



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE
TRABALHO DE LICENCIATURA

Tema:

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE VIDRO: SUBSTITUIÇÃO DE
AREIA POR VIDRO MOÍDO PARA O FABRICO DE BLOCOS DE
ARGAMASSA NÃO ESTRUTURAIIS**

AUTORA:

Jéssica Hermenegildo Gemo

Supervisor:

Eng. Rodrigues Salvador Manjate, Msc

Maputo, Dezembro de 2023

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE
TRABALHO DE LICENCIATURA

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE VIDRO: SUBSTITUIÇÃO DE
AREIAPORVIDRO MOÍDO PARA O FABRICO DE BLOCOS DE
ARGAMASSA NÃO ESTRUTURAS**

Relatório submetido ao Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane, como requisito parcial para a obtenção do grau de licenciado em Engenharia do Ambiente.

AUTORA:

Jéssica Hermenegildo Gemo

SUPERVISOR:

Eng.º Rodrigues Salvador Manjate, Msc

Maputo, Dezembro de 2023



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA _____

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que a estudante finalista **Jéssica Hermenegildo Gemo**, entregou no dia ___/___/2023 as ___ cópias do relatório do seu trabalho de licenciatura com referência: _____ intitulado:

Reaproveitamento de Resíduos de Vidro: Substituição de Areia por Vidro Moído para o Fabrico de Blocos de Argamassa não Estruturais

Maputo, ___ de _____ de 2023

A Chefe da Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro por minha honra, que o presente relatório académico foi elaborado por mim própria. Não se recorreu a quaisquer outras fontes, para além das indicadas, e todas as formulações e conceitos usados, quer adoptados literalmente ou adaptados a partir das ocorrências originais (em fontes impressas, não impressas ou na internet), se encontram adequadamente identificados e citados em conformidade com as convenções e normas do regulamento de culminação de cursos de engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

Declaro ainda, que este relatório não foi apresentado a qualquer outra entidade ou instituição, para além da directamente envolvida na sua elaboração, para efeitos de avaliação, apreciação ou recurso de suporte em outras pesquisas.

Declaro finalmente, encontrar-me ciente de que a inclusão, neste relatório, de qualquer falsa declaração ou manipulação de informação terá consequências legais.

Maputo, Dezembro de 2023

A Autora

Jéssica Hermenegildo Gemo

DEDICATÓRIA

Quero dedicar este trabalho a todos que acreditaram em mim, especialmente aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado independentemente da situação ou dificuldade.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças ao apoio e colaboração de indivíduos a quem eu expresso o meu muito obrigado:

Agradeço à Deus por espalhar a sua bênção em mim, para que eu tivesse força e vontade de enfrentar todas as dificuldades com que me deparei durante toda a minha caminhada, até à culminação do presente trabalho de licenciatura.

Agradeço também a cedência de instalações, materiais e equipamentos do Laboratório de Engenharia de Moçambique concretamente ao Laboratório de Cimentos e Ligantes Hidráulicos, bem como a todas as pessoas que se mostraram sempre disponíveis para me apoiar em todos os procedimentos, em especial ao Eng. Rodrigues Manjate, Eng. Tsambo, Eng. Monjane e a Dona Amélia, pelo seu incansável apoio, compreensão, paciência e simpatia ao longo deste trabalho.

A toda a minha família, que sempre demonstra carinho e motivação incondicionais, em particular ao meu pai, Edgar Gemo, que tantas vezes foi o meu incentivo e fonte de inspiração, à minha mãe e ávo, pela sua constante boa disposição tão característica e por todas as palavras de encorajamento, e aos meus irmãos, pela amizade tão particular e inigualável.

Agradeço a todos meus colegas, em especial aos da Team work, nomeadamente: Nádia Arcanjo, Jéssica Langa, Anilza Muriane, Leonesia Pelembe, Salustiana Jasse e Elton Cote que comigo percorreram toda esta caminhada e em especial ao Santos Ugembe.

Resumo

O volume de resíduos gerados a cada ano vem crescendo em todo o mundo e apresenta um dos maiores problemas à sociedade moderna. Este trabalho tem como objectivo Avaliar a possibilidade de reaproveitamento de resíduos de garrafas de vidro não retornáveis para o fabrico de blocos de argamassa não estruturais. De forma a avaliar a viabilidade da sua utilização os resíduos foram antes triturados, peneirados por meio de uma peneira ASTM de máxima dimensão 4,75mm, foi feita a caracterização física e granulométrica dos componentes e determinada a resistência a compressão e absorção de água nos corpos de prova. Para tal foram formulados traços de argamassas substituindo total ou parcialmente a areia grossa pelos resíduos de vidro, e foram moldados os corpos de prova prismáticos. Os corpos de prova foram curados por 2, 7 e 14 dias e, em seguida, foi determinada a resistência à compressão absorção de água. Verificou-se pelo ensaio de resistência á compressão e absorção de água que a mistura de referênci A02 após 14 dias, pode ser recomendada como adequada para substituição parcial de areia grossa na preparação de argamassas. Foram formuladas argamassas para blocos de argamassa substituindo parcialmente a areia grossa pelos resíduos no arranjo de traços de 1:3:1 e 1:3:2, foram moldados os corpos de prova prismáticos . Os corpos de prova prismáticos foram curados por 2, 7 e 14 dias e, em seguida, foi determinada a resistência à compressão simples dos corpos de prova prismáticos, os resultados são satisfatórios, visto que a norma NBR 6136 (1994) exige que a resistência à compressão simples seja superior a 4,5 MPa após 14 dias, para a argamassa ser usada para produção de blocos. Os resultados obtidos mostram-se promissores quanto à utilização dos resíduos de vidro como substituinte de areia grossa.

Palavras-chave: Resíduos de vidro, Argamassas , Resistência à compressão.

Abstrat

The volume of waste generated each year has been growing all over the world and represents one of the biggest for modern society. The objective of this work id to assess the possibility of reusing waste from non-returnable glass bottles for the manufacture of non-structural mortar blocks, maximun dimension 4.75mm, the physical and granulometric characterization of the components was carred out and the resistance to compression and water absorption in the test specimens was determined. For this, traces of mortar were formulated, replacing all or part of the coarse sand with glass waste, and prismatic specimens were molded. The specimens were cured for 2, 7 and 14 days and then the compressive strength was determined. It was verified by the compressive strength and water absorption tests that the reference mixture A02 after 14 days can be recommended as suitable for partial replacement of coarse sand in the preparation of mortars. Mortars for concrete blocks were formulated, partially replacing coarse sand with residues in the arrangement of traces of 1:3:1 and 1:3:2, prismatic specimens were molded. The prismatic specimens were cured for 2, 7 and 14 days and then the simple compressive strength of the prismatic specimens was determined, the results are satisfactory, since the NBR 6136 (1994) standard requires that the resistance to simple compression is greater than 4.5 MPa after 14 days, for the mortar to be used for the production of blocks. The results obtained are promising in terms of the use of glass waste as a substitute for coarse sand.

Keywords: Waste glass, Mortars, Compressive strength.

Lista de fórmulas químicas

Al_2O_3 : Óxido de Alumínio

B_2O_3 : Trióxido de Boro

C2S: Silicato di-cálcico

C3A: Aluminato tricálcico

C3S: Silicato Tricálcico

C4AF: Ferro aluminato de Cálcio

CaO: Óxido de Cálcio

Fe_2O_3 : Óxido de Ferro(III)

GeO_2 : Dióxido de germânio

K_2O : Óxido de Potássio

MgO: Óxido de Magnésio

MnO_2 : Dióxido de manganês

Na_2O : Óxido de Sódio

SiO_2 : Dióxido de Silício

SiO_4 : Tetraóxido de Silício

SiO4-4: Estrutura de base de tetraédrica de vidro

TiO_2 : Dióxido de titânio

Lista de abreviaturas e siglas

ASTM: Sociedade Americana de Testes e Materiais

CEAR: (Cooperativa de Educação Ambiental Repensar)

LEM: Laboratório de Engenharia de Moçambique

mh : Massa em grama do provete húmido

MPa: Mega Pascal

ms : Massa em grama do provete seco

NBR: Norma Brasileira

NM: Norma Moçambicana

NP EN : Norma Portuguesa adoptada da Norma Europeia

OMS: Organização Mundial da Saúde

RSU: Resíduos sólidos urbanos

S : Desvio padrão

\bar{X} : Média dos resultados das réplicas de cada amostra

% : Percentagem

°C : Grau Centigrado

e: erro acidental

Índice

1. Introdução	xiii
1.1. Objectivos.....	xv
1.1.1. Objectivo geral.....	xv
1.1.2. Objectivos específicos	xv
1.2. Justificativa e importância do tema.....	xvi
2. Revisão Bibliográfica	1
2.1. Breve histórico sobre os resíduos sólidos	1
2.1.1. O vidro	2
2.1.2. Resíduos de vidro.....	2
2.1.3. Utilização do vidro.....	3
2.2. Produção de Vidro.....	4
2.2.1. Principais matérias-primas para produção de vidro.....	4
2.2.2. Principais tipos de vidro.....	5
2.2.3. Propriedades do vidro	7
2.3. Gestão de resíduos de vidro	8
2.4. Estudos realizados com o aproveitamento de resíduos vidro em argamassas.....	11
2.5. Argamassas de cimento e a influência dos materiais constituintes nas suas propriedades	14
2.5.1. Cimento Portland	15
2.5.2. Água de amassadura	16
2.5.3. Blocos de argamassa para alvenaria	17
2.5.4. Comportamento mecânico dos blocos de argamassa.....	17
3. Parte Experimental	19
3.1. Esquema de parte experimental.....	19
3.2. Variáveis do programa experimental	19
3.3. Materiais e métodos	21
3.4. Caracterização das matérias-primas.....	21
3.4.1. Água.....	23
3.4.2. Análise granulométrica por peneiração	23
3.5. Preparação dos corpos de prova prismáticos.....	24
3.5.1. Ensaio de resistência à tração por flexão	27
3.5.2. Ensaio de resistência à compressão mecânica	29

3.5.3. Determinação da Absorção de Água.....	30
4. Resultados e Discussão.....	32
4.1. Análise granulométrica dos componentes.....	32
4.2. Resistência á Compressão mecânica.....	33
5. Conclusões.....	36
6. Bibliografia.....	44
6.1. Referências Bibliográficas	44
Anexos	47

Índice de Figuras

Figura 1: Estatísticas de recolha de resíduos de vidro de garrafas não retornáveis	xvi
Figura 2: Ciclo de vida do vidro.	4
Figura 3: (a) Descarte inadequado de resíduos de vidro; (b) amontoamento de resíduos recolhidos pela CEAR; (c) resíduos de vidro recolhidos e amontoados ao longo da Cidade de Maputo.	11
Figura 4: Resultados dos ensaios de resistência à compressão	13
Figura 5: Resistência à compressão da Série 1	14
Figura 6: (a) Areia fina e (b) areia grossa	22
Figura 7: Recolha de resíduos de vidro (a), trituração de resíduos de vidro (b), amostra de vidro moído (c).....	22
Figura 8: Peneiros utilizados.....	23
Figura 9: Procedimento de fabrico da argamassa	26
Figura 10: (a) Misturador mecânico, (b) compactador mecânico, (c) câmara de cura usado para preparação da argamassa.....	26
Figura 11: Cura de provetes	27
Figura 12: Ensaio de resistência à tração por flexão.....	27
Figura 13: Metades resultantes do ensaio de resistência à tração por flexão.....	28
Figura 14: Ensaio de resistência à compressão.....	29
Figura 15: Curva granulométrica da areia fina de acordo com a NP – 1379 (1976)	32
Figura 16: Curva granulométrica da areia grossa de acordo com a NP – 1379 (1976)	33
Figura 17: Curva granulométrica da areia grossa de acordo com a NP – 1379 (1976)	33
Figura 18: Resultados da resistência à compressão mecânica dos corpos prismáticos da amostra A.....	34
Figura 19: Resultados da resistência à compressão mecânica dos corpos prismáticos da amostra B	34
Figura 20: Resultados da absorção de água dos provetes da amostra A.....	35
Figura 21: : Resultados da absorção de água dos provetes da amostra B.....	35

