referências. A amostra 4, com teor de cinza de 2,5% teve o índice de consistência reduzido em aproximadamente 2% com a adição de cinza a mistura. Constata-se também que a argamassa composta da mistura de areias tem a tendência de possuir maiores índices de consistência.

Tabela 7: Consistência das amostras.

Amostra	Consistência (mm)
1	270
2	280
3	265
4	245
5	256

Fonte: Autoria própria, 2018.

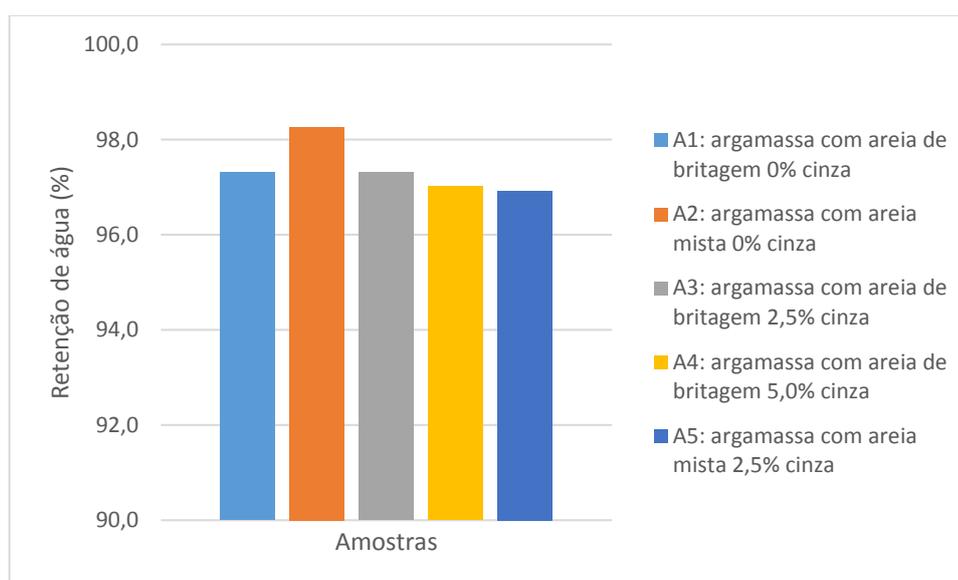
Apesar da NBR 13276:2016 não especificar nenhum intervalo de aceitação da argamassa relacionado ao índice de consistência, na NBR 13276:2005 há a recomendação de se adotar uma quantidade de água suficiente para obter uma consistência compreendida entre 255 mm e 265 mm. Considerando essa indicação,

as amostras referências (A1 e A2) e a amostra com areia de britagem substituída em 5,0% por cinza (A4) estariam com água além do ideal para um índice ótimo de consistência.

4.2.2. Retenção de Água

Examinando o Gráfico 12 percebe-se que a capacidade de retenção de água é mais prejudicada quando se adiciona cinza de queima de eucalipto na argamassa fabricada com a mistura de areias do que quando da substituição em argamassa feita com areia de britagem. Comparando-se a amostra 1 (argamassa com areia de britagem 0% de cinza) com as amostras 3 e 4 (2,5% cinza e 5,0% cinza) nota-se um prejuízo desprezível na capacidade de retenção de água.

Gráfico 12: Retenção de água.



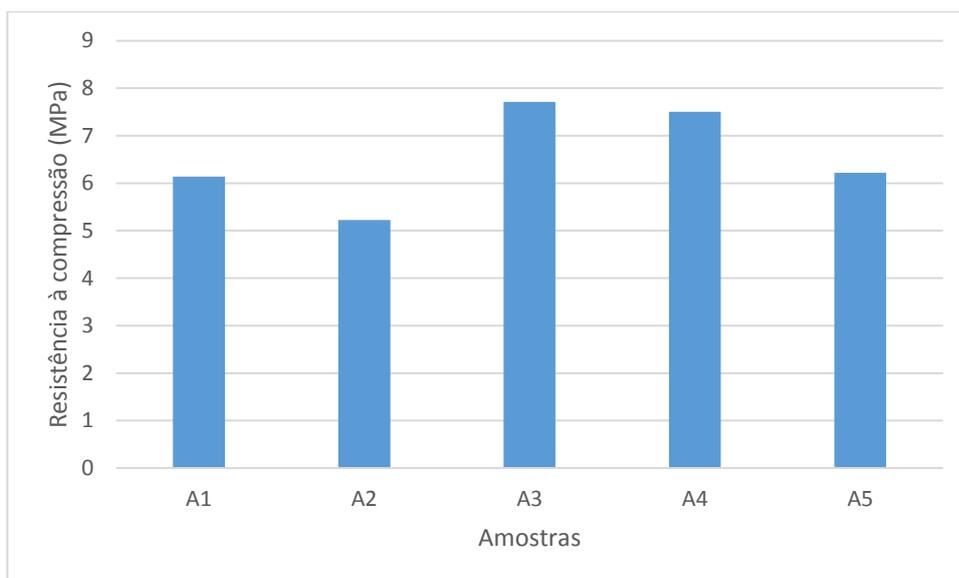
De acordo com os requisitos exigidos para argamassa de assentamento na ABNT NBR 13281:2005, nenhuma classe de argamassa pode ter a capacidade de retenção de água menor que 78%. Com base no ANEXO 3, da mesma norma, têm-se que todas as amostras se enquadram na classe U6, com retenção de água entre 95% e 100%, sendo que a amostra 5 também poderia estar classificada na classe U5, com capacidade de retenção entre 91% e 97%.

4.2.3. Resistência à Compressão

Os valores de resistência à compressão individuais, resistência média, desvio padrão e coeficiente de variação são apresentados no APÊNDICE H.

O Gráfico 13 demonstra as resistências à compressão aos 28 dias para as diferentes amostras.

Gráfico 13: Resistência à compressão aos 28 dias.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Os requisitos de resistência à compressão estabelecidos pela ABNT NBR 13281 estão apresentados no ANEXO 4. De acordo com esta norma, a resistência à compressão mínima aos 28 dias para a argamassa de assentamento é 2,0 MPa e, portanto, todas as amostras estão em conformidade com a exigência. As amostras 1 e 2 estão classificadas na classe P4, com resistências entre 4,0 MPa e 6,5 MPa, enquanto as amostras 3 e 4 se encaixam na classe P5, com resistências entre 5,5 MPa e 9,0 MPa. A amostra 5 está classificada entre a classe P4 e P5.

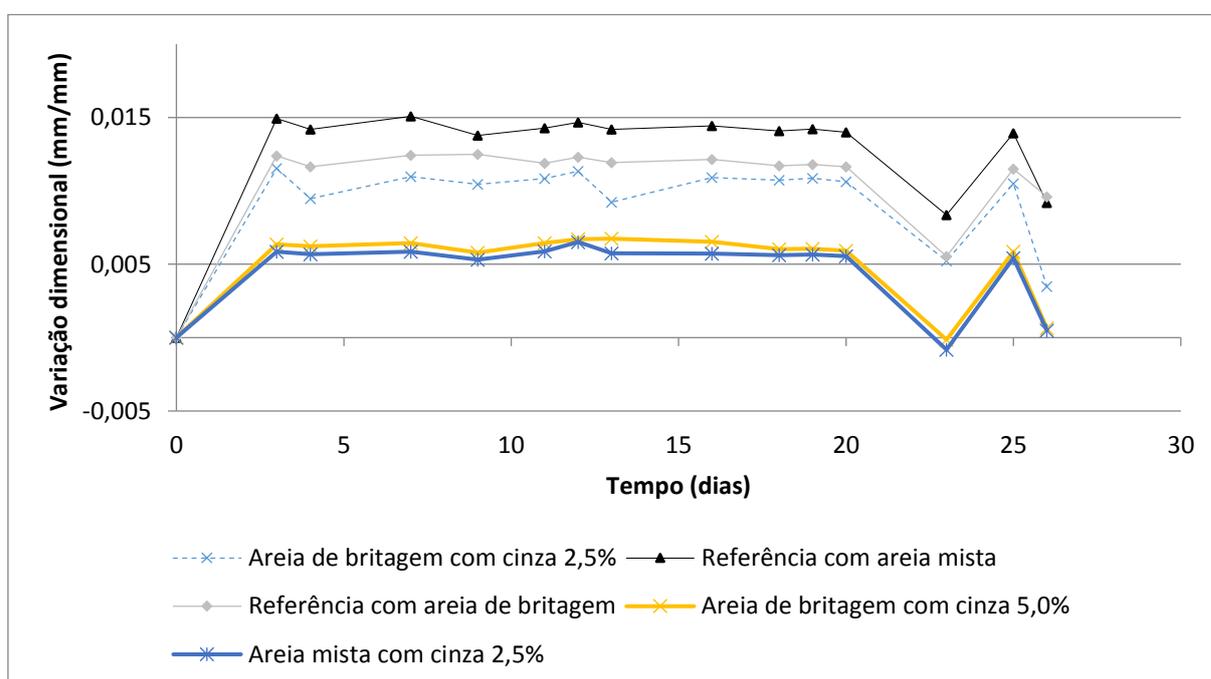
Diferente do que ocorreu com as misturas de teste, as argamassas de assentamento com a substituição por cinza aos 28 dias tiveram um aumento na resistência à compressão.