Índice de tabelas

Tabela 1: Composição química percentual de areia & vidro	5
Tabela 2: Tipos de vidro e suas respectivas aplicações.	7
Tabela 3: Composição dos resíduos sólidos urbanos na Cidade de Maputo	9
Tabela 4: Resultados dos ensaios de resistência à compressão (em MPa) nas diferentes idades de ruptura.	12
Tabela 5: Proporções das misturas das argamassas da pesquisa de Kou e Poon (2009)	13
Tabela 6: Principais compostos do cimento Portland	16
Tabela 7: Valores de resistência à compressão de blocos de argamassa.	18
Tabela 8: Variáveis envolvidas na pesquisa	20
Tabela 9: Propriedades físicas da areia e vidro utilizados	24
Tabela 11: Caracterização das argamassas	24
Tabela 12: Composição dos materiais para produção de argamassas.....	25
Tabela 13: Resultados médios do ensaio resistências médias à flexão da amostra B.....	28
Tabela 14: Resultados médios do ensaio de resistência à compressão da amostra A.....	29
Tabela 15: Resultados médios do ensaio de resistência à compressão da amostra B.....	30
Tabela 16: Resultados médios do ensaio de absorção de água da amostra A.....	31
Tabela 17: Resultados médios do ensaio de absorção de água da amostra B.....	31

1. Introdução

A reciclagem e o reaproveitamento de resíduos têm-se tornado uma preocupação mundial muito relevante nos últimos anos. Visto que, a destinação final adequada dos resíduos sólidos urbanos é um dos maiores problemas da sociedade moderna, novos conceitos e soluções tem sido estudados dentro de uma visão de sustentabilidade e comprometimento com a questão ambiental

O presente trabalho visa o desenvolvimento de práticas sustentáveis a partir da utilização de resíduos inorgânicos na produção de novos materiais para a construção civil. Assim, busca apresentar possibilidades, para o emprego de sílica proveniente da reciclagem de embalagens de vidro não retornáveis para o fabrico de blocos de argamassa não estruturais. Com isso, Pretende-se estudar a substituição total ou parcial da areia matéria-prima tradicional, para o fabrico de blocos e avaliar o desempenho dos mesmos através dos testes laboratoriais da sua resistência mecânica e absorção de água.

O trabalho segue a sequência: O capítulo 1, é introdutório e justifica o tema abordado e sua importância, apresentando também os objetivos geral e específicos da pesquisa e a estrutura do trabalho e abordagem de todos os capítulos subsequentes.

No capítulo 2, é apresentada a revisão bibliográfica sobre o resíduo de vidro, constituintes de argamassas não estruturais e os estudos já realizados utilizando esse resíduo.

No capítulo 3, é apresentado o procedimento experimental do trabalho, desde a amostragem do resíduo e dos outros materiais; caracterização física e mecânica; caracterização dos componentes das misturas para produção da argamassa com um traço ótimo bem como as propriedades mecânicas das argamassas.

No capítulo 4, estão os resultados obtidos no procedimento experimental. Inicialmente, são relatados os resultados relativos as características granulométricas resíduo de vidro moído e da areia. Em seguida, é apresentada a avaliação do teste de traço ótimo utilizados para o procedimento do trabalho e por fim as características

mecânicas relacionadas à determinação ao traço óptimo para o fabrico de blocos de argamassa não estruturais com vidro moido como substituinte.

No último capítulo, são apresentadas as conclusões específicas obtidas através das observações, resultados e análises relativas aos diferentes traços de argamassa e são apresentadas considerações a respeito deste estudo e sugestões para estudos futuros.

1.1. Objectivos

1.1.1. Objectivo geral

- Avaliar a possibilidade de reaproveitamento de resíduos de garrafas de vidro não retornáveis para o fabrico de blocos de argamassa não estruturais.

1.1.2. Objectivos específicos

- Caracterizar as propriedades físicas e químicas do vidro, água e do cimento;
- Proceder a moagem e classificação do vidro;
- Definir o traço óptimo da composição de blocos de argamassa feitos com areia e com vidro moído, como substituinte;
- Proceder aos ensaios da resistência à compressão e de absorção de água dos blocos;
- Proceder ao tratamento estatísticos e comparativos dos dados para avaliar os resultados.

1.2. Justificativa e importância do tema

A extração de recursos naturais para produção de bens de consumo e de serviços vêm aumentando significativamente aos padrões associados à vida moderna e às novas tecnologias, resultando numa vasta produção de resíduos sólidos. Estes resíduos se acumulam cada vez mais em depósitos localizados nas zonas rurais e urbanas, muitas das vezes em grande quantidade e, sem os devidos cuidados, causando um grande impacto ambiental, incluindo riscos sanitários.

Em Moçambique nota-se, nos centros urbanos grandes quantidades de garrafas de vidro espalhados de forma desordenada, o que representa não só um risco a saúde pública, mas um grande problema ambiental pois o vidro leva mais de 1 milhão de anos para a sua degradação no solo. Como forma de minimizar este problema, é necessário criar-se formas de gestão dos resíduos de vidro através de: redução de geração de resíduos (uso de garrafas retornáveis), reutilização (uso das garrafas para outros fins), reciclagem e deposição em locais adequados.

Após a vida útil do vidro, o mesmo se torna um problema ambiental devido à sua destinação final. Segundo as estatísticas de recolha e monitoria de resíduos realizadas pela CEAR (Cooperativa de Educação Ambiental Repensar), nas diversas frentes costeiras da Província de Maputo são descartados cerca de novicentas mil toneladas de resíduos de garrafas de vidro não retornáveis anualmente. A reciclagem desse material possui como factor limitante, o seu baixo preço de mercado de reciclagem e seu risco de trabalhabilidade.

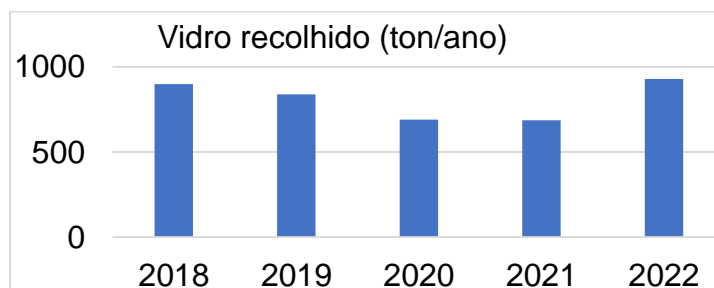


Figura 1: Estatísticas de recolha de resíduos de vidro de garrafas não retornáveis

Fonte: (CEAR, 2022)

O vidro residuário é um material inerte e totalmente reciclável, podendo assim evitar danos ao meio ambiente e trazer benefícios as áreas de gestão de resíduos sólidos e construção civil. Além disso, pode ser reutilizável e ter sua geração reduzida. De modo a diminuir a sua quantidade enviada em depósitos e lixeiras, o que muitas das vezes é realizado inadequadamente. Além da questão da poluição e degradação do solo, é importante destacar que ao diminuir ou substituir algum composto de material do concreto pelo resíduo de vidro sem haver prejuízo em suas propriedades, haverá uma maior conservação de recursos naturais, diminuição da quantidade de lixo descartado, assim como o desenvolvimento de novos materiais com um custo relativamente menor.

Através dos resultados desta pesquisa pretende-se confirmar a possibilidade do reaproveitamento de garrafas de vidro não retornáveis para fabrico de blocos de argamassa não estruturais, através da substituição parcial ou total de areia. A proposta é de utilizar o resíduo de vidro finamente moído de forma a trabalhar com as características semelhantes a do material em substituição, contribuindo directamente para a preservação do meio ambiente e à inovação de aplicação de materiais de construção não tradicionais que possam ser aplicados ou utilizados na construção civil.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Breve histórico sobre os resíduos sólidos

A pesquisa etimológica do conceito da palavra resíduos permite defini-lo como originário do latim residum, de residere que significa ficar assentado no fundo de, ou seja, resto, sobra, sedimento, de onde surge a conotação atual do termo (Fernando, 2013).

Do ponto de vista semântico, o resíduo é todo material inútil, todo o material descartado, posto em lugar público, tudo aquilo que “se joga fora”, “não presta”. Outra conceituação bastante difusa qualifica o resíduo como sendo as “sobras” do processo produtivo, particularmente as de origem fabril. Segundo (Salato, 2022) resíduo é uma espécie de material heterogêneo inerte ou orgânico, resultante das actividades humanas e da natureza, o qual pode ser parcialmente utilizado, gerando, entre outros aspectos de protecção a saúde, protecção a saúde pública e economia de recursos naturais.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) apresenta a seguinte definição para resíduo: “Qualquer coisa que o proprietário não quer mais, em certo local e certo momento e que não apresenta valor comercial corrente ou percebido” (Fernando, 2013).

Desde os tempos remotos o homem desfez-se do resíduo que produzia abandonando-o em qualquer local. Situação que incompreensivelmente, ainda hoje é possível presenciar nos países em via de desenvolvimento. Os primeiros problemas surgem com a sedentarização do Homem, quando este começa a agregar em comunidades e a quantidade de resíduo produzido aumenta sendo indispensável encontrar soluções para a eliminação dos resíduos que necessariamente produz como resultado das suas actividades fisiológicas, domésticas

Do ponto de vista histórico segundo (Fernando, 2013) o resíduo surgiu no dia em que os homens passaram a viver em grupos, fixando-se em determinados lugares e abandonando os hábitos de andar de lugar em lugar a procura de alimentos ou pastoreados rebanhos. A partir daí processos para eliminação do resíduo passaram a

ser motivos de preocupação, embora as soluções visassem unicamente transferir os resíduos produzidos para locais afastados das aglomerações humanas primitivas. (Fernando, 2013) Já o conceito do Decreto no 83/2014 de 31 de dezembro, que regulamenta a gestão de resíduos em Moçambique, no seu artigo 1, define resíduo como sendo: substâncias ou objectos que se eliminam, que se tem intenção de eliminar ou que se é obrigado por lei eliminar, também designados por lixo. O mesmo Decreto define a reciclagem de resíduos, como sendo operação de valorização, incluindo o processamento de materiais orgânicos, através da qual os materiais constituintes dos resíduos são novamente transformados em produtos, matérias ou substâncias para o seu fim original ou para outros fins. Também define a recolha de resíduos como sendo a operação de colecta, incluindo a triagem e armazenamento preliminar, de resíduos com vista ao seu transporte.

2.1.1. O vidro

O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, formado principalmente por óxidos de sílica e sódio, embora contenha outros elementos, tais como alumínio, potássio, magnésio e cálcio em sua composição final. Apresenta como principais características transparência e durabilidade. Sua obtenção ocorre por resfriamento de uma massa em fusão que, por meio do aumento da viscosidade, endurece até atingir a condição de rigidez, sem sofrer cristalização (Caldas, 2012).

Actualmente a definição mais completa de vidro é a proposta pelo comité do U.S.A National Research Council, segundo a qual, o vidro é, por difracção de raios X, um material amorfo que exhibe uma temperatura de transição vítrea. Esta é definida como o fenómeno pelo qual uma fase amorfa sólida exhibe, devido à mudança de temperatura, uma variação repentina na derivada das propriedades termodinâmicas, tais como calor específico e coeficiente de expansão, em relação as suas respectivas fases cristalina e líquida.

2.1.2. Resíduos de vidro

Resíduos vítreos (cacos de vidro) têm suas origens tanto no meio doméstico (principalmente embalagens) quanto no industrial (principalmente vidro plano). Para além do caco proveniente do consumidor final, há que considerar o que resulta de

quebras nas linhas de enchimento ou da inutilização de embalagens retornáveis que já excederam a vida útil e que os engarrafadores remetem para a indústria do vidro de embalagens.

O principal tipo de vidro encontrado no lixo urbano é o de embalagens, como garrafas para bebidas alcoólicas, águas, refrigerantes, sucos, potes e frascos, para armazenamento de produtos alimentícios e que podem, perfeitamente, ser reaproveitados. Encontra-se também o vidro, como parte, ou componente de inúmeros outros produtos domésticos, como, espelhos, vidros de janelas e box de banheiro; utensílios domésticos de vidro temperado como pratos, travessas, panelas, tampas de fogões, além de vidros especiais, como tubos de televisão, lâmpadas e válvulas, vidros de automóveis, “vidro cristal”; ampolas de medicamentos, entre outros (Crisigiovanni, 2011)

2.1.3 Utilização do vidro

Algumas características que tornam o vidro um material versátil são retornabilidade (uso do vidro para o mesmo fim várias vezes); reutilização (uso da embalagem de maneiras diferentes para as quais foi fabricada); total reciclabilidade (sem perda de volume ou de propriedades do material); é inerte, impermeável; não deixa sabor nem gosto no conteúdo, (Prado, 2007). Os vidros são hoje utilizados em quase todos os aspectos das actividades humanas; em residencias, nas janelas, lâmpada e luminárias, sistemas de aquecimento solar, fornos e geleiras, utensílios de mesa, decoração, etc.; na ciência, nos microscópios e telescópios constituindo as lentes, nos frascos dos laboratórios, etc.; na indústria nos reactores, visores, instrumentos, etc., e mesmo em arte, pois eles podem ter suas propriedades ajustadas às suas finalidades, assumindo infinitas cores e formas (Akerman, 2000)

O vidro é um material com características únicas. Não é biodegradável, é estável a altas temperaturas, o que possibilita sua higienização sem desconformação da embalagem. Se reciclado, com um quilo de vidro (cacos) produz-se outro quilo de vidro (embalagens) sem perdas, mas com diversos ganhos econômicos e ambientais. Suas matérias primas são de diversas composições, na sua maioria, abundantes, possuindo

baixo valor econômico, o que facilita a produção e dificulta a reciclagem, tendo em vista o baixo valor agregado aos resíduos.



Figura 2: Ciclo de vida do vidro.

Fonte: <https://amandaclemesrocha.wixsite.com/travel-blog-pt/simple-post/2015/11/21/o-ciclo-de-vida-do-vidro>

2.2. Produção de Vidro

2.2.1. Principais matérias-primas para produção de vidro

O vidro resulta da fusão de uma mistura de diversas matérias-primas inorgânicas minerais, que é submetida a um processo de arrefecimento controlado tornando-se num material duro, homogêneo, estável, amorfo e isotrópico. A sua principal característica é ser moldável a uma determinada temperatura sem que sofra qualquer tipo de degradação (Alonso, 2016)

O vidro é uma substância amorfa constituída basicamente de areia, calcário, feldspato, barrilha e caco de vidro. Além da necessidade de utilização de materiais refinantes e corantes tais como sulfato de sódio, carvão, hematita, cromita e óxido de cobalto/selénio (Fernandes, 2017)

O material mais empregado para a produção de vidro é a sílica ou óxido de silício (SiO₂). A sílica sozinha produz um excelente vidro, com ótimas propriedades, porém com um grave problema, seu ponto de fusão é muito alto, em torno de 1700°C, o que requer fornos especiais e apresenta consumo de energia e custo de produção muito elevados.

A soda introduzida na barrilha e no sulfato de sódio tem por finalidade baixar o ponto de fusão da sílica. O cálcio, introduzido a partir do calcário, dá estabilidade ao vidro, contra os ataques de agentes atmosféricos. O magnésio, introduzido pela dolomita, transmite ao vidro resistência para suportar, dentro de certos limites, mudanças bruscas de temperatura. A alumina, advinda do feldspato, enriquece sua resistência mecânica. O cloreto de sódio, o nitrato de sódio e o óxido de arsênio são afinantes. O óxido de cobalto (azul), o óxido de ferro (verde), e o óxido de selênio (cinza) são corantes, a tabela 1 abaixo mostra os principais componentes da areia e do vidro (Crisigiovanni, 2011).

Tabela 1: Composição química percentual de areia & vidro

Composto		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO ₂	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
Composição química (% massa)	Areia	69.00	11.57	1.87	0.45	-	1.49	8.78	0.92	-
	Vidro	71.51	1.4	0.85	-	0.08	0.08	9.04	-	17.04

Fonte: (Magaia, 2022)

2.2.2. Principais tipos de vidro

Os tipos de vidro diferem entre si, basicamente, pela composição química e, conseqüentemente, pelas aplicações convencionalmente adotadas pela indústria vidreira, que variam conforme o modo de fabricação. Quanto à composição, os principais tipos de vidros são classificados da seguinte forma: sílica-vítrea, vidros soda-cal, vidros ao chumbo, borossilicatos e alumino-boro-silicatos.

A **sílica-vítrea** possui uma temperatura de fusão de 1710°C, o seu processo de fusão é muito lento e o líquido obtido é muito viscoso, sendo que, caso ocorram bolhas durante a fusão, essas não conseguirão se libertar sozinhas. A sílica vítrea possui um

coeficiente de expansão térmico muito baixo, sendo ideal para janelas de veículos espaciais, espelhos astronômicos e outras aplicações onde é necessário suportar altas temperaturas e manter as dimensões, este é também utilizado na produção de fibras óptica (Akerman, 2000).

Os vidros sodo-cálcicos são os mais antigos, porém mais utilizados até os dias de hoje, como, por exemplo, vidros de garrafas, frascos, potes, janelas, bolbos e tubos de lâmpadas. A composição dos vidros sodo-cálcicos está dentro de uma faixa estreita de composição. Eles contêm, normalmente, entre 8 e 12% em peso de óxido de cálcio e de 12 a 17 % de óxido de sódio, podendo-se compensar o sódio com potássio e o cálcio com magnésio (Morais, 2013).

O vidro ao chumbo apresenta uma longa faixa de trabalho, podendo ser trabalhada a baixas temperaturas. É utilizado na fabricação de vidros nobres como, copos e taças finas (cristal), pois o chumbo confere ao vidro um maior índice de refração, incrementando seu brilho. Também podem ser aplicados na indústria electroeletrônica e óptica, devido a propriedades como resistividade e refração, respectivamente (Akerman, 2000).

Os vidros borossilicatos são vidros que apresentam alta resistência ao choque térmico e ataque químico, por isso são utilizados para fabricação de materiais domésticos que podem ser levados ao fogo como o Pyrex e do Marinex e materiais de laboratório (Akerman, 2000).

Os vidros alumino-borossilicatos são vidros que contêm óxido de alumínio em sua composição. É similar ao boro-silicato, mas tem maior resistência a produtos químicos, suporta alta temperatura e é mais difícil de ser produzido. Quando misturado com um condutor elétrico, é usado em circuitos elétricos como resistência. Também são utilizados em tubos de combustão, fibras de reforço, vidros com alta resistência química e vitrocerâmicos (Morais, 2013), A tabela 2 mostra os principais tipos de vidro e suas aplicações. Cabe destacar o vidro sodo-cálcico, também conhecido como vidro oco ou vidro cal de soda, que é o tipo mais comum de vidro, bastante utilizado nas embalagens de alimentos e bebidas e o mais encontrado nos depósitos de reciclagem.

Tabela 2: Tipos de vidro e suas respectivas aplicações.

Tipos de vidro	Aplicações
Sílica vítrea	Indústria aero-espacial, telescópios, fibras óticas
Sodo-cálcico (vidro oco)	Embalagens (bebidas, alimentos, higiene e beleza, farmacêutica), indústria automobilística, construção civil e eletrodomésticos (na forma de vidros não planos)
Borossilicato	Utensílios resistentes a choque térmico
Ao chumbo	“Cristais”: copos, taças, ornamentos e peças artesanais
Vidros planos	Vidro temperado, laminado (ou blindado), de controle solar, espelhos

Fonte: (Soares, 2018)

2.2.3. Propriedades do vidro

As propriedades dos materiais são ditadas pelo tipo de ligações dos átomos que os constituem. Devido à vastíssima, quase infinita, faixa de composição química dos vidros, onde a maioria dos elementos da tabela periódica pode ser incorporada, eles apresentam uma ampla variação de propriedades mecânicas, ópticas, térmicas, elétricas e químicas (Akerman, 2000)

As propriedades do vidro, no estado sólido, consistem na transparência, translucidez ou opacidade à luz, dependendo da existência ou não, de pequenas partículas misturadas à massa vítrea, não absorvência; ótimo isolante elétrico e baixa condutividade térmica e não é combustível. É capaz de variar sua viscosidade, segundo a temperatura em que é submetido, indo desde um líquido, com uma viscosidade relativamente baixa, a altas temperaturas, até o estado de pasta viscosa, em temperaturas próximas à da transição vítrea. Outra característica importante é a sua cor, podendo apresentar desde o incolor, até infinitas cores. Dependendo dos

elementos que se introduz na sua composição, este filtra a luz, deixando passar alguns raios e retendo outros (Crisigiovanni, 2011).

2.3. Gestão de resíduos de vidro

Embora o vidro seja 100% reciclável ele não é biodegradável, tornando um grande problema ambiental quando é facilmente descartado, gerando um acúmulo de grande quantidade desse material e o mesmo não é absorvido pela natureza em aterros sanitários. Por não ser combustível, o método de incineração não é aconselhado para dar fim aos resíduos vítreos, e, se fundido a 1.500°C transforma-se em cinzas, cujo efeito abrasivo pode acarretar complicações nos fornos e equipamentos de transporte (Dias, 2013).

A metodologia adequada para a gestão de resíduos vítreos é:

- Reutilizar: reaproveitar o material vítreo em outra função. Ex: usar garrafas de vidro para conservar sementes.
- Retornar: embalagens retornáveis voltam para o processo de envase. Ex: garrafas de cerveja e refrigerantes.
- Reciclar: transformar materiais já usados, por meio de processo artesanal ou industrial, em novos produtos. Ex: o caco de vidro pode ser usado como matéria-prima para a fabricação de novas garrafas.

Uma gestão eficiente de resíduos vítreos deve incluir acções relacionadas à conscientização, segregação/colecta selectiva, acondicionamento, colecta, armazenamento, transporte e destinação final.

Na Cidade de Maputo, o vidro continua sendo um dos principais resíduos produzidos gerados pelos munícipes, representando um peso de 7.5% na zona urbana e 2.8% na zona suburbana, do total dos resíduos produzidos, do total de cerca de 1500 toneladas diárias de resíduos produzidos. Nas lixeiras de Hulene e Mahlampsene, são colectadas por catadores cerca de 42 e 32 toneladas de garrafas de vidro por mês respectivamente, e outras 22 toneladas em ecopontos. Estas quantidades são elevadas, o que justifica a necessidade de se apostar em criação de empresas recicladoras de garrafas de vidro, sendo que actualmente os catadores vendem as

garrafas para empresas sul-africanas. As quantidades de garrafas colectadas não representam a quantidade total de garrafas geradas, sendo que há muitas pessoas que deitam garrafas longe do alcance dos serviços de recolha de resíduos, devendo haver maior sensibilização ambiental e maior abrangência dos serviços municipais de recolha de resíduos sólidos, e fazendo uma colecta selectiva com vista a melhor recuperação de recicláveis.

Na Cidade de Maputo, o vidro ocupa uma percentagem significativa, chegando a perto de 8% na zona urbana e um máximo de 3,4% na zona suburbana, em um total de cerca de 1304,2 toneladas por dia, como pode se observar na Tabela 3, Os resíduos sólidos incluindo o vidro na Cidade de Maputo são depositados na lixeira de Hulene.

Tabela 3: Composição dos resíduos sólidos urbanos na Cidade de Maputo

Resíduos sólidos	Urbano	Suburbano		
	Época seca	Época chuvosa	Época seca	Época chuvosa
Papel, papelão e papel	17,2	17,1		8,6
Descartável				
Borracha, couro	0,1	1,3	1,6	1,5
Têxteis	1,1	2,6	1,9	2,4
Vidro	7,7	7,0	3,2	3,4
Restos de alimentos	47,8	51,7	42	34,6
Madeira	1,2	2,2	0,0	2,6
Plástico	10,4	13,3	6,3	8,7
Metais	2,7	2,3	0,9	1,8
Cerâmica, pedra	0,1	0,0	0,1	0,9

Fracção fina	11,7	2,5	37,2	53,5
Total	100	100	100	100

Fonte: (Plano Director para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade de Maputo).

A gestão de resíduos sólidos depende da disponibilidade de instrumentos legais adequados e actualizados de acordo com as dinâmicas socioeconómicas e ambientais. Neste âmbito, Moçambique possui diversos instrumentos legais que visam contribuir para melhor gestão de resíduos sólidos das quais se destacam: Constituição da República de 2018; Resolução 5/95 de 3 de Agosto, Política Nacional de Ambiente; Lei 20/97, de 1 de Outubro, Lei do Ambiente; Decreto n.º 94 /2014, de 31 de Dezembro de 2006, Regulamento sobre a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. O regulamento sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos, estabelece as regras de gestão dos resíduos sólidos urbanos no território de Moçambique e é aplicável a todas as pessoas singulares e colectivas, públicas e privadas que estejam envolvidas na produção e gestão de resíduos sólidos urbanos ou de resíduos industriais e hospitalares equiparados aos urbanos.