4.2.4. Retração por Secagem

As medições de retração ocorreram em 14 ocasiões entre as idades de 3 e 26 dias.

No Gráfico 14 é apresentado o comportamento das amostras com relação a retração por secagem. Todos as amostras apresentaram uma variação dimensional acumulada de expansão.

Gráfico 14: Retração por secagem.



Fonte: Autoria própria, 2018.

O comportamento de todas as amostras foi aproximadamente igual com relação à retração e expansão, diferindo na amplitude.

A amostra referência, com areia mista, foi a que apresentou maior expansão. Em contrapartida, a amostra com areia mista e 2,5% de cinza foi a que apresentou menor expansão, com um acumulado perto de 0 próximo aos 28 dias.

A argamassa com areia de britagem e teor de 5,0% de cinza (A4) apresentou expansão muito próxima à da argamassa com areia mista e teor de cinza 2,5%. Pelo gráfico, nota-se que quanto maior a adição de cinza, menor parece ser a expansão. Aparentemente, a expansão do composto está ligada à combinação entre adição de cinza e granulometria do agregado miúdo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desenvolvido teve como objetivo avaliar o desempenho da substituição de areia por cinza de queima de eucalipto em argamassa de assentamento. Para tal, ensaios foram realizados para determinar as propriedades de retenção de água e consistência, no estado fresco, e resistência à compressão e retração por secagem no estado endurecido.

Referente a argamassa convencional, fabricada apenas com cimento, areia e água, e com adição de cinza de queima de eucalipto, percebe-se que a substituição tanto do cimento quanto da areia por cinza acarreta em prejuízos para a resistência à compressão da argamassa, independente do teor de substituição. Os resultados convergem com os estudos de Gluitz e Marafon (2013).

No que concerne à argamassa de assentamento, as propriedades no estado fresco foram afetadas negativamente com a adição de cinza, sendo que para todas as amostras com substituição de cinza, independente da granulometria da areia utilizada, a retenção de água e o índice de consistência diminuíram, com relação à referência. Ainda assim, a capacidade de retenção em todas as amostras atendeu as exigências normativas.

No estado endurecido, nas argamassas de assentamento houve ganho de resistência à compressão com a substituição da areia por cinza com relação à referência. Entretanto, na argamassa confeccionada com areia de britagem, ao se aumentar o teor de substituição de cinza de 2,5% para 5,0%, uma pequena queda na resistência à compressão é observada, o que parece indicar que deve haver um limite de teor de substituição para que este comportamento se mantenha. A retração por secagem tem seus efeitos minimizados quanto maior for o teor de substituição.

Não há estudos tratando especificamente da utilização de cinza de queima de eucalipto aplicada à argamassa de assentamento. Analogicamente, os estudos de Melo (2013) abordam a utilização da cinza de algaroba em argamassa de assentamento e revestimento e obtiveram resultados positivos para teores de substituição de até 10% do cimento por cinza de algaroba.

No estado endurecido, em geral, até um determinado teor a cinza favorece as propriedades da argamassa. No estado fresco, apesar de prejudicar as propriedades, esse prejuízo não é significativo e, portanto, nos teores apresentados, o uso da cinza ainda é uma alternativa adequada para reduzir o consumo de areia.