Apesar dos ricos instrumentos legais que Moçambique possui para a gestão de resíduos sólidos, a falta de recursos financeiros, humanos, materiais e uma educação ambiental adequada constituem um dos grandes desafios para os sistemas de gestão local dos resíduos sólidos, tornando-se necessário encontrar formas eficientes e pouco dependiosas para sua redução no meio ambiente. O destino final dos resíduos sólidos em Moçambique são as lixeiras a céu aberto e aterros controlados.



Figura 3: (a) Descarte inadequado de resíduos de vidro; (b) amontoamento de resíduos recolhidos pela CEAR; (c) resíduos de vidro recolhidos e amontoados ao longo da Cidade de Maputo.

Reciclagem de vidro

Embalagens de vidro podem ser totalmente reaproveitadas no ciclo produtivo, sem nenhuma perda de material. Com um quilo de vidro se faz outro quilo de vidro, com perda zero e sem poluição para o meio ambiente. Além da vantagem do reaproveitamento de 100% do caco, a reciclagem permite poupar matérias primas naturais, como areia, barrilha, calcário (Santiago, 2011).

actualmente tem aumentado cada vez mais a quantidade de resíduos sólidos poluentes gerados nas actividades industriais e urbanas. Esta situação tem conduzido a sociedade à busca por novos métodos alternativos de deposição final, que sejam ambientalmente correctos e de baixo custo. Um caso particular são os resíduos sólidos de vidros que são gerados em enormes quantidades no mundo todo (Morais, 2013).

2.4. Estudos realizados com o aproveitamento de resíduos vidro em argamassas

O resíduo de vidro, nas pesquisas analisadas com aproveitamento em argamassas, foi usado como substituto parcial do agregado miúdo e/ou do material cimentício. O critério de escolha de qual substituição seria realizado foi principalmente em função do tamanho das partículas do resíduo de vidro. Por vezes, era necessário um processo de moagem a fim de que as partículas de vidro possuíssem o tamanho desejado. O tamanho das partículas desempenha um papel muito importante uma vez que

influenciam em possíveis reações álcali-silica, prejudicando assim o desempenho mecânico e a durabilidade da matriz cimentícia.

(Kruger, Oliveira, & Braga, 2002) usaram o resíduo de vidro moído (passante na peneira #200) em percentagens de 5 e 10% em substituição do cimento Portland e dos agregados miúdos em argamassas. Foi verificado que apenas as substituições da areia pelo vidro moído apresentaram um ganho na resistência à compressão considerável e que chegam a superar os resultados das amostras de referência conforme mostram a Tabela 4 e Figura 3.

Tabela 4: Resultados dos ensaios de resistência à compressão (em MPa) nas diferentes idades de ruptura.

Traço da argamassa	Idades de ruptura (dias)		
	7 dias	28 dias	58 dias
REF - Cimento e areia	57,08	59,77	65,17
CIM5 - Cimento, areia e 5% de vidro substituindo o cimento.	47,13	53,54	64,59
CIM10 - Cimento, areia e 10% de vidro substituindo o cimento.	41,01	49,63	60,76
ARE5 - Cimento, areia e 5% de vidro substituindo a areia.	51,06	57,50	73,77
ARE10 - Cimento, areia e 10% de vidro substituindo a areia.	49,52	55,50	78,07

Fonte: Kruger, Oliveira e Braga (2002).

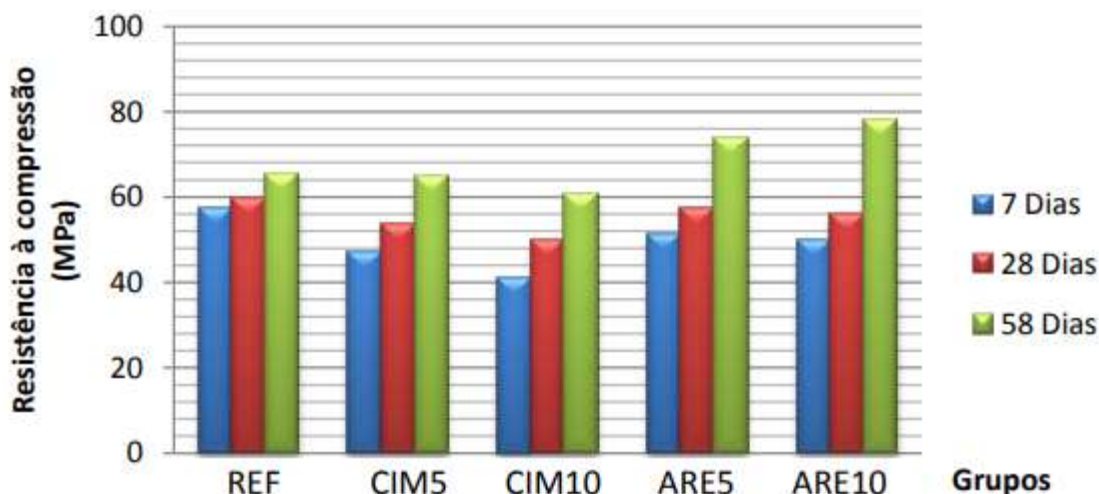


Figura 4: Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Fonte: (Kruger, Oliveira, & Braga, 2002)

(KOU & POON, 2009) também avaliaram a substituição de areia por vidro moído, porém a porcentagem de substituição foi de 15%, 30% e 45% divididas em duas séries, diferenciadas pela adição ou não de cinzas volantes, a fim de verificar as possíveis expansões devido à reação álcali-sílica. As partículas de vidro possuíam dimensões entre 5 e 10mm. As proporções das misturas são mostradas na Tabela 5 os resultados dos ensaios de resistência à compressão são apresentados na Figura 4.

Tabela 5: Proporções das misturas das argamassas da pesquisa de Kou e Poon (2009)

Notações	Vidro moído (%)	Cimento (g)	Vidro Moído (g)	Areia (g)	Cinzas Volantes (g)
Série 1					
Controlo	0	440	-	990	-
G15	15	440	148,5	751,5	-
G30	30	440	297,0	693,0	-
G45	45	440	445,5	544,5	-
Série 2					
Controlo – F	0	440	-	844,5	145,5
G15-F	15	440	126,5	718,0	145,5
G30-F	30	440	253,0	591,5	145,5

Fonte: (KOU & POON, 2009)

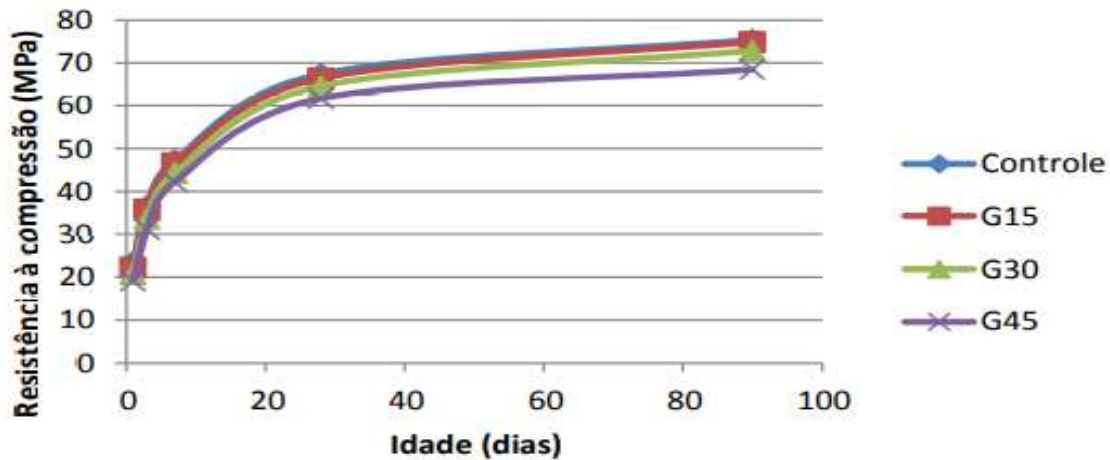


Figura 5: Resistência à compressão da Série 1

Fonte: (KOU & POON, 2009)

Na Figura é possível visualizar a perda de resistência das argamassas preparadas com substituição do agregado miúdo por resíduo de vidro quando comparados com a argamassa de controle (sem substituição) nos ensaios realizados por Kou e Poon (2009).

2.5. Argamassas de cimento e a influência dos materiais constituintes nas suas propriedades

Argamassa é uma mistura homogênea de agregado (s) miúdo (s), ligante e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento (Dias, 2013).

As argamassas possuem diversas propriedades importantes, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, dependendo da função que irão desempenhar, propriedades relacionadas as características dos materiais constituintes, a proporção entre eles e o processo de mistura empregado são importantes.

As argamassas comuns são constituídas por uma mistura de agregado, ligante e água. A investigação de novas formulações de argamassas com incorporação de resíduos permite a redução do consumo de agregado e ligante correntes. A produção deste último envolve um considerável consumo de energia e elevada produção de CO₂. Já a

extração do agregado é, a maioria das vezes, de origem natural, e tem consequências ambientais nefastas importantes (Matias, 2014).

Deste modo, torna-se importante investigar possibilidades de aproveitamento de resíduos no setor da construção, mais concretamente a nível da produção de argamassas, visando a obter benefícios a nível técnico e ambiental. Consequentemente assegura-se ainda o cumprimento do novo regulamento dos produtos da construção, Regulamento (EU) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho de Março de 2011, que prevê a utilização sustentável dos recursos naturais através, por exemplo, da “utilização, nas obras de construção, de matérias-primas e materiais secundários compatíveis com o ambiente” (Europeu, 2011).

2.5.1. Cimento Portland

O cimento Portland pode ser definido como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer obtido através da calcinação e clinquerização da mistura de calcário e argila. A qualidade final desse aglomerante depende da matéria-prima utilizada, das adições posteriores à calcinação e do grau de finura atingido na moagem.

Podem distinguir-se quatro tipos de cimento: Portland, Portland composto, alto-forno e pozolânico. Além desta classificação, os cimentos distinguem-se ainda segundo classes de resistência de 32,5, 42,5 e 52,5 MPa (Leal, 2012) e a seleção da resistência faz-se em função da utilização da argamassa. Por exemplo, numa argamassa de assentamento de uma alvenaria, o comportamento mecânico é o fator mais importante, porém, quando se trata de um reboco, a impermeabilidade e a aderência são as características mais importantes enquanto a resistência à compressão reveste-se de menor importância (Mendonça, 2007).

O cimento Portland é o ligante mais utilizado em Moçambique nas formulações de argamassas e ganha presa tanto ao ar como imerso, o que o torna um ligante hidráulico. É obtido partindo de uma mistura de cálcio, silício, magnésio, alumínio e ferro, em quantidades adequadas. Numa primeira fase, estes constituintes são reduzidos a um pó muito fino para serem posteriormente submetidos a temperaturas na

ordem dos 1450°C, resultando o clínquer. Este é composto por quatro minerais artificiais:

Tabela 6: Principais compostos do cimento Portland

Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviatura	% de ocorrência
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂	C3S	De 20 a 60
Silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂	C2S	De 10 a 55
Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C3A	De 0 a 15
Ferroaluminato tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C4AF	De 5 a 15

Fonte: (Filho, 2007)

2.5.2. Água de amassadura

A hidratação do ligante é feita adicionando água, que origina a aglomeração dos constituintes sólidos, formando uma pasta. A quantidade de água de amassadura é função da trabalhabilidade e da consistência pretendidas e deve ser suficiente para hidratar o ligante, tendo sempre em linha de conta que a resistência à compressão geralmente diminui com o aumento da água e com a porosidade. Quando se adiciona água em excesso à mistura, pode resultar um maior volume de vazios aquando da evaporação da mesma, promovendo retração acentuada. Por outro lado, se a quantidade de água não for suficiente, pode obter-se uma amassadura pouco homogénea, o que não é desejável para a qualidade final do revestimento (Martins, 2015).

Idealmente, a água deve ser límpida, incolor, isenta de impurezas (tais como sais nocivos que podem provocar o aparecimento de patologias no revestimento a longo prazo) e de matéria orgânica, que pode ser responsável pela diminuição da resistência mecânica da argamassa (Ferreira T. , 2011).

2.5.3. Blocos de argamassa para alvenaria

A utilização de blocos de concreto na argamassa teve início logo após o surgimento do cimento Portland, quando se começou a produzir unidades grandes e maciças de argamassa.

A partir de então surgiram diversos esforços para a modernização da fabricação de blocos de argamassa, assim como da sua utilização na alvenaria. Os materiais utilizados na fabricação de blocos de concreto são basicamente: cimento Portland, agregados graúdo (brita) e miúdo (areia), e água. Dependendo de requisitos específicos, a dosagem da argamassa poderá também empregar outros componentes, tais como adições minerais, etc.

Para se obter boas propriedades mecânicas, durante a fabricação de blocos deve-se logo de seguida fazer a cura em ambiente saturado para evitar a perda de água durante as primeiras fases do endurecimento. A cura húmida deve ser realizada em local livre de insolação directa e de ventos, evitando-se ciclos de secagem e molhagem, e deve possuir controlo de temperatura e humidade no local (Dias, 2013).

2.5.4. Comportamento mecânico dos blocos de argamassa

A resistência à compressão axial das alvenarias está directamente relacionada com a resistência à compressão das unidades que à constituem. A razão entre a resistência à compressão da alvenaria e a dos blocos define o factor de eficiência das paredes (Filho, 2007)

A NBR7173:1982 determina que a resistência à compressão mínima para os blocos de vedação é 4,5 MPa. A NBR6136:1994 estabelece as seguintes condições quanto ao uso:

- CLASSE A – para uso geral, como paredes externas acima ou abaixo do nível do solo, que podem estar expostas à humidade ou intempéries, e que não recebem revestimento de argamassa de cimento;
- CLASSE B – limitada ao uso acima do solo, em paredes externas com revestimento de argamassa de cimento, para protecção contra intempéries e paredes não expostas a intempéries.

Os blocos, fabricados de acordo com esta Norma, quanto aos requisitos de resistência mecânica a absorção de água devem ser classificados conforme a Tabela 7.

Tabela 7: Requisitos de resistência à compressão e absorção de água de blocos de argamassa.

Classe	Resistência característica MPa	Absorção média em %	
		Agregado normal	Agregado leve
A	≥ 6.0	< 10.0 %	< 13.0%
B	≥ 4.0		(média)
C	≥ 3.0		< 16.0%
D	≥ 2.0		(individual)

3. Parte Experimental

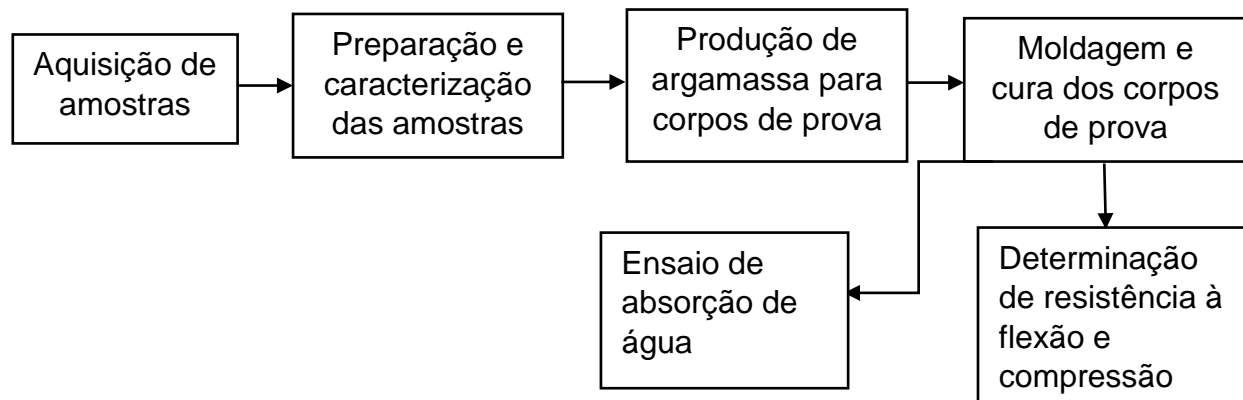
O procedimento experimental buscou avaliar a possibilidade de utilização do resíduo de vidro garrafas não retornáveis na preparação de argamassas. Para isso, foram feitos procedimentos experimentais segundo as normas vigentes em Moçambique..

Para o desenvolvimento da parte experimental foi utilizado o Laboratório de Cimentos e Ligantes Hidráulicos do Laboratório de Engenharia de Moçambique-LEM.

A parte experimental foi dividida em duas partes:

- A primeira parte consistiu na colecta do resíduo de vidro de garrafas não retornáveis e sua trituração.
- A segunda parte foi relacionada com a preparação, moldagem dos corpos de prova prismáticos e ensaios físico-mecânicos dos mesmos, conforme o diagrama de execução da parte experimental apresentada no diagrama abaixo.

3.1. Esquema de parte experimental



3.2. Variáveis do programa experimental

O planeamento experimental foi realizado com o intuito de definir quais os dados, em que quantidades e em quais condições estes devem ser colectados durante os experimentos determinados. Esse planeamento visa basicamente aperfeiçoar a execução e análise dos ensaios que foram realizados para essa pesquisa.

Para isso, foram definidas primeiramente quais as variáveis envolvidas na pesquisa. Elas foram divididas em variáveis dependentes, variáveis independentes e variáveis de controle conforme mostram a Tabela 8.

Tabela 8: Variáveis envolvidas na pesquisa

Tipo de variável	Variável
Dependentes (variável resposta)	Resistência à tração por compressão diametral
	Resistência à compressão mecânica
	Absorção de água
Independentes	Composição da mistura (traço)
	Idade de realização de cada ensaio
Controle	Tipo de cimento (CPV ARI)
	Tipo de componentes
	Humidade da areia
	Procedimento de mistura
	Procedimento de cura

Fonte: Autoria própria

Para cada etapa do programa experimental foram geradas diferentes combinações, uma vez que foram adoptadas as variáveis que constam na Tabela 8. O estudo das argamassas exigiu produção de 144 corpos de prova, pois avalia a interação entre a quantidade de resíduo utilizada em cada traço da mistura estudado e a idade de realização de cada ensaio, sendo os resultados dos ensaios realizados, as variáveis de respostas. Baseado nas definições de traço, idade de realização de cada ensaio e as variáveis respostas, foi possível estabelecer o número de corpos de prova a preparar.

Cálculo para ensaios de determinação da resistência à flexão e compressão em todas as idades:

(a) nº de prismas no molde x nº idade x nº total de traços: $3 \times 3 \times 8 = 72$ prismas

Cálculo para ensaios de determinação da absorção de água em todas as idades:

(b) nº de prismas no molde x nº idade x nº total de traços: $3 \times 3 \times 8 = 72$ prismas

a) + (b) = n° total de corpos de prova

72 + 72 = 114 corpos de prova

3.3. Materiais e métodos

O material utilizado neste trabalho, os resíduos de vidro de garrafas não retornáveis, foram recolhidas na praia da Costa do Sol e triturado na Cooperativa de Educação Ambiental_ Repensar no projecto Eco Nsila. No fabrico de blocos foi usado cimento Portland 42.5 N produzido pela Limak Cimentos Maputo, areia grossa e areia fina comprada na zona comercial da Junta a mesma que é recolhida em Matalane. Os demais materiais, equipamentos estão indicados na Tabela abaixo.

Lista de materiais

- Balança analítica
- Peneiros de ensaio (ISO 3310- 1)
- Misturadora
- Compactador
- Provetes prismáticos (40mm * 40mm * 160mm)
- Pressas de ensaio de flexão compressão
- Câmara de cura de provetes

3.4. Caraterização das matérias-primas

As actividades experimentais levadas a cabo para este trabalho foram por parte realizads nas instalações do projecto Eco. Nsila e no LEM_ Laboratório de Engenharia de Moçambique.

A matéria-prima utilizada para a produção das argamassa foi areia fina e areia grossa como agregado, vidro moído como agregado substituinte, cimento como ligante.

A areia fina e grossa foi adquirida uma revedendora , esta apresentava-se lipmpa e sem impurezas que pudessem afectar os resultados e para analisar as suas características fez_se a análise granulométrica por peneiração.

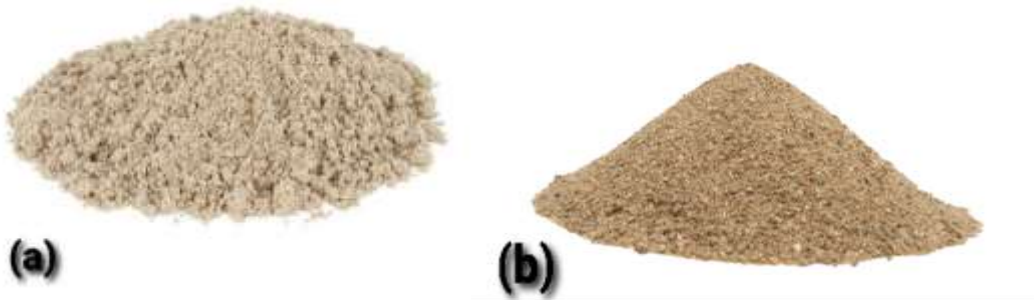


Figura 6: (a) Areia fina e (b) areia grossa

O resíduo de vidro utilizado é de garrafas não retornáveis do tipo sodo-cálcico (vidro oco) de cor verde, o mesmo foi recolhido ao longo da praia da costa de sol.

O resíduo de vidro foi sujeito a trituração para ser incorporado na argamassa. Numa primeira fase, o vidro foi higienizado manualmente com recurso a água e fase seguinte que consistiu na trituração com recurso a um triturador apropriado figura até passar no crivo 4mm.



Figura 7: Recolha de resíduos de vidro (a), trituração de resíduos de vidro (b), (c) amostra de vidro moído

O cimento utilizado no programa experimental foi do tipo Portland cinzas volates , Limak 42,5N de alta resistência inicial.

A escolha desse tipo de cimento se deu por o mesmo conter menor teor de adições, pela capacidade de se torna duro em menos tempo, entre os disponíveis no mercado nacional, possibilitando uma melhor avaliação dos resultados com incorporação dos resíduos.

3.4.1. Água

A norma NP EN 196-1 (2017) sugere para os ensaios de referência o uso de água destilada ou desionizada e para os restantes ensaios água potável. Neste procedimento experimental utilizou-se água destilada em todos os ensaios, que se encontrava à temperatura ambiente do laboratório onde se realizaram as argamassas.

3.4.2. Análise granulométrica por peneiração

As amostras de vidro moído, areia fina e grossa foram submetidas à análises granulométricas, com auxílio de peneiros ASTM e de acordo com a NP 1379 (1976), usando a série de peneiros de malha quadrada normalizados especificada, ou seja, 0,063, 0,125, 0,500, 1,00, 2,00, 4,00 [mm]. As análises consistiram na crivagem e pesagem dos agregados retidos no crivo imediatamente inferior, o material retido foi pesado numa balança com precisão de 0,01g. Este ensaio separa um material em múltiplas classes granulométricas. Assim, é possível determinar a quantidade de cada uma das frações dimensionais do material, resultando a curva granulométrica.



Figura 8: Peneiros utilizados

A caracterização granulométrica dos componentes foi obtida com recurso à equação:

$$\% \text{ cumulativa retida} = \left(100 - \frac{m_2}{m_1} \right) * 100$$

Onde:

m_1 – massa inicial da amostra seca [g];

m_2 – massa do material retido em cada peneiro [g].

Tabela 9: Propriedades físicas da areia e vidro utilizados

Propriedades	Resultado		
	Areia fina	Areia grossa	Vidro moído
Dimensão máx. característica (mm)	1,19	2,38	3,60
Módulo de Finura	4,62	3,3	3,40
Massa Específica (g/cm ³)	1,4	1,45	2,60
Material Pulverulento (%)	0,58	0,60	2,50

3.5. Preparação dos corpos de prova prismáticos

Neste trabalho foram definidas 8 misturas distintas de argamassas, segundo dois traços volumétricos de 1:3:1 e 1:3:2 (cimento: areia grossa: areia fina), respectivamente tabela 12.

Tabela 10: Caracterização das argamassas

Designação	Traço volumétrico	Composição	Relação água/ligante
A _{ref}	1:3:1	(C:Ag:Af)	0,50 NP EN 96-1 (2017)
A01	1:3:1	(C:V:Af)	
A02	1:1:2:1	(C:V:Ag:Af)	
A03	1:2:1:1	(C:V:Ag:Af)	
B _{ref}	1:3:2	(C:Ag:Af)	
B01	1:3:2	(C:V:Af)	
B02	1:1:2:2	(C:V:Ag:Af)	
B03	1:2:1:2	(C:V:Ag:Af)	

C: cimento; V: vidro; Ag: areia grossa; Af: areia fina

Para preparação dos corpos de prova utilizou-se o material e o equipamento e seguiu-se o procedimento descrito de seguida.