REFERÊNCIAS

- ANNIBELI, M. B.; FILHO, C. F. M. S. **Mineração de areia e seus impactos sócio-econômicos-ambientais**. PUC – PR, 2006.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987.
- EVANGELISTA, A. C.J. et al. **Estudo de materiais alternativos para produção de concretos e argamassas**. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos de Desenvolvimento Sustentável, ICTR 2004.
- FIORITI, C. S.; AKASAKI, J. L.; INO, A. **Fabricação de pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de recauchutagem de pneus**. Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). Florianópolis, 2006.
- FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. São Paulo: Pini, 1994.
- GLUITZ, A. C.; MARAFÃO, D. **Utilização da cinza da madeira de eucalipto na substituição parcial do cimento Portland em argamassa**. UTFPR, Pato Branco, 2013.
- HOMRICH, J. T. O. **Avaliação do comportamento do cimento supersulfatado em concreto autoadensável**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Pato Branco, 2018.
- ISAIA, C.G. **Concreto: ciência e tecnologia**. 1 ed. São Paulo, IBRACON, 2011. 1v.
- JÚNIOR, D. L.; COLODETTE, J. L. **Importância e versatilidade da madeira de eucalipto para a indústria de base florestal**. Brazilian Journal of Forestry Research, v. 33, n. 76, 2013.
- JUNIOR, P. C. A.; FILHO, D. O.; COSTA, D. R. **Viabilidade econômica de produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas**. Engenharia Agrícola, v. 26, n. 1. Jaboticabal, 2006.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.
- MELO, F. C. A. C. **Análise de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinza residual de lenha de algaroba**. Natal: UFRN, 2012.
- MOURA, L. S. **Caracterização da atividade pozolânica das cinzas de algaroba produzidas sob diferentes temperaturas**. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais (CBECiMat). Joinville, 2012.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 2 ed. Porto Alegre: Brookman, 2013.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Tradução de Salvador E. Giammusso. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. 10 ed. São Paulo: Globo, 1995

SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo, ABCP, 2 ed. 1998.

SILVÉRIO, J.; HORN, P. A. **Determinação da composição química e aproveitamento de cinzas da queima da lenha de eucalipto para reprodução de água sanitária ecológica**. UTFPR, Pato Branco, 2013.

TEIXEIRA, T. V. R. **Uso da madeira e derivados para energia no estado do Paraná**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15261:2005 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear)**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279:2005 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276:2016 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277:2005 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697:2018 – **Cimento Portland – Requisitos**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281:2005 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15961:2011 – **Alvenaria estrutural — Blocos de concreto**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16372:2015 – **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine)**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605:2017 – **Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215:1996 – **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7214:2015 – **Areia normal para ensaio de cimento – Especificação.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 26:2009 – **Agregados – Amostragem.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248:2001 – **Agregados – Determinação da composição granulométrica.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776:1987 – **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman – Método de ensaio.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52:2009 – **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e da massa específica aparente.**

ANEXO 1 – INFORMAÇÕES SOBRE A MASSA ESPECÍFICA DO MERCÚRIO E A VISCOSIDADE DO AR EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Temperatura °C	Massa específica do mercúrio, ρ_H g/cm ³	Viscosidade do ar Pa.s	$\sqrt{0,17}$
18	13,55	0,000 017 98	0,001 341
19	13,55	0,000 018 03	0,001 343
20	13,55	0,000 018 08	0,001 345
21	13,55	0,000 018 13	0,001 346
22	13,54	0,000 018 18	0,001 348
23	13,54	0,000 018 23	0,001 350
24	13,54	0,000 018 28	0,001 352
25	13,54	0,000 018 32	0,001 354
26	13,53	0,000 018 37	0,001 355
27	13,53	0,000 018 42	0,001 357
28	13,53	0,000 018 47	0,001 359
29	13,53	0,000 018 52	0,001 361
30	13,52	0,000 018 57	0,001 363

NOTA Valores intermediários podem ser obtidos por interpolação linear.

Fonte: ABNT NBR 16372:2015 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine).