Utilizou-se uma misturadora de argamassa, normalizada e com temporização da marca ELE, segundo o esquema figura 8 prensas de ensaios de resistência à flexão e compressão e moldes normalizados com dimensões 40x40x160 mm. Utilizou-se cimento Portland 42,5N, areia grossa, areia fina, vidro moído e água destilada.

A quantidade de materiais utilizados na preparação das argamassas para os corpos de prova prismáticos com e sem resíduo estão apresentados nas tabelas abaixo.

Tabela 11: Composição dos materiais para produção de argamassas

Designação da mistura	Cimento (g)	Vidro moído (g)	Areia grossa (g)	Areia fina (g)	Água (g)
A _{ref}	360.0	0.0	1080.0	360.0	225.0
A01		1080.0	0.0		
A02		360.0	720.0		
A03		720.0	360.0		
B _{ref}	300.0	0.0	900	600.0	225.0
B01		900	0,0		
B02		300	600		
B03		600	300		

A preparação das argamassas segue a sequência da figura a baixo:

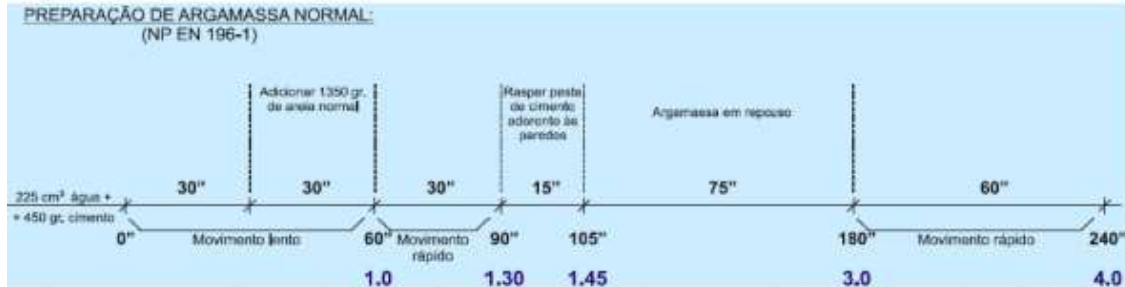


Figura 9: Procedimento de fabrico da argamassa

Fonte: (Coutinho,2007)

Na preparação de amassaduras para argamassa, pesou-se os componentes segundo as tabelas a cima, Efectuou-se três amassaduras para as idades de 2, 7 e 14 dias, colocou-se no misturador mecânico figura 10(a) na sequência: água, cimento e areia e procedeu-se à amassadura, de acordo com a norma NP EN 196-1:(2017).

Após a amassadura realizou-se a moldagem. A moldagem foi feita em duas camadas (a primeira corresponde a cerca de metade da altura do molde), compactadas com 60 pancadas em compactador mecânico figura 10(b) Após a moldagem os provetes foram conservados em uma câmara de cura por 24 horas figura 10(c).



Figura 10: (a) Misturador mecânico, (b) compactador mecânico, (c) câmara de cura usado para preparação da argamassa

Após 24 horas em câmara de cura a 20°C e 90% de humidade relativa, desmoldou-se os provetes e colocou-se no tanque de cura (figura 9), para a continuação da cura até a idade em que foram testados.



Figura 11: Cura de provetes

A cada idade dos provetes procede-se à determinação das resistências no equipamento respectivo.

3.5.1. Ensaio de resistência à tração por flexão

Este ensaio foi efetuado segundo a norma EN 196-1: 2017 Cada provete foi colocado num equipamento adequado apoiado sobre dois apoios, posicionando a face que não esteve em contacto com o molde metálico voltada para o utilizador. Aplicou-se uma carga a taxa constante, sujeitando a amostra a um esforço de flexão, até atingir a rotura, a leitura do resultado foi feita na máquina de prensa, figura 12.



Figura 12: Ensaio de resistência à tração por flexão

Trata-se de um ensaio destrutivo e as metades (figura 13) foram usadas para realizar o ensaio de resistência à compressão.



Figura 13: Metades resultantes do ensaio de resistência à tração por flexão

A resistência mecânica é uma das propriedades mais importantes para a caracterização de argamassas. Os resultados dos ensaios mecânicos podem observar-se nas tabelas. Os valores da resistência à flexão, correspondem à média de três valores, uma vez que foram testados três provetes para cada tipo de argamassa e para cada idade de ensaio.

Tabela 14: Resultados médios do ensaio resistências médias à flexão da amostra A

Designação da mistura	Resistências médias à flexão (MPa) da amostra A		
	Aos 2 dias	Aos 7 dias	Aos 14 dias
A _{ref}	0,95±0,05	2,71±0,03	6,54±0,02
A01	0,75±0,02	1,05±0,09	1,42±0,08
A02	0,88±0,02	2,7±0,05	6,51±0,04
A03	0,54±0,03	1,63±0,04	2,57±0,02

Tabela 12: Resultados médios do ensaio resistências médias à flexão da amostra B

Designação da mistura	Resistências médias à flexão (MPa) da amostra B		
	Aos 2 dias	Aos 7 dias	Aos 14 dias
B _{ref}	0,29±0,02	1,41±0,08	1,98±0,05
B01	0,1±0,06	0,95±0,02	1,28±0,01
B02	0,29±0,07	1,39±0,14	1,75±0,02
B03	0,46±0,08	1,1±0,19	2,24±0,90

3.5.2. Ensaio de resistência à compressão mecânica

Este ensaio seguiu o indicado na norma EN 196-1: 2016 e, como mencionado anteriormente, utilizou-se uma das metades resultantes do ensaio de resistência à flexão. Colocou-se o provete no equipamento adequado, figura 14.



Figura 14: Ensaio de resistência à compressão

Constam das tabelas 13 e 14 os resultados médios da resistência à compressão para as diferentes composições de argamassa por substituição total ou parcial da Areia grossa por resíduos de vidro moido nas amostras A e B respectivamente.

Tabela 13: Resultados médios do ensaio de resistência à compressão da amostra A

Designação da mistura	Resistência à compressão (MPa) da Amostra A		
	Aos 2 dias	Aos 7 dias	Aos 14 dias
A00	13.86±0.34	25.73±0.48	28.95±0.03
A01	10.56±0.09	17.17±0.15	19.39±0.40
A02	14.31±0.21	24.17±0.03	29.01±0.27
A03	11.41±0.07	18.75±0.04	23.59±0.05
Idades (dias)	2	7	14

Tabela 14: Resultados médios do ensaio de resistência à compressão da amostra B

Designação da mistura	Resistência à compressão (MPa) da Amostra B		
	Aos 2 dias	Aos 7 dias	Aos 14 dias
B00	7.66±0.07	14.81±0.13	17.01±0.03
B01	4.80±0.31	11.11±0.44	11.21±0.51
B02	7.52±0.02	15.26±0.02	17.00±0.41
B03	7.65±0.33	12.83±0.05	17.12±0.51

3.5.3. Determinação da Absorção de Água

Este ensaio tem como objectivo determinar o grau de permeabilidade de um material através da imersão em água dos provetes em condições especificadas. A determinação da absorção de água foi realizada de acordo com a norma NP EN ISO 10543-3 : 2008.

A produção dos provetes para o ensaio de absorção de água, segue a mesma técnica de preparação de corpos de provas prismáticos descrito no ensaio de resistência a tensão e compressão, efectuou-se se portanto uma amassadura para todas as composições, para 2, 7 e 14 dias de idade.

A absorção foi calculada pela razão da diferença de pesos do provete húmido e seco sobre o peso seco a 105°C por 24h. A percentagem de Absorção de Água é determinada pela seguinte fórmula:

$$\% \text{Absorção de Água} = \frac{mh - ms}{ms} * 100\%$$

Onde:

mh: é a massa do provete húmido (g);

ms: é a massa do provete seco (g).

As tabelas 15 e 16 mostram os resultados médios de absorção de água para as diferentes composições das pastas cerâmicas em função de cada idade do provete, formuladas por substituição parcial ou total de vidro moído na argamassa, respectivamente.

Tabela 15: Resultados médios do ensaio de absorção de água da amostra A

Designação da mistura	Absorção de água (%) da amostra A		
	Aos 2 dias	Aos 7 dias	Aos 14 dias
Aref	3.05±0.0	16.61±0.06	9.98±0.06
A01	3.24±0.05	9.08±0.02	10.77±0.25
A02	5.61±0.16	10.66±0.38	16.77±0.10
A03	12.27±0.32	16.67±0.007	10.78±0.69

Tabela 16: Resultados médios do ensaio de absorção de água da amostra B

Designação da mistura	Absorção de água (%) da amostra B		
	Aos 2 dias	Aos 7 dias	Aos 14 dias
B00	7.12±0.09	10.22±0.05	12.34±0.07
B01	6.24±0.01	6.44±0.12	10.11±0.12
B02	9.74±0.57	10.04±0.16	10.29±0.72
B03	10.66±0.19	13.80±0.50	3.76±0.89

4. Resultados e Discussão

No capítulo 3 foram apresentados os procedimentos experimentais do trabalho, incluindo a amostragem dos materiais a serem utilizados para a preparação das misturas de argamassa, caracterização física e granulométrica, dosagem experimental e ensaios mecânicos nos corpos de prova produzidos.

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados dos ensaios do programa experimental que são tratados separadamente, para ensaios realizados na caracterização dos componentes e ensaios realizados na argamassa no estado endurecido.

4.1. Análise granulométrica dos componentes

As figuras 15, 16 e 17 apresentam as características granulométricas da areia fina, areia grossa e vidro moído, respectivamente. Ao comparar as curvas granulométricas do resíduo de vidro moído usado como amostra e a areia, constata-se uma boa e semelhante distribuição granulométrica da areia grossa e do vidro moído e a princípio a granulometria do resíduo de vidro não apresenta restrição para que o resíduo seja utilizado como substituto da areia grossa.

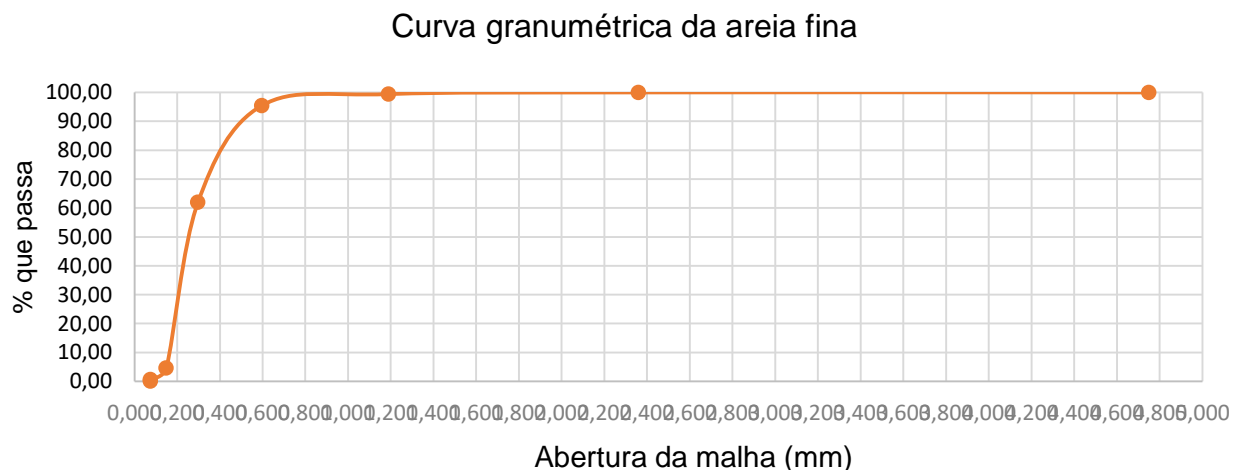


Figura 15: Curva granulométrica da areia fina de acordo com a NP – 1379 (1976)

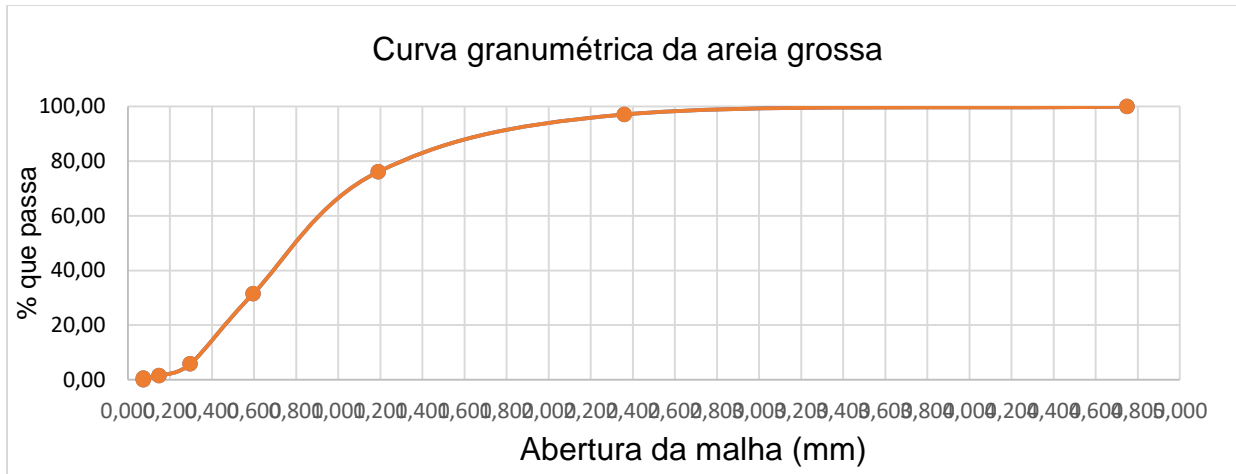


Figura 16: Curva granulométrica da areia grossa de acordo com a NP – 1379 (1976)

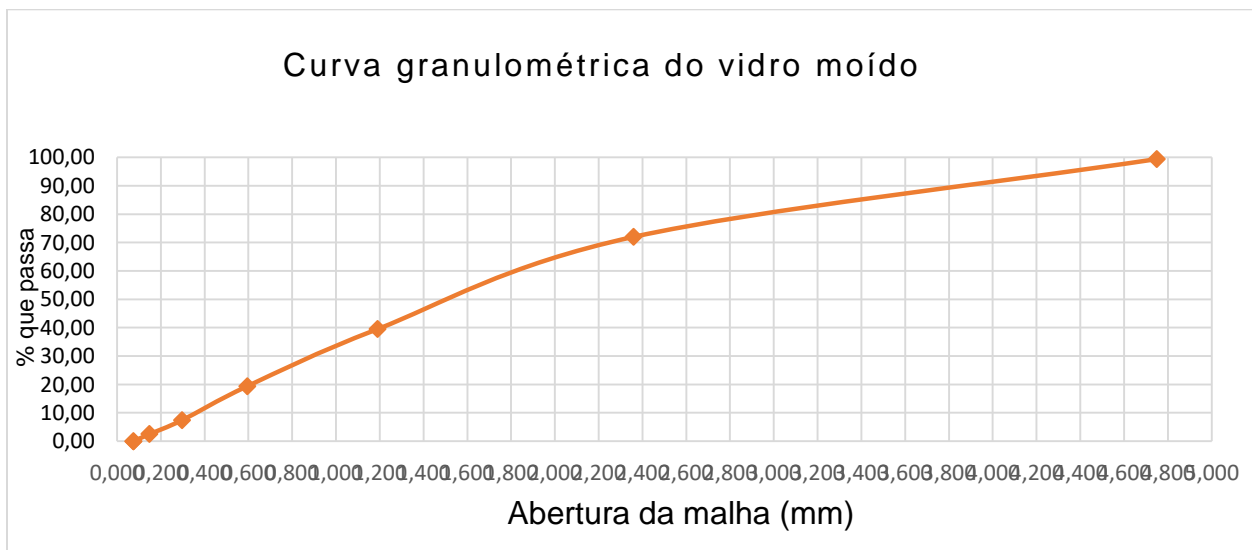


Figura 17: Curva granulométrica da areia grossa de acordo com a NP – 1379 (1976)

4.2. Resistência á Compressão mecânica

A figura 18 e 19 mostram a variação da resistência à compressão na argamassa padrão e nas formulações com resíduos de vidro de diferentes amostras, onde nota-se que a medida que a quantidade de vidro é incorporado na argamassa aumenta, o valor da resistência à compressão diminui, influenciando negativamente nas propriedades mecânicas. Nota-se também que a amostra padrão apresenta maiores valores de resistência a compressão em relação as restantes amostras.

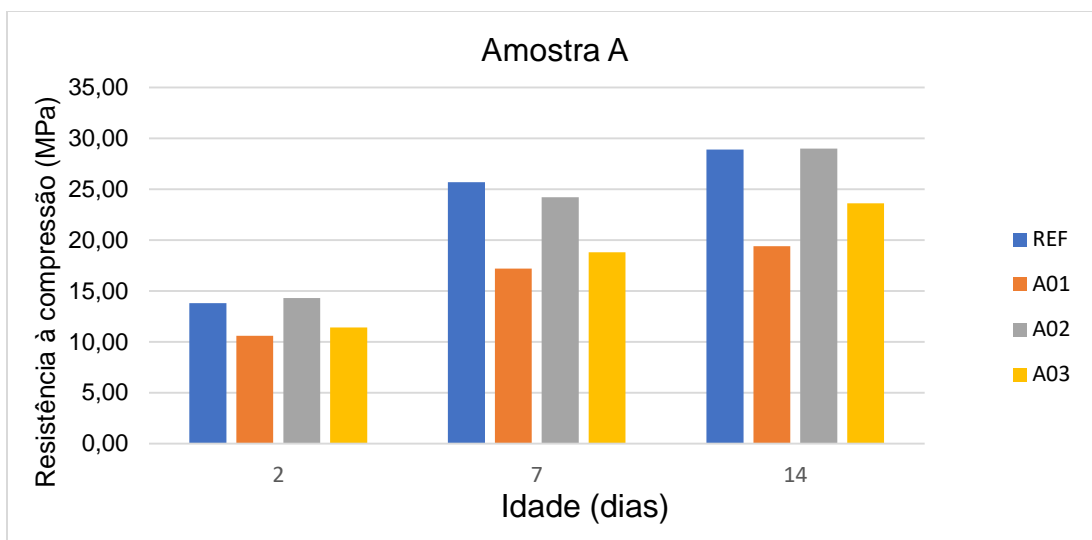


Figura 18: Resultados da resistência à compressão mecânica dos corpos prismáticos da amostra A

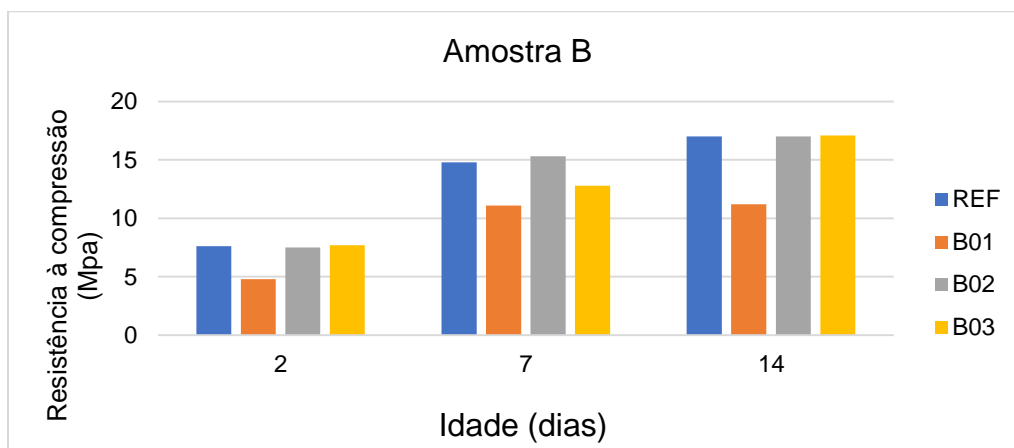


Figura 19: Resultados da resistência à compressão mecânica dos corpos prismáticos da amostra B

As figuras 20 e 21 apresentam os resultados de absorção de água da amostra A e B, respectivamente. Nota-se uma elevada absorção de água nas amostras A02, A03, B02 e B03 para todas as idades, o que nos leva a constatar que a medida que diminui o teor de substituinte na formulação das argamassas, aumenta a absorção de água, devido ao percentual de porosidade, resultando consequentemente em diminuição da resistência mecânica.

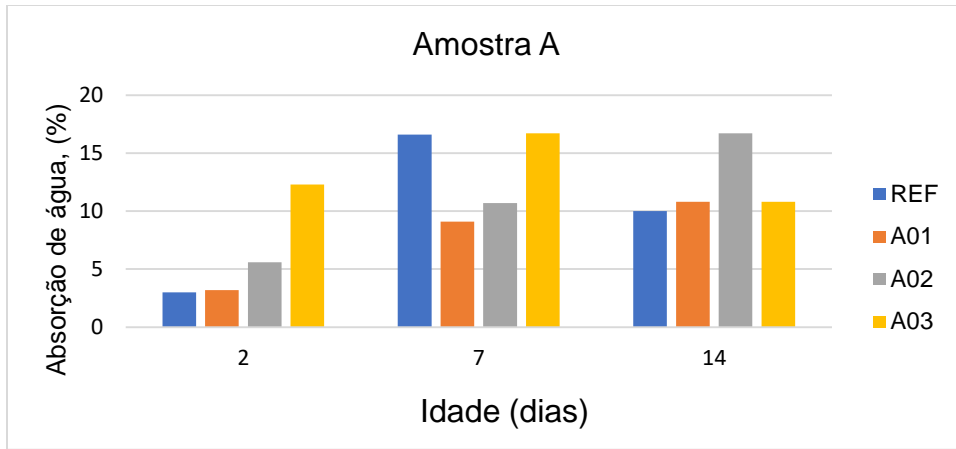


Figura 20: Resultados da absorção de água dos provetes da amostra A

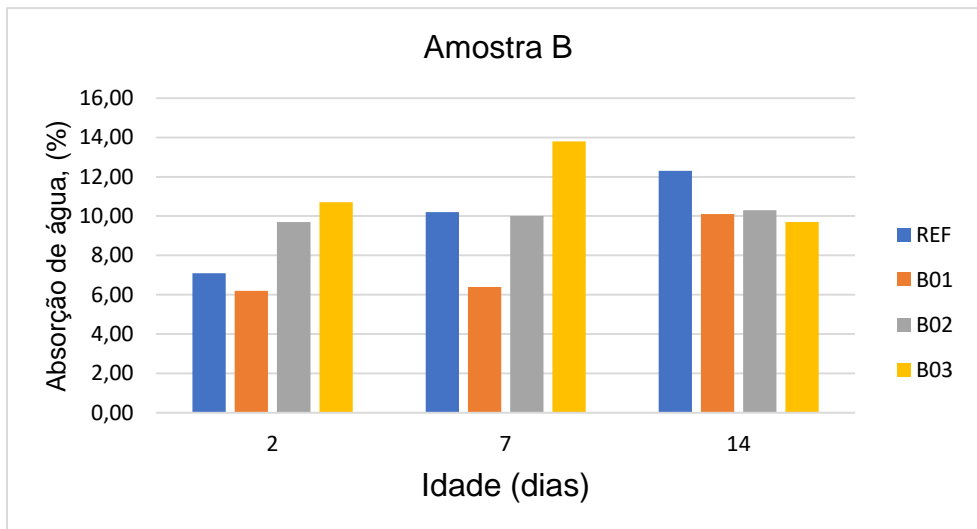


Figura 21: Resultados da absorção de água dos provetes da amostra B

5. Conclusões

Pretendia-se avaliar a possibilidade de reaproveitamento de resíduos de garrafas de vidro não retornáveis para o fabrico de blocos de argamassa não estruturais através de testes de traço óptimo da composição de blocos de argamassa feitos com areia e com vidro moído, como substituinte, Procedido de ensaios da resistência à compressão e de absorção de água dos mesmos segundo a norma NP EN 196-1 (IPQ, 2017).

Analisando resumidamente os resultados obtidos e comparando com os resultados de referência (A_{ref} e B_{ref}), A02 e B02 destacaram-se das argamassas com substituição parcial de resíduo de vidro as únicas que cumpriram os requisitos essenciais para ser considerada uma argamassa com as resistências médias de 16.8 MPa e 10.3 Mpa as 14 dias, respectivamente. Segundo a norma NP EN 196-1:2017 (IPQ, 2017), saliente-se um fraco desempenho de A01, A03, B01 e B03 face aos ensaios mecânicos e de absorção de água.