ANEXO 2 – FICHA TÉCNICA CPV-ARI



TIPO : CP V-ARI

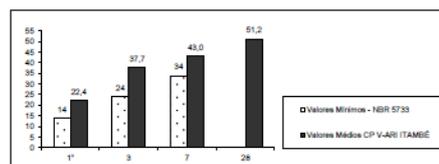
RELATÓRIO DE ENSAIOS DE CIMENTO

EMISSÃO : 02/02/2015

Data	Químicos										Físicos										
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Perda Fogo	CaO Livre	Resid. Insol.	Equiv. Alcal.	Exp. Quente	Tempo de Pega		Cons. Normal	Blaine	# 200	# 325	Resistência à Compressão			
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	mm	h : min	h : min	%	cm ² /g	%	%	MPa	MPa	MPa	MPa
Média	4,35	18,91	2,69	60,59	4,74	2,86	2,89	0,94	0,72	0,62	0,25	02:37	03:14	28,4	4,078	0,46	3,07	22,4	37,7	43,0	51,2
Sd	0,06	0,22	0,11	0,31	0,32	0,04	0,14	0,14	0,05	0,02	0,17	00:10	00:10	0,4	57,50	0,08	0,32	0,9	1,0	0,5	0,5
Min	4,25	18,61	2,57	60,10	4,22	2,76	2,69	0,75	0,64	0,60	0,08	02:24	03:03	27,9	3,996	0,32	2,45	21,3	36,4	42,1	50,1
Max	4,47	19,24	2,98	61,24	5,35	2,91	3,08	1,19	0,80	0,67	0,65	02:57	03:35	29,0	4,202	0,61	3,58	23,8	39,4	43,8	52,1

Obs.: A Resistência à Compressão aos 28 dias do CP V-ARI é regida pela NBR 5733, a qual não estabelece valor mínimo.

A massa específica média do CP V-ARI ITAMBÉ é 3,12 g/cm³ (NBR NM 23).
As datas do relatório se referem ao dia de expedição do cimento.



Fonte: Itambé

ANEXO 3 – REQUISITOS – RETENÇÃO DE ÁGUA

Classe	Retenção de água %	Método de ensaio
U1	≤ 78	ABNT NBR 13277
U2	72 a 85	
U3	80 a 90	
U4	86 a 94	
U5	91 a 97	
U6	95 a 100	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos

ANEXO 4 – REQUISITOS – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Classe	Resistência à compressão MPa	Método de ensaio
P1	≤ 2,0	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos

APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DA CINZA

Peneira	AMOSTRA 1				AMOSTRA 2			
	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem passante (%)	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem passante (%)
1180	0,4	0,1	0,1	99,9	0,7	0,175	0,175	99,825
600	269,1	67,275	67,38	32,625	263,8	65,95	66,13	33,875
420	53,5	13,375	80,75	19,25	49,1	12,275	78,40	21,6
250	20,60	5,15	85,90	14,1	26,10	6,525	84,93	15,075
150	33,60	8,4	94,30	5,7	29,20	7,3	92,23	7,775
75	16,20	4,05	98,35	1,65	25,60	6,4	98,63	1,375
44	2,60	0,65	99,00	1	4,80	1,2	99,83	0,175
	0,50	0,125	99,13	0,875	0,90	0,225	100,05	-0,05
Total	396,5	99,0	-	-	399,5	99,875	-	-

APÊNDICE B – PROCEDIMENTO DE MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA CONFORME ABNT NBR 7215:1996

- Adicionar toda a água e o cimento à argamassadeira;
- Misturar a pasta durante 30 segundos em velocidade baixa;
- Colocar as quatro frações de areia misturadas durante 30 segundos;
- Após a colocação da areia, misturar os materiais em velocidades alta durante 30 segundos;
- Desligar a argamassadeira, retirar com a espátula a argamassa aderida às paredes da cuba e cobrir a cuba com pano úmido, deixando descansar por 1 minutos e 15 segundos;
- Ligar a argamassadeira em velocidade alta durante 1 minuto;
- Moldar os corpos de prova em quatro camadas com 30 golpes;

APÊNDICE C – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA NATURAL

Peneira	AMOSTRA 1				AMOSTRA 2			
	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem passante (%)	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem passante (%)
4,75	0,3	0,05	0,05	99,95	0,7	0,12	0,12	99,88
2,36	13,9	2,32	2,37	97,63	9,8	1,63	1,75	98,25
1,18	48,80	8,13	10,50	89,50	31,20	5,20	6,95	93,05
0,6	297,50	49,58	60,08	39,92	289,30	48,22	55,17	44,83
0,3	194,90	32,48	92,57	7,43	228,70	38,12	93,28	6,72
0,15	36,20	6,03	98,60	1,40	31,60	5,27	98,55	1,45
	8,10	1,35	99,95	0,05	8,50	1,42	99,97	0,03
Total	599,7	100,0	-	-	599,8	100,0	-	-