O caso mais crítico, a substituição total da areia grossa por vidro moído A01 e B01, foram as misturas que resultaram maior diminuição da massa e do peso específico dos blocos, mas, em compensação, foram as que tiveram maior perda na resistência à compressão, com valores muito abaixo das referencias utilizadas, reprovando o uso dessa proporção. Assim, conclui-se que a substituição de areia por vidro moído na fabricação de blocos é uma alternativa promissora, permitindo reaproveitamento de resíduos de vidro. Também é importante que a sua incorporação à massa deva ser muito bem controlada, pois foi possível observar que há proporções que melhoram as características da argamassa, como também há proporções que a inviabilizam.

Para um estudo mais completo deste tipo de argamassas, poder-se-ão realizar futuramente ensaios adicionais, tais como ensaios de aderência ao suporte ou de resistência ao fogo, bem como repetir os ensaios deste trabalho, mas com outros traços volumétricos. Além disso, pode ser interessante averiguar o comportamento de argamassas com incorporação de resíduos de vidro, mas utilizando outro ligante, tal como a cal hidráulica.

A eliminação ou reutilização de resíduos provenientes de qualquer actividade revela-se urgente pelo que se considera que qualquer investigação neste âmbito será vantajosa a nível económico e ambiental.

6. Bibliografia

6.1. Referências Bibliográficas

- Akerman, M. (2000). *Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro*. Centro Tecnico de Elaboração do Vidro, Saint Gobain Vidros Brasil.
- Alonso, A. M. (2016). *Resíduos de vidro e resíduos de construção e demolição no cimento*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- CEAR. (2022). Relatório de Activiades Anuais.
- Coutinho, J. d. (1998). *Melhoria da durabilidade dos betoes por tratamento da cofragem*. Faculdade de Engenharia da Universidade do porto.
- Coutinho, J. d. (1998). *Melhoria da durabilidade dos betões por tratamento da cofragem*. FEUP. ISBN 9727520731.
- Coutinho, J. d. (2007). *Cinza de casca de arroz (RHA) Industrial*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: .
- Crisigiovanni, L. C. (2011). *Uma abordagem sócio-ambiental e tecnológica da reciclagem dos resíduos de vidro* . Curitiba.
- Dias, A. T. (2013). *Incorporação de resíduos de cerâmica vermelha como adição pozolânica na substituição parcial do cimento em argamassas*. Trabalho de Licenciatura, Maputo.
- Europeu, P. e. (2011). *Regulamento (UE) Nr 305/2011*. Jornal Oficial da Uniao Europeia.
- Fernandes, O. V. (2017). *Controle de manuntenção aplicado a industria vidreira*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Fernando, A. (2013). *Diagnostico Sobre Gerenciamento de Residuos Solidos Urbanos*. Ubernandia/MG: Instituto de Geografia-IG.

- Ferreira, M. (2012). *Análise das características mecânicas de amostras de argamassas pré-doseadas*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. .
- Ferreira, T. (2011). *Análise do comportamento higrotérmico de argamassas de cal aérea com resíduos cerâmicos*. Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra.
- Filho, J. (2007). *Blocos de concreto para alvenaria em contrucoes industriais*. Sao Carlos.
- KOU, S., & POON, C. (2009). *Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate*. *Cement and Concrete Composites*.
- Leal, M. (2012). *Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado*. Tese de Mestrado em Construção Civil, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal.
- Lemos, J. C. (2016). *Otimização de dosagem de materias-primas na produção do vidro incolor*.
- Magaia, H. F. (2022). *Aproveitamento de Caco para a Produção de Material Vítreo*. Trabalho de Licenciatura, Departamento de Engenharia Química, Maputo.
- Martins, T. (2015). *Estudo do comportamento das argamassas com incorporação de casca/palha de arroz*. Coimbra: Tese de mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra.
- Mendonça, B. (2007). *Estudo do Desenvolvimento das Argamassas Hidraulicas*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa.
- Morais, A. S. (2013). *Incorporação de resíduos de lampada fluorescente em cerâmica vermelha*. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro.
- Mota, J. C. (2009). *Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos*. Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, Campina Grande.

Salato, V. L. (2022). *Proposta de reciclagem de residuos de aluminio aplicando os processo de oxidacao catalitica para producao de gas hidrogenio (H2)*. Maputo.

Santiago, I. U. (2011). *Reciclagem de residuos vitreos: beneficios e limitacoes*. Belo horizonte.

Soares, T. F. (2018). *Reciclagem do vidro para embalagens de alimentos e bebidas como etapa do Sistema de Gest3o Ambiental*. Uberlandia.

Anexos

Anexo A – Outras fórmulas usadas

Média das réplicas

$$X = \frac{\sum X_i}{n}$$

X_i – teor de uma determinação

n – nº de réplicas

X – média das réplicas

Desvio padrão da amostra

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X)^2}{n-1}}$$

Coefficiente de variação

$$C = \frac{S}{X}$$

S – Desvio padrão da amostra

X – média das réplicas

Anexo B - Resultados da resistência à compressão e flexão de corpo de prova prismáticos

Resultados das resistências à flexão dos corpos de prova prismáticos aos 2, 7 e 14 dias

Tabela B 1- Resultados das resistências à flexão dos corpos de prova prismáticos aos 2 dias

Designação da mistura	Peso (g)	Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tensão média (Mpa)
Aref	581.1	0.325	0.76	0.9
	590.1	0.495	1.16	
	583.7	0.386	0.93	
A01	537.8	0.295	0.69	0.8
	539.8	0.279	0.85	
	534.3	0.260	0.71	
A02	560.3	0.359	0.84	0.9
	564.5	0.371	0.87	
	563.7	0.415	0.92	
A03	541.4	0.149	0.35	0.5
	544.5	0.272	0.64	
	543.9	0.260	0.63	
Bref	572.3	0.146	0.34	0.3
	569.5	0.099	0.23	
	569.5	0.102	0.31	
B01	516.9	0.028	0.07	0.1
	521.0	0.046	0.11	
	514.3	0.050	0.12	
B02	550.0	0.122	0.25	0.3
	533.1	0.105	0.35	
	543.2	0.113	0.29	

B03	533.0	0.108	0.35	0.5
	539.2	0.186	0.54	
	539.4	0.155	0.49	

Tabela B 2- Resultados das resistências à flexão dos corpos de prova prismáticos aos 7 dias

Designação da mistura	Peso (g)	Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tensão média (Mpa)
Aref	589.3	0.359	2.56	2.7
	588.0	0.371	2.61	
	588.9	0.399	2.98	
A01	540.9	0.381	0.99	1.1
	541.9	0.477	1.12	
	541.6	0.465	1.08	
A02	564.4	0.842	2.97	2.7
	565.2	0.941	2.21	
	561.9	0.820	2.29	
A03	545.3	0.603	1.63	1.5
	540.8	0.582	1.36	
	551.9	0.645	1.90	
Bref	575.0	0.560	1.31	1.4
	569.0	0.610	1.43	
	570.7	0.509	1.50	
B01	510.2	0.381	0.88	1.0
	523.4	0.684	0.99	
	515.4	0.693	0.98	
B02	550.7	0.372	1.64	1.2

	540.9	0.419	1.75	
	547.8	0.392	0.80	
B03	534.6	0.219	1.49	1.1
	537.2	0.223	0.82	
	537.6	0.321	0.99	

Tabela B 3- Resultados das resistências à flexão dos corpos de prova prismáticos aos 14 dias

Designação da mistura	Peso (g)	Força (kN)	Tensão (Mpa)	Tensão média (Mpa)
Aref	584.4	2.594	6.08	6.5
	591.0	2.843	6.66	
	586.0	2.867	6.90	
A01	541.7	0.539	1,26	1,4
	540.7	0.427	1.00	
	535.5	0.387	1.99	
A02	562.7	2.720	6.30	6.5
	567.8	2.161	6.72	
	563.9	2.739	6.51	
A03	547.9	0.855	2.37	2.6
	544.0	1.093	2.39	
	545.6	1.213	2.95	
Bref	573.5	1.031	2.42	2.0
	572.4	0.740	1.73	
	572.3	0.998	1.80	
B01	520.6	0.808	1.25	1.3
	528.4	0.514	1.20	
	520.7	0.640	1.40	
B02	547.3	0.523	2.52	2.4

	538.1	0.668	2.86	
	551,1	0.640	1.90	
B03	525.3	0.652	1.90	1.6
	536.5	0.476	1.65	
	543.4	0.540	1.20	

Resultados da resistência à compressão mecânica dos corpos de prova prismáticos aos 2, 7 e 14 dias

Tabela B 4- Resultados das resistências à compressão mecânica dos corpos de prova prismáticos aos 2 dias

Designação da mistura	Resistência individual dos corpos de prova em (MPa)						Média (MPa) ± erro acidental	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
	1	2	3	4	5	6			
Aref	12.98	13.37	14.29	15.38	13,42	13,87	13.86±0.34	0.85	6.1
A01	10.39	10.80	10.22	10.56	10.87	10.61	10.56±0.09	0.24	2.3
A02	13.76	14.09	14.20	14.21	14.97	14.60	14.31±0.21	0.51	3.6
A03	11.05	11.02	11.62	11.97	11.80	11.02	11.41±0.07	0.17	1.5
Bref	7.91	8.49	6.70	7.48	7.41	8.00	7.66±0.07	0.60	7.93
B01	3.85	3.82	5.03	5.46	5.50	5.14	4.80±0.06	0.70	15.02
B02	7.25	7.69	7.68	7.41	7.69	7.45	7.52±0.02	0.18	2.47
B03	7.08	6.51	7.29	8.56	8.49	7.98	7.65±0.33	0.82	10.7

Tabela B 5- Resultados das resistências à compressão mecânica dos corpos de prova prismáticos aos 7 dias

Designação da mistura	Resistência individual dos corpos de prova em (MPa)						Média (MPa) ± erro acidental	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
	1	2	3	4	5	6			
A00	24,55	24,56	24,83	26,78	26,62	27,01	25,73±0,48	1,19	4,6
A01	16,64	16,78	17,36	17,53	16,99	17,13	17,17±0,15	0,36	2,15
A02	23,15	23,51	25,41	24,47	23,97	24,50	24,17±0,03	0,81	3,33
A03	19,22	19,15	18,10	17,41	19,41	19,20	18,75±0,04	0,80	4,29
Bref	15,20	15,00	14,73	14,55	15,00	14,31	14,81±0,13	0,32	2,14
B01	9,77	9,50	12,01	11,40	12,06	11,96	11,11±0,44	1,10	9,90
B02	15,09	15,11	15,08	15,64	15,78	14,90	15,26±0,02	0,35	2,32
B03	11,58	12,94	13,05	13,50	12,90	13,01	12,83±0,05	0,64	5,06

Tabela B 6- Resultados das resistências à compressão mecânica dos corpos de prova prismáticos aos 14 dias

Designação da mistura	Resistência individual dos corpos de prova em (MPa)						Média (MPa) ± erro acidental	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
	1	2	3	4	5	6			
A00	27,05	28,96	29,69	30,01	28,40	29,59	28,95±0,03	1,09	3,77
A01	20,34	20,29	17,66	19,79	18,99	19,30	19,39±0,40	1,00	5,16
A02	28,56	28,20	28,96	28,75	29,90	29,70	29,01±0,27	0,66	2,29
A03	23,84	23,42	23,66	23,63	23,70	23,60	23,59±0,05	0,13	0,59
Bref	16,32	17,39	16,72	17,69	17,05	16,91	17,01±0,03	0,48	2,85
B01	8,93	10,50	11,79	12,18	11,90	11,98	11,21±0,51	1,26	11,35
B02	17,71	18,55	15,69	17,08	16,90	16,40	17,00±0,41	1,01	5,94
B03	15,11	16,21	17,04	18,32	18,01	18,00	17,12±0,51	1,25	7,30

Anexo C – Imagens complementares

As imagens ilustram algumas fases do desenvolvimento da parte experimental para preparação das argamassas



Figura C-1: Algumas fases de preparação e acondicionamento dos materiais



Figura C-2: Algumas fases de pesagem e preparação de argamassas



Figura C-3: Resíduos de garrafas não retornáveis descartadas de forma inadequada e seu perigo no mesmo ambiente