APÊNDICE D – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA DE BRITAGEM

Peneira	AMOSTRA 1				AMOSTRA 2			
	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem passante (%)	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem passante (%)
4,75	29,9	4,98	4,98	95,02	25,3	4,22	4,22	95,78
2,36	235,9	39,32	44,30	55,70	224,8	37,47	41,68	58,32
1,18	167,60	27,93	72,23	27,77	178,30	29,72	71,40	28,60
0,6	93,50	15,58	87,82	12,18	101,10	16,85	88,25	11,75
0,3	51,10	8,52	96,33	3,67	48,30	8,05	96,30	3,70
0,15	14,70	2,45	98,78	1,22	15,20	2,53	98,83	1,17
	7,10	1,18	99,97	0,03	6,90	1,15	99,98	0,02
Total	599,8	100,0	-	-	599,9	100,0	-	-

APÊNDICE E – COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA MISTA

Peneira	AMOSTRA 1				AMOSTRA 2			
	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem passante (%)	Massa retida (g)	Porcentagem retida (%)	Porcentagem acumulada (%)	Porcentagem passante (%)
4,75	1,7	0,28	0,28	99,72	1,9	0,32	0,32	99,68
2,36	107,8	17,97	18,25	81,75	113,5	18,92	19,23	80,77
1,18	78,70	13,12	31,37	68,63	67,90	11,32	30,55	69,45
0,6	97,90	16,32	47,68	52,32	108,20	18,03	48,58	51,42
0,3	238,10	39,68	87,37	12,63	241,70	40,28	88,87	11,13
0,15	57,40	9,57	96,93	3,07	43,90	7,32	96,18	3,82
	17,90	2,98	99,92	0,08	22,40	3,73	99,92	0,08
Total	599,5	99,9	-	-	599,5	99,9	-	-

APÊNDICE F – CONVERSÃO DO TRAÇO EM VOLUME PARA MASSA

Material	Massa unitária (g/cm ³)
Cimento	1,15
Cal	0,65
Areia natural	1,41
Areia britagem	1,68

	Cimento	Cal	Areia natural	Areia britagem	Cinza	
Amostra	1	2	8		-	Volume
A1	1,15	1,3		13,440		Em massa
A2	1,15	1,3	7,230	4,820		
A3	1,15	1,3		13,104	0,328	
A4	1,15	1,3		12,768	0,638	
A5	1,15	1,3	7,052	4,701	0,301	

A1 – Argamassa com areia de britagem referência (0% cinza)

A2 – Argamassa com areia mista (0% cinza)

A3 – Argamassa com areia de britagem 2,5% cinza

A4 – Argamassa com areia de britagem 5,0% cinza

A5 – Argamassa com areia mista 2,5% cinza

APÊNDICE G – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS MISTURAS TESTES

SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO POR CINZA (COM AREIA NATURAL)				
Mistura	Teor de cinza (% massa)	Resistência (MPa)		
		7 dias	14 dias	28 dias
M1	0,0	28,58	32,82	35,21
M2	2,5	24,81	26,70	27,57
M3	5,0	23,87	25,60	26,85

SUBSTITUIÇÃO DE AREIA NATURAL POR CINZA				
Mistura	Teor de cinza (% massa)	Resistência (MPa)		
		7 dias	14 dias	28 dias
M1	0,0	28,58	32,82	35,21
M4	2,5	21,60	25,17	26,81
M5	5,0	17,78	18,49	20,62

SUBSTITUIÇÃO DE AREIA DE BRITAGEM POR CINZA				
Mistura	Teor de cinza (% massa)	Resistência (MPa)		
		7 dias	14 dias	28 dias
M6	0,0	42,26	47,28	50,75
M7	2,5	37,12	40,40	44,03
M8	5,0	24,21	32,31	40,55

SUBSTITUIÇÃO DE AREIA NATURAL+DE BRITAGEM POR CINZA				
Mistura	Teor de cinza (% massa)	Resistência (MPa)		
		7 dias	14 dias	28 dias
M9	0,0	36,86	39,61	43,76
M10	2,5	31,97	34,55	36,12
M11	5,0	29,49	28,93	30,54

APÊNDICE H – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS AMOSTRAS DE ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

Amostra	Idade (dias)	Resistência média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação
A1	3	2,51	0,08	0,03
	7	4,37	0,71	0,16
	28	6,14	0,20	0,03
A2	3	2,38	0,05	0,02
	7	3,13	0,12	0,04
	28	5,23	0,32	0,06
A3	3	3,55	0,05	0,01
	7	3,35	0,11	0,03
	28	7,72	7,72	1,00
A4	3	1,86	0,31	0,17
	7	4,58	0,08	0,02
	28	7,51	2,12	0,28
A5	3	2,80	0,29	0,11
	7	3,62	0,28	0,08
	28	6,22	0,11	0,02